



# ENERGI HÅNDBOG 2019

Dette er en håndbog for ansatte og lærlinge  
i el- og vvs-branchen, der sætter fokus på  
energiforbruget og besparelspotentialer i  
boliger og erhverv.

# INDHOLDSFORTEGNELSE

Indledning .....	3
Varmeproducerende enheder .....	7
Varmepumper .....	37
Varmesystemer .....	68
Varmt brugsvand .....	96
Ventilation .....	132
Teknisk isolering .....	162
Køle- og fryseanlæg .....	183
Belysningsanlæg .....	208
Bygningsautomatik .....	234
Solcelleanlæg .....	271
Graddage .....	287
Funktionsafprøvning af bygningsinstallationer .....	293
Kildehenvisninger .....	307



# INDLEDNING

Denne håndbog skal hjælpe elektriker og vvs-energilærlinge med i deres uddannelse at sætte fokus på energiforbruget og besparelspotentialer i boliger og erhverv.

Håndbogen tænkes desuden anvendt på en række AMU-kurser indenfor energiområdet målrettet elektrikere og vvs-energiuddannede.

Ligesom håndbogen vil være oplagt for svendene i el- og vvs-branchen at have liggende i servicebilen som et godt opslagsværktøj, der kan støtte dem i dagligdagen.

Arbejdet med at vedligeholde, opgradere og optimere bygningsinstallationer og sikre energieffektive nye installationer er en væsentlig opgave i vvs- og el-branchen. Den teknologiske udvikling og de muligheder der følger heraf, sker så hurtigt, at der er et kontinuerligt behov for opdateret og specialiseret viden for lærlinge, svende og underviserne på erhvervsskolerne

Energihåndbogen er en håndbog, der på et bredt installationsteknisk område kan understøtte og bibringe vvs-energiuddannede og elektrikere den back up, inspiration, hjælp etc. til de opgaver, man møder i dagligdagen. Håndbogen kan downloades og læses i sin helhed, men kan også anvendes som opslagsværk inden for de enkelte kapitler, der kan downloades enkeltvis.

Med denne håndbog forbedres overblikket over installationsopgaver med energioptimering i boliger og erhverv. Målet er, at kvaliteten i det udførende arbejde med energirenovering og -effektivisering bliver endnu bedre, og at de løsninger, der leveres til kunderne, dermed får en højere kvalitet. Materialerne er derfor også stillet frit til rådighed for alle beskæftigede i branchen for at få det størst mulige samlede kvalitetsløft.

Energihåndbogen er udarbejdet af Teknologisk Institut for Blik- og Rørarbejderforbundet, Dansk EI-Forbund og TEKNIQ Arbejdsgiverne med støtte fra Grundejernes Investeringsfond.



*Energihåndbogen er udgivet med støtte fra Grundejernes Investeringsfond*



# ENERGIHÅNDBOGEN

## 2019



## VARMEPRODUCERENDE ENHEDER



*Energihåndbogen er udgivet med støtte fra Grundejernes Investeringsfond*



# VARMEPRODUCERENDE ENHEDER

## Indhold

Varmeproducerende enheder	7
Fjernvarmeanlæg	8
Energibesparelse	9
Udførelse	14
Dimensionering af fjernvarmeanlæg	14
Montage	15
Funktionsafprøvning	16
Eftersyn	16
Naturgaskedler	17
Energibesparelse	19
Udførelse	23
Dimensionering af naturgaskedler	23
Montage	24
Funktionsafprøvning	25
Eftersyn	25
Oliekedler	26
Energibesparelse	27
Udførelse	28
Dimensionering af oliekedler	28
Montage	28
Funktionsafprøvning	29
Eftersyn	29
Biomassekedler	30
Energibesparelse	31
Udførelse	32
Dimensionering af biomassekedler	32

Montage	33
Funktionsafprøvning	33
Eftersyn	34
Elvarme	34
Energibesparelse	35
Udførelse	36
Dimensionering af elvarme	36
Montage	36
Funktionsafprøvning	36
Eftersyn og vedligehold	36

## Varmeproducerende enheder

Den varmeproducerende enhed skal sørge for at dække varmebehovet til rumvarme og varmt brugsvand. Varmt brugsvand behandles dog i et særskilt afsnit.

Før der vælges en varmeproducerende enhed bør det altid undersøges hos kommunen om der er forsyningsplaner for området, og om der er - eller kan ventes at komme tilslutningspligt.

Kollektiv varmeforsyning omfatter fjernvarmeforsyning og forsyning med naturgas. Hver enkelt kommune har planlagt, om der skal stilles kollektiv varmeforsyning til rådighed i de enkelte bolig-områder.

I områder uden kollektiv varmeforsyning vil der være mulighed for at anvende forskellige varmekilder som fx varmepumper, oliekedler, biokedler m.m. og eventuelt i kombination med supplerende solvarme.

I dette afsnit beskrives følgende varmeproducerende enheder:

- Fjernvarmeanlæg
- Gaskedel
- Oliekedel
- Biobrændselskedel
- Elvarme

På næste side beskrives de mest anvendte varmeproducerende enheder.

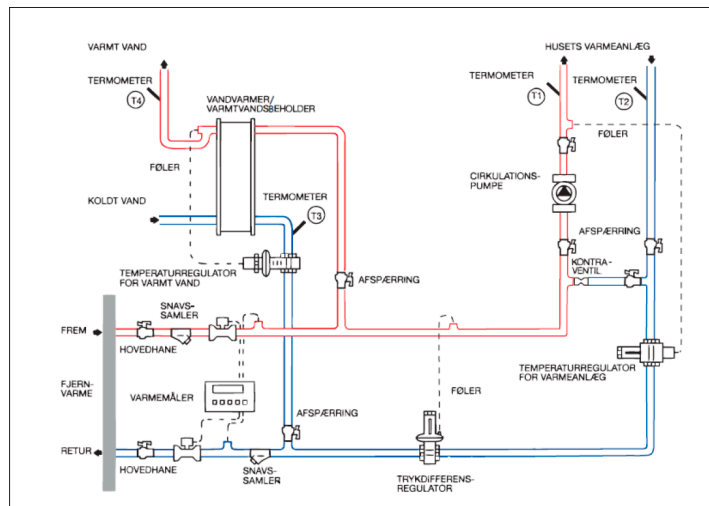
## Fjernvarmeanlæg

Der findes to hovedtyper af fjernvarmeanlæg i ejendomme:

- Direkte anlæg med opblanding, blandesløjfeanlæg
- Indirekte anlæg, veksler



Figur 1. Direkte anlæg med blandesløjfe i etagebolig

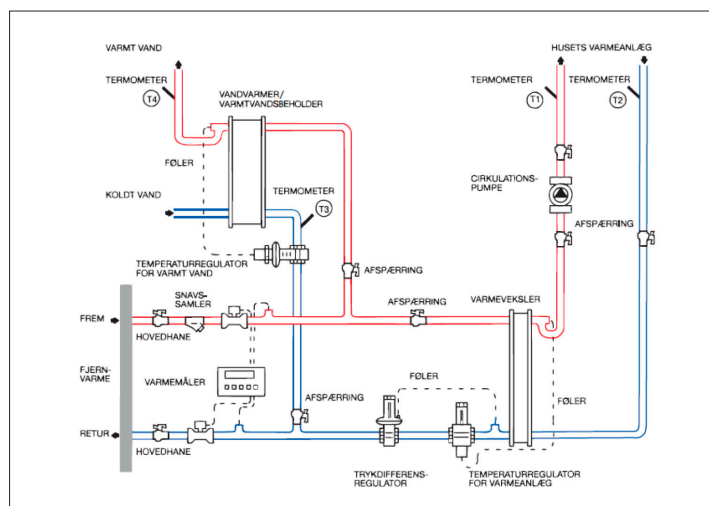


Figur 2. Direkte anlæg med blandesløjfe - principdiagram

Anlæggene i figur 1 og 2 er begge direkte anlæg, men de er opbygget forskelligt.



Figur 3. Indirekte anlæg med veksler i etagebolig



Figur 4. Indirekte anlæg med veksler - principdiagram

## Direkte anlæg

I et direkte anlæg (se figur 1 og 2) med blandesløjfe cirkulerer fjernvarmevandet direkte i varmeinstallationen via en blandesløjfe, hvor fjernvarmevandet blandes op med returvandet fra radiatorerne. Blandesløjfeanlæg er egnet til alle anlæg og giver god mulighed for central regulering med en termostatisk ventil eller et reguleringsanlæg med motorstyring. Se endvidere afsnittet vedr. varmesystemer.

Det er vigtigt, at reguleringsventilerne er dimensioneret rigtigt i forhold til belastning og differenstryk, idet der ellers kan opstå problemer med pendling og dårlig regulering.

## Indirekte anlæg

I et indirekte anlæg (se figur 3 og 4), som er egnet til alle varmeanlægstyper, er fjernvarmevandet fysisk adskilt fra ejendommens lokale varmeanlæg ved en varmeveksler. Ejendommens lokale varmeanlæg har sit eget kredsløb med cirkulationspumpe, sikkerheds- og ekspansionssystem.

Centralvarmereguleringen foregår ved central temperaturregulering, som kan kombineres med regulering på radiatorventilerne. Fremløbstemperaturen reguleres på reguleringsventilen, der altid indstilles til en temperatur, som er lavere end primærsidens fremløbstemperatur af hensyn til afkølingsforholdene i veksleren.

## Energibesparelse

### Anlæg i enfamiliehuse

I enfamiliehuse er de typiske tiltag konvertering til fjernvarme fra olie- eller gaskedel eller udskiftning af eksisterende fjernvarmeunit.

### Konvertering til fjernvarme fra oliekedel

Nedenstående skema viser den omtrentlige energibesparelse, der kan opnås ved konvertering til fjernvarme fra oliekedel afhængigt af husets byggeår og isoleringsgrad. Besparelserne fremkommer ved at fjernvarmeanlægget har en årsvirkningsgrad på 95 - 98 % mens oliekedlerne har betydeligt lavere årsvirkningsgrader.

Eksisterende opvarmningsform	Fjernvarme				
	Byggeår				
		1930 - 1959	1960 - 1979	1980 - 1999	2000 - 2005
Isolering	Gulv: ca. 50 mm Hulmur: Ingen Loft: ca. 30 mm	Gulv: ca. 50 mm Hulmur: ca. 75 mm Loft: ca. 100 mm	Gulv: ca. 150 mm Hulmur: ca. 100 mm Loft: ca. 200 mm	Gulv: ca. 200 mm Hulmur: ca. 125 mm Loft: ca. 250 mm	
Vinduer	Forsats/koblet	Termoruder	Termoruder	Energiruder	
<b>Oliekedel før 1977</b>	<b>Areal m<sup>2</sup></b>	<b>Energibesparelse i kWh/år</b>			
	100	12.100	11.700	10.600	8.300
	140	13.100	12.200	10.900	8.400
	180	14.100	13.000	11.300	8.600
<b>Oliekedel efter 1977</b>	100	5.500	5.100	4.300	3.300
	140	6.300	5.600	4.500	3.300
	180	7.200	6.200	4.800	3.500
<b>Oliekedel efter 1995</b>	100	3.800	3.500	2.800	2.100
	140	4.400	3.900	3.000	2.200
	180	5.100	4.400	3.300	2.300

Tabel 1. Besparelser ved konvertering til fjernvarme fra oliekedel



### Eksempel 1

Et hus fra 1965 på 140 m<sup>2</sup>, der opvarmes med en oliekedel fra efter 1977, kan spare ca. 5.600 kWh om året ved at konvertere til fjernvarme.

### Eksempel 2

Samme hus og kedel som i eksempel 1, men gulvet, hulduren og loftet er efterisoleret, så det næsten opfylder kravene i Bygningsreglementet for huse opført fra 1980 til 1999. Den år-lige energibesparelse ved at skifte til fjernvarme udgør her 4.500 kWh.

## Vejledende årsvirkningsgrader for oliefyrede kedler

Hvis den eksisterende kedels virkningsgrad ikke kendes, så kan nedenstående årsnytttevirksomheder anvendes. Årsnytttevirksomhederne er baseret på nedre brændværdi.

Olieforbrug i liter pr år	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	4.000
Oliekedel fra før 1977	-	57	67	73	77	82
Oliekedel fra efter 1977	76	85	88	89	91	92
Oliekedel fra efter 1991	83	87	92	92	93	93
Kondenserende oliefyret kedel	100					

Tabel 2. Vejledende årsvirkningsgrader for oliefyrede kedler

### Eksempel 3

I et parcelhus på 130 m<sup>2</sup> med et olieforbrug på 2.400 liter pr. år konverteres en ældre oliekedel fra før 1977 til fjernvarme. Parcelhusets varmesystem er en kombination af radiatorer og gulvvarme.

Den samlede årsnytttevirksomhed i det eksisterende kedelanlæg er ved hjælp af ovenstående tabel 2 skønnet til 73 % svarende til, at husets faktiske varmebehov er 17.500 kWh (2.400 l/år · 10 kWh/liter · 73 %/100).

Det årlige elforbrug til oliekedlen er skønnet til 579 kWh.

Fjernvarmeinstallationens har et tab på ca. 5 %. Dette svarer til et årligt energiforbrug til opvarmning med fjernvarme på i alt 18.400 kWh.

Den årlige besparelse bliver således:

$$24.000 \text{ kWh} + 579 \text{ kWh} - 18.400 \text{ kWh} = 6.200 \text{ kWh}$$

## Konvertering til fjernvarme fra gaskedel

Nedenstående skema viser den omtrentlige energibesparelse, der kan opnås ved konvertering til fjernvarme fra gaskedel afhængigt af husets byggeår og isoleringsgrad. Besparelserne fremkommer ved at fjernvarmeanlægget har en årvirkningsgrad på 95 - 98 % mens gaskedlerne har betydeligt lavere årvirkningsgrader.

Eksisterende opvarmningsform	Fjernvarme				
	Byggeår				
		1930 - 1959	1960 - 1979	1980 - 1999	2000 - 2005
Isolering		Gulv: ca. 50 mm Hulmur: Ingen Loft: ca. 30 mm	Gulv: ca. 50 mm Hulmur: ca. 75 mm Loft: ca. 100 mm	Gulv: ca. 150 mm Hulmur: ca. 100 mm Loft: ca. 200 mm	Gulv: ca. 200 mm Hulmur: ca. 125 mm Loft: ca. 250 mm
Vinduer		Forsats/koblet	Termoruder	Termoruder	Energiruder
Gasblæsebrænder monteret på ke-del fra før 1977	<b>Areal m<sup>2</sup></b>	<b>Energibesparelse i kWh/år</b>			
	100	11.600	11.200	10.400	8.200
	140	12.400	11.700	10.600	8.200
	180	13.300	12.300	10.900	8.400
Gasblæsebrænder monteret på ke-del fra efter 1977	100	5.500	5.100	4.300	3.300
	140	6.300	5.600	4.500	3.300
	180	7.200	6.200	4.800	3.500
Gaskedel, åben-forbrænding med trækafbryder	100	6.400	6.000	5.000	3.800
	140	7.400	6.500	5.300	3.900
	180	8.400	4.400	5.700	4.100
Gaskedel, lukket forbrænding med balanceret eller splitaftræk	100	3.900	3.700	3.000	2.300
	140	4.600	4.000	3.200	2.300
	180	5.300	4.500	3.400	2.500

Tabel 3. Besparelser ved konvertering til fjernvarme fra gaskedel

## Vejledende årvirkningsgrader for gasfyrede kedler

Hvis den eksisterende kedels virkningsgrad ikke kendes, så kan nedenstående årsnyttevirkninger anvendes. Årsnyttevirkningerne er baseret på nedre brændværdi.

Gasforbrug i m <sup>3</sup> pr år	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	4.000
Gasblæsebrænder monteret på kedel fra før 1977	-	53	64	70	76	80
Gasblæsebrænder monteret på kedel fra efter 1977	74	83	88	89	90	91
Gaskedel, åben forbrænding med trækafbryder	-	51	62	69	73	78
Gaskedel, lukket forbrænding med balanceret eller splitaftræk	61	75	81	85	86	88

Tabel 4. Vejledende årvirkningsgrader for gasfyrede kedler

## Udskiftning af eksisterende fjernvarmeunit

Man kan inddele anlæggene i tre typer:

1. Ældre installation
2. Nyere unit
3. Plusinstallation (ekstra energieffektiv installation)

Ved en ældre installation forstås en installation opbygget på stedet. Denne type installation blev anvendt frem til ca. 1990.

En nyere unit er en samlet enhed, som er installeret på væg eller i skab. En nyere unit er typisk anvendt efter 1990.

Eksisterende anlæg	Energiforbedrende tiltag	
	Nyere unit	Plusinstallation
	Energi- og afkølingsbesparelser i kWh pr. år	
Ældre fjernvarmeinstallation (opbygget på stedet, anvendt frem til ca. 1990)	1.181	1.512
Nyere unit (samlet enhed, an-vendt efter ca. 1990)		331

Tabel 5. Besparelser at hente ved at gå fra 'Ældre installation' til 'Nyere unit' eller til 'Plusinstallation'. Direkte tilslutningsanlæg inkl. vandvarmer

Eksisterende anlæg	Energiforbedrende tiltag	
	Nyere unit	Plusinstallation
	Energi- og afkølingsbesparelser i kWh pr. år	
Ældre fjernvarmeinstallation (opbygget på stedet, anvendt frem til ca. 1990)	1.572	2.193
Nyere unit (samlet enhed, an-vendt efter ca. 1990)		622

Tabel 6. Besparelser at hente ved at gå fra 'Ældre installation' til 'Nyere unit' eller til 'Plusinstallation'. In-direkte tilslutningsanlæg inkl. vandvarmer

## Store anlæg (etageejendomme, kontorer m.m.)

I etageejendomme, kontorer m.m. er de typiske tiltag konvertering til fjernvarme fra oliekedel eller renovering af eksisterende fjernvarmeanlæg.

### Konvertering til fjernvarme fra oliekedel

Når en oliekedel er over 10 - 15 år gammel, er det ofte fornuftigt at udskifte den med et moderne fjernvarmeanlæg. Dermed udnyttes energien betydeligt mere effektivt, idet årvirkningsgraden for et fjernvarmeanlæg ligger på 96 - 98 % afhængig af anlægstype, energiforbrug og temperaturforholdene i varmeanlægget.

Udskiftning af en ældre oliekedel til et nyt fjernvarmeanlæg giver typisk en besparelse på ca. 8 - 10 %.

Ved udskiftning af en eksisterende kedel kan der enten vælges et direkte eller et indirekte fjernvarmeanlæg, alt efter de lokale fjernvarmebestemmelser.

I nedenstående tabel ses kendetegn for de forskellige kedeltyper.

Kedel	Karakteristika
Ældre, middel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 50 mm isolering på de væsentligste overflader</li> <li>• Ingen eksplosionsklapper</li> <li>• Indvendigt isolerede renseklapper i begrænset mængde</li> <li>• Tætning mellem elementer udført med asbestsnor eller til-svarende helt tæt metode</li> <li>• Effektiv pakning ved forplade og tæt brændermontering</li> </ul> <p><b>Eksempler:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gamle TASSO VH, F og T kedler ældre end ca. 25 år</li> <li>• Ældre PARCA kedler</li> <li>• Ældre Danstoker og HETO kedler med isolerede kedelgavle</li> </ul>
Ældre, god	<p><b>Eksempler:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nyere Danstoker kedler med 75 til 100 mm isolering på alle vandkølede dele og minimum 100 mm indvendig isolering af vendekasser</li> <li>• TASSO, PARCA, Viessmann m.fl., 15 til 20 år gamle med ty-pisk 100 mm isolering og helt tætte på røggassiden</li> <li>• Alle nyere kedler beregnet til overtryk i fyrboksen</li> </ul>
Nyere, god	Alle øvrige typer kedler, som er ca. 10–15 år gamle

Tabel 7. Kendetegn for de forskellige kedeltyper

## Vejledende årvirkningsgrader for gasfyrede kedler

Hvis den eksisterende kedels årvirkningsgrad ikke kendes, så kan nedenstående anvendes.

Års-virkningsgraderne gælder for kedler mellem 200 og 1.000 kW.

Kedel	Årvirkningsgrad [%]
Ældre, middel	88
Ældre, god	90
Nyere, god	92

Tabel 8. Vejledende årvirkningsgrader for gasfyrede kedler

I nedenstående tabel ses energibesparelser ved at udskifte forskellige typer oliekedler til fjernvarmeanlæg. Som det ses, kan der opnås en væsentlig energibesparelse ved udskiftningen.

Kedel	Brutto brændselsforbrug [kWh/år]	Besparelse [kWh/år]
Ældre, middel	600.000	57.084
	1.500.000	142.815
	3.000.000	285.701
Ældre, god	600.000	45.249
	1.500.000	112.919
	3.000.000	225.701
Nyere, god	600.000	35.369
	1.500.000	78.893
	3.000.000	151.432

Tabel 9. Energibesparelser ved udskiftning af oliekedler til fjernvarme

## Renovering af eksisterende fjernvarmeanlæg

Det anbefales at renovere en fjernvarmeforsynet varmecentral, hvis der er:

- Et højt varmeforbrug
- Dårlig afkøling (mindre end 30 °C)
- Hyppige driftsproblemer, som fx manglende centralvarme i dele af anlægget eller manglende varmt brugsvand
- Hyppige reparationer og/eller udskiftninger af komponenter kedelcentral eller i centralvarmeanlægget, typisk på grund af tæring
- Foretaget energibesparende foranstaltninger på klimaskærm, så forbruget til rumopvarmning er reduceret

### En renovering af varmecentralen har følgende fordele:

- Udskiftning af en ældre veksler til en ny vil minimere vedligeholdelsesudgifterne samt forbedre afkølingen
- Ved direkte fjernvarme opnås en god energieffektivitet i form af lavere elforbrug til cirkulations-pumpning af varmt vand samt mulighed for en bedre afkøling

Det bør overvejes at ændre et indirekte anlæg til et direkte. Det kræver dog, at fjernvarmeværket tillader det, og at varmeanlægget (radiatorer, ventiler m.m.) kan klare det høje tryk fra fjernvarmenettet

Fjernvarmeanlægget bør monteres med trykdifferensregulatorer for at sikre, at reguleringsventilerne har stabile driftsbetingelser

## Udførelse

### Dimensionering af fjernvarmeanlæg

#### Centralvarme

Centralvarmeanlæg skal dimensioneres efter DS 469, Norm for varme- og køleanlæg i bygninger. Centralvarmeanlæg dimensioneres til en fremløbstemperatur på højst 60 °C og en returløbstemperatur på højst 40 °C ved den dimensionerende udetemperatur. Disse dimensionerende temperaturer gælder ved ændring af varmforsyning, renovering og installation af varmeanlæg i eksisterende bygninger. I forbindelse med dette kan det være hensigtsmæssigt at efterisolere bygningen eller installere større eller ekstra radiatorer for at kunne dække varmebehovet ved de angivne fremløbs- og returløbstemperaturer.

Fjernvarmeforsyningen kan have regler, der kræver en lavere returløbstemperatur eller større afkøling af fjernvarmevandet, som anlægget så må dimensioneres til.

## Varmt brugsvand

Anlæg til produktion af varmt brugsvand dimensioneres efter DS 439, Norm for vandinstallationer.

Anlæg til produktion af varmt brugsvand behandles i et særskilt afsnit.

### Montage

#### Anlæg i enfamilieshuse

##### Konvertering

Den eksisterende varmforsyning kobles fra aftrækket (skorstenen), varmeanlægget og varmt-vandsbeholderen. Oliekedlen demonteres. Det samme gælder varmtvandsbeholderen, hvis den skal udskiftes.

Den nye fjernvarmeunit hænges op på væggen eller placeres på gulvet og tilsluttes fjernvarmeforsyningen. Rør til varmt brugsvand tilsluttes enten varmeveksler eller varmtvandsbeholder. Rør til radiatorer og/eller gulvvarme tilsluttes.

##### Renovering

Den eksisterende fjernvarmeunit kobles fra varmeanlægget og varmtvandsbeholderen eller varmeveksleren.

Fjernvarmeuniten demonteres. Det samme gælder varmtvandsbeholderen eller varmeveksleren, hvis den udskiftes.

Den nye fjernvarmeunit hænges op på væggen eller placeres på gulvet og tilsluttes fjernvarmeforsyningen. Rør til varmt brugsvand tilsluttes enten varmeveksler eller varmtvandsbeholder. Rør til radiatorer og/eller gulvvarme tilsluttes.

Det lokale fjernvarmeværks bestemmelser for montage skal altid følges.

Installationen skal udføres, så den lever op til gældende regler i forskrifter for vand- og varmeinstallationer, herunder DS 469 for varmeanlæg, DS 452 for isolering af tekniske installationer og DS 439 for vandinstallationer.

#### Store anlæg (etageejendomme, kontorer m.m.)

##### Konvertering

Den eksisterende varmforsyning kobles fra aftrækket (skorstenen), varmeanlægget og varmt-vandsbeholderen. Oliekedlen demonteres. Det samme gælder varmtvandsbeholderen, hvis den skal udskiftes.

Fjernvarmeveksleren placeres i varmecentralen og tilsluttes fjernvarmeforsyningen.

Rør til varmt brugsvand tilsluttes enten varmeveksler eller varmtvandsbeholder. Rør til radiatorstøbet tilsluttes.

##### Renovering

Den eksisterende veksler kobles fra varmeanlægget (sekundærsiden) og fjernvarmeforsyningen (primærsiden), hvorefter den demonteres.

Varmeanlægget påbygges en blandesløjfe, det vil sige en rørforbindelse mellem fremløbs- og returledningen. Der indbygges en kontraventil i rørforbindelsen. På varmeanlæggets returledning monteres en reguleringsventil, der styres af vejrkompenseringsanlægget.

Varmeanlægget tilsluttes afslutningsvis til fjernvarmeforsyningen. Der monteres afspærringsventiler mellem de to anlægsdele.

Rør til varmt brugsvand tilsluttes enten gennemstrømningsvandvarmer eller varmtvandsbeholder.

Det lokale fjernvarmeværks bestemmelser for montage skal altid følges.

Installationen skal udføres, så den lever op til gældende regler i forskrifter for vand- og varmeinstallationer, herunder DS 469 for varmeanlæg, DS 452 for isolering af tekniske installationer og DS 439 for vandinstallationer.

## Indregulering

I Bygningsreglementets vejledning om termisk indeklima og installationer til varme- og køleanlæg står der:

Ved planlægning og udførelse af installationer til varme- og køleanlæg skal DS 469 Varme- og køleanlæg i bygninger overholdes. DS 469 omfatter alle typer varme- og køleanlæg, der har til formål at tilføre rum og bygninger samt tilknyttede systemer varme eller køling.

I henhold til DS 469:2013 "Varme- og køleanlæg i bygninger" har bygherren ansvaret for, at standardens krav til indregulering inkl. kontrol og dokumentation er overholdt.

## Funktionsafprøvning

I henhold til Bygningsreglementet kap 19 § 391 skal der gennemføres en funktionsafprøvning af varme- og køleanlæg før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at varme- og køleanlæggene overholder bygningsreglementets krav til indregulering og styring.

Indregulering og styring af varme- og køleanlæg omfatter vand- eller luftstrømme i anlægget, automatiske reguleringsystemer, tidsstyring, temperaturstyring og lignende behovsstyringer.

## Eftersyn

Vedligeholdelse af fjernvarmeinstallationen ved regelmæssige eftersyn er særdeles vigtigt både energi- og driftsmæssigt. Der bør foretages følgende:

- Et hovedeftersyn
- Et vedligeholdelsestjek typisk hvert andet år

## Hovedeftersyn

Ved hovedeftersynet tjekkes både fjernvarmeinstallationen, boligerne og beboernes forbrugsvaner.

Alle fjernvarmeinstallationer i ejendommen efterses, testes og justeres. Lige fra hovedinstallationens forskellige dele til radiatortermostaterne.

Der foretages en gennemgang af boligerne for at vurdere energiforbruget. Fx tjekkes isolering, vinduer og radiatorstørrelser.

Beboerne får vejledning i, hvordan gode vaner kan holde på varmen – og holde varmeforbruget nede.



Hovedeftersynet er det første eftersyn der foretages hos kunden. Herefter følger vedligeholdelsestjek.

## Vedligeholdelsestjek

Hvert andet år bør der foretages et vedligeholdelsestjek af fjernvarmeanlægget, hvor alt bliver justeret, så det virker, som det skal.

## Naturgaskedler

Der findes to hovedtyper af gaskedler i ejendomme:

- Gaskedel med lukket forbrændingskammer
- Gaskedel med åbent forbrændingskammer

Et lukket forbrændingskammer får luft fra et separat rør eller et dobbeltrør, hvor den friske luft trækkes ind af det ene rør, og "røgen" ledes ud af det andet rør.

En gaskedel med åbent forbrændingskammer får luft til forbrænding af gassen via det rum, som kedlen står i. Det er typisk kun ældre gaskedler, der har et åbent forbrændingskammer, da de ikke er lovlige at montere i dag.



Figur 5. Ældre naturgaskedel



Figur 6. Kondenserende naturgaskedel

## Små kedler

Virkningsgraden for brændselsfyrede kedelanlæg til rumopvarmning med en nominel nytteeffekt <70 kW og brændselsfyrede kedelanlæg til kombineret rum- og brugsvandsopvarmning med en nominel nytteeffekt <70 kW skal ifølge EU's ecodesign forordning nr. 813/2013 som minimum være:

- 86 % ved rumopvarmning

Ovenstående virkningsgrad svarer til B mærkede kedler.

Virkningsgraden er baseret på øvre brændværdi. Det svarer til en virkningsgrad på ca. 95 % efter nedre brændværdi.

## Mellemstore kedler

Virkningsgraden for brændselsfyrede kedelanlæg til rumopvarmning med en nominel nytteeffekt >70 kW og ≤400 kW og brændselsfyrede kedelanlæg til kombineret rum- og brugsvandsopvarmning med en nominel nytteeffekt >70 kW og ≤400 kW skal ifølge EU's ecodesign forordning nr. 813/2013 som minimum være:

- 86 % ved 100 % af den nominelle nytteeffekt
- 94 % ved 30 % af den nominelle nytteeffekt
- 

Virkningsgraderne er baseret på øvre brændværdi. Det svarer til en virkningsgrad på henholdsvis ca. 95 % og ca. 104 % efter nedre brændværdi.

Der findes ikke mærkningsordning for mellemstore kedler.

## Store kedler

I Bygningsreglement 2018, kapitel 12, § 308 står der:

"Store olie- og gasfyrede centralvarmekedler med en nominel ydelse på mere end 400 kW, må højst have et røggastab på 7 pct. ved fuldlast og skal være forsynet med røggaskøler, hvis temperaturforholdene i det tilsluttede varmeanlæg er egnet til dette".

Der findes ikke mærkningsordning for store kedler.

## Anlæg i enfamilieshuse

I enfamilieshuse er de typiske tiltag konvertering til naturgas fra oliekedel, elvarme eller udskiftning af eksisterende gaskedel.

### Konvertering til gaskedel fra oliekedel eller elvarme

Nedenstående skema viser den omtrentlige energibesparelse, der kan opnås ved konvertering til kondenserende gaskedel fra oliekedel eller elvarme afhængigt af husets byggeår og isoleringsgrad. Besparelserne fremkommer ved at den kondenserende gaskedel har en årvirkningsgrad på ca. 100 % mens oliedelerne har betydeligt lavere årvirkningsgrader.

Besparelsen ved konvertering fra elvarme er negativ, da den kondenserende elkedel har et elforbrug til brænder og cirkulationspumpe.

Eksisterende opvarmningsform	Ny kondenserende gaskedel				
	Byggeår				
		1930 - 1959	1960 - 1979	1980 - 1999	2000 - 2005
Isolering		Gulv: ca. 50 mm Hulmur: Ingen Loft: ca. 30 mm	Gulv: ca. 50 mm Hulmur: ca. 75 mm Loft: ca. 100 mm	Gulv: ca. 150 mm Hulmur: ca. 100 mm Loft: ca. 200 mm	Gulv: ca. 200 mm Hulmur: ca. 125 mm Loft: ca. 250 mm
Vinduer		Forsats/koblet	Termoruder	Termoruder	Energiruder
Oliekedel før 1977	Areal m <sup>2</sup>	Energibesparelse i kWh/år			
	100	12.100	11.700	10.600	8.300
	140	13.100	12.200	10.900	8.400
	180	14.100	13.000	11.300	8.600
Oliekedel efter 1977	100	5.500	5.100	4.300	3.300
	140	6.300	5.600	4.500	3.300
	180	7.200	6.200	4.800	3.500
Oliekedel efter 1995	100	3.800	3.500	2.800	2.100
	140	4.400	3.900	3.000	2.200
	180	5.100	4.400	3.300	2.300
Elvarme	100	-241	-241	-241	-241
	140	-241	-241	-241	-241
	180	-241	-241	-241	-241

Tabel 10. Besparelser ved konvertering til gaskedel fra oliekedel eller elvarme

#### Eksempel 4

Et hus fra 1965 på 140 m<sup>2</sup>, der opvarmes med en oliekedel fra efter 1977, kan spare ca. 5.600 kWh om året ved at konvertere til en kondenserende naturgaskedel.

#### Eksempel 5

Samme hus og kedel som i eksempel 1, men gulvet, hulmuren og loftet er efterisoleret, så det næsten opfylder kravene i Bygningsreglementet for huse opført fra 1980 til 1999. Den år-lige energibesparelse ved at skifte til fjernvarme udgør her 4.500 kWh.

## Vejledende årsvirkningsgrader for oliefyrede kedler

Hvis den eksisterende kedels virkningsgrad ikke kendes, så kan nedenstående årsnyttevirkninger anvendes. Årsnyttevirkningerne er baseret på nedre brændværdi.

Olieforbrug i liter pr år	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	4.000
Oliekedel fra før 1977	-	57	67	73	77	82
Oliekedel fra efter 1977	76	85	88	89	91	92
Oliekedel fra efter 1991	83	87	92	92	93	93
Kondenserende oliefyret kedel	100					

Tabel 11. Vejledende årsvirkningsgrader for oliefyrede kedler

### Eksempel 6

I et parcelhus på 130 m<sup>2</sup> med et olieforbrug på 2.400 liter pr. år konverteres en ældre oliekedel fra før 1977 til en kondenserende gaskedel. Parcelhusets varmesystem er en kombination af radiatorer og gulvvarme.

Den samlede årsnyttevirkning i det eksisterende kedelanlæg er ved hjælp af ovenstående tabel 11 skønnet til 73 % svarende til, at husets faktiske varmebehov er 17.500 kWh (2.400 l/år · 10 kWh/liter · 73 %/100).

Det årlige elforbrug til oliekedlen er skønnet til 579 kWh.

Den nye kondenserende gaskedel har en årsnyttevirkning på 100 %. Dette svarer til et årligt energiforbrug til opvarmning med naturgas på i alt 17.500 kWh. Det årlige elforbrug til kedlen er 176 kWh.

Den årlige besparelse bliver således:

$$24.000 \text{ kWh} + 579 \text{ kWh} - 17.500 \text{ kWh} + 176 \text{ kWh} = 6.900 \text{ kWh}$$

## Udskiftning af eksisterende gaskedel

Nedenstående skema viser den omtrentlige energibesparelse, der kan opnås ved udskiftning af eksisterende gaskedel til kondenserende gaskedel afhængigt af husets byggeår og isoleringsgrad.

Besparelserne fremkommer ved at den kondenserende gaskedel har en årvirkningsgrad på ca. 100 % mens de eksisterende gaskedler har betydeligt lavere årvirkningsgrader.

Eksisterende opvarmningsform	Ny kondenserende gaskedel				
	Byggeår				
		1930 - 1959	1960 - 1979	1980 - 1999	2000 - 2005
Isolering		Gulv: ca. 50 mm Hulmur: Ingen Loft: ca. 30 mm	Gulv: ca. 50 mm Hulmur: ca. 75 mm Loft: ca. 100 mm	Gulv: ca. 150 mm Hulmur: ca. 100 mm Loft: ca. 200 mm	Gulv: ca. 200 mm Hulmur: ca. 125 mm Loft: ca. 250 mm
Vinduer		Forsats/koblet	Termoruder	Termoruder	Energiruder
Gasblæsebrænder monteret på ke-del fra før 1977	<b>Areal m<sup>2</sup></b>	<b>Energibesparelse i kWh/år</b>			
	100	11.600	11.200	10.400	8.200
	140	12.400	11.700	10.600	8.200
	180	13.300	12.300	10.900	8.400
Gasblæsebrænder monteret på ke-del fra efter 1977	100	5.500	5.100	4.300	3.300
	140	6.300	5.600	4.500	3.300
	180	7.200	6.200	4.800	3.500
Gaskedel, åben-forbrænding med trækafbryder	100	6.400	6.000	5.000	3.800
	140	7.400	6.500	5.300	3.900
	180	8.400	7.300	5.700	4.100
Gaskedel, lukket forbrænding med balanceret eller splitaftræk	100	3.900	3.700	3.000	2.300
	140	4.600	4.000	3.200	2.300
	180	5.300	4.500	3.400	2.500

Tabel 12. Besparelser ved udskiftning af eksisterende gaskedel

## Vejledende årvirkningsgrader for gasfyrede kedler

Hvis den eksisterende kedels virkningsgrad ikke kendes, så kan nedenstående årsnytttevirksomheder anvendes. Årsnytttevirksomhederne er baseret på nedre brændværdi.

Gasforbrug i m <sup>3</sup> pr år	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	4.000
Gasblæsebrænder monteret på kedel fra før 1977	-	53	64	70	76	80
Gasblæsebrænder monteret på kedel fra efter 1977	74	83	88	89	90	91
Gaskedel, åben forbrænding med trækafbryder	-	51	62	69	73	78
Gaskedel, lukket forbrænding med balanceret eller splitaftræk	61	75	81	85	86	88

Tabel 13. Vejledende årvirkningsgrader for gasfyrede kedler

## Store anlæg (etageejendomme, kontorer m.m.)

I etageejendomme, kontorer m.m. er det typiske tiltag udskiftning af eksisterende gaskedel.

I nedenstående tabel ses kendetegn for de forskellige kedeltyper.

Kedel	Karakteristika
Ældre, middel	<ul style="list-style-type: none"><li>• 50 mm isolering på de væsentligste overflader</li><li>• Ingen eksplosionsklapper</li><li>• Indvendigt isolerede rensklapper i begrænset mængde</li><li>• Tætning mellem elementer udført med asbestsnor eller tilsvarende helt tæt metode</li><li>• Effektiv pakning ved forplade og tæt brændermontering</li></ul> <p><b>Eksempler:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Gamle TASSO VH, F og T kedler ældre end ca. 25 år</li><li>• Ældre PARCA kedler</li><li>• Ældre Danstoker og HETO kedler med isolerede kedelgavle</li></ul>
Ældre, god	<p><b>Eksempler:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Nyere Danstoker kedler med 75 til 100 mm isolering på alle vandkølede dele og minimum 100 mm indvendig isolering af vendekasser</li><li>• TASSO, PARCA, Viessmann m.fl., 15 til 20 år gamle med typisk 100 mm isolering og helt tætte på røggassiden</li><li>• Alle nyere kedler beregnet til overtryk i fyrboksen</li></ul>
Nyere, god	Alle øvrige typer kedler, som er ca. 10–15 år gamle

Tabel 14. Kendetegn for de forskellige kedeltyper

## Vejledende årsvirkningsgrader for gasfyrede kedler

Hvis den eksisterende kedels virkningsgrad ikke kendes, så kan nedenstående årsvirkningsgrader anvendes. Årsvirkningsgraderne gælder for kedler mellem 200 og 1.000 kW.

Kedel	Årsvirkningsgrad [%]
Ældre, middel	88
Ældre, god	90
Nyere, god	92
Kondenserende	103

Tabel 15. Vejledende årsvirkningsgrader for gasfyrede kedler

I nedenstående tabel ses energibesparelser ved at udskifte forskellige typer oliekedler til gaskedler. Som det ses, kan der opnås en væsentlig energibesparelse ved udskiftningen.

Kedel	Brutto brændselsforbrug [kWh/år]	Besparelse [kWh/år]
Ældre, middel	600.000	88.500
	1.500.000	221.300
	3.000.000	442.700
Ældre, god	600.000	77.300
	1.500.000	193.200
	3.000.000	386.200
Nyere, god	600.000	68.000
	1.500.000	161.100
	3.000.000	316.200

Tabel 16. Besparelser ved udskiftning af eksisterende gaskedel

## Udførelse

### Dimensionering af naturgaskedler

Kedlen skal passe til varmebehovet og varmeanlægget. For at varmeanlægget er velegnet til kon-denserende drift, skal det være dimensioneret til lave fremløbs- og returtemperaturer. Dvs., at returtemperaturen ved 0 °C udetemperatur skal være lavere end 40 °C og temperaturen på fremløbet lavere end 50 °C.

Lette væghængte kedler med lille vandindhold dimensioneres til en lille afkøling på 10 – 15 °C.

Samspelet mellem kedel, bygning og varmeanlæg spiller altid en vigtig rolle, og overdimensionering kan være kritisk.

Ved lette kedler opstår pendlende drift, hvis vandstrømmen i anlægget ikke er stor nok. Nye gaskedler er normalt forsynet med modulerende brændere, men man skal alligevel være opmærksom på, om der er mulighed for tilstrækkelig vandstrøm i anlægget.

	Kedel med lille vandindhold
<b>Styring og regulering af to-strengs varmeanlæg</b>	Glidende kedeltemperatur efter ude- eller rumføler, lille afkøling < 15 °C
<b>Styring og regulering af en-strengs varmeanlæg</b>	Glidende kedeltemperatur efter ude- eller rumføler, lille afkøling < 15 °C eller helst lavere
<b>Energiforhold</b>	Højere dellastvirkningsgrad på grund af glidende kedeltemperatur
<b>Krav til hedeflade i radiatoranlæg</b>	Både fremløbs- og returtemperatur skal være lave. For kondenserende kedler gælder: Returtemperaturen skal ved 0 °C udetemperatur være lavere end ca. 40 °C og fremløbet lavere end ca. 50 °C. Ved nyanlæg dimensioneres til 55/45 °C eller lavere.
<b>Krav til flow i radiatoranlægget</b>	Der skal være et relativt stort flow i varme-anlægget for at undgå temperaturvariationer på det varme radiatorvand og dermed hyp-pig start/stop af kedel.  En tommelfingerregel for kondenserende kedler er, at der kan passere ca. 100 l/time gennem en radiatortermostat af to-strengs-typen.

Tabel 17. Vigtige forhold vedr. kedler med lille vandindhold



### Anlæg i enfamilieshuse

#### Konvertering

Den eksisterende oliekedel kobles fra varmeanlægget og varmtvandsbeholderen. Oliekedlen demonteres. Det samme gælder varmtvandsbeholderen, hvis den udskiftes.

Gaskedlen må ikke placeres i rum med meget støv, frostrisiko, fugt, brandfarlige væsker eller rum, der fungerer som fælles adgangsvej til flere boliger.

Kedlen skal stilles, så aftrækket kan placeres korrekt, hvad enten der er tale om balanceret aftræk eller splitaftræk.

Den nye gaskedel og den evt. nye varmtvandsbeholder monteres. Gaskedlen og varmtvandsbeholderen forbindes. Der etableres nyt aftræk. Gasledningen sluttes til den nye gaskedel. Koldt vand sluttes til varmtvandsbeholderen. Varmeanlægget kobles til gaskedlen. Gaskedlen tilsluttes el.

#### Renovering

Den eksisterende gaskedel kobles fra varmeanlægget og varmtvandsbeholderen. Kedlen demonteres. Det samme gælder varmtvandsbeholderen, hvis den udskiftes.

Gaskedlen må ikke placeres i rum med meget støv, frostrisiko, fugt, brandfarlige væsker eller rum, der fungerer som fælles adgangsvej til flere boliger.

Kedlen skal stilles, så aftrækket kan placeres korrekt, hvad enten der er tale om balanceret aftræk eller splitaftræk.

Den nye gaskedel og den evt. nye varmtvandsbeholder monteres. Gaskedlen og varmtvandsbeholderen forbindes. Der etableres nyt aftræk. Gasledningen sluttes til den nye gaskedel. Koldt vand sluttes til varmtvandsbeholderen. Varmeanlægget kobles til gaskedlen. Gaskedlen tilsluttes el.

Installationen leve op til Gassikkerhedsloven og Bygningsreglementet.

Installationen skal udføres, så den lever op til gældende regler i forskrifter for vand- og varmeinstallationer, herunder DS 469 for varmeanlæg, DS 452 for isolering af tekniske installationer og DS 439 for vandinstallationer. Bemærk at der skal være plads til betjening, rensning og besigtigelse af anlægget jf. AT-Vejledning B-4-8.

#### Konvertering

Den eksisterende oliekedel kobles fra aftrækket (skorstenen), varmeanlægget og varmtvandsbeholderen. Oliekedlen demonteres. Det samme gælder varmtvandsbeholderen, hvis den skal udskiftes.

Gaskedlen må ikke placeres i rum med meget støv, frostrisiko, fugt og brandfarlige væsker, eller rum, der fungerer som fælles adgangsvej til flere boliger.

Hvis den eksisterende skorsten skal anvendes sammen med den nye kedel, skal den forsynes med en foring, der hindrer fugten i at nå murværket i skorstenen. I forbindelse med kondenserende drift skal skorstenes og aftrækssystemers bund være forsynet med afløb, som er i stand til at bortlede kondensatet fra skorstenene og aftrækssystemer.

Den nye gaskedel og eventuelt den nye varmtvandsbeholder monteres, hvorefter gaskedlen tilsluttes el.

## Renovering

Den eksisterende gaskedel kobles fra aftrækket (skorstenen), varmeanlægget og varmtvandsbeholderen. Gaskedlen demonteres. Det samme gælder varmtvandsbeholderen, hvis den skal udskiftes.

Gaskedlen må ikke placeres i rum med meget støv, frostrisiko, fugt og brandfarlige væsker, eller rum, der fungerer som fælles adgangsvej til flere boliger.

Hvis den eksisterende skorsten skal anvendes sammen med den nye kedel, skal den forsynes med en foring, der hindrer fugten i at nå murværket i skorstenen. I forbindelse med kondenserende drift skal skorstenes og aftrækssystemers bund være forsynet med afløb, som er i stand til at bortlede kondensatet fra skorstene og aftrækssystemer.

Den nye gaskedel og eventuelt den nye varmtvandsbeholder monteres, hvorefter gaskedlen tilsluttes el.

Installationen leve op til Gassikkerhedsloven og Bygningsreglementet.

Installationen skal udføres, så den lever op til gældende regler i forskrifter for vand- og varmeinstallationer, herunder DS 469 for varmeanlæg, DS 452 for isolering af tekniske installationer og DS 439 for vandinstallationer. Bemærk, at der skal være plads til betjening, rensning og besigtigelse af anlægget jf. AT-Vejledning B-4-8.

## Indregulering

I Bygningsreglementets vejledning om termisk indeklima og installationer til varme- og køleanlæg står der:

Ved planlægning og udførelse af installationer til varme- og køleanlæg skal DS 469 Varme- og køleanlæg i bygninger overholdes. DS 469 omfatter alle typer varme- og køleanlæg, der har til formål at tilføre rum og bygninger samt tilknyttede systemer varme eller køling.

## Funktionsafprøvning

I henhold til Bygningsreglementet kap 19 § 391 skal der gennemføres en funktionsafprøvning af varme- og køleanlæg før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at varme- og køleanlæg-gene overholder bygningsreglementets krav til indregulering og styring.

Indregulering og styring af varme- og køleanlæg omfatter vand- eller luftstrømme i anlægget, automatiske reguleringsystemer, tidsstyring, temperaturstyring og lignende behovsstyringer.

## Eftersyn

For kondenserende gaskedler med balanceret aftræk eller splitaftræk anbefales normalt et 2-årigt serviceinterval.



Figur 7. Ældre oliekedel



Figur 8. Kondenserende oliekedel

### Små kedler

Virkningsgraden for brændselsfyrede kedelanlæg til rumopvarmning med en nominel nytteeffekt  $<70$  kW og brændselsfyrede kedelanlæg til kombineret rum- og brugsvandsopvarmning med en nominel nytteeffekt  $<70$  kW skal ifølge EU's ecodesign forordning nr. 813/2013 som minimum være:

- 86 % ved rumopvarmning

Ovenstående virkningsgrad svarer til B mærkede kedler

Virkningsgraden er baseret på øvre brændværdi. Det svarer til en virkningsgrad på ca. 95 % efter nedre brændværdi.

### Mellemstore kedler

Virkningsgraden for brændselsfyrede kedelanlæg til rumopvarmning med en nominel nytteeffekt  $>70$  kW og  $\leq 400$  kW og brændselsfyrede kedelanlæg til kombineret rum- og brugsvandsopvarmning med en nominel nytteeffekt  $>70$  kW og  $\leq 400$  kW skal ifølge EU's ecodesign forordning nr. 813/2013 som minimum være:

- 86 % ved 100 % af den nominelle nytteeffekt
- 94 % ved 30 % af den nominelle nytteeffekt

Virkningsgraderne er baseret på øvre brændværdi. Det svarer til en virkningsgrad på henholdsvis ca. 95 % og ca. 104 % efter nedre brændværdi.

Der findes ikke mærkningsordning for mellemstore kedler.

## Store kedler

I Bygningsreglement 2018, kapitel 12, § 308 står der:

”Store olie- og gasfyrede centralvarmekedler med en nominel ydelse på mere end 400 kW, må højst have et røggastab på 7 pct. ved fuldlast og skal være forsynet med røggaskøler, hvis tempe-raturforholdene i det tilsluttede varmeanlæg er egnet til dette”.

Der findes ikke mærkningsordning for store kedler.

## Energibesparelse

I enfamilieshuse er de typiske tiltag udskiftning af eksisterende oliekedel.

### Udskiftning af eksisterende oliekedel

Nedenstående skema viser den omtrentlige energibesparelse, der kan opnås ved udskiftning af ek-sisterende oliekedel til kondenserende olikeedel afhængigt af husets byggeår og isoleringsgrad.

Besparelserne fremkommer ved at den kondenserende oliekedel har en årsvirkningsgrad på ca. 100 %, mens de eksisterende olikeedler har betydeligt lavere årsvirkningsgrader.

Eksisterende opvarmningsform	Fjernvarme				
	Byggeår				
		1930 - 1959	1960 - 1979	1980 - 1999	2000 - 2005
Isolering	Gulv: ca. 50 mm Hulmur: Ingen Loft: ca. 30 mm	Gulv: ca. 50 mm Hulmur: ca. 75 mm Loft: ca. 100 mm	Gulv: ca. 150 mm Hulmur: ca. 100 mm Loft: ca. 200 mm	Gulv: ca. 200 mm Hulmur: ca. 125 mm Loft: ca. 250 mm	
Vinduer	Forsats/koblet	Termoruder	Termoruder	Energiruder	
Oliekedel før 1977	Areal m <sup>2</sup>	Energibesparelse i kWh/år			
	100	11.000	10.800	10.100	8.000
	140	11.700	11.100	10.300	8.000
	180	12.400	11.600	10.500	8.100
Oliekedel efter 1977	100	4.400	4.200	3.700	2.900
	140	4.900	4.500	3.800	2.900
	180	5.400	4.800	4.000	3.000
Oliekedel efter 1995	100	2.700	2.600	2.200	1.700
	140	3.000	2.700	2.300	1.800
	180	3.300	3.000	2.500	1.800

Tabel 18. Besparelser ved udskiftning af eksisterende oliekedel

### Eksempel 7

Et hus fra 1965 på 140 m<sup>2</sup>, der opvarmes med en oliekedel fra efter 1977, kan spare ca. 4.500 kWh om året ved at konvertere til en kondenserende oliekedel.

### Eksempel 8

Samme hus og kedel som i eksempel 1, men gulvet, hulumuren og loftet er efterisoleret, så det næsten opfylder kravene i Bygningsreglementet for huse opført fra 1980 til 1999. Den år-lige energibesparelse ved at skifte til en kondenserende oliekedel udgør her 3.800 kWh.

## Vejledende årsvirkningsgrader for oliefyrede kedler

Hvis den eksisterende kedels virkningsgrad ikke kendes, så kan nedenstående årsnyttevirkninger anvendes. Årsnyttevirkningerne er baseret på nedre brændværdi.

Olieforbrug i liter pr år	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	4.000
Oliekedel fra før 1977	-	57	67	73	77	82
Oliekedel fra efter 1977	76	85	88	89	91	92
Oliekedel fra efter 1991	83	87	92	92	93	93
Kondenserende oliefyret kedel	100					

Tabel 19. Vejledende årsvirkningsgrader for oliefyrede kedler

### Eksempel 9

I et parcelhus på 130 m<sup>2</sup> med et olieforbrug på 2.400 liter pr. år konverteres en ældre oliekedel fra før 1977 til en kondenserende oliekedel. Parcelhusets varmesystem er en kombination af radiatorer og gulvvarme.

Den samlede årsnyttevirkning i det eksisterende kedelanlæg er ved hjælp af ovenstående tabel 19 skønnet til 73 % svarende til, at husets faktiske varmebehov er 17.500 kWh (2.400 l/år · 10 kWh/liter · 73 %/100).

Det årlige elforbrug til oliekedlen er skønnet til 579 kWh.

Den nye kondenserende oliekedel har en årsnyttevirkning på 100 %. Dette svarer til et årligt energiforbrug til opvarmning med olie på i alt 17.500 kWh. Det årlige elforbrug til kedlen er 253 kWh.

Den årlige besparelse bliver således:

$$24.000 \text{ kWh} + 579 \text{ kWh} - 17.500 \text{ kWh} + 253 \text{ kWh} = 6.800 \text{ kWh}$$

## Udførelse

### Dimensionering af oliekedler

Kedlen skal passe til varmebehovet og til varmeanlægget. For at varmeanlægget er velegnet til kondenserende drift, skal det være dimensioneret til lave temperaturer.

Kedler med stort vandindhold kan arbejde med små vandstrømme og vil kunne køre godt med stor afkøling i anlægget. Kedler med lille vandindhold dimensioneres til en lille afkøling på 10 – 15°C.

Samspelet mellem kedel, bygning og varmeanlæg spiller altid en vigtig rolle, og overdimensionering kan være kritisk.

Ved lette kedler opstår pendlende drift, hvis vandstrømmen i anlægget ikke er stor nok.

## Montage

### Anlæg i enfamilieshuse

#### Renovering

Den eksisterende oliekedel kobles fra varmeanlægget og varmtvandsbeholderen. Kedlen demonteres. Det samme gælder varmtvandsbeholderen, hvis den udskiftes.

Oliekedlen må ikke placeres i rum med meget støv, frostrisiko, fugt, brandfarlige væsker eller rum, der fungerer som fælles adgangsvej til flere boliger.

Kedlen skal stilles, så aftrækket kan placeres korrekt, hvad enten der er tale om balanceret aftræk eller splitaftræk. Den nye oliekedel og den evt. nye varmtvandsbeholder monteres. Oliekedlen og varmtvandsbeholderen forbindes. Der etableres nyt aftræk. Olieledningen sluttes til den nye oliekedel. Koldt vand sluttes til varmtvandsbeholderen. Varmeanlægget kobles til oliekedlen. Oliekedlen tilsluttes el.

## **Store anlæg (etageejendomme, kontorer m.m.)**

### **Renovering**

Den eksisterende oliekedel kobles fra aftrækket (skorstenen), varmeanlægget og varmtvandsbeholderen. Oliekedlen demonteres. Det samme gælder varmtvandsbeholderen, hvis den skal udskiftes.

Oliekedlen må ikke placeres i rum med meget støv, frostrisiko, fugt og brandfarlige væsker, eller rum, der fungerer som fælles adgangsvej til flere boliger.

Hvis den eksisterende skorsten skal anvendes sammen med den nye kedel, skal den forsynes med en foring, der hindrer fugten i at nå murværket i skorstenen. I forbindelse med kondenserende drift skal skorstenes og aftrækssystemers bund være forsynet med afløb, som er i stand til at bortlede kondensatet fra skorstene og aftrækssystemer.

Den nye oliekedel og eventuelt den nye varmtvandsbeholder monteres, hvorefter gaskedlen tilsluttes el.

Installationen leve op til Bygningsreglementet.

Installationen skal udføres, så den lever op til gældende regler i forskrifter for vand- og varmeinstallationer, herunder DS 469 for varmeanlæg, DS 452 for isolering af tekniske installationer og DS 439 for vandinstallationer. Bemærk at der skal være plads til betjening, rensning og besigtigelse af anlægget jf. AT-Vejledning B-4-8.

### **Indregulering**

I Bygningsreglementets vejledning om termisk indeklima og installationer til varme- og køleanlæg står der:

Ved planlægning og udførelse af installationer til varme- og køleanlæg skal DS 469 Varme- og køleanlæg i bygninger overholdes. DS 469 omfatter alle typer varme- og køleanlæg, der har til formål at tilføre rum og bygninger samt tilknyttede systemer varme eller køling.

## **Funktionsafprøvning**

I henhold til Bygningsreglementet kap 19 § 391 skal der gennemføres en funktionsafprøvning af varme- og køleanlæg før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at varme- og køleanlæg-gene overholder bygningsreglementets krav til indregulering og styring.

Indregulering og styring af varme- og køleanlæg omfatter vand- eller luftstrømme i anlægget, automatiske reguleringsystemer, tidsstyring, temperaturstyring og lignende behovsstyringer.

## **Eftersyn**

Kedlen skal kontrolmåles og evt. renses en gang om året af skorstensfejer eller en oliefyrsmontør. Det anbefales at få foretaget et årligt serviceeftersyn.





Figur 9. Biomassekedel

Kedler på op til 500 kW til fyring med fast brændsel, der installeres i eller i tilknytning til bygninger, skal mindst opfylde kravene til virkningsgrad for kedelklasse 5 i DS/EN 303-5 Centralvarmekedler til fast brændsel, manuelt eller automatisk fyrede med en nominel varmeeffekt på op til 500 kW (Bygningsreglement 2018, kapitel 12, § 306).

Ydelse, nominel og lavlast [kW]	Mindste virkningsgrad klasse 5 [%]
5	87,70
20	88,30
50	88,70
100	89,00
500	89,00

Tabel 20. Krav til virkningsgrad for kedelklasse 5 i DS/EN 303-5



I enfamiliehuse er de typiske tiltag konvertering til biomassekedel fra oliekedel eller elvarme eller udskiftning af eksisterende fjernvarmeunit.

## Konvertering til biomassekedel fra oliekedel eller elvarme

Nedenstående skema viser den omtrentlige energibesparelse, der kan opnås ved konvertering til gaskedel fra oliekedel eller elvarme afhængigt af husets byggeår og isoleringsgrad.

Besparelserne fremkommer ved at den automatiske pillekedel har en årsvirkningsgrad på ca. 85 % mens ældre oliekedler har lavere årsvirkningsgrader.

Besparelsen ved konvertering fra elvarme er negativ, da den automatiske pillekedel en lavere års-virkningsgrad end elvarme, som er 100 %.

Eksisterende opvarmningsform	Ny automatisk pillekedel				
	Byggeår				
		1930 - 1959	1960 - 1979	1980 - 1999	2000 - 2005
Isolering		Gulv: ca. 50 mm Hulmur: Ingen Loft: ca. 30 mm	Gulv: ca. 50 mm Hulmur: ca. 75 mm Loft: ca. 100 mm	Gulv: ca. 150 mm Hulmur: ca. 100 mm Loft: ca. 200 mm	Gulv: ca. 200 mm Hulmur: ca. 125 mm Loft: ca. 250 mm
Vinduer		Forsats/koblet	Termoruder	Termoruder	Energiruder
Oliekedel før 1977	Areal m <sup>2</sup>	Energibesparelse i kWh/år			
	100	8.500	8.600	8.800	7.100
	140	8.300	8.500	8.700	7.000
	180	8.100	8.300	8.600	7.000
Oliekedel efter 1977	100	1.900	2.000	2.400	2.000
	140	1.500	1.800	2.300	2.000
	180	1.200	1.600	2.100	1.900
Oliekedel efter 1995	100	400	600	1.100	1.000
	140	-200	300	1.000	1.000
	180	-700	-100	700	800
Elvarme	100	-3.600	-3.100	-1.900	-1.300
	140	-4.800	-3.800	-2.200	-1.400
	180	-6.000	-4.700	-2.700	-1.600

Tabel 21. Besparelser ved konvertering til biomassekedel fra oliekedel eller elvarme

### Eksempel 10

Et hus fra 1965 på 140 m<sup>2</sup>, der opvarmes med en oliekedel fra efter 1977, kan spare ca. 5.600 kWh om året ved at konvertere til biomasse.

### Eksempel 11

Samme hus og kedel som i eksempel 1, men gulvet, hulmuren og loftet er efterisoleret, så det næsten opfylder kravene i Bygningsreglementet for huse opført fra 1980 til 1999. Den år-lige energibesparelse ved at skifte til fjernvarme udgør her 4.500 kWh.

## Vejledende årvirkningsgrader for oliefyrede kedler og biomassekedler

Hvis den eksisterende kedels virkningsgrad ikke kendes, så kan nedenstående årsnytttevirkninger anvendes. Årsnytttevirkningerne er baseret på nedre brændværdi.

Olieforbrug i liter pr år	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	4.000
Oliekedel fra før 1977	-	57	67	73	77	82
Oliekedel fra efter 1977	76	85	88	89	91	92
Oliekedel fra efter 1991	83	87	92	92	93	93
Manuelt fyret brændekedel	75					
Automatisk fyret pillekedel	85					

Tabel 22. Vejledende årvirkningsgrader for oliefyrede kedler og biomassekedler

### Eksempel 12

I et parcelhus på 130 m<sup>2</sup> med et olieforbrug på 2.400 liter pr. år konverteres en ældre oliekedel fra før 1977 til en automatisk fyret pillekedel. Parcelhusets varmesystem er en kombination af radiatorer og gulvvarme.

Den samlede årsnytttevirkning i det eksisterende kedelanlæg er ved hjælp af ovenstående tabel 22 skønnet til 73 % svarende til, at husets faktiske varmebehov er 17.500 kWh (2.400 l/år · 10 kWh/liter · 73 %/100).

Det årlige elforbrug til oliekedlen er skønnet til 579 kWh.

Den nye automatisk fyrede pillekedel har en årsnytttevirkning på 85 %. Dette svarer til et årligt energiforbrug til opvarmning med træpiller på i alt 20.600 kWh. Det årlige elforbrug til kedlen er 250 kWh.

Den årlige besparelse bliver således:

$$24.000 \text{ kWh} + 579 \text{ kWh} - 20.600 \text{ kWh} + 250 \text{ kWh} = 3.700 \text{ kWh}$$

## Udførelse

### Dimensionering af biomassekedler

Kedlen skal passe til varmebehovet og til varmeanlægget. Nedenfor ses dimensioneringsmetoden for de to kedeltyper:

- Manuelt fyret brændekedel
- Automatisk fyret pillekedel

### Manuelt fyret brændekedel

Brændekedlen med akkumuleringstank skal dimensioneres efter, at der fx planlægges 2 påfyldninger med brænde i døgnet i den koldeste periode. Forbrændingskammeret i kedlen skal være stort nok til at rumme halvdelen af døgnforbruget. Kedlen skal fyres ved 100 % last, hvilket giver den bedste virkningsgrad og den laveste miljøbelastning til omgivelserne.

Den energimængde, der ikke kan afleveres til boligen, bliver afsat i akkumuleringstanken. Denne skal have et vandindhold, så vandtemperaturen ved 1 påfyldning hæves fx fra 50°C til 90°C. Boligen får derefter varmforsyning fra tanken, når brændet i kedlen er udbrændt. Denne dimensioneringsmetode betyder, at kedlen ofte har en højere ydelse (i kW), end hvis det er en automatisk pillefyret kedel.

## Automatisk fyret pillekedel

Den automatiske pillekedel skal ikke have akkumuleringstank. Den kører ligesom et oliefyr efter en driftstermostat, der kalder på varme, når kedelvandet er faldet til en bestemt temperatur. Ydelsen skal afpasses til bygningens varmetab.

Samspelet mellem kedel, bygning og varmeanlæg spiller altid en vigtig rolle, og overdimensionering kan være kritisk for en automatisk fyret pillekedel.

Der må kun opstilles godkendte kedler efter EN 303-5, klasse 3. Løse pillebrændere skal være godkendt efter EN 15270. Godkendte kedler og brændere kan findes på [www.teknologisk.dk/911](http://www.teknologisk.dk/911). Alle installationer af kedler skal overholde reglerne fastsat i brændeovnsbekendtgørelse (nr. 49 16/01/2018).

Det er et krav for nyinstallerede kedler, at producenten skal udlevere en prøvningsattest til ejeren. Denne fastsætter, hvilket fyringsprincip kedlen er godkendt til. Det er kun tilladt at fyre efter det fyringsprincip, som kedlen er godkendt til.

## Montage

Den eksisterende oliekedel kobles fra varmeanlægget og varmtvandsbeholderen. Kedlen demonteres. Det samme gælder varmtvandsbeholderen, hvis den udskiftes.

Biomassekedlen må ikke placeres i rum med meget støv, frostrisiko, fugt, brandfarlige væsker eller rum, der fungerer som fælles adgangsvej til flere boliger.

Kedlen skal stilles, så aftrækket kan placeres korrekt, hvad enten der er tale om balanceret aftræk eller splitaftræk.

Den nye biomassekedel og den evt. nye varmtvandsbeholder monteres. Biomassekedlen og varmtvandsbeholderen forbindes. Der etableres nyt aftræk. Pilletransportøren sluttes til den nye biomassekedel. Koldt vand sluttes til varmtvandsbeholderen. Varmeanlægget kobles til biomassekedlen. Biomassekedlen tilsluttes el.

Installationen skal udføres, så den lever op til gældende regler i forskrifter for vand- og varmeinstallationer, herunder DS 469 for varmeanlæg, DS 452 for isolering af tekniske installationer og DS 439 for vandinstallationer. Bemærk at der skal være plads til betjening, rensning og besigtigelse af anlægget jf. AT-Vejledning B-4-8.

## Indregulering

I Bygningsreglementets vejledning om termisk indeklima og installationer til varme- og køleanlæg står der:

Ved planlægning og udførelse af installationer til varme- og køleanlæg skal DS 469 Varme- og køleanlæg i bygninger overholdes. DS 469 omfatter alle typer varme- og køleanlæg, der har til formål at tilføre rum og bygninger samt tilknyttede systemer varme eller køling.

## Funktionsafprøvning

I henhold til Bygningsreglementet kap 19 § 391 skal der gennemføres en funktionsafprøvning af varme- og køleanlæg før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at varme- og køleanlæg-gene overholder bygningsreglementets krav til indregulering og styring.

Indregulering og styring af varme- og køleanlæg omfatter vand- eller luftstrømme i anlægget, automatiske reguleringssystemer, tidsstyring, temperaturstyring og lignende behovsstyringer.

## Eftersyn

Kedlen skal kontrolmåles og evt. renses en gang om året af skorstensfejer eller en tekniker. Det anbefales at få foretaget et årligt serviceeftersyn.

## Elvarme

Det er ikke tilladt at etablere elvarme som hovedopvarmningsform i nye huse eller eksisterende huse med vandbårent centralsystem.

I henhold til Bekendtgørelse nr. 904 af 24/06/2016 om tilslutning m.v. til kollektive varmforsyningsanlæg kan der dispenseres for forbuddet. Det gælder eksempelvis:

- Bygninger, hvor omstilling til kollektiv varmforsyning på grund af nødvendige, større installations- eller bygningsmæssige ændringer efter kommunalbestyrelsens skøn vil være uforholdsmæssig bekostelig
- Bygninger, der er indrettet med et vedvarende energianlæg, som eksempelvis solvarmeanlæg, varmepumper, vindmøller, biogasanlæg, brintanlæg, komposteringsanlæg, vandkraftanlæg, træfyr eller halmfyr, og hvor anlægget - eller anlæggene tilsammen - efter kommunalbestyrelsens skøn har en kapacitet, som kan dække mere end halvdelen af bygningens energiforbrug til opvarmning og forsyning med varmt vand
- Bygninger, der ikke er beregnet til at være konstant opvarmet i fyringssæsonen. Eksempelvis sommerhuse, fritidshuse, kolonihavehuse og lignende
- Eksisterende eller ny lavenergi bebyggelse



Figur 10. Elvarme

Elvarme er pga. de høje afgifter på elektricitet den dyreste form for opvarmning. Det kan være værd at overveje at skifte til anden opvarmning, fx en varmepumpe.

## Rumtemperatur efter behov

I opholdsrum, køkken og badeværelse anbefales 20 °C. Hold gerne lavere temperatur i andre rum.

Elvarmen bør slukkes helt i rum, der ikke anvendes, med mindre det er nødvendigt at frostsikre.

De fleste termostater på radiatorerne er forsynet med en gradskala, men som regel svarer den ikke til rumtemperaturen. Indstilling skal ske ved at måle rumtemperaturen med særskilt termometer.

## Nat- og dagsænkning

Temperaturen bør sænkes 5 - 6 °C om natten – og i dagtimerne, hvis der ikke er nogen hjemme.

Hvis der ikke er natsænkingsautomatik på radiatorerne, bør det installeres, fx et kontaktur og en centralt placeret termostat.

## Zoneregulering

Med zoneregulering kan varmen i forskellige rum styres efter et bestemt mønster fx varme i køkken morgen og aften og lavere temperatur resten af dagen. Alt efter hvordan rummene benyttes, kan effektiv zoneregulering medføre en stor elbesparelse.

## Termostat

Mange ældre elradiatorer (fra 1970'erne eller 1980'erne) har en såkaldt "bimetal-termostat", som ikke fungerer ret godt. Det giver både et større elforbrug og en dårligere komfort, fordi temperaturen svinger meget. Disse bør udskiftes til nye elradiatorer.

# Energibesparelse

## Natsænkning

Etablering af nat- og weekendsænkning giver skønsmæssigt en besparelse på 2 - 3 % af forbruget til rumopvarmning i bygninger til beboelse.

Nat- og weekendsænkningens energibesparende effekt afhænger af:

- Bygningens termiske træghed
- Med hvor mange grader temperaturen sænkes
- I hvor lang tid sænkningen varer

Eksisterende opvarmningsform	Fjernvarme				
	Byggeår				
		1930 - 1959	1960 - 1979	1980 - 1999	2000 - 2005
Isolering	Gulv: ca. 50 mm Hulmur: Ingen Loft: ca. 30 mm	Gulv: ca. 50 mm Hulmur: ca. 75 mm Loft: ca. 100 mm	Gulv: ca. 150 mm Hulmur: ca. 100 mm Loft: ca. 200 mm	Gulv: ca. 200 mm Hulmur: ca. 125 mm Loft: ca. 250 mm	
Vinduer	Forsats/koblet	Termoruder	Termoruder	Energiruder	
Elvarme	Areal m <sup>2</sup>	Energibesparelse i kWh/år			
	100	500	400	200	100
	140	700	500	300	200
	180	900	700	400	200

Tabel 23. Besparelse ved natsænkning af elvarme

### Eksempel 13

Et hus fra 1965 på 140 m<sup>2</sup>, der opvarmes med en elvarme, kan spare ca. 500 kWh om året ved at etablere natsænkning.

### Eksempel 14

Samme hus og opvarmningsform som i eksempel 13, men gulvet, hulmuren og loftet er efterisoleret, så det næsten opfylder kravene i Bygningsreglementet for huse opført fra 1980 til 1999. Den årlige energibesparelse ved at etablere natsænkning udgør her 300 kWh.

## Udførelse

### Dimensionering af elvarme

Elvarmeanlægget skal passe til varmebehovet.

Det er vigtigt at installere en elradiator med den bedst muligt termostat, så elvarmen kan udnyttes bedst muligt. Der bør vælges elektroniske termostater.

## Montage

### Eksisterende installation

Elradiatorer er en simpel form for opvarmning, da der ikke behøves andre installationer end en stikkontakt.

Elradiatorer kan også tilsluttes husets faste installation, så man undgår at skulle bruge en stikkontakt til hver radiator. Dette arbejde skal udføres af en autoriseret elinstallatør.

Hvis en eksisterende elradiator skal udskiftes, afhænger udskiftningen og hvem der må foretage den således af hvordan den er monteret.

### Ny installation

Den nye radiator monteres enten i en stikkontakt eller den tilsluttes husets faste installation. Sidstnævnte arbejde skal udføres af en autoriseret elinstallatør.

## Funktionsafprøvning

I henhold til Bygningsreglementet kap 19 § 391 skal der gennemføres en funktionsafprøvning af varme- og køleanlæg før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at varme- og køleanlæg-gene overholder bygningsreglementets krav til indregulering og styring.

Indregulering og styring af varme- og køleanlæg omfatter vand- eller luftstrømme i anlægget, automatiske reguleringssystemer, tidsstyring, temperaturstyring og lignende behovsstyringer.

## Eftersyn og vedligehold

Elradiatorer kræver ingen vedligeholdelse. De bør dog tørres af med en klud af og til, da støv brændes af og medfører en ubehagelig lugt. Elradiatorer må ikke dækkes til på nogen måde, da der kan være fare for brand.



# ENERGIHÅNDBOGEN

# 2019



## VARMEPUMPER



*Energihåndbogen er udgivet med støtte fra Grundejernes Investeringsfond*



# VARMEPUMPER

## Indhold

<b>Varmepumper</b>	<b>37</b>
<b>Væske-vandvarmepumpe</b>	<b>38</b>
Valg af væske-vandvarmepumpe	38
Vejledende størrelse (varmepumpeeffekt)	39
Energibesparelse	40
Udførelse	40
Dimensionering	40
Jordvarme	41
Lodrette jordslanger	41
Montage	41
Jordvarme	41
Lodrette jordslanger	42
Funktionsafprøvning	42
Eftersyn	42
<b>Luft-vandvarmepumpe</b>	<b>43</b>
Valg af luft-vandvarmepumpe	43
Vejledende størrelse (varmepumpeeffekt)	44
Energibesparelse	44
Udførelse	45
Dimensionering	45
Montage	46
Funktionsafprøvning	46
Eftersyn	46
<b>Luft-luftvarmepumpe</b>	<b>47</b>
Valg af luft-luftvarmepumpe	47
Energibesparelse	48
Udførelse	48
Dimensionering	48



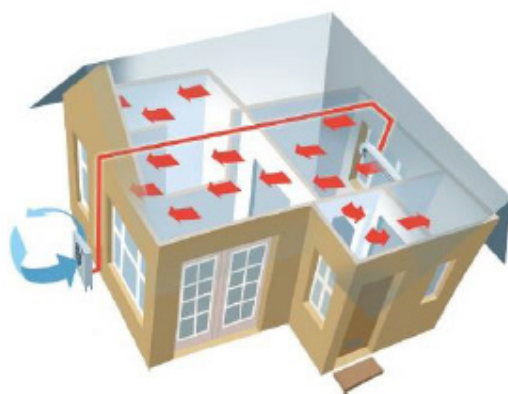
Montage	49
Funktionsafprøvning	49
Eftersyn	49
<b>Brugsvandsvarmepumpe</b>	<b>50</b>
Valg af brugsvandsvarmepumpe	50
Energibesparelse	50
Udførelse	51
Dimensionering	51
Montage	52
Funktionsafprøvning	52
Eftersyn	52
<b>Varmepumper – kombinerede med andre anlæg</b>	<b>53</b>
Indledning	53
<b>Boligventilationsvarmepumpe</b>	<b>53</b>
Valg af boligventilationsvarmepumpe	54
Energibesparelse	55
Udførelse	56
Dimensionering	56
Montage	56
Funktionsafprøvning	57
Eftersyn	58
<b>Gashybridvarmepumpe og add-on varmepumpe</b>	<b>59</b>
Valg af gashybridvarmepumpe	59
Valg af add-on varmepumpe	60
Vejledende størrelse (varmepumpeeffekt)	60
Energibesparelse	61
Udførelse	63
Dimensionering	63
Montage	65
Funktionsafprøvning	67
Eftersyn	67



Væske-vand varmepumpe (jordvarme)



Luft-vand varmepumpe



Luft-luft varmepumpe

I huse med ældre olie- eller gaskedler beliggende i et område uden tilslutningspligt til fjernvarme eller naturgas er det ofte en mulighed at installere en væske-vandvarmepumpe (jordvarme) eller en luft-vandvarmepumpe.

I bygninger, der opvarmes med el — fx sommerhuse eller parcelhuse — bør det overvejes at installere en luft-luftvarmepumpe. Det er ofte det mest økonomiske valg, hvis huset ikke har et vandbårent varmesystem, ikke er fuldt opvarmet i fyringssæsonen eller ligger uden for områder med tilslutningspligt til gas eller fjernvarme.

I huse med naturlig ventilation, hvor den primære varmekilde er dyr, fx i form af elvarme, ældre olie eller gaskedler bør det overvejes at installere en brugsvandsvarmepumpe.

## Væske-vandvarmepumpe

En væske-vandvarmepumpe (jordvarme) optager den solenergi, der lagres i jorden, via en jordvarmeslange, som er gravet ned på grunden og en varmepumpedel (fordamper) indenfor. Solenergien løftes i varmepumpen til et højere temperaturniveau til brug for opvarmning og varmt brugsvand. Dette temperaturløft bruger el og bør være så lavt så mulig.

En væske-vandvarmepumpe er typisk 10–15 % mere energieffektiv end en luftvandvarmepumpe (se senere). Anlægget koster mere, da der skal nedgraves jordvarmeslanger, og det kræver et vist jordareal. Er der ikke nok jordareal, er luftvandvarmepumpen et godt alternativ.

Varmepumpens årseffektivitet betegnes SCOP (sæson effekt faktor). SCOP-værdien definerer varmepumpens ydelse i løbet af året og medregner sæsonbestemte variationer.

En SCOP-værdi på 3,95 betyder fx, at varmepumpen i gennemsnit leverer 3,95 gange så meget energi end den elektriske energi, den bruger.

## Valg af væske-vandvarmepumpe

Det anbefales, at huset efterisoleres før varmepumpen dimensioneres, medmindre det er relativt nyt eller er blevet efterisoleret for nyligt. Optimal drift opnås ved en dimensionering, der matcher husets dimensionerende varmetab.

En væske-vandvarmepumpe giver den bedste energieffektivitet i et hus med lavtemperaturvarmeafgiver som fx gulvvarme eller store radiatorflader. Det bør ikke installeres i huse med radiatoranlæg med høje fremløbstemperaturer.

Varmepumpens SCOP-værdi skal ifølge EU's ecodesign forordning nr. 813/2013 som minimum leve op til nedenstående krav:

Varmepumpetype	SCOP-værdi
Væske-vandvarmepumpe til gulvvarme	3,33
Væske-vandvarmepumpe til radiatorer	2,95

Ovenstående SCOP-værdier svarer til A+ mærkede varmepumper.

Ved at vælge A++ mærkede væske-vandvarmepumper, kan der opnås endnu højere SCOP-værdier og dermed endnu større energibesparelser.

A++ mærkede varmepumper skal som minimum leve op til nedenstående krav:

Varmepumpetype	SCOP-værdi
Væske-vandvarmepumpe til gulvvarme	3,95
Væske-vandvarmepumpe til radiatorer	3,33

På Energistyrelsens varmepumpeliste findes de bedste varmepumper på det danske marked. Varmepumperne på listen overholder alle lovkrav og er testet af et uafhængigt testlaboratorium.

Der bør overvejes, at vælge en frekvensreguleret varmepumpe, der kan køre i dellast med længere driftsperioder for at få størst effektivitet og længst levetid.

## Vejledende størrelse (varmepumpeeffekt)

Varmepumpens størrelse bestemmes ud fra bygningens varmetab. Typiske varmetab ses i skemaet nedenfor med udgangspunkt i husets byggeår.

Hvis huset er energirenoveret på et senere tidspunkt, bruges tallene 1-2 kolonner længere til højre for det oprindelige byggeår – afhængigt af omfanget af gennemførte energiforbedringer.

En varmepumpe dimensioneres typisk til at dække 80-85 % af husets varmetab. Den angivne varmepumpeeffekt nedenfor er derfor 82 % af husets varmetab.

Byggeår	1930 - 1959		1960 - 1979		1980 - 1999		2000 - 2005	
	Husets energibehov	Skønnet varmepumpeeffekt	Husets energibehov	Skønnet varmepumpeeffekt	Husets energibehov	Skønnet varmepumpeeffekt	Husets energibehov	Skønnet varmepumpeeffekt
	kW		kW		kW		kW	
100	6,9	5,7	5,7	4,7	3,7	3,0	3,1	2,5
140	9,6	7,9	7,5	6,2	4,9	4,0	4,4	3,7
180	12,4	10,2	9,4	7,7	6,1	5,0	5,7	4,4

### Eksempel 1

Et hus fra 1965 på 140 m<sup>2</sup> har skønsmæssigt et energibehov på 7,5 kW. Den nødvendige varmepumpeeffekt er 6,2 kW.

### Eksempel 2

Hvis gulvet, hulturen og loftet er efterisoleret, så det næsten opfylder kravene i Bygningsreglementet for huse opført fra 1980 til 1999, vil energibehovet være 4,9 kW. Den nødvendige varmepumpeeffekt er 4,0 kW.

## Energibesparelse

Nedenstående skema viser den omtrentlige energibesparelse, der kan opnås ved konvertering til væskevandvarmepumpe fra olie- eller gaskedel afhængigt af husets byggeår og isoleringsgrad.

Eksisterende opvarmningsform	Ny væske-vand varmepumpe				
	Byggeår				
		1930 - 1959	1960 - 1979	1980 - 1999	2000 - 2005
Isolering	Gulv: ca. 50 mm Hulmur: Ingen Loft: ca. 30 mm	Gulv: ca. 50 mm Hulmur: ca. 75 mm Loft: ca. 100 mm	Gulv: ca. 150 mm Hulmur: ca. 100 mm Loft: ca. 200 mm	Gulv: ca. 200 mm Hulmur: ca. 125 mm Loft: ca. 250 mm	
Vinduer	Forsats/koblet	Termoruder	Termoruder	Energiruder	
Oliekedel før 1977	Areal m <sup>2</sup>	Energibesparelse i kWh/år			
	100	21.300	19.300	13.800	10.600
	140	26.500	22.100	15.600	11.600
	180	32.000	26.100	17.300	12.500
Oliekedel efter 1977	100	16.900	14.800	9.600	7.000
	140	22.200	17.700	11.200	7.800
	180	27.400	21.700	12.800	8.500
Oliekedel efter 1995	100	22.900	20.900	15.400	12.200
	140	28.200	23.700	17.200	13.100
	180	33.800	27.700	18.900	14.000
Elvarme	100	18.500	16.500	11.400	14.000
	140	23.700	19.200	13.000	9.600
	180	29.000	23.200	14.600	10.300

### Eksempler på brug af skemaet:

#### Eksempel 3

Et hus fra 1965 på 140 m<sup>2</sup>, der opvarmes med en oliekedel fra efter 1977, kan spare ca. 17.700 kWh om året ved at konvertere til en væske-vandvarmepumpe.

#### Eksempel 4

Samme hus og kedel som i eksempel 1, men gulvet, hulumuren og loftet er efterisoleret, så det næsten opfylder kravene i Bygningsreglementet for huse opført fra 1980 til 1999. Den årlige energibesparelse ved at skifte til en væske-vandvarmepumpe udgør her 11.200 kWh.

## Udførelse

Før varmepumpen dimensioneres, bør oplagte energibesparende foranstaltninger som fx hulmursisolering, isolering af loft, udskiftning af ruder eller vinduer og tætning omkring vinduer udføres.

## Dimensionering

Varmepumpen skal dimensioneres, så varme- og varmtvandsbehovet for det aktuelle hus dækkes.

Varmepumpen inkl. backup i form af elvarme dimensioneres af hensyn til driften til at dække 80–85 % af husets dimensionerende varmebehov ved -12 °C, hvilket betyder, at den dækker 95–98 % af det årlige varmeforbrug. En for lille varmepumpe vil kræve alt for meget tilskudsenergi (som regel el), mens en for stor varmepumpe vil få alt for mange start/stopsekvenser, hvilket går ud over anlæggets driftsøkonomi og levetid. Frekvensregulerede

varmepumper vil dog kunne køre i længere perioder i delast til gavn for levetid og effektivitet



Væske-varmepumpe

Husets varmesystem (radiatorer og eller gulvvarme) skal altid vurderes, inden valget af varmepumpe træffes. Fremløbstemperaturen til varmeanlægget skal være så lav som mulig. For hver grad fremløbstemperaturen hæves, falder varmepumpens effektivitet med 1–3 %. Det betyder i praksis, at en stigning fra 45 til 55 °C kan give et fald i normeffektiviteten (årsnyttevirkningen) på ca. 25 %. Med andre ord skal det sikres, at radiatorerne er tilstrækkeligt store til at kunne sikre en lav fremløbstemperatur.

## Jordvarme

Som udgangspunkt skal der bruges 25–35 meter jordslange pr. kW dimensionerende varmetab. Det svarer ca. til 25-40 m<sup>2</sup> jordareal pr. kW varmetab for huset.

## Lodrette jordslanger

De normale dimensioneringsregler, der benyttes i Norge og Tyskland, er følgende:  
Dimensionerende energioptag: 35 W/m.

Energioptaget kan typisk svinge mellem 20 W/m for tørt sand og op til 65 W/m i fugtig jord. Længden af borehullet varierer fra 20 til 200 meter.

Ved bestemmelse af jordforhold kan man som start søge oplysninger på GEUS's hjemmeside:

<http://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/vurdering-af-jordens-varmeled-ningsevne/>

## Montage

### Jordvarme

Som regel nedgraves jordslangerne ved at grave en rende i haven, lægge jordslangen ned i renden og herefter dække den til. Renderne med jordslangerne ligger ”i slag” – dvs. i tætte parallelle render. På den måde fylder opgravningsområdet mindst muligt.

En anden metode er nedpløjning. Her pløjes renden op, slangen lægges ned i jorden, og renden tildækkes i én samtidig proces med en særlig maskine, der løsner jorden, så jordslangen nemt kan

presses ned i renden, før jorden i renden til sidst komprimeres.

Slangen nedgraves i 80-120 cm dybde med ca. 1,25 meter mellem hvert slag.

Varmepumpen placeres som regel på samme sted, som den tidligere olie- eller gaskedel har stået – i et bryggers eller et fyrrum. De nedgravede slanger forbindes til varmpumpen. Det samme gør husets varmesystem og rør til varmt brugsvand. Det kolde vand forbindes til varmtvandsbeholderen.

For at undgå kondens skal jordvarmeslangerne isoleres inde i huset med rørisolering beregnet til kolde rør.

Følg altid varmpumpens installationsvejledning.

Det samlede varmpumpesystem sættes i drift, og betjeningspanel indstilles. Husets beboere skal have demonstreret, hvordan anlægget betjenes, og have udleveret en manual.

## Lodrette jordslanger

Etableringen af et lodret anlæg foregår ved, at en brøndborer borer et eller flere huller. Boremotoden afhænger af jordbundsforholdene.

Ved boring i løse aflejringer er det nødvendigt at fore borehullet, hvilket normalt gøres med en bentonit/cementblanding. Ved boring gennem forskellige grundvandsmagasiner er det nødvendigt at tætte boringen ned gennem de lag, der adskiller de forskellige grundvandsmagasiner.

Efter at slangen er monteret, skal der foretages en test af den lodrette slanges energioptagningsevne. Dette gøres ved, at man foretager en termisk test af varmeoptageren. Er varmeoptagevarmeoptagerens energioptagningsevne ikke god nok, skal der bores endnu et hul.

I Bekendtgørelse om jordvarmeanlæg (<https://www.retsinformation.dk/forms/R0710.aspx?id=186984>) ses regler i forbindelse med etablering af lodrette jordslanger.

## Funktionsafprøvning

I henhold til Bygningsreglementet kap 19 § 391 skal der gennemføres en funktionsafprøvning af varme- og køleanlæg før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at varme- og køleanlæggene overholder bygningsreglementets krav til indregulering og styring.

Indregulering og styring af varme- og køleanlæg omfatter vand- eller luftstrømme i anlægget, automatiske reguleringsystemer, tidsstyring, temperaturstyring og lignende behovsstyringer.

## Eftersyn

Hvis anlægget indeholder mere end 1 kg kølemiddel, skal det efterses mindst én gang årligt af en montør, som har den fornødne uddannelse. Er der mere end 2,5 kg kølemiddel i varmpumpen, skal det årlige eftersyn udføres af en certificeret montør fra et kølefirma (jf. AT-bekendtgørelse nr. 100 om anvendelse af trykbærende udstyr).

En jordslange skal efterses mindst én gang årligt, og resultatet af eftersynet skal gemmes i minimum 5 år og vises til kommunen på forlangende. Kun personer med den fornødne autorisation/certifikat må foretage indgreb i kølemiddelsystemet.

## Luft-vandvarmepumpe

En luft-vandvarmepumpe består af en udedel og en indedel. Udedelen optager varmeenergi fra luften. Denne varmeenergi løftes i varmepumpen til et højere temperaturniveau til brug for opvarmning og varmt brugsvand. Ved temperaturløftet bruges el, og det bør derfor være så lavt som muligt.

Varmepumpens årseffektivitet betegnes SCOP (sæson effekt faktor). SCOP-værdien definerer varmepumpens ydelse i løbet af året og medregner sæsonbestemte variationer.

En SCOP-værdi på 3,83 betyder fx, at varmepumpen i gennemsnit leverer 3,83 gange så meget energi end den elektriske energi, den bruger.

## Valg af luft-vandvarmepumpe

Det anbefales, at huset efterisoleres før varmepumpen dimensioneres, medmindre det er relativt nyt eller er blevet efterisoleret for nyligt. Optimal drift opnås ved en dimensionering, der matcher husets dimensionerende varmetab.

En luft-vandvarmepumpe giver den bedste energieffektivitet i et hus med lavtemperaturvarmeafgiver som fx gulvvarme eller store radiatorflader. Det bør ikke installeres i huse med radiatoranlæg med høje fremløbstemperaturer.

Varmepumpens SCOP-værdi skal ifølge EU's ecodesign forordning nr. 813/2013 som minimum leve op til nedenstående krav:

Varmepumpetype	SCOP-værdi
Luft-vandvarmepumpe til gulvvarme	3,20
Luft-vandvarmepumpe til radiatorer	2,83

Ovenstående SCOP-værdier svarer til A+ mærkede varmepumper.

Ved at vælge A++ mærkede luft-vandvarmepumper, kan der opnås endnu højere SCOP-værdier og dermed endnu større energibesparelser.

A++ mærkede varmepumper skal som minimum leve op til nedenstående krav:

Varmepumpetype	SCOP-værdi
Luft-vandvarmepumpe til gulvvarme	3,83
Luft-vandvarmepumpe til radiatorer	3,20

På Energistyrelsens varmepumpeliste findes de bedste varmepumper på det danske marked. Varmepumperne på listen overholder alle lovkrav og er testet af et uafhængigt testlaboratorium.

Der bør overvejes, at vælge en frekvensreguleret varmepumpe, der kan køre i dellast med længere driftsperioder for at få størst effektivitet og længst levetid.



## Vejledende størrelse (varmepumpeeffekt)

Varmepumpens størrelse bestemmes ud fra bygningens varmetab. Typiske varmetab ses i skemaet nedenfor med udgangspunkt i husets byggeår.

Hvis huset er energirenoveret på et senere tidspunkt, bruges tallene 1-2 kolonner længere til højre for det oprindelige byggeår – afhængigt af omfanget af gennemførte energiforbedringer.

En varmepumpe dimensioneres typisk til at dække 80-85 % af husets varmetab. Den angivne varmepumpeeffekt nedenfor er derfor 82 % af husets varmetab.

Byggeår	1930 - 1959		1960 - 1979		1980 - 1999		2000 - 2005	
	Husets energibehov	Skønnet varmepumpeeffekt	Husets energibehov	Skønnet varmepumpeeffekt	Husets energibehov	Skønnet varmepumpeeffekt	Husets energibehov	Skønnet varmepumpeeffekt
	kW		kW		kW		kW	
100	6,9	5,7	5,7	4,7	3,7	3,0	3,1	2,5
140	9,6	7,9	7,5	6,2	4,9	4,0	4,4	3,7
180	12,4	10,2	9,4	7,7	6,1	5,0	5,7	4,4

## Energibesparelse

Nedenstående skema viser den omtrentlige energibesparelse, der kan opnås ved konvertering til luft-vandvarmepumpe fra olie- eller gaskedel afhængigt af husets byggeår og isoleringsgrad.

Eksisterende opvarmningsform	Ny luft-vand varmepumpe				
	Byggeår				
		1930 - 1959	1960 - 1979	1980 - 1999	2000 - 2005
Isolering		Gulv: ca. 50 mm Hulmur: Ingen Loft: ca. 30 mm	Gulv: ca. 50 mm Hulmur: ca. 75 mm Loft: ca. 100 mm	Gulv: ca. 150 mm Hulmur: ca. 100 mm Loft: ca. 200 mm	Gulv: ca. 200 mm Hulmur: ca. 125 mm Loft: ca. 250 mm
Vinduer		Forsats/koblet	Termoruder	Termoruder	Energiruder
Oliekedel før 1977	Areal m <sup>2</sup>	Energibesparelse i kWh/år			
	100	20.900	19.000	13.600	10.500
	140	26.000	21.700	15.400	11.400
	180	31.400	25.600	17.100	12.300
Oliekedel efter 1977	100	16.500	14.500	9.400	6.900
	140	21.600	17.300	11.000	7.600
	180	26.800	21.200	12.600	8.300
Gaskedel åben forbrænding	100	22.500	20.600	15.200	12.000
	140	27.700	23.300	17.000	13.000
	180	33.100	27.200	18.700	13.900
Gaskedel lukket forbrænding	100	18.100	16.100	11.200	8.800
	140	23.200	18.800	12.800	9.500
	180	28.400	22.700	14.300	10.200

## Eksempler på brug af skemaet:

### Eksempel 5

*Et hus fra 1970 på 140 m<sup>2</sup>, der opvarmes med en gaskedel med lukket forbrænding, kan spare ca. 18.800 kWh om året ved at konvertere til en luft-vandvarmepumpe.*

### Eksempel 6

*Samme hus og kedel som i eksempel 1, men gulvet, hultmuren og loftet er efterisoleret, så det næsten opfylder kravene i Bygningsreglementet for huse opført fra 2000 til 2005. Den år-lige energibesparelse ved at skifte til en luft-vandvarmepumpe udgør her 9.500 kWh.*

## Udførelse

Før varmepumpen dimensioneres, bør oplagte energibesparende foranstaltninger som fx hulmursisolering, isolering af loft, udskiftning af ruder eller vinduer og tætning omkring vinduer udføres.

## Dimensionering

Varmepumpen skal dimensioneres, så varme- og varmtvandsbehovet for det aktuelle hus dækkes. Varmepumpen inkl. backup i form af elvarme dimensioneres af hensyn til driften til at dække 80–85 % af husets dimensionerende varmebehov ved -12 °C, hvilket betyder, at den dækker 95–98 % af det årlige varmeforbrug. En for lille varmepumpe vil kræve alt for meget tilskudsenergi (som regel el), mens en for stor varmepumpe vil få alt for mange start/stopsekvenser, hvilket går ud over anlæggets driftsøkonomi og levetid. Frekvensregulerede varmepumper vil dog kunne køre i længere perioder i dellast til gavn for levetid og effektivitet.



*Luft-vandvarmepumpe (udedel)*

Husets varmesystem (radiatorer og eller gulvvarme) skal altid vurderes, inden valget af varmepumpe træffes. Fremløbstemperaturen til varmeanlægget skal være så lav som mulig. For hver grad fremløbstemperaturen hæves, falder varmepumpens effektivitet med 1–3 %. Det betyder i praksis, at en stigning fra 45 til 55 °C kan give et fald i normeffektiviteten (årsnyttevirkningen) på ca. 25 %. Med andre ord skal det sikres, at radiatorerne er tilstrækkeligt store til at kunne sikre en lav fremløbstemperatur.

## Montage

Indedelen placeres som regel på samme sted, hvor den tidligere olie- eller gaskedel har stået fx i et bryggers eller fyrrum.

Udedelen, der kan indeholde hele varmepumpen eller kun dens fordamperdelen, placeres på et fast underlag i de afstande til ydervæg/tagudhæng, som producenten har foreskrevet. Evt. støbes et betondæk med isolering under. Husk at sikre, at udedelen er hævet over terræn, så sne og blade ikke forhindrer optimal drift. Kontrollér at udedelen dræner tilfredsstillende for tøvand fra afrimning, da varmeveksleren ellers med tiden bliver blokeret af is, når udetemperaturen falder.

Udedelen placeres så tæt på indedelen som muligt dvs. med kortest mulig afstand til den ydervæg, som indedelen står op ad. Udedelen kan have en svag hvislen, der kan virke generende på nogle mennesker. Derfor bør den ikke monteres for tæt på en terrasse eller vinduer i opholdsrum.

Der bores huller i ydervæggen for at føre rør fra udedel til indedel. To rør med enten kølemiddel eller vand opvarmet af varmepumpen/returvand fra varmeafgivere forbindes mellem udedel og indedel. Hullerne tætnes, en eventuel dampspærrer reetableres og rørene isoleres. Hvis der skal cirkulere kølemiddel mellem indedel og udedel, fyldes dette på rørene.

Der etableres afløb og strøm til varmepumpen.

Indedelen, der som regel indeholder en varmtvandsbeholder, forbindes til eksisterende varmerør og varmtvandsrør. Hvis det varme vand fra husets varmesystem kommer direkte i kontakt med varmepumpen, monteres et snavfilter. Indedelen sluttes til el for supplerende opvarmning, og der monteres evt. elektrisk styring.

Installationsvejledningen for den aktuelle varmepumpe skal altid følges.

Varmepumpesystemet sættes i drift og betjeningspanel indstilles. Husets beboere får demonstreret, hvordan de betjener anlægget, og de får udleveret en manual.

## Funktionsafprøvning

I henhold til Bygningsreglementet kap 19 § 391 skal der gennemføres en funktionsafprøvning af varme- og køleanlæg før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at varme- og køleanlæggene overholder bygningsreglementets krav til indregulering og styring.

Indregulering og styring af varme- og køleanlæg omfatter vand- eller luftstrømme i anlægget, automatiske reguleringsystemer, tidsstyring, temperaturstyring og lignende behovsstyringer.

## Eftersyn

Hvis anlægget indeholder mere end 1 kg kølemiddel, skal det efterses mindst én gang årligt af en montør, som har den fornødne uddannelse. Er der mere end 2,5 kg kølemiddel i varmepumpen, skal det årlige eftersyn udføres af en certificeret montør fra et kølefirma (jf. AT-bekendtgørelse nr. 100 om anvendelse af trykbærende udstyr).

## Luft-luftvarmepumpe

Luft-luftvarmepumper optager varmeenergi i udedelen fra udeluften. Varmeenergien løftes til et højere temperaturniveau i varmepumpen og afgives af indedelen til luften i det rum, som indedelen er placeret i – typisk i en stue eller et køkken-alrum. Det betyder, at varmepumpen ikke opvarmer sekundære rum som soveværelse, badeværelse mv. De rum vil derfor stadig skulle opvarmes med anden energikilde.

Som udgangspunkt kan en luft-luftvarmepumpe dække op til 70 % af opvarmningsbehovet i en bygning, mens resten dækkes med anden energikilde fx almindelig elvarme. Dog fås større løsninger med flere indedele, såkaldte multisplitanlæg, som kan opvarme flere rum. Disse løsninger vil kunne dække en større andel af opvarmningsbehovet.

Varmepumpens årseffektivitet betegnes SCOP (sæson effekt faktor). SCOP-værdien definerer varmepumpens ydelse i løbet af året og medregner sæsonbestemte variationer.

En SCOP-værdi på 3,80 betyder fx, at varmepumpen i gennemsnit leverer 3,80 gange så meget energi end den elektriske energi, den bruger.

## Valg af luft-luftvarmepumpe

Varmepumpens SCOP-værdi skal ifølge EU's ecodesign forordning nr. 206/2012 som minimum leve op til nedenstående krav:

Kølemidlets Global Warming Potential	SCOP-værdi
GWP > 150	3,80
GWP < 150	3,42

GWP betyder Global Warming Potential for det benyttede kølemiddel, og det ses, at der gives "rabat" på anlæg, som benytter et kølemiddel med lav GWP-værdi, da SCOP kravet her er lavere.

Ovenstående SCOP-værdier svarer til A mærkede luft-luftvarmepumper.

Ved at vælge A+ eller A++ mærkede luft-vandvarmepumper, kan der opnås endnu højere SCOP-værdier og dermed endnu større energibesparelser.

A+ og A++ mærkede varmepumper skal som minimum leve op til nedenstående krav:

Varmepumpetype	SCOP-værdi
A+ mærkede luft-luftvarmepumper	4,00
A++ mærkede luft-luftvarmepumper	4,60

På Energistyrelsens varmepumpeliste findes de bedste varmepumper på det danske marked. Varmepumperne på listen overholder alle lovkrav og er testet af et uafhængigt testlaboratorium.

Det bør vælges en luft-luftvarmepumpe som benytter R-410a som kølemiddel.

Der bør endvidere vælges en varmepumpe med en lav nedre temperaturgrænse for drift, så den også kan klare længerevarende kolde vinterperioder ved fx -10 °C.

Hvis varmepumpen skal bruges til at holde et sommerhus frostfrit om vinteren, er det meget vigtigt, at den kan indstilles til en temperatur på 8-12 °C. Ellers kan den forventede besparelse udeblive.

## Energibesparelse

Nedenstående skema viser den omtrentlige energibesparelse, der kan opnås ved konvertering til væskevandvarmepumpe fra olie- eller gaskedel afhængigt af husets byggeår og isoleringsgrad.

Eksisterende opvarmningsform	Ny luft-luftvarmepumpe kombineret med elradiatorer				
	Byggeår				
		1930 - 1959	1960 - 1979	1980 - 1999	2000 - 2005
Isolering	Gulv: ca. 50 mm Hulmur: Ingen Loft: ca. 30 mm	Gulv: ca. 50 mm Hulmur: ca. 75 mm Loft: ca. 100 mm	Gulv: ca. 150 mm Hulmur: ca. 100 mm Loft: ca. 200 mm	Gulv: ca. 200 mm Hulmur: ca. 125 mm Loft: ca. 250 mm	
Vinduer	Forsats/koblet	Termoruder	Termoruder	Energiruder	
Elvarme	Areal m <sup>2</sup>	Energibesparelse i kWh/år			
	100	9.500	8.100	4.400	2.900
	140	13.200	10.100	5.500	3.100
	180	16.800	12.900	6.900	3.900

### Eksempel 7

Et hus fra 1950 på 180 m<sup>2</sup>, der opvarmes med elvarme, kan spare ca. 16.800 kWh om året ved at konvertere til en luft-luftvarmepumpe.

### Eksempel 8

Samme hus og opvarmningsform som i eksempel 1, men gulvet, hulumuren og loftet er efterisoleret, så det næsten opfylder kravene i Bygningsreglementet for huse opført fra 1980 til 1999. Den årlige energibesparelse ved at skifte til en luft-luftvarmepumpe udgør her 6.900 kWh.

## Udførelse

## Dimensionering

En luft-luftvarmepumpe dimensioneres, så den dækker varmetabet i det rum, som indedelen er monteret i. Derudover kan varmepumpen i begrænset omfang opvarme tilstødende rum, hvis dørene hertil står åbne. Luft-luftvarmepumpen kan som regel ikke dække mere end 70 % af varmebehovet, medmindre det er en model med flere indedele.



Luft-luft varmepumpe

## Montage

Sammenbygning af ude- og indedel skal foretages af en certificeret kølemontør eller en montør med et kategori II-certifikat efter EU direktiv 303. El-tilslutning skal foretages af en elinstallatør.

Udedelen, der indeholder kompressor og fordamper, placeres på et fast underlag i de afstande til ydervæg/tagudhæng, som producenten har foreskrevet.

Evt. støbes et betondæk med isolering under. Husk at sikre, at udedelen er hævet over terræn, så sne og blade ikke forhindrer optimal drift. Kontrollér, at udedelen dræner tilfredsstillende for tøvand fra afrimning, da varmeveksleren ellers med tiden bliver blokeret af is, når udetemperaturen falder.

Det frarådes at montere yderdelen på ydervæggen, idet vibrationer fra kompressoren kan forplante sig til væggen gennem beslagene. Det gælder især på lette ydervægge.

Udedelen skal være så tæt på indedelen som muligt, dvs. med kortest mulig afstand til den ydervæg, som indedelen er monteret på. Udedelen kan have en svag hvislen, der kan virke generende på nogle mennesker. Derfor bør den ikke monteres for tæt på en terrasse eller vinduer i opholdsrum.

Indedelen placeres i det rum, som skal opvarmes.

Den monteres højt på en væg. Vær opmærksom på, at indedelen skaber en luftstrøm og i nogle tilfælde en svag lyd, der generer nogle mennesker. Montér derfor om muligt indedelen væk fra spiseborde, sofaer o.l.

Der bores hul i ydervæggen, som kølerør mv. føres gennem. To rør for kølemiddel forbindes til udedelen og indedelen. Rørene er isolerede, og hullerne tættes efterfølgende. En eventuel dampspærrer reetableres. Kølemiddel påfyldes rørene efter fabrikantens anvisning (både rør og udedel kan være påfyldt kølemiddel ved levering). Ofte føres el og kondensvandsafløb fra indedel i samme gennemføring.

Strømmen sluttes til varmepumpen.

Installationsvejledningen for varmepumpen skal altid følges.

Det samlede varmepumpesystem sættes i drift, og betjeningspanel indstilles. Husets beboere informeres om, hvordan anlægget betjenes, og får udleveret en manual.

## Funktionsafprøvning

I henhold til Bygningsreglementet kap 19 § 391 skal der gennemføres en funktionsafprøvning af varme- og køleanlæg før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at varme- og køleanlæggene overholder bygningsreglementets krav til indregulering og styring.

Indregulering og styring af varme- og køleanlæg omfatter vand- eller luftstrømme i anlægget, automatiske reguleringssystemer, tidsstyring, temperaturstyring og lignende behovsstyringer.

## Eftersyn

Hvis anlægget indeholder mere end 1 kg kølemiddel, skal det efterses mindst én gang årligt af en montør, som har den fornødne uddannelse. Er der mere end 2,5 kg kølemiddel i varmepumpen, skal det årlige eftersyn udføres af en certificeret montør fra et kølefirma (jf. AT-bekendtgørelse nr. 100 om anvendelse af trykbærende udstyr). Mindst én gang årligt skal udedelen efterses, og varmeveksleren renses for blade og støv. Indedelens filter skal jævnligt inspiceres og støvsuges, når det er nødvendigt. Kunden skal instrueres i dette og kan evt. tilbydes en servicekontrakt.

## Brugsvandsvarmepumpe

En brugsvandsvarmepumpe er opbygget som et højt, smalt kabinet med udsugningsventilator, varmepumpe og varmtvandsbeholder.

Varmepumpen genvinder varmen fra den varme og fugtige luft, der suges ud af bad, køkken og bryggers. Varmen bruges til produktion af varmt brugsvand. Denne varme ville ellers gå tabt.

Nogle brugsvandsvarmepumper har mulighed for tilslutning af en mindre gulvvarme- eller radiatorkreds.

Varmepumpens årseffektivitet betegnes SCOP (sæson effekt faktor). SCOP-værdien definerer varmepumpens ydelse i løbet af året og medregner sæsonbestemte variationer.

En SCOP-værdi på 3,00 betyder fx, at varmepumpen i gennemsnit leverer 3,00 gange så meget energi end den elektriske energi, den bruger.

## Valg af brugsvandsvarmepumpe

Ved at montere en brugsvandsvarmepumpe opnås der en besparelse på varmeregningen, fordi energien i ventilationstabet genvindes til at producere varmt brugsvand.

Der kommer dog et mindre tillæg på elregningen, idet der bruges el til at forsyne varmepumpedelen. Den endelige energibesparelse vil bl.a. afhænge af mængden af varmt brugsvand.

Varmepumpens SCOP-værdi skal ifølge EU's ecodesign forordning nr. 814/2013 som minimum leve op til nedenstående krav:

Angivet forbrugsprofil	M	L	XL	XXL	3XL	4XL
Blandet vand ved 40 °C	65 l	130 l	210 l	300 l	520 l	1.040 l
SCOP-værdi	1,88	2,75	2,88	3,00	3,25	3,25

Det anbefales at vælge en brugsvandsvarmepumpe, der som minimum er A-mærket.

Brugsvandsvarmepumpen bør have en SCOP-værdi på minimum 2,9 (beholder på 130 liter).

Ved at vælge en A+-mærket brugsvandsvarmepumpe, kan der opnås en endnu højere SCOP-værdi og dermed en endnu større energibesparelse.

Brugsvandsvarmepumpen bør have en SCOP-værdi på minimum 3,8 (beholder på 130 liter).

## Energibesparelse

Nedenstående skema viser den omtrentlige energibesparelse, der kan opnås ved konvertering til væskevandvarmepumpe fra olie- eller gaskedel afhængigt af husets byggeår og isoleringsgrad.

Eksisterende ventilationssystem	Ny brugsvandsvarmepumpe	
	Personer	Energibesparelse ved installation af brugsvandsvarmepumpe kWh pr. år
Naturlig ventilation, dvs. udskiftning af luften 12 gange i døgnet.	1	1.260
	2	2.120
	3	2.980
	4	3.840
	5	4.700
	6	5.560



Eksisterende ventilationssystem	Ny brugsvandsvarmepumpe		
	Personer	Energitillæg til forsyning af brugsvand varmepumpe kWh pr. år	
		Varmepumpe med energimærke A SCOP = 2,9	Varmepumpe med energimærke A+ SCOP = 3,8
Naturlig ventilation, dvs. udskiftning af luften 12 gange i døgnet.	1	504	402
	2	801	628
	3	1.098	854
	4	1.394	1.081
	5	1.691	1.307
	6	1.907	1.533

### Eksempler på brug af skemaet:

#### Eksempel 9

I et hus med naturlig ventilation og fire personer kan der spares 3.840 kWh om året ved at installere en A mærket brugsvandsvarmepumpe. Energitillægget til forsyning af brugsvandsvarmepumpen vil udgøre 1.394 kWh om året. Besparelsen bliver således i alt 2.446 kWh om året.

#### Eksempel 10

Samme hus som i eksempel 1, men der installeres en A+ mærket brugsvandsvarmepumpe. Den årlige energibesparelse er den samme som i eksempel 1, men energitillægget til forsyning af brugsvandsvarmepumpen vil udgøre 1.081 kWh om året. Besparelsen bliver således i alt 2.759 kWh om året.

### Udførelse

### Dimensionering

Brugsvandsvarmepumpen dimensioneres til at klare en udsugning på mindst følgende i køkken, bad, toilet, bryggers og kælder:

Køkken:	20 l/s
Bad og toilet:	15 l/s
Særskilt toilet/bryggers/kælderrum:	10 l/s



Brugsvandsvarmepumpe



De fleste brugsvandsvarmepumper kan justeres trinvist til at udsuge forskellige luftmængder, typisk 100 - 300 m<sup>3</sup>/h. Denne luftmængde er tilstrækkelig til at dække behovet for udsugning og et varmtvandsbehov på 150 - 450 liter pr. dag.

## Montage

Brugsvandsvarmepumpen placeres opretstående i bryggers e.l. Der monteres nye udsugningsarmaturer i køkken, bad og brygges. De forbindes via udsugningskanaler til brugsvandsvarmepumpen.

Den "brugte" luft sendes via en ventilationskanal ud af en afkasthætte. Udsugnings- og afkastkanaler skal forbindes via en brandhæmmet fleksibel forbindelse for at undgå vibrationer i kanalerne. Brugsvandsvarmepumpen skal tilsluttes kondensafløb, jævnfør producentens forskrifter.

En autoriseret el-installatør skal trække et nyt elkabel fra eltavlen til varmepumpen, da det anbefales at varmepumpen får tildelt sin egen sikringsgruppe. En vvs-installatør skal forbinde den indbyggede varmtvandsbeholder til koldtvarmforsyning og varmtvandsaftapning.

Når ventilationskanalerne føres gennem dampspærren, skal der anvendes en membrangennemføring. Der monteres en lyddæmper ved brugsvandsvarmepumpen, og det anbefales at montere lyddæmpere før udsugningsarmaturer for at undgå, at lyd bevæger sig fra rum til rum via ventilationskanalerne.

Brugsvandsvarmepumpen indreguleres, så Bygningsreglementets krav til udskiftning af luft i huset overholdes.

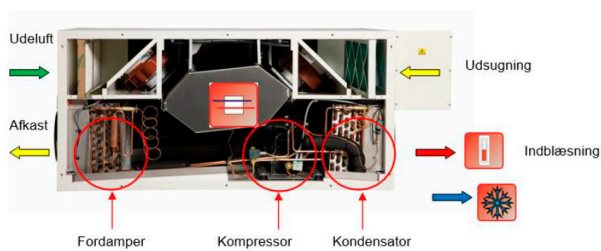
## Funktionsafprøvning

I henhold til Bygningsreglementet kap 19 § 391 skal der gennemføres en funktionsafprøvning af varme- og køleanlæg før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at varme- og køleanlæggen overholder bygningsreglementets krav til indregulering og styring.

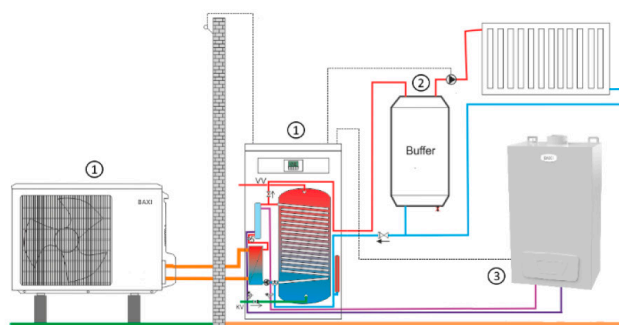
Indregulering og styring af varme- og køleanlæg omfatter vand- eller luftstrømme i anlægget, automatiske reguleringsystemer, tidsstyring, temperaturstyring og lignende behovsstyringer.

## Eftersyn

Hvis anlægget indeholder mere end 1 kg kølemiddel, skal det efterses mindst én gang årligt af en montør, som har den fornødne uddannelse. Er der mere end 2,5 kg kølemiddel i varmepumpen, skal det årlige eftersyn udføres af en certificeret montør fra et kølefirma (jf. AT-bekendtgørelse nr. 100 om anvendelse af trykbærende udstyr).



Boligventilationsvarmepumpe



Gashybridvarmepumpe

### Indledning

I energirenoverede tætte huse, hvor den primære varmekilde fx er i form af elvarme, ældre olie eller gaskedler bør det overvejes at installere boligventilationsvarmepumper.

Ved at montere en boligventilationsvarmepumpe opnås der en besparelse på varmeregningen, fordi varmen i ventilationstabet genvindes og ventilationen bidrager til opvarmningen. Der kommer dog tillæg på elregningen, da der bruges el til at forsyne ventilations- og varmepumpedelen.

Gasforbruget i et enfamiliehus kan typisk halveres ved at kombinerer en moderne kondenserende gaskedel med en luft-vandvarmepumpe. Denne kombination betegnes gashybridvarmepumpe.

Der findes grundlæggende to systemer:

- En enhedspakke, hvor alle varmepumpe- og kedeldele er samlet i en enkelt enhed (unit)
- En systempakke, hvor hybridsystemet består af enkeltstående dele fra samme producent, der er konstrueret til at arbejde sammen i et veldefineret system

Gasforbruget i et enfamiliehus kan ligeledes halveres ved at eftermontere en luft-vandvarmepumpe af add-on typen som supplement til den eksisterende gaskedel.

## Varmepumper

### Boligventilationsvarmepumpe

En boligventilationsvarmepumpe er et ventilationsanlæg med aktiv varmegenvinding. Herved forstås brugen af både varmeveksler og varmepumpe til at genanvende varmen fra varm og fugtig udsugningsluft. Hvis et hus luftes ud uden at genvinde varmen i udsugningsluften, ventileres op til 30 % af varmen ud.

En boligventilationsvarmepumpe placeres typisk på loft eller i bryggers og består af et kabinet med sammenbygget ventilationsenhed, varmeveksler og varmepumpe.

Ventilationsdelen dimensioneres til at dække boligens ventilationsbehov. Varmevekslerdelen genvinder størstedelen af varmen (70 - 90 %) fra husets ventilationsluft.

Varmepumpedelen genvinder den resterende varme (10 - 30 %) og leverer et supplement af varme til ventilationsdelens indblæsningsluft eller på nogle udgaver et supplement til varmt brugsvand.

Installation af en boligventilationsvarmepumpe kræver ventilationskanaler til indblæsning i opholdsrum og udsugning i køkken, bad og bryggers. Hvis det er fysisk eller økonomisk uoverkommeligt at komme til at indbygge indblæsningskanaler, kan en brugsvandsvarmepumpe være et muligt alternativ. Se endvidere under "Brugsvandsvarmepumpe".

Varmepumpens årseffektivitet betegnes SCOP (sæson effekt faktor). SCOP-værdien definerer varmepumpens ydelse i løbet af året og medregner sæsonbestemte variationer.

En SCOP-værdi på 3,8 betyder fx, at varmepumpen i gennemsnit leverer 3,8 gange så meget energi end den elektriske energi, den bruger.

## Valg af boligventilationsvarmepumpe

Boligventilationsvarmepumpen skal leve op til nedenstående krav under den forudsætning, at R-410a benyttes som kølemiddel.

### Minimum

Tør virkningsgrad (VGV): Mindst 80 %

Specifikt elforbrug (SFP): Maksimalt 1000 J/m<sup>3</sup>

SCOP i opvarmningstilstand: Minimum 3,8

### Lavenergi

Tør virkningsgrad (VGV): Mindst 85 %

Specifikt elforbrug (SFP): Maksimalt 800 J/m<sup>3</sup>

SCOP i opvarmningstilstand: Minimum 4,0

Den tørre virkningsgrad skal være dokumenteret i henhold til EN 13141-7.

I det specifikke elforbrug til lufttransport (SFP) medregnes alle komponenter fra nettilslutning til ventilatorer, fx frekvensomformer. Effektoptag til komponenter, der ikke vedrører lufttransport, medregnes ikke.

SFP måles for driftsformen med maksimalt tryktab.

Bemærk, at det ønskede disponible tryk i kanalsystemet typisk vil være:

- God plads til kanaler (hovedkanal  $\varnothing$ 200- $\varnothing$ 250): 40 Pa
- Almindelig installation (hovedkanal  $\varnothing$ 200): 60 Pa
- Dårlig plads til kanaler (hovedkanal  $\varnothing$ 160- $\varnothing$ 200): 80 Pa
- Alle armaturer skal være store lavtryksarmaturer med tryktab på 5-10 Pa ved maksimal luftmængde

Nedenstående skema viser den omtrentlige energibesparelse og energitillæg, der kan opnås ved installere en boligventilationsvarmepumpe afhængigt af husets størrelse.

Eksisterende ventilationssystem	Ny brugsvandsvarmepumpe		
	Areal m <sup>2</sup>	Samlet energibesparelse og varmesupplement kWh pr. år	
		Minimum: VGV = 80, SFP = 1.000 J/ m <sup>3</sup> , COP = 3,8	Lavenergi: VGV = 85 %, SFP = 800 J/ m <sup>3</sup> , COP = 4,0
Naturlig ventilation, dvs. udskiftning af luften 12 gange i døgnet.	100	5.666	6.559
	140	8.053	8.406
	180	9.522	9.941

Eksisterende ventilationssystem	Ny brugsvandsvarmepumpe		
	Areal m <sup>2</sup>	Samlet energibesparelse og varmesupplement kWh pr. år	
		Minimum: VGV = 80, SFP = 1.000 J/ m <sup>3</sup> , COP = 3,8	Lavenergi: VGV = 85 %, SFP = 800 J/ m <sup>3</sup> , COP = 4,0
Naturlig ventilation, dvs. udskiftning af luften 12 gange i døgnet.	100	1.712	1.684
	140	2.174	2.171
	180	2.561	2.561

### Eksempel 11

I et hus på 140 m<sup>2</sup> med naturlig ventilation kan der spares 8.053 kWh om året ved at installere en A mærket brugsvandsvarmepumpe. Energitillægget til forsyning af brugsvandsvarme-pumpen vil udgøre 2.174 kWh om året. Besparelsen bliver således i alt 5.879 kWh om året.

### Eksempel 12

Samme hus som i eksempel 1, men der installeres en A+ mærket brugsvandsvarmepumpe. Den årlige energibesparelse 8.406 kWh, mens energitillægget til forsyning af brugsvandsvarmepumpen vil udgøre 2.171 kWh om året. Besparelsen bliver således i alt 6.235 kWh om året.

## Udførelse

## Dimensionering

Huset bør være lige så tæt som et nyt hus, hvilket eksempelvis kan dokumenteres med en såkaldt blower-door test.

Hvis ventilationsanlægget skal fungere korrekt, skal der være forbindelse mellem alle rum, også når dørene er lukkede. Dvs., at der skal indbygges riste i dørene, dørtræ under dørene skal fjernes o.l.

Boligventilationsvarmepumpen skal dimensioneres til et luftskifte på minimum 0,30 l/s pr. kvadratmeter opvarmet etageareal. Derudover skal der, evt. på anden vis, være mulighed for et øget luftskifte fra køkken, bad, toilet bryggers og kælder på:

Køkken:	20 l/s
Bad og toilet:	15 l/s
Særskilt toilet/bryggers/kælderrum:	10 l/s



*Boligventilationsvarmepumpe*

## Montage

Boligventilationsvarmepumpen placeres enten i bryggers eller på loft. Den forbindes via ventilationskanaler til udsugningsarmaturer i køkken, badeværelser og bryggers samt indblæsningsarmaturer i stuer og værelser.

Boligventilationsvarmepumpen får frisk luft enten via en friskluftsrist i en ydermur eller en hætte på taget forbundet til ventilationsaggregatet via en ventilationskanal. Den "brugte" luft sendes via en ventilationskanal ud af en afksthætte.

Alle fire kanaler skal tilsluttes boligventilationsvarmepumpen med en brandhæmmet fleksibel forbindelse for at undgå vibrationer i kanalerne. Emhætten bør ikke tilsluttes boligventilationsvarmepumpen, idet madlavning fedter kanalerne til.

Hvis boligventilationsvarmepumpen placeres på loftet, skal det stå på et fast underlag, der har tilstrækkelig styrke til at bære både anlægget og 1-2 mand. Det skal placeres, så der er plads omkring det til at forbinde kanaler, tilslutte strøm og afløb. Desuden skal underlaget være vibrationsfrit. Dette kan fx. opnås ved at opbygge en sandwichkonstruktion, som aggregatet stilles på.

Der bør opsættes et styrepanel med en filteralarm placeret synligt i stueetagen. En boligventilationsvarmepumpe støjer typisk ikke mere end et køle- eller fryseskab, men en placering direkte over opholdsrum bør alligevel undgås.

Boligventilationsvarmepumper skal altid tilsluttes kondens afløb, jævnfør producentens forskrifter.

En autoriseret el-installatør skal trække et nyt elkabel fra eltavlen til varmepumpen, da det anbefales at varmepumpen får tildelt sin egen sikringsgruppe. El-installatøren bør samtidig etablere en udligningsforbindelse til ventilationskanalerne.

## Ventilationskanaler

Kanalsystemet bør være så enkelt og symmetrisk som muligt, da det gør indregulering simpel. Kanalsystemet bør dimensioneres til en lufthastighed på 2,5 m/s, så der opnås et lavt tryk og selvindregulering.

Ventilationskanalerne bør udføres i spiralfalsede rør med tætning af gummiringe. Til et enfamiliehus vil hovedkanalerne typisk være 160 mm i diameter, og kanalerne til indblæsnings- og udsugningsarmaturer vil typisk være 100 mm i diameter. Ventilationskanalerne skal minimum udføres med lige stykker mindst svarende til 4 gange rørdiameteren før alle bøjninger.

T-stykker bør så vidt muligt undgås. I stedet for T-stykker anbefales det at bruge 45° afgreninger og 45° og 90° bøjninger.

Når ventilationskanalerne føres gennem dampspærren, skal der anvendes en membrangennemføring. Det gælder også, hvis kondens afløb eller elkabler gennembryder dampspærren.

Der skal monteres en lyddæmper ved boligventilationsvarmepumpen, og det anbefales at montere lyddæmpere før indblæsnings- eller udsugningsarmaturer for at undgå, at lyd bevæger sig fra rum til rum via ventilationskanalerne.

Indtags- og afkasthætter eller tilsvarende riste bør placeres med minimum 3 meters afstand. Indtagshætter skal føres over tagryggen. Hvis der er tale om en indtagsrist, bør den placeres på en nordvendt væg for at opnå køleeffekt om sommeren. Indtags- og afkasthætter eller indtagsrist bør være 1-2 dimensioner større end kanalen, som de betjener.

## Indregulering

Når boligventilations- og ventilationskanalerne er monterede, skal det samlede ventilationsanlæg indreguleres, så luftmængder på indblæsning og udsugning er lige store.

## Funktionsafprøvning

I henhold til Bygningsreglementet kap 19 § 391 skal der gennemføres en funktionsafprøvning af varme- og køleanlæg før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at varme- og køleanlæggene overholder bygningsreglementets krav til indregulering og styring.

Indregulering og styring af varme- og køleanlæg omfatter vand- eller luftstrømme i anlægget, automatiske reguleringsystemer, tidsstyring, temperaturstyring og lignende behovsstyringer.

## Eftersyn

Afhængigt af størrelsen på varmepumpelederen og dens kølemiddelfyldning, som typisk varierer fra 0,5 - 3 kg er der lovkrav til årligt eftersyn af kølekredsen.

Hvis anlægget indeholder mere end 1 kg kølemiddel, skal det efterses mindst én gang årligt af en montør, som har den fornødne uddannelse. Er der mere end 2,5 kg kølemiddel i varmepumpen, skal det årlige eftersyn udføres af en certificeret montør fra et kølefirma (jf. AT-bekendtgørelse nr. 100 om anvendelse af trykbærende udstyr).

## Gashybridvarmepumpe og add-on varmepumpe

En gashybridvarmepumpe er en kombination af en moderne kondenserende gaskedel med en luft-vandvarmepumpe mens en add-on varmepumpe en kombination af en eksisterende gaskedel med en luft-vandvarmepumpe.

Når udetemperaturen er høj, er varmepumpens varmeydelse stor nok til at dække varme- og varmtvandsbehovet. Når temperaturen kommer under et bestemt niveau – fx 0°C – dækkes varmebehovet af gaskedlen alene. Varmepumpen og gaskedlen bruges på samme tid i overgangsperioderne.

Varmt vand produceres normalt kun ved hjælp af gaskedlen for at undgå høje driftstemperaturer og en nedsat COP for varmepumpen.

Der bør benyttes lave fremløbs- og returtemperaturer i varmeanlægget. Det betyder, at radiatorernes samlede areal skal være stort nok til at kunne dække det dimensionerende varmetab ved en fremløbstemperatur på 55 °C ved en udetemperatur på minus 12°C. Hvis en beregning viser, at radiatorarealet ikke er stort nok, må det forøges. Alternativt kan det dimensionerende varmetab reduceres ved at foretage energibesparende foranstaltninger som fx efterisolering af ydervægge og lofter samt udskiftning af vinduer.

Ved kondenserende kedler, bør varmtvandsbeholderen have en stor varmeeffekt, så kedlen fortrinsvis kan køre kondenserende drift under opvarmning af brugsvandet. Leverandøren af gashybridvarmepumpen vil normalt anbefale varmtvandsbeholdere, der passer til den aktuelle gaskedel. En beholder på 60 l vil typisk kunne overholde kravene i vandnormen (DS 439).

## Valg af gashybridvarmepumpe

Årsvirkningsgraden for kedlen skal minimum være 86 % ved rumopvarmning, svarende til kravet i EU's ecodesign forordning nr. 813/2013 baseret på øvre brændværdi. Det anbefales dog, at der installeres en A-mærket gaskedel, hvor kravet er en årsvirkningsgrad der skal ligge mellem 90 og 98 %.

Varmepumpens årseffektivitet betegnes SCOP (sæson effekt faktor). SCOP-værdien definerer varmepumpens ydelse i løbet af året og medregner sæsonbestemte variationer.

En SCOP-værdi på 3,83 betyder fx, at varmepumpen i gennemsnit leverer 3,83 gange så meget energi end den elektriske energi, den bruger.

Varmepumpens SCOP-værdi skal ifølge EU's ecodesign forordning nr. 813/2013 som minimum leve op til nedenstående krav:

Varmepumpetype	SCOP-værdi
Luft-vandvarmepumpe til gulvvarme	3,20
Luft-vandvarmepumpe til radiatorer	2,83

Ovenstående SCOP-værdier svarer til A+ mærkede varmepumper.

Ved at vælge A++ mærkede luft-vandvarmepumper, kan der opnås endnu højere SCOP-værdier og dermed endnu større energibesparelser.

A++ mærkede varmepumper skal som minimum leve op til nedenstående krav:



Varmepumpetype	SCOP-værdi
Luft-vandvarmepumpe til gulvvarme	3,83
Luft-vandvarmepumpe til radiatorer	3,20

På Energistyrelsens varmepumpeliste findes de bedste varmepumper på det danske marked. Varmepumperne på listen overholder alle lovkrav og er testet af et uafhængigt testlaboratorium.

Der bør overvejes, at vælge en frekvensreguleret varmepumpe, der kan køre i dellast med længere driftsperioder for at få størst effektivitet og længst levetid.

### Valg af add-on varmepumpe

Det anbefales, at den eksisterende gaskedel suppleres med en add-on luft-vandvarmepumpe, der som minimum er A+ mærket. Se endvidere under "Gashybridvarmepumpe".

### Vejledende størrelse (varmepumpeeffekt)

Varmepumpens størrelse bestemmes ud fra bygningens varmetab. Typiske varmetab ses i skemaet nedenfor med udgangspunkt i husets byggeår.

Hvis huset er energirenoveret på et senere tidspunkt, bruges tallene 1-2 kolonner længere til højre for det oprindelige byggeår – afhængigt af omfanget af gennemførte energiforbedringer.

En varmepumpe dimensioneres typisk til at dække 80-85 % af husets varmetab. Den angivne varmepumpeeffekt nedenfor er derfor 82 % af husets varmetab.

Byggeår	1930 - 1959		1960 - 1979		1980 - 1999		2000 - 2005	
	Husets energibehov	Skønnet varmepumpeeffekt	Husets energibehov	Skønnet varmepumpeeffekt	Husets energibehov	Skønnet varmepumpeeffekt	Husets energibehov	Skønnet varmepumpeeffekt
	kW		kW		kW		kW	
100	6,9	5,7	5,7	4,7	3,7	3,0	3,1	2,5
140	9,6	7,9	7,5	6,2	4,9	4,0	4,4	3,7
180	12,4	10,2	9,4	7,7	6,1	5,0	5,7	4,4

#### Eksempel 13

Et hus fra 1965 på 140 m<sup>2</sup> har skønsmæssigt et energibehov på 7,5 kW. Den nødvendige varmepumpeeffekt er 6,2 kW.

#### Eksempel 14

Hvis gulvet, hulturen og loftet er efterisoleret, så det næsten opfylder kravene i Bygnings-reglementet for huse opført fra 1980 til 1999, vil energibehovet være 4,9 kW. Den nødvendige varmepumpeeffekt er 4,0 kW.

Nedenstående skema viser den omtrentlige energibesparelse, der kan opnås ved konvertering til gashybridvarmepumpe fra gammel gaskedel afhængigt af husets byggeår og isoleringsgrad.

Eksisterende opvarmningsform	Gashybridvarmepumpe				
	Byggeår eller år for energirenovering af huset				
		1930 - 1959	1960 - 1979	1980 - 1999	2000 - 2005
Isolering		Gulv: ca. 50 mm Hulmur: Ingen Loft: ca. 30 mm	Gulv: ca. 50 mm Hulmur: ca. 75 mm Loft: ca. 100 mm	Gulv: ca. 150 mm Hulmur: ca. 100 mm Loft: ca. 200 mm	Gulv: ca. 200 mm Hulmur: ca. 125 mm Loft: ca. 250 mm
Vinduer		Forsats/koblet	Termoruder	Termoruder	Energiruder
<b>Gasblæsebrænder monteret på kedel fra før 1977</b>	<b>Areal m<sup>2</sup></b>	<b>Energibesparelse i kWh/år</b>			
	100	16.500	15.200	11.200	8.700
	140	20.100	17.000	12.500	9.500
	180	24.100	19.800	13.800	10.100
<b>Gasblæsebrænder monteret på kedel fra efter 1977</b>	100	11.300	9.900	6.200	4.300
	140	15.100	11.900	7.300	4.900
	180	19.100	14.800	8.500	5.400
<b>Gaskedel, åbenforbrænding med trækafbrydere</b>	100	17.100	15.600	11.600	9.100
	140	21.000	17.700	12.900	9.800
	180	25.200	20.600	14.200	10.500
<b>Gaskedel, lukket forbrænding med balanceret eller splitaftræk</b>	100	12.600	11.200	7.600	5.800
	140	16.500	13.200	8.700	6.300
	180	20.400	16.100	9.800	6.800

Eksempler på brug af skemaet:

### Eksempel 15

I et hus fra 1965 på 140 kvadratmeter, der opvarmes med en gasblæsebrænder monteret på en kedel fra efter 1977, kan der spares ca. 11.900 kWh om året ved at skifte til en gashybridvarmepumpe.

### Eksempel 16

Samme hus med gashybridvarmepumpe som i eksempel 4, men gulvet, hulmuren og loftet er efterisoleret, så det næsten opfylder kravene i Bygningsreglementet for huse opført fra 1980 til 1999. Den årlige energibesparelse ved at skifte til en gashybridvarmepumpe udgør her 7.300 kWh.

Nedenstående skema viser den omtrentlige energibesparelse, der kan opnås ved supplering af en gammel gaskedel med en add-on varmepumpe afhængigt af husets byggeår og isoleringsgrad.

Eksisterende opvarmningsform	Add-on varmepumpe				
	Byggeår eller år for energirenovering af huset				
		1930 - 1959	1960 - 1979	1980 - 1999	2000 - 2005
Isolering		Gulv: ca. 50 mm Hulmur: Ingen Loft: ca. 30 mm	Gulv: ca. 50 mm Hulmur: ca. 75 mm Loft: ca. 100 mm	Gulv: ca. 150 mm Hulmur: ca. 100 mm Loft: ca. 200 mm	Gulv: ca. 200 mm Hulmur: ca. 125 mm Loft: ca. 250 mm
Vinduer		Forsats/koblet	Termoruder	Termoruder	Energiruder
Gasblæsebrænder monteret på kedel fra før 1977	<b>Areal m<sup>2</sup></b>	<b>Energibesparelse i kWh/år</b>			
	100	9.100	8.000	5.300	3.600
	140	12.100	9.500	6.200	4.100
	180	15.800	11.800	7.000	4.600
Gasblæsebrænder monteret på kedel fra efter 1977	100	8.500	7.100	3.900	2.500
	140	12.100	9.000	4.900	2.900
	180	16.000	11.800	5.900	3.300
Gaskedel, åbenforbrænding med trækafbrydere	100	9.200	8.100	5.200	3.600
	140	12.600	9.700	6.100	4.100
	180	16.500	12.300	7.000	4.600
Gaskedel, lukket forbrænding med balanceret eller splitaftræk	100	8.400	7.000	3.900	2.600
	140	12.100	8.900	4.800	3.300
	180	16.000	11.700	5.800	3.300
Kondenserende gaskedel	100	8.000	6.800	3.700	2.200
	140	11.100	8.500	4.700	2.600
	180	14.400	10.800	5.700	4.700

#### Eksempler på brug af skemaet:

##### Eksempel 17

I et hus fra 1955 på 180 kvadratmeter, der opvarmes med en kondenserende gaskedel, kan der spares ca. 14.400 kWh om året ved at skifte til en gashybrid varmepumpe.

##### Eksempel 18

Samme hus og hybridvarmepumpe som i eksempel 6, men gulvet, hulumuren og loftet er efterisoleret, så det næsten opfylder kravene for huse opført fra 1980 til 1999. Den årlige energibesparelse ved at skifte til en gashybridvarmepumpe udgør 5.700 kWh.

## Gashybridvarmepumpe

Før gashybridvarmepumpen dimensioneres, bør oplagte energibesparende tiltag udføres – fx hulmursisolering, isolering af loft, udskiftning af ruder eller vinduer og tætning omkring vinduer.

Gashybridvarmepumpen skal passe til varme- og varmtvandsbehovet samt til varmeanlægget.

Varmepumpen dimensioneres til at dække ca. 50-60 % af husets dimensionerende effektbehov for varme. Herved kan varmepumpen dække ca. 70-80 % af det årlige energiforbrug til rumopvarmning. Den resterende del af rumvarmeforbruget samt energiforbruget til varmt brugsvand skal dækkes af gaskedlen. Det indebærer bl.a., at gaskedlen skal kunne dække 100 % af husets varmebehov ved -12°C.

For at varmeanlægget er velegnet til drift med kondenserende kedel og varmepumpe, skal det være dimensioneret til lave fremløbs- og returtemperaturer. Ifølge DS 469 skal den dimensionerende fremløbstemperatur for kondenserende kedler og varmepumper være på højst 55 °C for radiatoranlæg og højst 45 °C for gulvvarme. For radiatoranlæg anbefales en maksimal dimensionerende afkøling på 10 °C og for gulvvarme maksimalt 7 °C.

Samspelet mellem gashybridvarmepumpe, bygning og varmeanlæg spiller en vigtig rolle, og overdimensionering kan være kritisk.

Ved lette kedler og varmepumper opstår der pendlende drift, hvis vandstrømmen i anlægget ikke er stor nok. Ydelsen lige efter start er ofte stor, og hvis vandstrømmen ikke kan fjerne varmen i takt med produktionen, opstår der pendlinger.

Selvom nye gaskedler normalt er forsynet med modulerende brændere og varmepumper kan være omdrejningsregulerede, skal man alligevel være opmærksom på, om der er mulighed for tilstrækkelig vandstrøm i anlægget.

## Indregulering

Gashybridvarmepumpen skal indreguleres.

Ved installation af en kedel med gasblæseluftbrænder skal brænderen indreguleres i henhold til BR18. Her henvises til Gassikkerhedsloven ([www.sik.dk/Virksomhed/Gassikkerhedsregler/Gassikkerhedsloven](http://www.sik.dk/Virksomhed/Gassikkerhedsregler/Gassikkerhedsloven)).

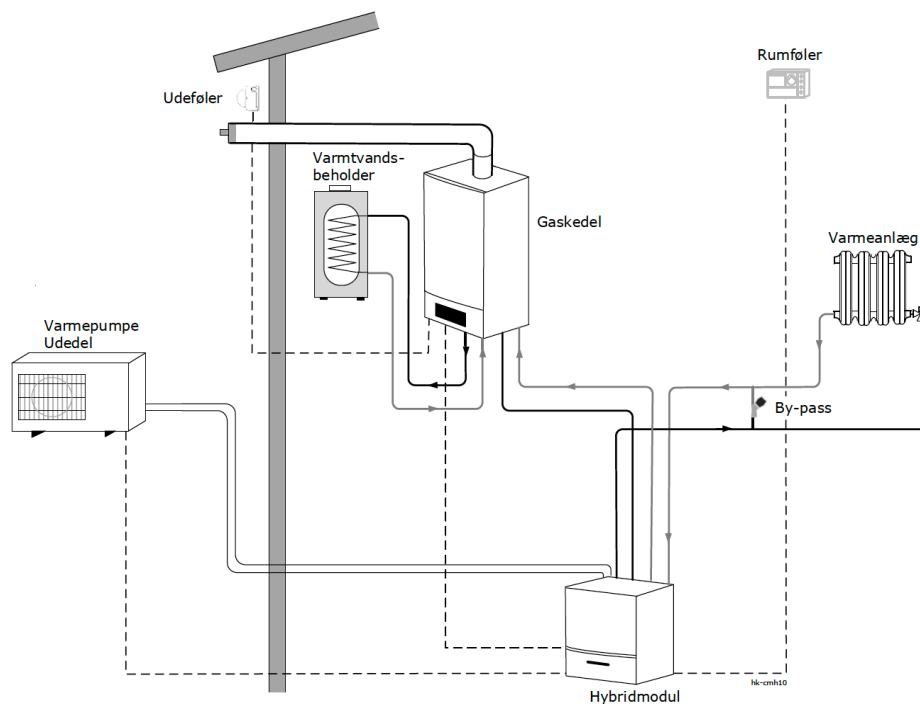
Varmepumpens indstillinger for fremløbstemperaturkurve skal indstilles, så de passer til husets varmeanlæg. Desuden skal varmepumpens indstillinger justeres.

## Automatik

Anlægget forsynes med en automatik, der sørger for, at kun kedlen er i drift ved lave temperaturer. Skiftet mellem varmepumpe- og kedeldrift afhænger af den aktuelle dimensionering, men finder typisk sted i intervallet mellem 0 og -5 °C.

Anlægget forsynes endvidere med et vejrkompenseringsanlæg, der sørger for at regulere fremløbstemperaturen i forhold til udetemperaturen. Kurven for fremløbstemperaturen som funktion af ude-temperaturen stilles så lavt som

muligt. Dette vil sikre den bedst mulige energiøkonomi og de bedste driftsbetingelser for anlægget. Vejrkompenseringsanlægget indeholder ofte også en rumføler.



*Gashybridvarmepumpe*

## Add-on varmepumpe

Før add-on varmepumpen dimensioneres, bør oplagte energibesparende foranstaltninger som fx hulmursisolering, isolering af loft, udskiftning af ruder eller vinduer og tætning omkring vinduer udføres.

Varmepumpen skal passe til varmebehovet og til varmeanlægget.

Varmepumpen dimensioneres til at dække ca. 50- 60 % af husets dimensionerende effektbehov for varme. Herved kan varmepumpen dække ca. 70-80 % af det årlige varmeforbrug til rumopvarmning. Den resterende del af rumvarmeforbruget samt forbruget til opvarmning af varmt brugsvand skal dækkes af gaskedlen. Det indebærer bl.a., at den eksisterende gaskedel skal kunne dække 100 % af husets varmebehov ved -12°C.

## Indregulering

Varmepumpen skal indreguleres, så den fungerer i optimalt samspil med den eksisterende gaskedel.

Varmepumpens indstillinger for fremløbstemperaturkurve skal indstilles, så det passer til husets varmeanlæg. Desuden skal varmepumpens indstillinger justeres.

## Automatik

Anlægget forsynes med en automatik, der sørger for, at kun kedlen er i drift ved lave temperaturer. Skiftet mellem varmepumpe- og kedeldrift afhænger af den aktuelle dimensionering, men finder typisk sted i intervallet mellem 0 og -5 °C.

Anlægget forsynes endvidere med et vejrkompeniseringsanlæg, der sørger for at regulere fremløbstemperaturen i forhold til udetemperaturen. Kurven for fremløbstemperaturen som funktion af udetemperaturen stilles så lavt som muligt. Dette vil sikre den bedst mulige energiøkonomi og de bedste driftsbetingelser for anlægget. Vejrkompeniseringsanlægget indeholder ofte også en rumføler.

## Montage

### Gashybridvarmepumpe

#### *Eksisterende installation*

Den eksisterende gaskedel, som typisk er placeret i et bryggers eller fyrrum, kobles fra varmeanlægget og varmtvandsbeholderen. Gaskedlen demonteres. Det samme gælder varmtvandsbeholderen, hvis den udskiftes.

#### *Ny installation*

Den nye gaskedel og den evt. nye varmtvandsbeholder monteres. Gaskedlen og varmtvandsbeholderen forbindes. Der etableres nyt aftræk. Kedlen skal opsættes, så aftrækket kan placeres korrekt, hvad enten der er tale om balanceret aftræk eller splitaftræk.

Gasledningen sluttes til den nye gaskedel. Koldt vand sluttes til varmtvandsbeholderen. Varme­anlægget kobles til gaskedlen via et hybridmodul. Gaskedlen tilsluttes el og sættes i gang.

Kedlens bruger skal have overleveret den fyldestgørende danske installationsvejledning, som skal følge med kedlen fra producenten. Vejledningen skal følges nøje. Desuden skal installationen leve op til Gassikkerhedsloven og BR18.

Varmepumpens indedel placeres samme sted som gaskedlen. Indedelen forbindes ligeledes til varmeanlægget via hybridmodulet.

I forhold til installation skal man være særligt opmærksom på, at varmepumpens udedel ikke må placeres i loftrum, eller hvor den giver støjgener (støjkravet er maksimalt 35 dB(A) i naboskel).

Udedelen bør ikke placeres i loftrummet, da der ikke kommer nok luft til rummet og varmepumpen. Desuden bliver rummet ekstra afkølet, hvilket giver større varmetab, og der skal laves afledning af kondens. Endelig falder varmepumpens energieffektivitet.

Rør til og fra varmepumpens udedel skal føres igennem klimaskærmen uden utilsigtede kuldebroer, og der skal være plads til varmepumpens indedel i opstillingsrummet. Pladsbehovet for indedelen svarer typisk til en 60-liters varmtvandsbeholder.

Hvis man alligevel ønsker at placere varmepumpen i bygningen, skal der laves udeluftindtag til varmepumpen samt afkastluftudblæsning til det fri.

Hvis udedelen placeres i det fri, skal den placeres på et fast underlag i de afstande til ydervæg/tagudhæng, som producenten har foreskrevet. Evt. støbes et betondæk med isolering under. Husk at sikre, at udedelen er hævet over terræn, så sne og blade ikke forhindrer optimal drift. Kontrollér, at udedelen dræner tilfredsstillende for tøvand fra afrimning, da varmeveksleren ellers med tiden bliver blokeret af is, når udetemperaturen falder.

Udedelen placeres så tæt på indedelen som muligt, dvs. med kortest mulig afstand til den ydervæg, som indedelen står op ad. Udedelen kan have en svag hvislen, der kan virke generende på nogle mennesker. Derfor bør den ikke monteres for tæt på en terrasse eller vinduer i opholdsrum.

Der bores huller i ydervæggen for at føre rør fra udedel til indedel. To rør med enten kølemiddel eller vand opvarmet af varmepumpen/returvand fra varmeafgivere forbindes mellem udedel og indedel. Hullerne tættes, en eventuel dampspærrer reetableres og rørene isoleres. Hvis der skal cirkulere kølemiddel mellem indedel og udedel, fyldes dette på rørene.

Der etableres afløb og strøm til varmepumpen.

Installationsvejledningen for den aktuelle varmepumpe skal altid følges.

Hele gashybridvarmepumpe-installationen skal udføres, så den lever op til gældende regler i forskrifter for vand- og varmeinstallationer, herunder DS 469 for varmeanlæg, DS 452 for isolering af tekniske installationer og DS 439 for vandinstallationer. Bemærk endvidere, at der skal være plads til betjening, rensning og besigtigelse af anlægget, jf. AT-Vejledning B-4-8.

Gas- og vandinstallationen skal udføres af en autoriseret vvs-installatør.

## **Add-on varmepumpe**

Sammenbygning af ude- og indedel skal foretages af en certificeret kølemontør eller en montør med et kategori II-certifikat efter EU direktiv 303. Eltilslutning skal foretages af en elinstallatør.

Udedelen, der indeholder kompressor og fordamper, placeres på et fast underlag i de afstande til ydervæg/ tagudhæng, som producenten har foreskrevet.

Evt. støbes et betondæk med isolering under. Husk at sikre, at udedelen er hævet over terræn, så sne og blade ikke forhindrer optimal drift. Kontrollér, at udedelen dræner tilfredsstillende for tøvand fra afrimning, da varmeveksleren ellers med tiden bliver blokeret af is, når udetemperaturen falder.

Det frarådes at montere udedelen på ydervæggen, idet vibrationer fra kompressoren kan forplante sig til væggen gennem beslagene. Det gælder især på lette ydervægge.

Udedelen skal være så tæt på indedelen som muligt, dvs. med kortest mulig afstand til den ydervæg, som indedelen er monteret på. Udedelen kan have en svag hvislen, der kan virke generende på nogle mennesker. Derfor bør den ikke monteres for tæt på en terrasse eller vinduer i opholdsrum.

Indedelen placeres i det rum, som skal opvarmes.

Den monteres højt på en væg. Vær opmærksom på, at indedelen skaber en luftstrøm og i nogle tilfælde en svag lyd, der generer nogle mennesker. Montér derfor om muligt indedelen væk fra spiseborde, sofaer o.l.

Der bores hul i ydervæggen, som kølerør mv. føres gennem. To rør for kølemiddel forbindes til uddelen og indedelen. Rørene isoleres, en eventuel dampspærrer reetableres og hullerne tættes efterfølgende. Kølemiddel påfyldes rørene efter fabrikantens anvisning (både rør og udedel kan være påfyldt kølemiddel ved levering). Ofte føres el og kondensvandsafløb fra indedel i samme gennemføring. Strømmen sluttes til varmepumpen.

Installationsvejledningen for varmepumpen skal altid følges.



Det samlede varmepumpesystem sættes i drift, og betjeningspanel indstilles. Husets beboere informeres om, hvordan anlægget betjenes, og får udleveret en manual.

## Funktionsafprøvning

I henhold til Bygningsreglementet kap 19 § 391 skal der gennemføres en funktionsafprøvning af varme- og køleanlæg før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at varme- og køleanlæggene overholder bygningsreglementets krav til indregulering og styring.

Indregulering og styring af varme- og køleanlæg omfatter vand- eller luftstrømme i anlægget, automatiske reguleringsystemer, tidsstyring, temperaturstyring og lignende behovsstyringer.

## Eftersyn

### Gashybridvarmepumpe og add-on varmepumpe

Man skal være opmærksom på, at kombinerede anlæg er teknisk mere komplekse end traditionelle opvarmningssystemer. Der er både tale om en varmepumpe og en gaskedel, hvor begge dele skal serviceres af fagpersoner.

For varmepumpedelens vedkommende skal serviceteknikeren have et kategori I- eller II-certifikat for arbejde, der indbefatter servicering af varmepumpedelens kølekreds.

Hvis varmepumpen indeholder mere end 1 kg kølemiddel, skal den efterses mindst én gang årligt af en montør, som har den fornødne uddannelse. Er der mere end 2,5 kg kølemiddel i varmepumpen, skal det årlige eftersyn udføres af en certificeret montør fra et kølefirma (jf. AT-bekendtgørelse nr. 100 om anvendelse af trykbærende udstyr). Kun personer med den fornødne autorisation/certifikat må foretage indgreb i kølemiddelsystemet.

Serviceteknikeren han skal have A-certifikat for at servicere gaskedeldelen. For kondenserende gaskedler med balanceret aftræk eller splitaftræk anbefales normalt et 2-årigt serviceinterval.

Behovet for vedligeholdelse varierer dog fra installation til installation. Det er oftest gaskedlen og dens placering, der er udslagsgivende for, hvilke serviceintervaller der skal vælges.

# ENERGIHÅNDBOGEN 2019



## VARMESYSTEMER



*Energihåndbogen er udgivet med støtte fra Grundejernes Investeringsfond*



# VARMESYSTEMER

## Indhold

<b>Varmesystemer</b>	<b>68</b>
<b>Radiatoranlæg</b>	<b>68</b>
Et-strengsanlæg	69
To-strengsanlæg	70
Energibesparelse	70
Udførelse	71
Dimensionering af radiatoranlæg	71
Montage	73
Funktionsafprøvning	73
Eftersyn	73
<b>Gulvvarme</b>	<b>74</b>
Energibesparelse	74
Udførelse	75
Dimensionering af gulvvarmeanlæg	75
Montage	76
Funktionsafprøvning	76
Eftersyn	76
<b>Kaloriferer</b>	<b>77</b>
Energibesparelse	78
Udførelse	78
Dimensionering af kaloriferer	78
Montage	78
Funktionsafprøvning	78
Eftersyn	78
<b>Indregulering af centralvarmeanlæg</b>	<b>79</b>
Indregulering i praksis	79
Strengreguleringsventiler	80
Energibesparelse	81
Udførelse	81

Dimensionering af ventiler	81
Montage	82
Funktionsafprøvning	82
Eftersyn	82
<b>Regulering af større varmeanlæg</b>	<b>83</b>
<b>Udetemperaturkompensering</b>	<b>83</b>
Energibesparelse	83
Udførelse	84
Dimensionering	84
Indstilling af fremløbstemperaturkurven	84
Montage	85
Funktionsafprøvning	87
Eftersyn	87
<b>Nat- og weekendsænkning</b>	<b>88</b>
Energibesparelse	88
Udførelse	88
Dimensionering	88
Montage	88
Funktionsafprøvning	88
Eftersyn	88
<b>Radiatortermostatventiler</b>	<b>89</b>
Energibesparelse	89
Udførelse	89
Dimensionering	89
Tryktab i radiatortermostatventiler	89
Proportionalbånd	90
Dimensionering af radiatortermostatventiler	90
Forindstillinger af termostatventiler	91
Beregning af forindstilling	91
Montage	92

Funktionsafprøvning	92
Eftersyn	93
<b>Reguleringsventiler til gulvvarme</b>	<b>94</b>
Energibesparelse	94
Udførelse	94
Dimensionering	94
Motorventiler (termoaktuatorer)	94
Forindstillingsventiler	94
Beregning af forindstilling	94
Montage	95
Funktionsafprøvning	95
Eftersyn	95

## Varmesystemer

Indeklimaet i vore bygninger/boliger er baseret på to helt afgørende elementer, nemlig det atmosfæriske og det termiske - altså frisk luft og varme.

Varmeanlæg er således en forudsætning for, at vi kan tilvejebringe et termisk indeklima, der kan tilfredsstille brugerne behov og krav om til hver en tid at befinde sig i et godt indeklima – uanset udendørs vejrliget.

Varmeanlæg eller varmesystemer findes i mange forskellige udgaver. Fælles for varmeanlæg er, at de skal forsyne bygningen/boligen med varme via forskellige komponenter, apparater og udstyr.

- Det varmforsynende system
- Det varmeproducerende system
- Det varmefordelende system
- Det varmeregulerende system
- Det varmeafgivende system

Dette teknologiafsnit for varmeanlæg redegør for og gennemgår de vigtigste varme- og installati-onstekniske emner, hvis formål er at beskrive dels varmeanlæggets opbygning, funktion, varmetekniske begreber og terminologier og dels give eksempler på muligheder for energieffektiv funktion og drift via god planlægning af nye anlæg, renovering og udvidelse i bestående og hvor styring/regulering er centrale emne dele.

## Radiatoranlæg

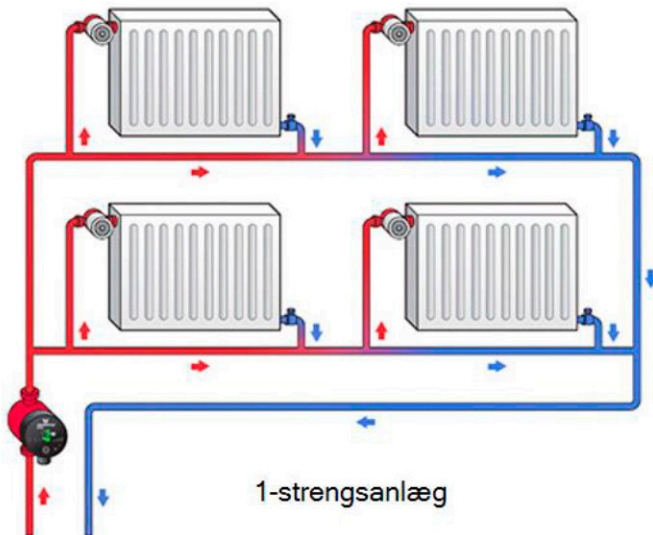
Radiatorernes formål er at opvarme alle beboelsesrum i ejendommen til mindst 20 °C. Radiatorerne er dimensioneret til at kunne opvarme rum ved det dimensionerende varmetab, det vil sige ved en udetemperatur på -12 °C og en rumtemperatur til 20°C. Ved almindelig vinterdrift, fx 0 °C ude, vil man som tommelfingerregel kunne forvente at radiatorerne kan opvarme rummene til 21-22 °C.

Der findes to hovedtyper af radiatoranlæg i ejendomme: Et-strengs- og to-strengsanlæg. I dag opføres stort set kun to-strengsanlæg.

## Et-strengsanlæg

Ved et-strengsanlæg anvendes en ringledning med konstant cirkulation. Ved hver radiator bliver etableret en hydraulisk modstand. Det er tryktabet over denne modstand, der driver vandet gennem radiatoren.

Radiatortermostatventilerne skal vælges med stor Kv-værdi (lille modstand og stor åbning), typisk mellem 1 og 3.



Figur 1. Et-strengsanlæg

Et-strengsanlæg har været meget almindelige i både etageejendomme og i enfamiliehuse. Den væsentligste årsag til udbredelsen er, at anlægsudgifterne har været lavere. Der blev fx markedsført meget simple og installationsvenlige ventiltyper med integreret og stilbar modstand.

Anlægstypen bruges ikke meget mere af forskellige grunde:

- Der er ikke meget tryktab til radiatorventilen, så ventilerne bliver større og dyrere
- Anlægstypen regnes generelt for uegnet til fjernvarmeinstallationer, da det er svært at få stor afkøling
- Den altid varme cirkulationskreds giver et større varmetab fra ledningerne i bygningen, der ikke altid udnyttes.
- Pumpearbejdet er i praksis større end ved anden anlægstype

Der er dog også fordele, fx arbejder de lette gaskedler (med lille vandindhold – som regel de væghængte kedler) godt i denne type anlæg.

Hvis man skal finde ud af, om der er tale om et et-strengsanlæg i et enfamiliehus, hvor man ikke kan se rørene, lukker man for alle radiatorerne. Hvis hovedreturen bliver kold, er det et to-strengsanlæg. Hvis den ikke bliver kold, er der normalt tale om et et-strengsanlæg (man kan normalt se det på ventilerne).



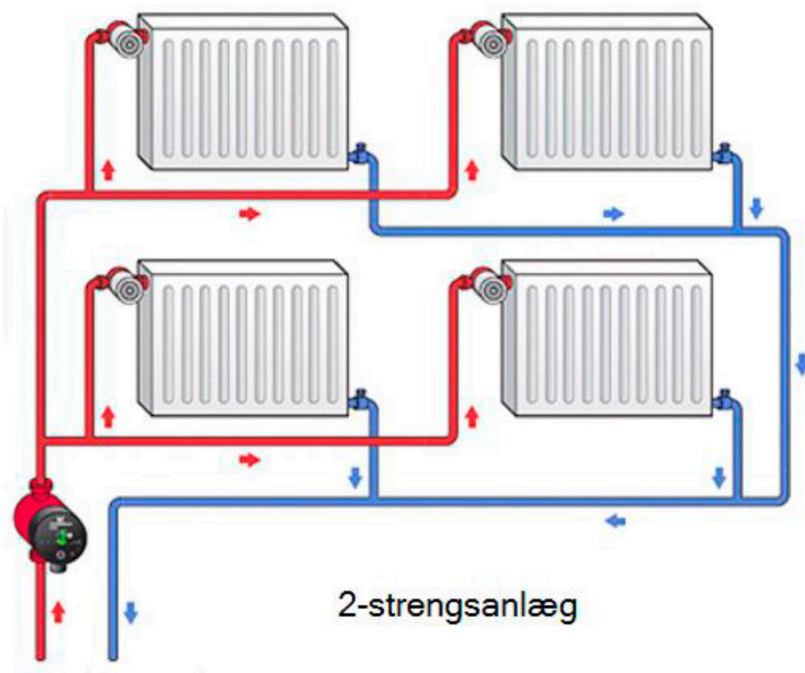
## To-strengsanlæg

Ved 2-strengs anlæg er radiatorerne parallelforbundne.

Herved fås et højt tryk til hver radiatortermostatventil, og afkølingen over hele anlægget kan blive meget stor.

Radiatortermostatventilerne bør vælges med et tryktab på maks. 0,1 bar (1 mVs) i dimensioneringstilstanden.

Radiatortermostatventilerne i det enkelte rum bør indstilles på samme niveau, så alle radiatorerne bidrager til afkølingen. Er der monteret radiatortermostater med forindstilling, kan den optimale fordeling af vandet findes ved at justere disse.



Figur 2. To-strengsanlæg

## Energibesparelse

Udskiftning af for små (underdimensionerede) radiatorer til radiatorer i passende størrelse vil typisk medføre at fremløbs- og returtemperaturen i varmeanlæg med kondenserende olie- eller gaskedler kan reduceres. Dette medfører en forøget kondensgevinst og dermed en højere årsnyttevirkning.

I varmeanlæg med fjernvarme vil udskiftningen af for små radiatorer resultere i en forbedret afkøling.

## Dimensionering af radiatoranlæg

Radiatorer dimensioneres til at kunne opvarme rum ved det dimensionerende varmetab, det vil sige ved en udetemperatur på -12 °C.

Ved dimensionering af radiatoranlæg benyttes de fremløbs- og returtemperaturer, som er angivet i tabel 1 og 2.

Dimensionering af to-strengsanlæg	Fremløb [°C]	Retur [°C]
Fjernvarme (direkte), uden varmeveksler	60	40
Fjernvarme (indirekte), med varmeveksler	55-57	35-37
Gas- og oliekedler (ikke kondenserende)	60	40
Kondenserende gaskedler	55	45
Kondenserende oliekedler	50	40
Varmepumper	55	45

Tabel 1. Dimensionering af to-strengsanlæg

Dimensionering af en-strengsanlæg	Fremløb [°C]	Retur [°C]
Fjernvarme (direkte og indirekte)	50	40
Gas- og oliekedler (ikke kondenserende)	50	40
Kondenserende gaskedler	55	45
Varmepumper	55	45

Tabel 2. Dimensionering af en-strengsanlæg

I dag er det sjældent, at der installeres et-strengs radiatoranlæg i enfamiliehuse og etageejendomme, da det er ufordelagtigt af mange grunde, bl.a. energimæssige.

I ældre olie- og gasopvarmede etageejendomme – det vil sige bygninger opført før slutningen af 1980'erne – dimensionerede man typisk varmeanlæggene til en fremløbstemperatur på 80 °C og en returtemperatur på 60 °C ved en udetemperatur på -12 °C.

I fjernvarmeopvarmede etageejendomme dimensionerede man helt op til midten af 1990'erne typisk varmeanlæggene til en fremløbstemperatur på 80 °C og en returtemperatur på 40 °C ved en udetemperatur på -12 °C.

Det vil sige, at de temperatursæt, der tidligere blev benyttet ved dimensionering, er væsentligt anderledes, end de temperatursæt der benyttes i dag.

### Særlige forhold ved reovering og udskiftning

De høje dimensionerende fremløbs- og returtemperaturer kan medføre problemer fx ved udskiftning af varmekilde. Ønsker man eksempelvis at udskifte en ældre gaskedel til en moderne kondenserende kedel, som kører ved lavere fremløbs- og returtemperaturer, vil det lavere temperaturniveau medføre, at radiatorernes ydelse reduceres. Dette betyder, at det kan være nødvendigt at installere større eller ekstra radiatorer.

Radiatorers ydelse angives i radiatorproducenternes kataloger ofte ved temperatursættet 70/40/20 °C (fremløb/returløb/rum).

Som det ses i tabel 1 og 2, er de temperatursæt, der benyttes ved dimensionering i nogle tilfælde væsentligt anderledes end de temperatursæt, som anvendes ved angivelse af radiatorydelsen i kataloger.

Der må derfor foretages en omregning af radiatorydelse til det anvendte temperatursæt.

Tabel 3 viser relative ydelser for en radiator ved forskellige fremløbs- og returtemperaturer. Ydelsen ved temperatursættet 75/65/20 °C er angivet til 1,0 (med blå), da det er referencen.

Returtemperatur [°C]	Fremløbstemperatur [°C]											
	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35
80	1,409	1,341										
75	1,334	1,269	1,203									
70	1,258	1,196	1,133	1,069								
65	1,180	1,120	1,061	1,000	0,938							
60	1,100	1,044	0,987	0,929	0,871	0,812						
55	1,017	0,964	0,911	0,857	0,802	0,746	0,690					
50	0,932	0,883	0,833	0,782	0,731	0,679	0,626	0,572				
45	0,843	0,797	0,751	0,704	0,657	0,609	0,560	0,511	0,460			
40	0,749	0,707	0,665	0,622	0,579	0,536	0,491	0,447	0,401	0,354		
35	0,648	0,611	0,573	0,535	0,496	0,457	0,418	0,379	0,338	0,297	0,254	
30	0,536	0,503	0,471	0,438	0,405	0,372	0,338	0,304	0,270	0,235	0,200	0,163
25	0,400	0,374	0,348	0,322	0,296	0,270	0,244	0,218	0,191	0,164	0,137	0,110

Tabel 3. Relative ydelser for en radiator ved forskellige fremløbs- og returtemperaturer

### Eksempel 1

I en ældre etageejendom er en ældre oliekedel udskiftet med fjernvarme. Varmesystemet består af radiatorer, som er dimensioneret til en fremløbstemperatur på 80° C og en returtemperatur på 60° C ved en udetemperatur på -12° C. Anlægget yder 200 kW ved det angivne temperatursæt, hvilket svarer til varmebehovet.

Efter installationen af fjernvarmeanlægget ønskes en fremløbstemperatur på 60° C og en returtemperatur på 40° C ved en udetemperatur på -12° C.

I tabel 3 (markeret med grøn og gul) ses, at den relative ydelse for radiatorerne vil falde fra 0,987 til 0,491, hvis temperaturerne ændres. Anlægget vil således kunne yde 99 kW ( $0,491/0,987 \times 200$  kW) ved de reducerede temperaturer.

Hvis ejendommen skal kunne opvarmes tilfredsstillende med det nye fjernvarmeanlæg og ved de lavere temperaturer, skal der installeres et større radiatorareal, eller ejendommens varmetab skal reduceres ved fx efterisolering.

## Montage

Det er nødvendigt at tømme anlægget for vand ved udskiftning af eksisterende radiatorer eller montering af ekstra radiatorer.

## Funktionsafprøvning

I henhold til Bygningsreglementet kap 19 § 391 skal der gennemføres en funktionsafprøvning af varme- og køleanlæg før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at varme- og køleanlæggene overholder bygningsreglementets krav til indregulering og styring.

Indregulering og styring af varme- og køleanlæg omfatter vand- eller luftstrømme i anlægget, automatiske reguleringssystemer, tidsstyring, temperaturstyring og lignende behovsstyringer.

## Eftersyn

Inden fyringssæsonen går i gang, er det en god idé at tjekke radiatorerne, så der undgås problemer, når det bliver koldt udenfor.

Ofte opleves det, at en eller flere af radiatorerne ikke bliver ordentligt varme. En mulig årsag til dette kan være, at der er for meget luft i radiatorerne og at de skal udluftes. Dette gøres ved at åbne for udluftningsventilen, så der lukkes luft ud. Udluftningsventilen lukkes igen, når der begynder at komme vand ud.

Se endvidere afsnittet vedr. radiatortermostatventiler på side 88.



Figur 3. Udluftningsventil

## Gulvvarme

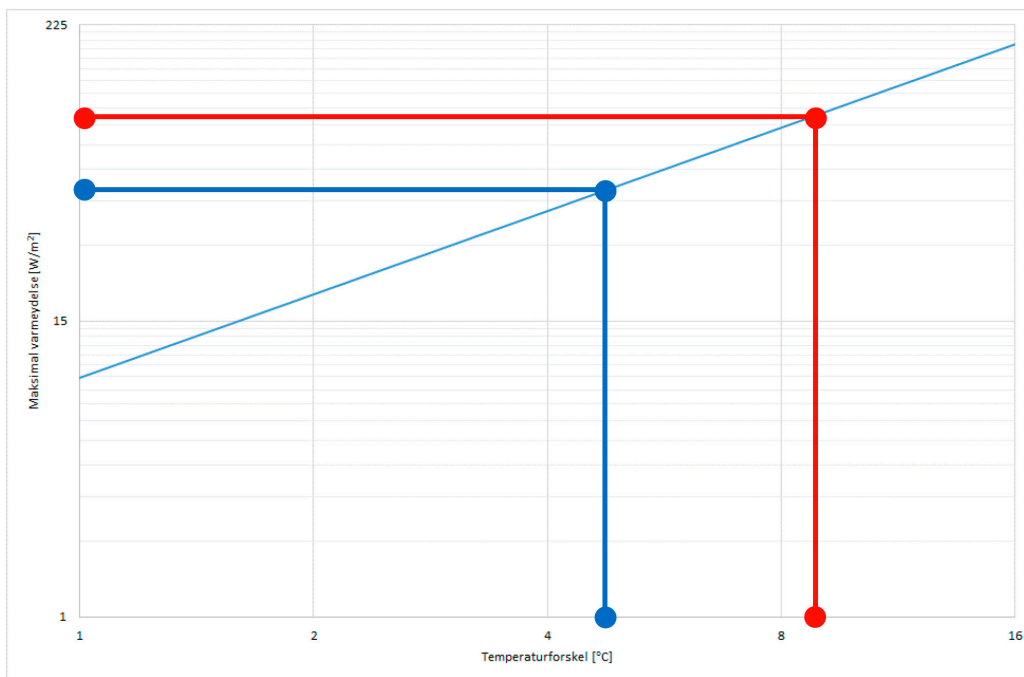
Gulvvarme er blevet en populær opvarmningsform, også som eneste varmeanlæg.

Der skelnes mellem barfodsområder og opholdsrum.

- I barfodsområder bør overfladetemperaturen kunne reguleres i intervallerne fra 26 - 30 °C ved tunge materialer og fra 23 - 28 °C ved lette materialer som træ
- I opholdsrum bør overfladetemperaturen kunne reguleres i intervallerne fra 19 til 29 °C

I praksis skal der ved almindeligt brug regnes med, at overfladetemperaturen i opholdsrum skal være 22 - 23 °C som minimum.

I randzoner, eksempelvis langs ydervægge og ved store vinduespartier, kan tolereres højere temperaturer.



Figur 4

I figur 4 ses, at gulve kan yde ca. 100 W pr. m<sup>2</sup> ved en overfladetemperatur på 29 °C og en rumtemperatur 20 °C. Dette er rigeligt i forhold til dimensionerende varmetab i moderne huse, dvs. senere end 1977.

Varmeafgivelsen afhænger dog af gulvets konstruktion og hvad leverandøren foreskriver.

Eksempelvis bør overfladetemperaturen på et trægulv maks. være ca. 27 °C og ønskes en rumtemperatur 22 °C (temperaturforskel på 5 °C) kan gulvet yde ca. 50 W pr. m<sup>2</sup>.

## Energibesparelse

Etablering af gulvvarmeanlæg giver ikke anledning til energibesparelser.

## Dimensionering af gulvvarmeanlæg

Varmeydelsen bestemmes for alle gulve ved:

$$\Phi = 8,92 \cdot (T_{\text{gulv}} - T_o)1,1 \text{ l W/m}^2$$

Hvor

$T_{\text{gulv}}$  er gulvets temperatur i °C

$T_o$  er omgivelsestemperaturen eller rumtemperaturen i °C

8,92 er en konstant

Der findes en del ydelsesangivelser fra de forskellige leverandører, som er baseret på testresultater.

Disse ydelser er ofte væsentligt højere end beregnet efter standarderne ved tunge og lette gulvvarmeanlæg. Det skyldes, at der i standarderne er lagt væsentlige sikkerheder ind.

Der er en meget væsentlig pointe i, at gulvet skal udføres præcis, som det testede, hvis man skal regne med de høje ydeevner.

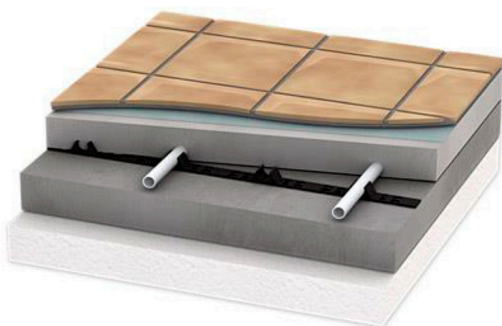
Hvis gulvets varmeydelse i praksis afviger, kan det skyldes følgende:

- Afvigende rør afstand
- Afvigende udførelse af klaplæg
- Afvigende udførelse af kontakt mellem varmeplader og træoverflade ved lette gulve
- Afvigende kontakt mellem rør og varmefordeler ved lette gulve
- 

For lette gulve giver standardens beregninger ofte en værdi, der er mellem 50 og 75 % af de opgivne ydelser.

I rum, hvor det skal være muligt at ændre rumtemperaturen over døgnet, eller der er stor variation i varmebelastningen, må der ikke installeres varmesystemer med stor termisk træghed, fx gulvvarme med kabler eller rør indstøbt i beton som hovedvarmekilde.

Hvis gulvvarmeslanger er indstøbt i 8 cm beton eller mere betragtes det at have stor termisk træghed uanset dæklagets tykkelse.



Figur 5. Tung gulvvarme (vandbårent med klaplæg)



Figur 6. Let gulvvarme (vandbårent)



Figur 7. Elektrisk gulvvarme (varmemåtte)

## Eksempel 2

I et nyt enfamilieshus skal der installeres gulvvarme. Varmetabet i stuen, som er på 50 m<sup>2</sup>, er beregnet til 1,6 kW ekskl. gulvet. Det svarer til et specifikt varmetab på 32,0 W/m<sup>2</sup>.

Gulvet er af træ og fabrikanten foreskriver en overfladetemperatur på maks. 27 °C.

Der ønskes overfladetemperatur på 27 °C og en rumtemperatur 22 °C (temperaturforskel på 5 °C).

Gulvet er testet efter standarden for lette gulve og varmeydelsen kan beregnes til:

$$\Phi = 8,92 (27 \text{ °C} - 22 \text{ °C})1,1 = 52,4 \text{ W/m}^2$$

Gulvet kan således uden problemer klare opvarmningen af stuen.

## Montage

Montagen/installationen af gulvarmeanlægget skal ske i henhold til leverandørens anvisninger.

## Funktionsafprøvning

I henhold til Bygningsreglementet kap 19 § 391 skal der gennemføres en funktionsafprøvning af varme- og køleanlæg før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at varme- og køleanlæggene overholder bygningsreglementets krav til indregulering og styring.

Indregulering og styring af varme- og køleanlæg omfatter vand- eller luftstrømme i anlægget, automatiske reguleringssystemer, tidsstyring, temperaturstyring og lignende behovsstyringer.

## Eftersyn

Inden fyringssæsonen indtræder, er det en god idé at tjekke gulvarmekredsene, så der undgås problemer, når det bliver koldt udenfor.

Ofte opleves det, at en eller flere af gulvarmekredsene ikke bliver ordentligt varme. En mulig årsag til dette kan være, at der er for meget luft i kredsen og at den skal udluftes. Dette gøres ved at åbne for udluftningsventilen/skruen, så der lukkes luft ud.



## Kaloriferer

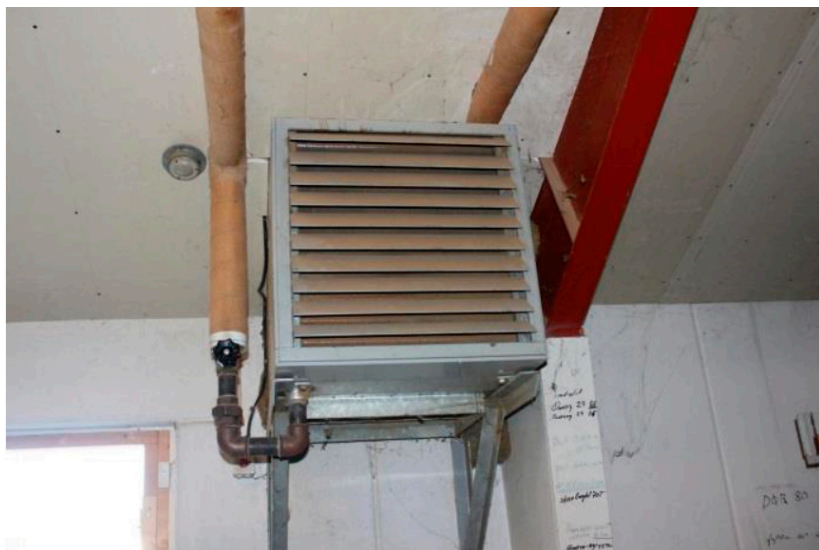
Kaloriferer anvendes fx til opvarmning og ventilation af industrihaller, fabriks- og montagehaller, salgslokaler, sportshaller og væksthuse. Anvendelse af kaloriferer sker således i bygninger, hvor det ikke er muligt at benytte traditionelle centralvarmeanlæg, fx på grund af lokalernes indretning eller fordi der er højt til loftet. Endvidere benyttes kaloriferer i bygninger, hvor det enten ikke er muligt, eller det er for omkostningskrævende at installere mekanisk ventilation.

Kaloriferer findes både som en direkte opvarmningsform, men installeres også til rumopvarmning som en indirekte opvarmningsform, idet varmen fra røggasserne i en varmeveksler overføres til rumluften.

Røggasserne er ved indirekte opvarmning ikke i kontakt med opstillingsrummet.

Kaloriferer kan ligeledes forsynes fra et centralvarmeanlæg (olie- eller gaskedel eller fjernvarme). I det tilfælde fungerer kaloriferen som en radiator med tvungen konvektion uden frisklufttilførsel.

Princippet er det samme som for den gasfyrede kaloriferer.



Figur 8. Kalorifere forsynet fra et centralvarmeanlæg

Gasfyrede kaloriferer findes i et produktsortiment, der spænder fra ydelser på ca. 12 kW op til ca. 580 kW. Nyttevirkningen af ikke kondenserende gasfyrede kaloriferer med ydelser i området ca. 20 - 90 kW oplyses i informationsmateriale og brochurer til typisk at være ca. 92 % (efter nedre brændværdi). Virkningsgraden for kondenserende gasfyrede kaloriferer vil typisk være 100 – 102 % (efter nedre brændværdi).



Figur 9. Gasfyret kalorifere

## Energibesparelse

Det opleves ofte, at der cirkulerer varmt vand gennem kalorifererne udenfor fyringssæsonen. Det betyder, at der reelt foregår et energispild.

Denne cirkulation bør afbrydes ved at der monteres afspærringsventiler på rørledningen der forsyner kaloriferen.

Ældre gasfyrede kalorifere med dårlig virkningsgrad bør udskiftes til kondenserende gasfyrede kalorifere.

## Udførelse

### Dimensionering af kalorifere

Kaloriferens nødvendige varmeydelse afhænger af varmetabet i den hal eller det lokale som den skal opvarme. Typisk skal kaloriferen kunne opvarme hallen eller lokalet til 18 – 20 °C.

## Montage

For kalorifere der forsynes fra centralvarmeanlæg, er det nødvendigt at tømme anlægget for vand ved udskiftning af eksisterende eller montering af nye kalorifere. Vandet tømmes ned i et afløb eksempelvis via en slange.

## Funktionsafprøvning

I henhold til Bygningsreglementet kap 19 § 391 skal der gennemføres en funktionsafprøvning af varme- og køleanlæg før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at varme- og køleanlæggene overholder bygningsreglementets krav til indregulering og styring.

Indregulering og styring af varme- og køleanlæg omfatter vand- eller luftstrømme i anlægget, automatiske reguleringssystemer, tidsstyring, temperaturstyring og lignende behovsstyringer.

## Eftersyn

For kalorifere der forsynes fra centralvarmeanlæg anbefales et årligt serviceinterval.

For gasfyrede kalorifere anbefales normalt et 2-årigt serviceinterval.

### Større centralvarmeanlæg

Ofte er store centralvarmeanlæg ikke indregulerede tilstrækkeligt fra starten, eller det er adskillige år siden, en indregulering har fundet sted. Der kan også være udført større eller mindre energibesparende foranstaltninger som fx udskiftning af vinduer eller efterisolering af tagkonstruktion siden sidste justering.

En justering af centralvarmeanlæg vil typisk indebære, at vandflowet i radiatoranlægget skal indreguleres samt at vejrkompenseringsanlægget og pumperne indstilles.

Formålet er at få vandet fordelt på en sådan måde, at de enkelte forbrugssteder netop tilføres de beregnede mængder centralvarmevand. Som afslutning på en indregulering indstilles den automatiske regulering i henhold til forudsætningerne for indreguleringen.

#### Symptomer på manglende indregulering:

- For høje returtemperaturer på de strenge, der er tættest ved varmecentralen, og faldende returtemperaturer hen mod anlæggets yderender
- For høj fremløbstemperatur i forhold til den projekterede temperatur
- En cirkulationspumpe, der er større end den oprindeligt projekterede, og som ikke skyldes ombygninger eller udvidelser, der kræver større pumpekapacitet
- Klager fra brugerne over dårlig komfort (udsving i rumtemperaturen)
- For lille afkøling

### Indregulering i praksis

Fremgangsmåderne kræver en væsentlig indsats i forhold til dokumentation, hvis indreguleringen skal have varig værdi.

Hvis der anvendes faste modstande, er et typisk forløb i en større ejendom:

1. Udarbejdelse af principdiagram for hele anlæg, herunder nummerering af alle ventiler
2. Beregning af alle vandmængder efter rumvarmebehov eller radiatorstørrelser
3. Beregning af alle forindstillinger på radiatorer og strengreguleringsventiler, hvis man anvender den såkaldte forindstillingsmetode
4. Indstilling af alle ventiler og efterfølgende kontrolmåling
5. Hvis man anvender proportionalmetoden, forindstilles radiatorventilerne, og strengreguleringsventilerne indstilles efter de beregnede forholdstal mellem flowene i strengene. Herefter indstilles hovedflow på pumpe eller en central måleventil

Hvis der anvendes aktive ventiler, dvs. trykdifferensventiler eller flowbegrænsere, indstilles de enkelte strenge efter de ønskede tryk eller flow. Der kræves altså også beregning af flow.

Fordelen ved de aktive ventiler er først og fremmest, at vekselvirkningen mellem de enkelte strenge er langt mindre.

Med hensyn til ovennævnte forindstillingsmetode og proportionalmetode henvises til Varme Ståbi.

## Mindre centralvarmeanlæg

Hvis det er nødvendigt at indregulere varmeanlæg i enfamiliehuse og andre mindre bygninger, kræver det, at der er monteret forindstillelige termostatventiler eller termoaktuatorer (gulvvarme) i anlægget.

Når alle termostatventiler eller termoaktuatorer er åbnet så meget, som forindstillingen tillader, og når alle radiatorer eller gulvvarmekredse derefter gennemstrømmes af den ønskede vandstrøm, er anlægget i balance. Den ønskede rumtemperatur kan opnås, når fremløbstemperaturen er korrekt.

## Strengreguleringsventiler

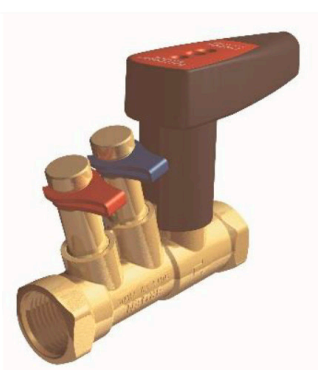
Strengreguleringsventiler benyttes i centralvarmeanlæg til indregulering af anlæg med flere strenge.

Strengreguleringsventilernes opgave er at skabe et passende tryktab i den enkelte streng, så der opretholdes det samme differenstryk mellem de enkelte strenges fremløb og retur.

Ved at benytte strengreguleringsventiler og indstille dem korrekt (indregulering) opnås et centralvarmeanlæg i hydraulisk balance. Det vil sige et anlæg, hvor hver enkelt streng tilføres den ønskede eller nødvendige vandmængde fx også i forbindelse med opstart efter natsækning, hvor termostatventilerne er åbne.

Der benyttes to typer strengreguleringsventiler:

- Den statiske, der indstilles til en fast modstand, der forbliver uændret uanset de dynamiske svingninger i anlægget
- Den dynamiske, der ikke har en fast indstillet modstand, men en modstand, der varierer i takt med de ændringer, der kan ske i forsyningsledningerne



Figur 10. Statisk ventil med måleudtag



Figur 11. Dynamisk ventil (trykdifferensregulator)

Elforbruget til cirkulationspumpen er højere i et varmeanlæg med dynamiske strengreguleringsventiler end i et anlæg med statiske strengreguleringsventiler. Det skyldes, at der kræves et mini-mumsdifferenstryk på 20 – 30 kPa over strengen foran den dynamiske ventil. Til gengæld opnås et mere velfungerende varmeanlæg med en korrekt varmefordeling.

Ved anvendelse af moderne omdrejningstalregulerbare cirkulationspumper med proportionaltryksregulering er forskellen på de to typer systemer ikke nævneværdig.

En indregulering af varmesystemet giver ikke i sig selv en varmebesparelse. En indregulering medfører, at varmesystemet kommer i balance, og at der tilføres de vandmængder til de enkelte radiatorer, som er nødvendige for at opretholde de ønskede rumtemperaturer. Men når anlægget kommer i balance som følge af indreguleringen, medfører det ofte, at fremløbstemperaturen til varmesystemet kan reduceres. Det resulterer i et lavere varmetab fra cirkulationsledningerne og dermed en energibesparelse. Energibesparelsen afhænger primært af isoleringstykkelsen på cirkulationsledningerne.

Reduktionen af fremløbstemperaturen har i nogle tilfælde også den fordel, at der ikke opstår for høje rumtemperaturer, selv ved maksimal temperaturindstilling af termostatventilerne. Indregulering skal derfor hænge nøje sammen med udetemperaturkompensering, hvor fremløbstemperaturen reguleres efter udetemperaturen.

## Udførelse

### Dimensionering af ventiler

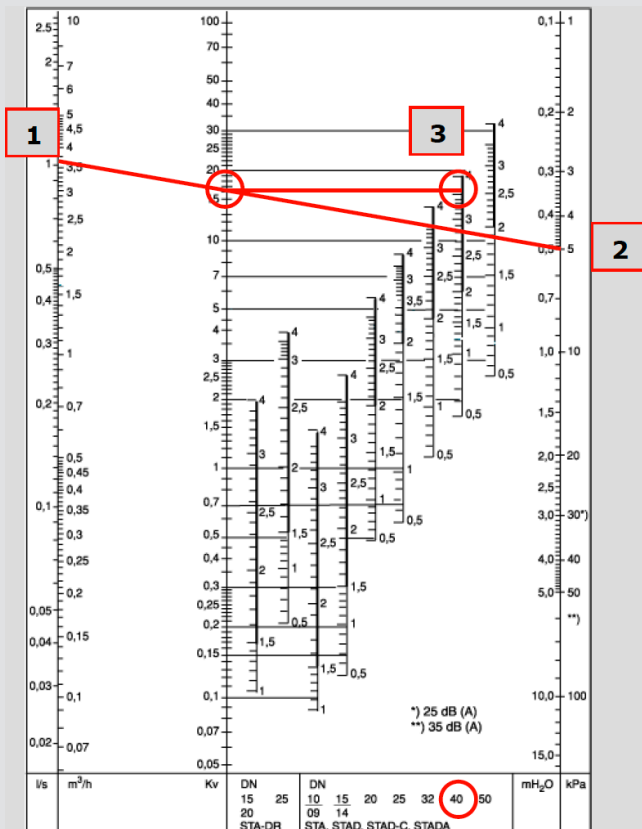
#### Eksempel 3 - Dimensionering af statisk strengreguleringsventil

Ved valg af en strengreguleringsventil skal flowet gennem ventilen (venstre side i figur 12 (1)) og det ønskede differenstryk over ventilen (yderst til højre i figur 12 (2)) kendes. Mellem de to punkter tegnes en ret linje. Den rette line skærer et punkt i den lodrette linje Kv. I dette tilfælde i punktet Kv = 16.

Fra dette punkt tegnes en vandret linje, der skærer en række lodrette kurver, som er indstillingskurver for de enkelte strengreguleringsventiler.

I dette tilfælde vælges en strengreguleringsventil med en rørdiameter på 40 mm (vist med en rød cirkel (3)). Den valgte strengreguleringsventil skal indstilles på ca. 3,5 for, at flowet igennem den er 3,6 m<sup>3</sup>/h, og differensstrykket over den er 5 kPa.

Figur 12. Eksempel på diagram til indstilling af strengreguleringsventil



## Montage

Det er nødvendigt at tømme anlægget for vand ved udskiftning af eksisterende eller montering af nye strengreguleringsventiler. Vandet tømmes ned i et afløb eksempelvis via en slange.

## Funktionsafprøvning

Afprøvningen skal eftervise, at anlægget er indreguleret efter forudsætningerne.

Flowene kan for eksempel måles via de strengreguleringsventiler, der er monteret i anlægget med indbygget trykudtag for flow- og trykmåling. Der benyttes eksternt måleudstyr til måling af trykdifferensen over ventilen.

## Eftersyn

Strengreguleringsventiler bør være forsynede med et mærkat eller et skilt, hvorpå indstillingsværdien står. Hvis dette ikke findes, kan man gå ud fra, at anlægget ikke er indreguleret korrekt.

Da ventilerne også kan anvendes til afspærring, og derfor ikke altid justeres tilbage til korrekt værdi efter reparationsarbejde, anbefales det, at indstillingsværdierne kontrolleres og at de eventuelt justeres, så de svarer til værdierne på indstillingsskiltene.

## Regulering af større varmeanlæg

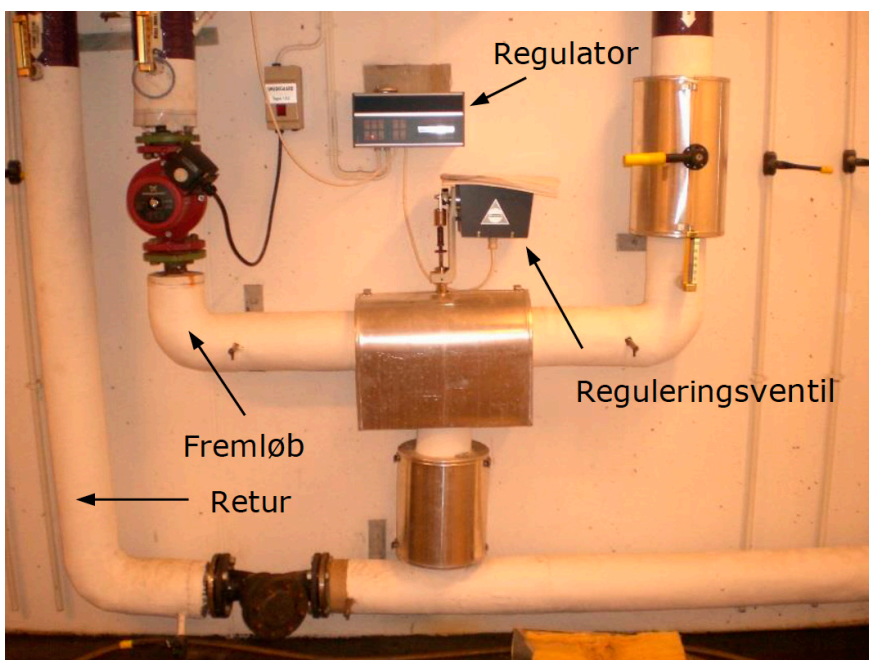
Regulering af varmeanlæg.

### Udetemperaturkompensering

I de fleste varmecentraler er der installeret et vejrkompenseringsanlæg, som regulerer fremløbstemperaturen til radiatoranlægget afhængigt af udetemperaturen. Jo lavere udetemperatur, jo højere er fremløbstemperaturen på vandet, der sendes til radiatorerne.

Et vejrkompenseringsanlæg sparer varmetab fra centralvarmerørene i ejendommen. Hvis ejendommen har fjernvarmeforsyning, kan der spares mere, idet afkølingen af fjernvarmevandet bliver bedre.

Desværre ses det ofte, at vejrkompenseringsanlægget er indstillet forkert, og fremløbstemperaturen er indstillet for højt for at forebygge, at beboere klager over utilstrækkelig varme. Dette resulterer dog i et unødigt stort energiforbrug og øgede energiomkostninger.



Figur 13. Direkte fjernvarmeanlæg med blandesløjfe. En føler i fremløbet giver signal til regulatoren, der igen giver signal til ventilen

### Energibesparelse

For større bygninger beregnes varmebesparelsen ved indregulering og udetemperaturkompensering ud fra et årligt varmeforbrug.

Desuden er det nødvendigt at kende det graddageuafhængige forbrug (GUF). En bygnings graddageuafhængige forbrug defineres som den mængde varme, der bruges i bygningen uafhængigt af udetemperaturen. Dette er typisk energiforbruget til opvarmning af varmt brugsvand og de varmetab, der er forbundet hermed i rørinstallationer, varmtvandsbeholdere, cirkulationsledninger, tomgangstab på kedlen mv.

GUF kendes normalt ikke. Der kan i disse situationen anvendes en standardværdi på 28–30 % af det årlige varmeforbrug. En anden mulighed er at bestemme/aflese varmeforbruget i sommerhalvåret (typisk i månederne juni, juli og august) og så skalere det op til et helt år.



Det forudsættes, at der kan opnås en besparelse på minimum 5 % af det graddageafhængige forbrug (GAF), dvs. forbrugt til rumopvarmning. Større besparelser ses imidlertid ofte.

Varmebesparelsen beregnes således:

$$E_{\text{besparelse}} = 0,05 \cdot \left(1 - \left(\frac{GUF}{100}\right)\right) \cdot E_{\text{varme,årligt}}$$

## Udførelse

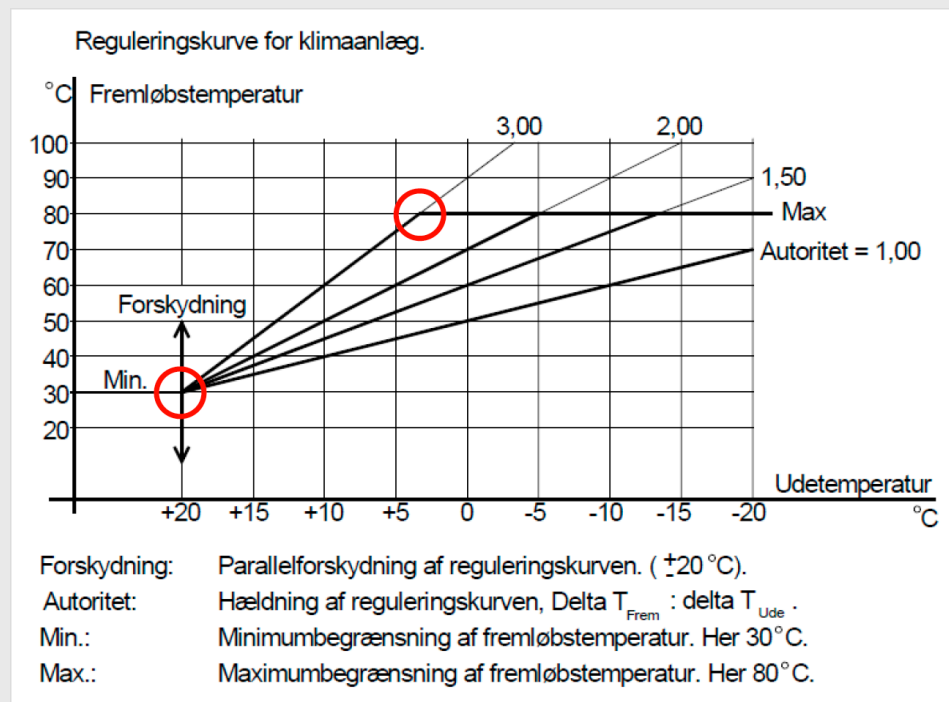
## Dimensionering

## Indstilling af fremløbstemperaturkurven

### Eksempel 4

I et vejrkompenseringsanlæg kan der, som det ses i figur 13, vælges forskellige kurver for sammenhængen mellem fremløbstemperatur og udetemperatur.

Kurverne har forskellige hældninger (her kaldet autoritet). Kurverne kan endvidere parallelforskydes. I dette tilfælde  $\pm 20$  °C. Der kan endvidere vælges en minimum- og maksimumbegrænsning af fremløbstemperaturen. I dette tilfælde henholdsvis 30 °C og 80 °C.

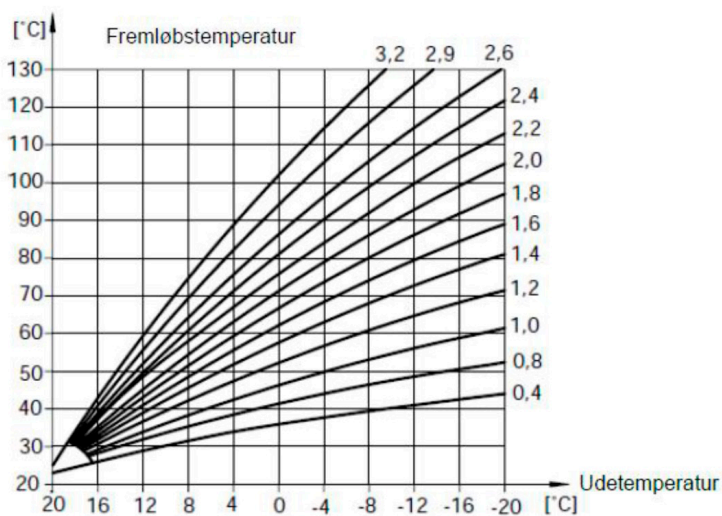


Figur 14. Vejrkompenseringsanlæg med rette kurver

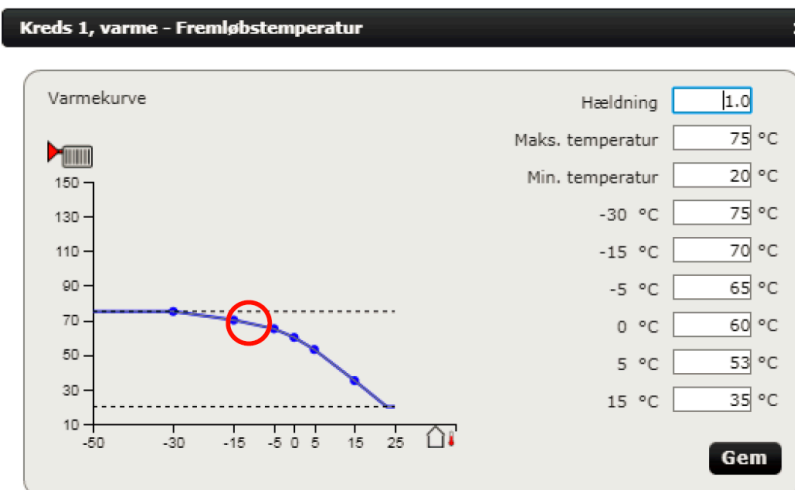
Som udgangspunkt vælges en kurve, der går gennem to punkter. Det ene punkt er fremløbstemperaturen ved den dimensionerende driftstilstand – det vil sige ved en udetemperatur på -12 °C. Det andet punkt er fremløbstemperaturen ved ophør af fyringssæsonen – det vil sige ved en udetemperatur på 17 °C. Den temperatur vil man typisk vælge til 25-30 °C.

Hvis det viser sig, at den valgte kurve ikke giver den ønskede komfort i opholdsrummene, kan man enten forskyde kurven eller vælge en kurve med en anden autoritet.

I figur 13 ses, at kurverne er rette linjer. I nyere vejrkompeniseringsanlæg er kurverne krumme. Denne krumning sikrer, at fremløbstemperaturen i overgangsperioder (forår og efterår) bliver højere, end den ville være blevet, hvis kurven var en ret linje. Se figur 11.



Figur 15. Vejrkompeniseringsanlæg med krumme kurver



Figur 16. Eksempel på indstilling af varmekurve, kurven er valgt efter de seks temperaturpunkter. I dette tilfælde er varmekurven indstillet på CTS-anlægget. Den høje fremløbstemperatur viser, at der er tale om en ældre ejendom

## Montage

### Gas og oliefyrede kedler

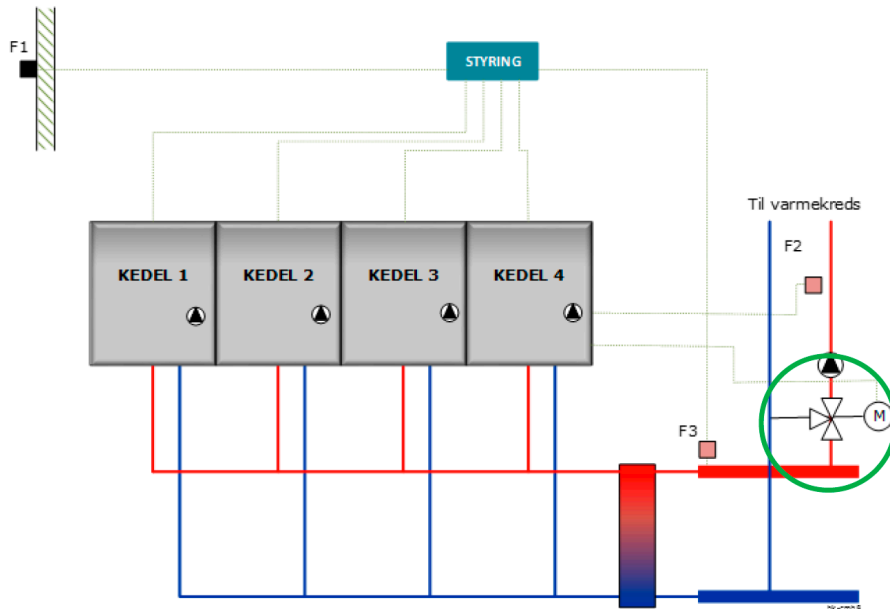
#### Kedler med stort vandindhold

I anlæg med gas- og oliefyrede kedler med stort vandindhold (typisk 20 – 100 liter) påbygges en shunt og en motorstyret trevejsventil, som styres af vejrkompeniseringsanlægget. På de fleste anlæg er shunt, trevejsventil og vejrkompeniseringsanlægget dog allerede installeret.

## Kaskadekoblede/seriekoblede gaskedler med lille vandindhold

I anlæg med kaskadekoblede/seriekoblede gaskedler med lille vandindhold må der ikke påbygges en shunt og en motorstyret trevejsventil. I denne type kedel kan der benyttes en glidende kedeltemperatur efter udetemperaturen. Det vil sige, at kedelfremløbstemperaturen er lig med anlæggets fremløbstemperatur, og at den varierer efter udetemperaturen.

Kedelleverandørerne kan levere denne type reguleringsudstyr sammen med deres kedler.



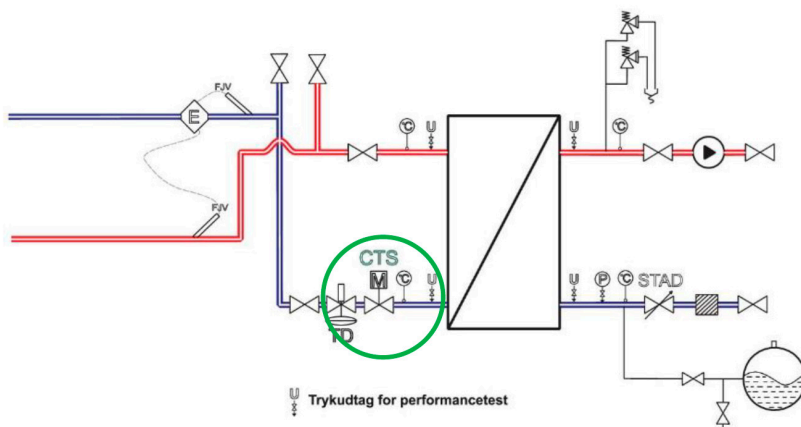
Figur 17. Kaskadekoblede gaskedler med lille vandindhold

## Fjernvarmeanlæg

I både direkte og indirekte fjernvarmeanlæg påbygges en motorstyret tovejsventil i fjernvarmereturledningen, som styres af vejrkompenseringsanlægget.

Ved svingende differenstryk kan det være nødvendigt at montere en trykdifferensregulator over reguleringsventilen.

I fjernvarmeanlæg med direkte tilslutning anvendes som regel en kontraventil, så anlægget ikke kortslutter, fx hvis pumpen stoppes. Det er vigtigt, at kontraventilen er dimensioneret til den maksimale vandstrøm i varmeanlægget.



Figur 18. Indirekte fjernvarmeanlæg

## Vejrkompen-seringsanlægget

Vejrkompen-seringsanlægget (regulatoren) placeres i nærheden af varmeanlægget. Udeføleren skal monteres på bygningens nordside og placeres således, at den ikke påvirkes af solstråler.

Andre temperaturfølere samt el-tilslutninger monteres som beskrevet i vejledningen til vejrkompen-seringsanlægget. Det er vigtigt, at fremløbsføleren anbringes tæt på blandepunktet eller veksleren efter leverandørens anvisninger.

### Funktionsafprøvning

I henhold til Bygningsreglementet kap 19 § 391 skal der gennemføres en funktionsafprøvning af varme- og køleanlæg før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at varme- og køleanlæggene overholder bygningsreglementets krav til indregulering og styring.

### Eftersyn

I forbindelse med service/eftersyn på kedlen eller fjernvarmeanlægget bør der foretages et tjek af vejrkompen-seringsanlægget.

Tjekket skal vise, om der er den ønskede og indstillede sammenhæng mellem ude-, fremløbs- og rumtemperatur. Eventuelle defekte følere udskiftes i forbindelse med eftersynet.

## Nat- og weekendsænkning

Vejrkompeniseringsanlægget, som blev beskrevet i det foregående afsnit, bør endvidere indeholde en funktion, der gør det muligt at sænke rumtemperaturen på bestemte tidspunkter, eksempelvis om natten og i weekenden.

### Energibesparelse

Etablering af nat- og weekendsænkning giver skønsmæssigt en besparelse på 2 - 3 % af forbruget til rumopvarmning i bygninger til beboelse.

Nat- og weekendsænkningens energibesparende effekt afhænger af:

- Bygningens termiske træghed
- Med hvor mange grader temperaturen sænkes
- I hvor lang tid sænkningen varer

### Udførelse

#### Dimensionering

Nat- og weekendsænkning kan ske ved at reducere fremløbstemperaturen (skønsmæssigt 5 - 10 °C) i nattetimerne og eventuelt i weekenden. Nat- og weekendsænkningen bør om muligt ske via vejrkompeniseringsanlægget.

Det kan også ske ved at afbryde varmforsyningen i nattetimerne og eventuelt i weekenden. Dette kan enten ved at afbryde cirkulationspumpen eller kedlen, f.eks. via et CTS-anlæg.

En anden mulighed er at bruge termostatventiler med natsænkning og en moderne selvregulerende cirkulationspumpe, som reducerer cirkulationen af centralvarmevandet når ventilerne er lukkede.

En simpel løsning vil være at afbryde for cirkulationspumpen eller kedlen ved hjælp af en simpel urstyring. Det være bedst at slukke for kedlen, da centralvarmevandet således stadig vil blive cirkuleret rundt og derved minimere risikoen for evt. frostskafer.

Såfremt der er tale om anlæg med kondenserende gas- eller oliekedler, er det vigtigt at undersøge de driftsmæssige forskrifter for den givne kedel med hensyn til natsænkning og etablering heraf.

### Montage

Afhængig af hvilken løsning det er muligt at vælge, kan arbejdet bestå i programmering af vejrkompeniseringsanlægget eller CTS-anlægget eller montering af urstyringer.

### Funktionsafprøvning

Der er ikke krav om funktionsafprøvning af en nat- og weekendsænkningfunktion.

### Eftersyn

I forbindelse med service/eftersyn på kedlen eller fjernvarmeanlægget bør der foretages et tjek af vejrkompeniseringsanlægget og herunder nat- og weekendsænkningfunktionen.

## Radiatortermostatventiler

Varmeforbruget til rumopvarmning kan reduceres væsentligt ved anvendelse af termostatstyrede radiatorventiler frem for manuelle. Varmeforbruget kan yderligere reduceres ved anvendelse af termostatstyrede radiatorventiler med elektronisk automatik.

Ved valg af radiatortermostatventiler skal det sikres, at der kan opnås et tilfredsstillende trykfald over alle de tilsluttede radiatorer.



Figur 19. Radiatortermostatventil

## Energibesparelse

Radiatortermostatventiler har den store fordel, at selvom det er koldt udenfor, og ventilerne burde lukke op for varmen, vil de på nogle tidspunkter lukke i, hvis rummet tilføres en tilstrækkelig mængde gratisvarme i form af f.eks. sollys.

Det er dog vigtigt at radiatortermostatventilerne ikke indstilles til en for høj rumtemperatur. En reduktion af rumtemperaturen med 1 °C giver skønsmæssigt en besparelse på 5 - 8 % af forbruget til rumopvarmning.

Ved at udskifte termostatstyrede radiatorventiler til termostatstyrede radiatorventiler med elektronisk automatik med nøjagtig varmeregulering samt arbejdstidsæknings-, natsæknings- og udluftningsfunktionalitet, kan der opnås en besparelse på 15 % på den samlede varmeregning. De 8 % opnås ved en temperatursænkning i halvdelen af huset i 15 timer 5 dage om ugen.

## Udførelse

## Dimensionering

## Tryktab i radiatortermostatventiler

For radiatortermostatventiler og andre reguleringsventiler i øvrigt gælder, at det er trykdifferensen  $\Delta p$  over ventilen, der driver vandet igennem ventilen.  $\Delta p$  over radiatortermostaten bør være maks. ca. 10 kPa på grund af risiko for støj.

Ved for lavt differenstryk kan der komme for lidt vand gennem ventilen og radiatoren, hvilket medfører manglende varme.

Ved fjernvarmeanlæg, som er direkte tilsluttet fjernvarmeledningerne, er der ofte problemer med reguleringen på grund af det høje og svingende gadeledningstryk.

Problemet med reguleringen konstateres ved pendling, hvor rumtemperaturen svinger. I nogle tilfælde med helt op til  $\pm 3$  °C.

Det kan løses i den enkelte lejlighed ved montering af trykdifferensregulator.

## Proportionalbånd

Det anbefales af komfortmæssige grunde at beregne radiatortermostater efter et P-bånd (Xp) på 1-3° C, altså ca. 2° C.

Et meget lille P-bånd stiller store krav til ventiler, følere mv., mens et stort P-bånd vil regulere rumtemperaturen dårligt med store temperatursving til følge og derved dårlig komfort og økonomi.

## Dimensionering af radiatortermostatventiler

I forbindelse med dimensionering og valg af radiatortermostatventiler kan følgende fremgangsmåde benyttes:

- Den nødvendige Kv-værdi fastlægges. Fastlæggelsen sker på baggrund af:
  - 1. Laveste forekommende differenstryk over ventilen**  
Reguleringsventiler dimensioneres ud fra det lavest forekommende differenstryk, hvilket oftest er om vinteren, hvor behovet er størst. I alle andre situationer vil ventilen være for stor. Der skal her tages hensyn til, at andre komponenter i systemet har tryktab, og at det mindste differenstryk over ventilen derfor ikke er differenstrykket
  - 2. Beregnet maksimalt flow gennem ventilen**  
Beregning kan ske ud fra den overførte effekt og afkølingen. Hvis radiatoren er overdimensioneret, hvilket er helt almindeligt, dimensioneres der oftest efter rummets varmebehov
- Der vælges en ventil med et proportionalbånd på 1 - 2 °C. Leverandørerne har tabeller og diagrammer til bestemmelse af ventilen. Kv-værdien er vandflow i m<sup>3</sup> pr. time ved helt åben ventil og et trykfald over ventilen på 1 bar. Den angives som regel ved et proportionalbånd på 2 °C.

Endvidere angives Kvs-værdien, som er Kv-værdien ved fuldt åben ventil.

For ventiler med forindstilling angives Kv-værdien som funktion af forindstillingen, forudsat at proportionalbåndet er 1 - 2 °C

- Normalt skal differenstrykket være fra 5-10 kPa over termostatventilen. Termostatventiler kan give pendlende drift, men dette kan som regel accepteres.  
Hvis der i delastituationer ligger for stort tryktab over termostatventilen, kan dette give anledning til støj
- Bemærk, at der findes særlige ventiler til en-strengsanlæg
- Moderne cirkulationspumper med proportionalregulering egner sig godt til anlæg med termostatventiler. Hvis



flowet i anlægget går ned, når termostaterne lukker, reducerer pumpen trykket, så risikoen for støj mindskes

## Forindstillinger af termostatventiler

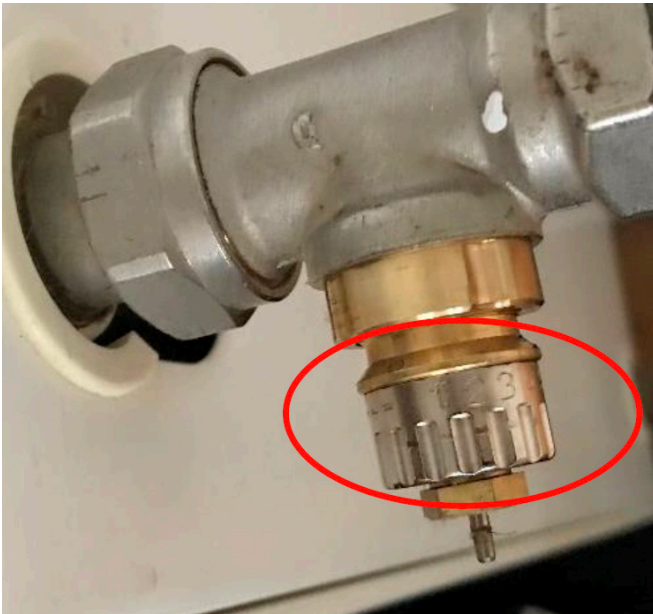
Termostatventiler kan fås med og uden forindstilling.

Hvis ventilerne er forindstillede korrekt, er anlægget i hydraulisk balance, også når anlægget og bygningen er kold, og termostaterne er fuldt åbne.

Montering af termostatventiler med forindstilling, der ikke bliver beregnet korrekt og herefter heller ikke indstilles korrekt, gør dog mere skade end gavn.

Følgende anbefales som hovedregler, men der er undtagelser:

- I de tilfælde hvor tryktabet i fordelingsledningerne holdes under 5 kPa, kan strengreguleringsventiler erstattes af forindstillede termostater ved lidt større anlæg end i fx enfamiliehuse (og mindre etageejendomme med nogle få opgange)
- Der anbefales at foretage forindstilling i udstrakte anlæg med strengreguleringsventiler og med flere end nogle få radiatorer pr. streng.



*Figur 20. Eksempel på termostatventil med forindstilling (ring der kan indstilles, så radiatoren forsynes med netop den rigtige vandmængde, selv når der skrues helt op for termostaten)*

## Beregning af forindstilling

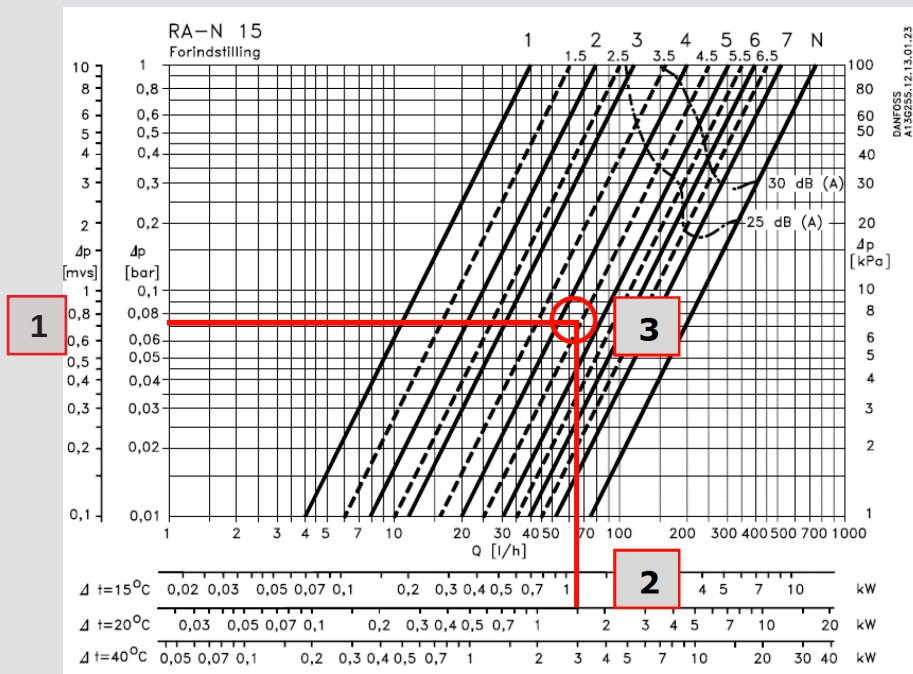
Der anvendes normalt et tryk på 5 - 10 kPa som udgangspunkt.

Drejer det sig om en stigstreng i en ejendom med nedre fordeling, beregnes den øverste radiatorventil først. Herefter lægges rørmodstanden ned til næste etage til. Herved fås trykket for næste ventil. Det er meget almindeligt, at man kan se bort fra tryktabet i stigstrengene.

## Eksempel 5

I figur 20 ses et eksempel på en kurve til bestemmelse af forindstillingen af en radiatortermostatventil. Forindstillingen findes ved at gå ind på x-aksen med varmebehovet og y-aksen med differenstrykket. Skæring mellem de to viser forindstillingsværdien.

I figuren er skæringen mellem varmebehovet (1,5 kW ved en temperaturdifferens på 20 °C (2)) og differenstrykket over ventilen (0,075 bar (1)) indtegnet. Skæringspunktet svarer til en forindstilling på 4,5 (3).



Figur 21. Kurve til bestemmelse af forindstillingen af en radiatortermostatventil

## Montage

Det er nødvendigt at tømme anlægget for vand ved udskiftning af manuelle radiatorventiler til termostatstyrede radiatorventiler. Vandet tømmes ned i et afløb eksempelvis via en slange.

Termostatstyringen må ikke tildækkes af møbler eller tunge gardiner. Det gælder uanset, om føleren er placeret i termostatstyringen eller som fjernføler. Termostatstyrede radiatorventiler med følerelement placeret væk fra selve radiatoren er følsomme overfor træk. Derfor skal disse så vidt muligt placeres, hvor træk ikke forekommer.

## Funktionsafprøvning

I henhold til Bygningsreglementet kap 19 § 391 skal der gennemføres en funktionsafprøvning af varme- og køleanlæg før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at varme- og køleanlæggene overholder bygningsreglementets krav til indregulering og styring.

Husejeren eller beboerne bør informeres om, at termostatstyrede radiatorventiler ca. en gang om måneden skal motioneres for ikke at sætte sig fast, og hvad der skal gøres, hvis ventilen først sidder fast.



*Figur 22. Radiatorventil*

Hvis en radiator ikke bliver varm, kan det ofte skyldes, at ventilen har sat sig fast. Dette opleves ofte, når radiatoren ikke har været i brug hele sommeren.

## Reguleringsventiler til gulvvarme

Gulvarmeanlægget er forsynet med reguleringsventiler, der åbnes og lukkes af en regulator med en rumføler. Systemet skal sørge for at opretholde de ønskede rumtemperaturer. Systemet skal sikre, at ventilerne lukker, hvis der fx er varme fra solindfald eller anden gratisvarme. Normalt forsynes gulvarmeanlægget i manifold fra henholdsvis fremløbsmanifold og returmanifold. Der er monteret motorventiler (termoaktuatorer) og forindstillingsventiler til hver kreds.

### Energibesparelse

Korrekt vandbalance i gulvvarmesystemet er nødvendig, for at opnå optimal komfort i boligen med det mindst mulige energiforbrug. Derfor er det vigtigt at reguleringsventilerne dimensioneres korrekt.

### Udførelse

### Dimensionering

### Motorventiler (termoaktuatorer)

Termoaktuatorer montres på en gulvvarmemanifold, hvor de anvendes til on/off regulering. Termoaktuatorer kan ikke positioneres i en given indstilling.

Trykdifferensen  $\Delta p$  over motorventilen bør være maks. ca. 5 kPa.



Figur 23. Termoaktuatorer

### Forindstillingsventiler

Det er vigtigt, at gulvvarmeanlægget er korrekt indreguleret, da der ellers ikke er nogen garanti for, at der kan opnås den ønskede temperatur i de enkelte rum. Gulvarmeanlæg er derfor udstyret med indreguleringsventiler, der kan være monteret i returmanifolden. Forindstillingen af ventilerne bestemmer gennemstrømningen i gulvvarmeslangerne og er derfor en vigtig faktor, for at opnå den optimale vandbalance i systemet.

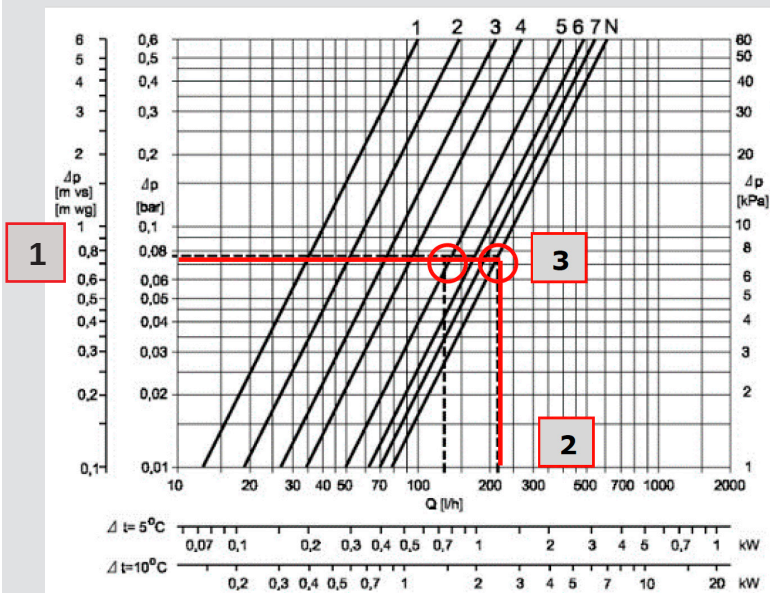
### Beregning af forindstilling

Der er en række regler, det er vigtigt at overholde i forbindelse med beregningen af indreguleringen af de enkelte gulvvarmekredse. For det første skal man huske, at ventilen til den længste gulvvarmekreds altid skal stå helt åben. De efterfølgende ventiler beregnes og indstilles herefter således, at tryktabet over de øvrige kredse bliver det samme som over den længste. Dette gøres blandt andet ved at beregne det nødvendige flow for hvert enkelt kreds.

## Eksempel 6

I nedenstående figur ses et eksempel på en kurve til bestemmelse af forindstillingen af en gulvarmeventil. Forindstillingen findes ved at gå ind på x-aksen med flowet og y-aksen med differenstrykket. Skæring mellem de to viser forindstillingsværdien. Flowet i den længste slange er beregnet til 220 l/h. Tryktabet i slangen er beregnet til ca. 0,8 mVs. Ventilen skal stå fuldt åben og indstilles i position N.

Flowet i den næste slange er beregnet til 130 l/h. Tryktabet i slangen skal være det samme som i den længste slange, altså 0,8 mVs. Ventilen skal derfor indstilles i position 5.



Figur 24. Kurve til bestemmelse af forindstillingen af en gulvarmeventil

## Montage

Med udskiftning af motorventiler eller forindstillingsventiler, er det nødvendigt at tømme anlægget for vand. Når ventilerne er udskiftet fyldes der vand i kredsene en ad gangen. Hver kreds udluftes, så det undgås at der er luft i anlægget.

## Funktionsafprøvning

I henhold til Bygningsreglementet kap 19 § 391 skal der gennemføres en funktionsafprøvning af varme- og køleanlæg før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at varme- og køleanlæggene overholder bygningsreglementets krav til indregulering og styring.

## Eftersyn

Motorventilerne (termoaktuatorerne) bør efterses en gang om året.



# ENERGIHÅNDBOGEN

## 2019



## VARMT BRUGSVAND



*Energihåndbogen er udgivet med støtte fra Grundejernes Investeringsfond*



# VARMT BRUGSVAND

## Indhold

<b>Varmt brugsvand</b>	<b>96</b>
<b>Varmt brugsvand med fjernvarme</b>	<b>96</b>
Gennemstrømningsvandvarmer	97
Varmtvandsbeholder	98
Ladekreds	98
Energibesparelse	99
Udførelse	99
Dimensionering af varmtvandsanlæg	99
Montage	106
Funktionsafprøvning	107
Eftersyn	107
<b>Varmt brugsvand med kedelanlæg og varmepumper</b>	<b>108</b>
Varmtvandsbeholder	108
Energibesparelse	108
Udførelse	109
Dimensionering af varmtvandsanlæg	109
Montage	113
Funktionsafprøvning	114
Eftersyn	114
<b>Varmt brugsvand med el opvarmning</b>	<b>115</b>
Varmtvandsbeholder	115
Gennemstrømningsvandvarmer	115
Energibesparelse	115
Udførelse	115
Dimensionering af varmtvandsanlæg	115
Montage	119



Funktionsafprøvning	120
Eftersyn	120
<b>Varmt brugsvand med solvarmeanlæg</b>	<b>121</b>
Energibesparelse	122
Udførelse	125
Dimensionering af solvarmeanlæg til varmt brugsvand	125
Montage	125
Funktionsafprøvning	126
Eftersyn	126
<b>Cirkulationssystemer</b>	<b>127</b>
Energibesparelse	127
Dimensionering	128
Montage	129
Funktionsafprøvning	129
<b>Bakterier i det varme vand</b>	<b>129</b>

## Varmt brugsvand

Varmtvandsanlægget skal sørge for at det varme brugsvand opvarmes til en passende temperatur i forhold til brug til bad, håndvask og rengøring og så udvikling af bakterier i rørsystemet og eventuelle beholdere minimeres mest muligt.

Anlæg til produktion af varmt brugsvand skal under hensyn til varmtvandstapstedernes antal og anvendelse kunne yde en tilstrækkelig vandmængde og vandstrøm med en temperatur, der passer til formålet. Ved de tapsteder, hvor der er behov for varmt vand, skal der være en passende varmtvandstemperatur til stede uden besværende ventetid under hensyn til energiforbrug, vandforbrug og hyppigheden af installationens brug.

Valg af løsning til opvarmning af brugsvand kan afhænge meget af hvilken varmforsyning der er i bygningen. Er der fjernvarme kan den lokale fjernvarmeforsyning stille krav til opbygningen af anlægget herunder om der må anvendes gennemstrømningsvandvarmer eller ej. Har bygningen eget kedelanlæg eller en varmepumpe til opvarmning vil det normalt være hensigtsmæssigt med en varmtvandsbeholder for at minimere effektbehovet.

Ved anvendelse af solvarme til opvarmning af brugsvand er varmtvandsbeholderne også den foretrukne løsning så det vand solen opvarmer kan gemmes til der er behov for det.

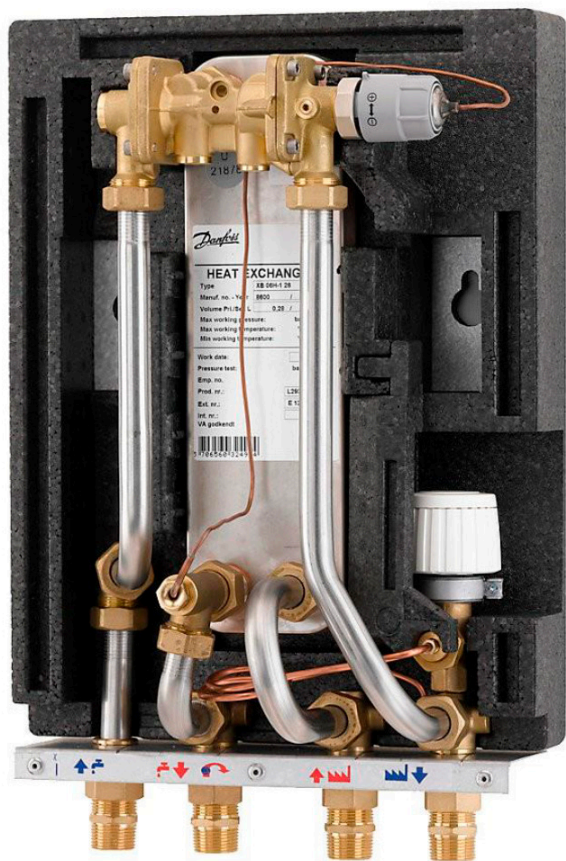
## Varmt brugsvand med fjernvarme

På næste side beskrives de mest anvendte anlægstyper til varmt brugsvand i fjernvarmeanlæg. I fjernvarmesystemer er der fokus på at fjernvarmevandet kan afkøles tilstrækkeligt hvilket påvirker dimensioneringen af systemerne.

## Gennemstrømningsvandvarmer

Gennemstrømningsvandvarmeren kan findes i flere udførelser men den mest anvendte type er pla-devarmeveksleren hvor vandet passerer opvarmningsmediet i modstrøm.

Gennemstrømningsvandvarmer anvendes primært i fjernvarmeinstallationer hvor der er den tilstrækkelige effekt til at foretage øjeblikkelig opvarmning af vandet. Gennemstrømningsvandvarmere har et relativt lille vandvolumen hvilket er en fordel i forhold til bakteriedannelse. Det er ikke alle fjernvarmeforsyninger der tillader brugen af gennemstrømningsvandvarmere fordi det kræver en stor effektkapacitet fra fjernvarmeværket fx om morgenen når der er mange der skal i bad samtidig.



Figur 1. Gennemstrømningsvandvarmer til enfa-miliehushus



Figur 2. Gennemstrømningsvandvarmer i varme-central

Gennemstrømningsvandvarmere kan både anvendes i større ejendomme og i enfamiliehuse. I nyere enfamiliehuse er gennemstrømningsvandvarmeren typisk indbygget som en del af en samlet fjernvarmeunit. I enfamiliehuse uden cirkulation på det varme brugsvand anvendes ofte et temperaturstyret "bypass" til at holde fjernvarmestikledningen varm, så der ikke sker en forsinkelse ved taping af varmt vand.

## Varmtvandsbeholder

Varmtvandsbeholdere har i modsætning til gennemstrømningsvandvarmeren et mindre effektbehov pga. den buffervirkning beholderen har. På grund af det relativt store vandvolumen i forhold til gennemstrømningsvandvarmeren, er det vigtigt at der er fokus på hvordan bakteriedannelse kan reduceres. Varmtvandsbeholdere i fjernvarmeanlæg kan inddeles i to typer:

- Ældre kappebeholder
- Beholder med varmespiral

Kappebeholdere af ældre typer er opbygget som en vandretliggende beholder med et varmelegeme som en kappe omkring beholderen. Denne type beholder anvendes ikke længere i nye installationer pga. en dårlig energiøkonomi som bl.a. skyldes en minimal temperaturlagdeling i beholderen.



Figur 3. Ældre kappebeholder



Figur 4. Nyere beholder med varmespiral

Beholdere med varmespiral er typisk lodretstående hvilket giver en god temperaturlagdeling af det varme vand i beholderen. Inden i beholderen er en spiral hvor vandet fra varmekilden strømmer og opvarmer vandet i beholderen. Effekten afhænger af overfladearealet på varmespiralen. Det er muligt at have flere spiraler i en beholder så der kan anvendes flere forskellige varmekilder f.eks. et solvarmeanlæg og et kedelanlæg. Varmtvandsbeholder med varmespiral findes i mange forskellige størrelser fra helt små beholdere på 30-300 liter til enfamiliehuse og til større beholdere op til flere tusind liter til større ejendomme.

## Ladekreds

En ladekreds er et system hvor der anvendes pladevarmveksler til at lade en beholder uden varmeafledning op med varmt vand. Ladekreds anvendes kun i større ejendomme. Fordelen ved en ladekreds er at det beregnede beholdervolumen normalt bliver mindre end for tilsvarende anlæg med en beholder med varmtvandsspiral, og at der kan opnås en bedre afkøling af fjernvarmevandet.

## Energibesparelse

I fjernvarmeanlæg kan energibesparelser på anlæg til varmt brugsvand fx opnås i form af et mindsket varmetab, fx ved udskiftning af vekslere eller beholdere til nye med bedre isolering og varmespiraler der ikke er tilkalkede og derfor har højere nyttevirkning. Der bør samtidig foretages en undersøgelse af varmtvandsbehovet da en eksisterende beholder kan være større end nødvendigt. Udskiftning af en varmtvandsbeholder i et fjernvarmeanlæg kan have følgende fordele:

- Bedre udnyttelse af varmen fra beholderen
- Bedre afkøling af fjernvarmevandet
- Bedre sikring mod bakterier ved lave vandvolumen
- Mindre kalkudfældning

Nedenstående skema er et eksempel på forventede energibesparelse ved udskiftning af varmtvandsbeholdere i forskellige størrelser:

Eksisterende varmtvandsbeholder	Ny varmtvandsbeholder					
	Energibesparelse i kWh pr. år					
	500 liter		1.000 liter		2.000 liter	
	Minimum	Lavenergi	Minimum	Lavenergi	Minimum	Lavenergi
500 l med 50 mm isolering	491	771	-	-	-	-
500 l med 75 mm isolering	245	526	-	-	-	-
1.000 l med 50 mm isolering	1.226	1.507	981	1.296	-	-
1.000 l med 75 mm isolering	806	1.086	561	876	-	-
2.000 l med 50 mm isolering	2.313	2.593	2.067	2.383	1.752	2.172
2.000 l med 75 mm isolering	1.167	1.927	1.402	1.717	1.086	1.507

Tabel 1. Eksempler på energibesparelser ved udskiftning af varmtvandsbeholdere

## Renovering af anlæg til varmt brugsvand

Det anbefales at renovere anlæg til varmt brugsvand i fjernvarmeinstallationer, hvis der er:

- Et stort varmetab
- Dårlig afkøling
- Mistanke om bakteriedannelse i varmtvandssystemet
- Hyppige driftsproblemer eller reparationer og/eller udskiftninger af komponenter, typisk på grund af tæring

Hvis fjernvarmeforsyningen tillader det, kan der også opnås besparelser i form af mindre varmetab ved udskiftning af en beholder til en højisoleret gennemstrømningsvandvarmer.

## Udførelse

### Dimensionering af varmtvandsanlæg

#### Varmt brugsvand

Anlæg til produktion af varmt brugsvand dimensioneres efter DS 439, Norm for vandinstallationer.

Anlæg til produktion af varmt brugsvand skal under hensyntagen til varmtvandsstedernes antal og brug kunne yde en tilstrækkelig vandmængde og vandstrøm med en temperatur, der passer til formålet.

## Anlæg i enfamilieshuse

Gennemstrømningsvandvarmer

En gennemstrømningsvandvarmer bør mindst kunne klare 32,3 kW ved et dimensionerende temperatursæt på:

- Fjernvarme, fremløb: 60 °C
- Fjernvarme, retur: 25 °C
- Varmt brugsvand: 45 °C
- Koldt brugsvand: 10 °C

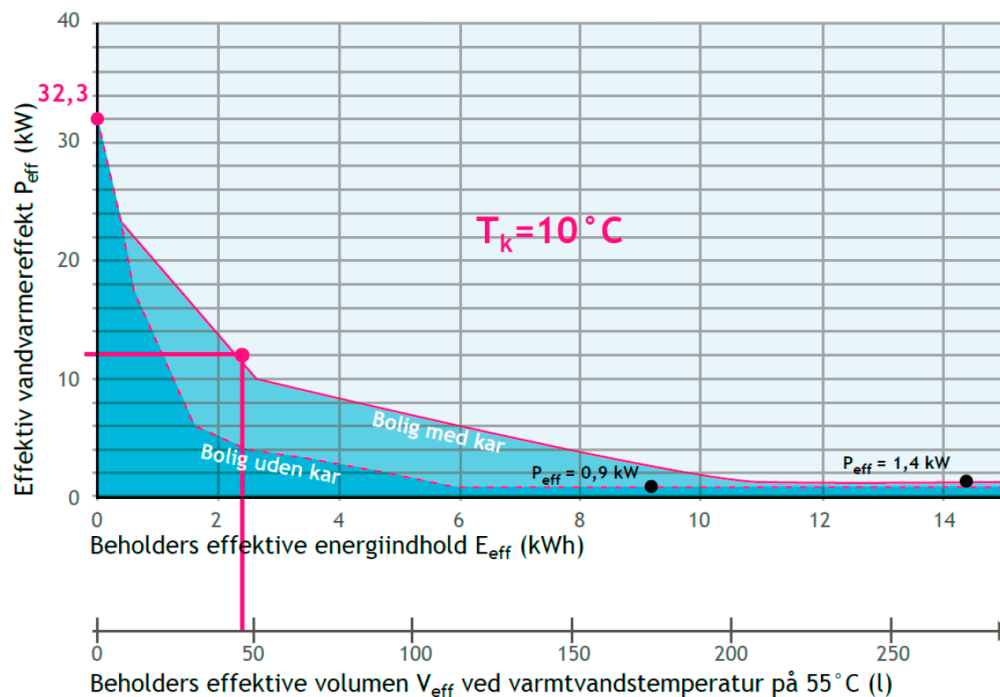
## Varmtvandsbeholder

Anlæg til produktion af varmt vand skal dimensioneres til en maksimal fremløbstemperatur på 60 °C og en maksimal returtemperatur på 30 °C. Ved disse temperaturer skal vandet kunne opvarmes fra 10 °C til 55 °C.

De væsentligste data for varmtvandsbeholderen er den effekt, som varmebladen kan tilføre vandet og beholderens volumen. I den forbindelse anvendes:

- det effektive beholdervolumen  $V_{\text{eff}}$  (det volumen vand, der kan tappes fra beholderen med varmtvandstemperatur  $T_{v,0}$ , før vandets afgangstemperatur er faldet til under en given afgangstemperatur  $T_{v,\text{min}}$ ). Beholderens geometriske volumen  $V \sim 1,4 \times V_{\text{eff}}$ .
- den effektive beholderydelse  $P_{\text{eff}}$ . Det vil sige den effekt, som varmebladen kan yde kontinuert ved en given effekttilførsel og ved opvarmning af brugsvandet fra en given koldt vandstemperatur  $T_k$  til den varmtvandstemperatur  $T_v$  som kan opnås ved den valgte vandstrøm  $q_v$ . Den effektive beholderydelse, som aflæses i leverandørernes kataloger, er for rene varmeblader. Effekten skal derfor korrigeres for belægninger med ca. 15 %.

I figur 6 ses den effektive beholderydelse  $P_{\text{eff}}$  som funktion af beholderens effektive volumen  $V_{\text{eff}}$ . Figur 6 stammer fra DS 439.



Figur 6. Fastlæggelse af varmvandsbeholderes effektive energiindhold



## Eksempel 1

I et enfamiliehus er der installeret en fjernvarmeveksler med en maksimal effekt på 14 kW. Kedlen har varmtvandsprioritering, og den maksimale effekt tilføres beholderen ved varmtvandsproduktion. Der er installeret badekar i boligen, og et normalt varmtvandsbehov.

Effekten skal som tidligere nævnt korrigeres for belægninger på varmepladen i varmtvandsbeholderen med ca. 15 %. Effekten  $P_0$ , der kan overføres til brugsvandet, er derfor:

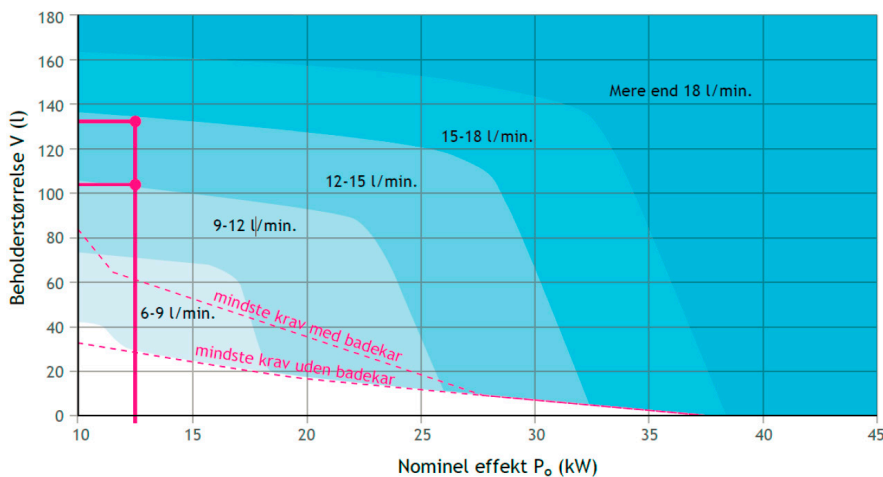
$$P_0 = 14 \text{ kW} / 1,15 = 12 \text{ kW}$$

Ved hjælp af figur 6 kan beholderens effektive volumen bestemmes til ca. 45 liter.

Beholderens geometriske volumen kan herefter bestemmes til:

$$V = 1,4 \cdot 45 \text{ liter} = 63 \text{ liter}$$

Der kan nu vælges en beholder på 60 liter (standardstørrelse).



Figur 7. Fastlæggelse af beholderstørrelse ved forskellige varmtvandsbehov

Varmtvandsbehov	Liter pr. minut i 10 min.	Det svarer fx til
Lille	6 - 9	Bruser
Normalt	9 - 12	Bruser og håndvask samtidig
Stort 12 - 15	12 - 15	Badekar eller to brusere samtidig
Meget stort 15 - 18	15 - 18	To brusere og en håndvask samtidig

Tabel 2.

## Eksempel 2

Eksempel 2 viser, hvilken størrelse beholder der bør vælges, hvis man dimensionerer efter DS 439 til et vandforbrug og et dagligt tappeprogram, der afviger væsentligt fra standard tappeprogrammet i DS 439, fx fordi man der er to badeværelser, som ofte benyttes samtidig, kan man benytte nedenstående figur til at bestemme beholderstørrelsen.

Hvis varmtvandsbehovet i enfamiliehuset i stedet for "normalt" er stort (12 – 15 liter pr. minut i 10 min.), skal beholderen ifølge ovenstående figur være et sted mellem 105 og 135 liter.

I dette tilfælde vil man typisk vælge en beholder på 110 liter. Næste standardstørrelse er 160 liter.



## Store anlæg (etageejendomme, kontorer m.m.)

### Gennemstrømningsvandvarmer

De væsentligste data for et anlæg til varmtvandsproduktion er antallet af "normallejligheder", for det andet den effekt, som varmepladen kan tilføre vandet, og for det tredje beholderens volumen. I den forbindelse anvendes:

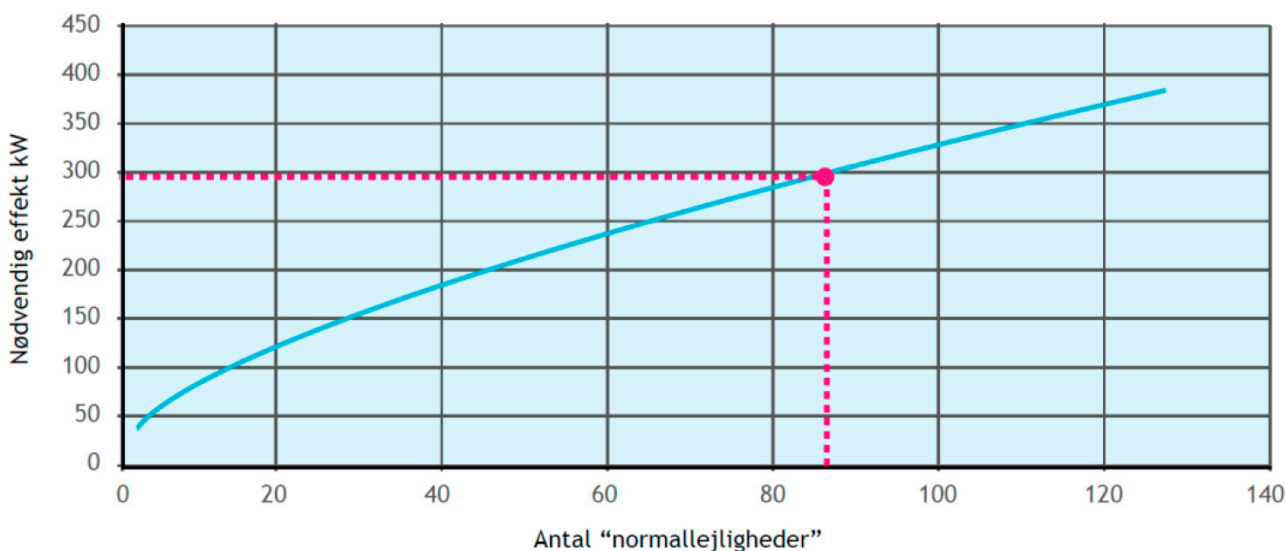
- Antallet af bygningens normallejligheder findes som bygningens energibehov pr. døgn divideret med en normallejligheds energiforbrug pr. døgn.
- Antallet af normallejligheder beregnes ud fra det faktiske antal lejligheder, antal beboere pr. lejlighed samt antal badeværelser og effekter pr. tapning.

$N = \Sigma (n \cdot p \cdot v \cdot E) / 3,5 \cdot 4,36$	
N	antallet af "normallejligheder"
n	antallet af lejligheder
p	antallet af beboere pr. lejlighed
v	varmtvandsenheder i lejligheden.
E	Sættes til 1 i boliger med ét badeværelse.
En normallejlighed forudsættes beboet af 3,5 person. Se endvidere DS 439.	

Tabel 3.

Figur 8 kan anvendes direkte til dimensionering af gennemstrømningsvandvarmere.

Figuren viser den dimensionerende effekt til varmt brugsvand (maksimal 1-minutværdi, opvarmning 45-10 = 35 °C) som funktion af antallet af normallejligheder.



Figur 8. Fastlæggelse af antal normallejligheder

### Eksempel 3

I en ejendom er der 100 lejligheder med gennemsnitligt tre personer pr. lejlighed. Der er en varmtvandsenhed pr. lejlighed. På baggrund af dette kan antallet af normalejligheder

*N* beregnes til:

$$N = (100 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 4,36) / 3,5 \cdot 4,36 = 86$$

Der vælges en gennemstrømningsvandvarmer med en effekt på ca. 300 kW. Varmespiralens effekt inkl. 15 % stentillæg kan derfor beregnes til ca. 345 kW.

### Varmtvandsbeholder

Anlæg til produktion af varmt vand skal dimensioneres til en maksimal fremløbstemperatur på 60 °C og en maksimal returtemperatur på 30 °C. Ved disse temperaturer skal vandet kunne opvarmes fra 10 °C til 55 °C.

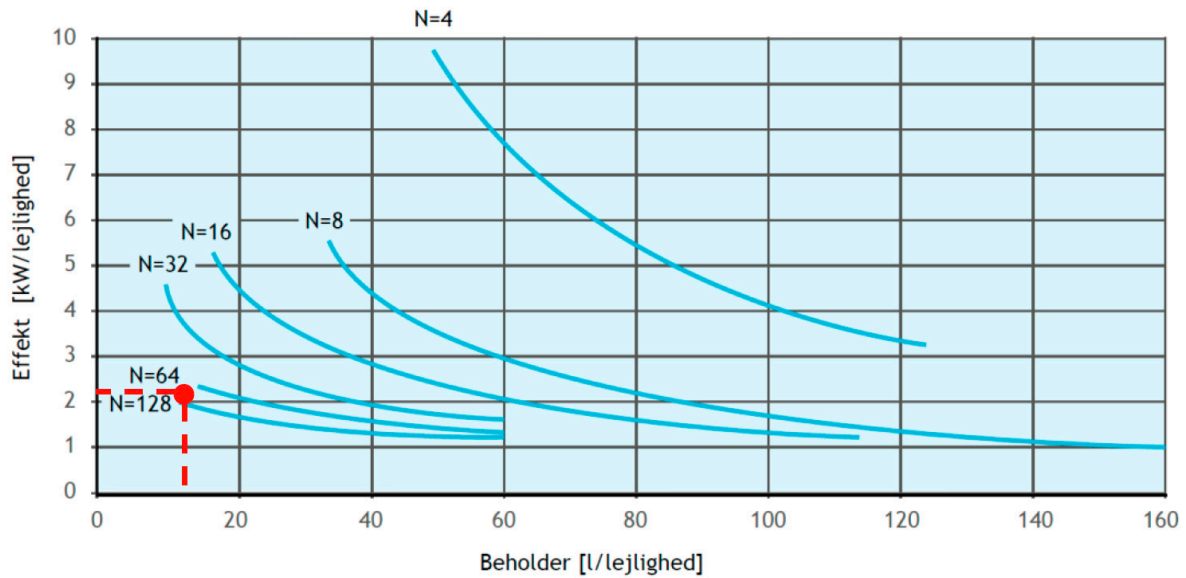
Det er vigtigt, at der er en god lagdeling i beholderen, så beholderens buffer-kapacitet udnyttes. Lagdelingen ødelægges, hvis cirkulationsstrømmen ledes ind i beholderen med stor hastighed.

De væsentligste data for et anlæg til varmtvandsproduktion er antallet af "normallejligheder", den effekt som varmepladen kan tilføre vandet og beholderens volumen. I den forbindelse anvendes:

- Antallet af bygningens normalejligheder findes som bygningens energibehov pr. døgn divideret med en normalejligheds energiforbrug pr. døgn.
- Antallet af normalejligheder beregnes ud fra det faktiske antal lejligheder, antal beboere pr. lejlighed samt antal badeværelser og effekter pr. tapning.
- Den nødvendige effekt pr. normalejlighed
- Det effektive beholdervolumen pr. normalejlighed

Beholdere med indbygget spiral forsynet med fjernvarme kan dimensioneres ved hjælp af figur 6. Effekt og beholdervolumen i diagrammet er angivet ved 45 °C. Der tages ikke hensyn til, at beholderen i daglig drift er indstillet til at arbejde ved højere temperaturer end de 45 °C. Cirkulationsledningens varmetab fratrukket 0,15 kW pr. lejlighed tillægges den nødvendige effekt.

PV-kurver for varmtvandsbeholdere med indbygget spiral til fjernvarme



Figur 9. Dimensionering af varmtvandsbeholder med spiral til fjernvarme

Eksempel 4

I en ejendom er der 100 lejligheder med i gennemsnit tre personer pr. lejlighed. Der er en varmtvandsenhed pr. lejlighed. På baggrund af dette kan antallet af normalejlighed N beregnes til:

$$N = (100 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 4,36) / 3,5 \cdot 4,36 = 86$$

Der vælges en beholder på 1.000 liter, svarende til ca. 12 liter pr. normalejlighed. I figur 9 ses, at den nødvendige effekt pr. normalejlighed er ca. 2,2 kW. Det vil sige, at den samlede effekt er ca. 189 kW.

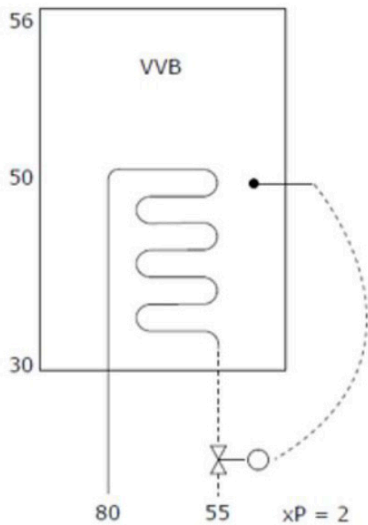
Cirkulationsledningens varmetab er beregnet til 0,15 kW/lejl. · 86 lejl. = 12,9 kW.

Varmespiralens effekt inkl. 15 % stentillæg kan beregnes til:

$$P_{\text{varmespiral}} = 1,15 \cdot (189 \text{ kW} + 12,9 \text{ kW}) = 232 \text{ kW}.$$

## Regulering

Anlæg til varmt brugsvand kan reguleres enten med en selvvirkende mekanisk ventil med en termostatisk føler eller med en motorventil og en elektronisk styring.



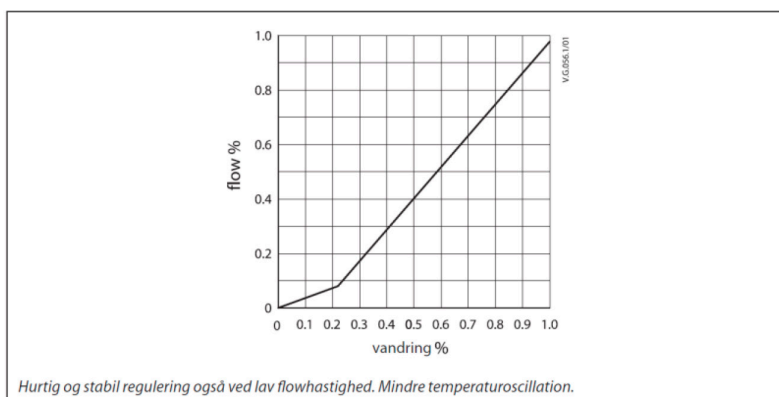
Figur 10. Regulering af anlæg til varmt brugsvand med motorventil og en elektronisk styring

Der er vigtigt for afkølingen af fjernvarmevandet, at føleren er placeret korrekt i beholderen. Føleren bør være placeret i dyklommen, så den sidder ud for toppen af varmespiralen for at sikre en korrekt temperaturlagdeling og afkøling af fjernvarmevandet.

Det er vigtigt, at reguleringsventilen er dimensioneret rigtigt i forhold til belastning og differenstryk, idet der ellers kan opstå problemer med pendling og dårlig regulering.

Ved store anlæg med selvvirkende ventiler kan der i nogle tilfælde være monteret to reguleringsventiler som åbner ved forskellige temperaturer for at sikre at der ikke kommer for meget fjernvarmevand igennem ved små tapninger. Ved brug af motorventiler er det muligt at anvende ventiler med en såkaldt splitkarakteristik hvor ventilen på den første del af spindlen ikke åbner i samme grad som resten af spindlen. Det betyder at ventilen ved små tapninger har en finere regulering end ved de større tapninger og kan hjælpe til at sikre en bedre afkøling af fjernvarmevandet ved de små tapninger.

### Split-karakteristik



Figur 11. Eksempel på splitkarakteristik på ventil.

### Anlæg i enfamilieshuse

#### Renovering

Den eksisterende varmtvandsbeholder eller gennemstrømningsvandvarmer kobles fra varmeanlægget og demonteres. Den nye varmtvandsbeholder eller gennemstrømningsvandvarmer monteres på væggen eller placeres på gulvet og tilsluttes de eksisterende rørforbindelser.

I forbindelse med udskiftning af varmtvandsbeholder eller gennemstrømningsvandvarmer bør det vurderes om reguleringsventiler og evt. styring også skal udskiftes alt afhængigt af alder og tilstand.

Det lokale fjernvarmeværks bestemmelser for montage skal altid følges.

Installationen skal udføres, så den lever op til gældende regler i forskrifter for vand- og varmeinstallationer, herunder DS 469 for varmeanlæg, DS 452 for isolering af tekniske installationer og DS 439 for vandinstallationer.

### Store anlæg (etageejendomme, kontorer m.m.)

#### Renovering

Den eksisterende varmtvandsbeholder eller gennemstrømningsvandvarmer kobles fra varmeanlægget og demonteres. Den nye varmtvandsbeholder eller gennemstrømningsvandvarmer monteres.

I forbindelse med udskiftning af varmtvandsbeholder eller gennemstrømningsvandvarmer bør størrelsen vurderes i forhold til det beregnede behov. Det bør ligeledes vurderes om reguleringsventiler har den korrekte størrelse og eller skal udskiftes og evt. styring også skal udskiftes alt afhængigt af alder og tilstand.

Hvis det årlige energiforbrug til opvarmning af varmt brugsvand og cirkulation overstiger 10.000 kWh, skal der monteres bimåler på varmforsyningen til varmtvandsproduktionen iht. bygningsreglementet.

Det lokale fjernvarmeværks bestemmelser for montage skal altid følges.

Installationen skal udføres, så den lever op til gældende regler i forskrifter for vand- og varmeinstallationer, herunder DS 469 for varmeanlæg, DS 452 for isolering af tekniske installationer og DS 439 for vandinstallationer.

#### Indregulering

I Bygningsreglementets vejledning om termisk indeklima og installationer til varme- og køleanlæg står der:

Ved planlægning og udførelse af installationer til varme- og køleanlæg skal DS 469 Varme- og køleanlæg i bygninger overholdes. DS 469 omfatter alle typer varme- og køleanlæg, der har til formål at tilføre rum og bygninger samt tilknyttede systemer varme eller køling.

Dette gælder således også for varmforsyningsledninger til varmtvandsproduktionen.

## Funktionsafprøvning

Der stilles ikke krav til funktionsafprøvning af anlæg til varmt brugsvand i bygningsreglementet. Dog stilles der krav til at varmforsyningsanlægget indreguleres og funktionsafprøves i henhold til Bygningsreglementet kap 19 § 391 før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at varme- og køleanlæggene overholder bygningsreglementets krav til indregulering og styring.

## Eftersyn

Vedligeholdelse af brugsvandsanlæg ved regelmæssige eftersyn er særdeles vigtigt både energi- og driftsmæssigt. Der bør som udgangspunkt med jævne mellemrum foretages følgende i større installationer:

- Udslamning af varmtvandsbeholdere minimum en gang hver måned

Ved et hovedeftersyn tjekkes både varmtvandsproduktion og at styring fungerer efter hensigten. Derudover anbefales det at følgende tiltag udføres for at sikre at installationen kan yde det den skal og er energimæssigt optimeret:

- Rensning af varmtvandsbeholder årligt for at sikre ydelse og afkøling af fjernvarmevand
- Afsyring af spiral i varmtvandsbeholder og gennemstrømningsvandvarmer efter behov (vekslere) for at sikre ydelse og afkøling af fjernvarmevand.

## Varmt brugsvand med kedelanlæg og varmepumper

Nedenfor beskrives de mest anvendte anlægstyper til varmt brugsvand i kedelanlæg og i systemer med varmepumper.

### Varmtvandsbeholder

I forbindelse med kedelanlæg og varmepumper anvendes normalt varmtvandsbeholdere til opvarmning af brugsvand pga. det relativt lille effektbehov. Pga. det relativt store vandvolumen i beholderen er det vigtigt at der er fokus på hvordan bakteriedannelse kan reduceres.

Der anvendes typisk er typisk lodretstående varmtvandsbeholdere med varmespiral hvilket giver en god temperaturlagdeling af det varme vand i beholderen. Inden i beholderen er en spiral hvor vandet fra varmekilden strømmer og opvarmer vandet i beholderen. Effekten afhænger af overfladearealet på varmespiralen. Det er muligt at have flere spiraler i en beholder så der kan anvendes flere forskellige varmekilder f.eks. et solvarmeanlæg og et kedelanlæg eller et supplement til anlæg med en varmepumpe. Varmtvandsbeholder med varmespiral findes i mange forskellige størrelser fra helt små beholder på 30-300L til enfamiliehuse og til større beholdere op til flere tusind liter til større ejendomme.

I kedelanlæg og varmepumper til enfamiliehuse er der typisk mulighed for kompakte løsninger med integreret varmtvandsbeholder. I disse løsninger er det begrænset hvor stort vandindhold der kan være i beholderen.

### Energibesparelse

I kedelanlæg og anlæg med varmepumpe kan energibesparelser på anlæg til varmt brugsvand fx opnås i form af mindsket varmetab ved udskiftning af beholdere til nye med bedre isolering og varmespiraler der ikke er tilkalkede og derfor har højere nyttevirkning. Der bør samtidig foretages en undersøgelse af varmtvandsbehovet da en eksisterende beholder kan være større end nødvendigt. Udskiftning af en varmtvandsbeholder kan have følgende fordele:

- Bedre udnyttelse af varmen fra beholderen
- Bedre sikring mod bakterier ved lave vandvolumen
- Mindre kalkudfældning

Nedenstående skema er et eksempel på forventede energibesparelse ved udskiftning af varmtvandsbeholdere i forskellige størrelser:

Eksisterende varmtvandsbeholder	Ny varmtvandsbeholder					
	Energibesparelse i kWh pr. år					
	500 liter		1.000 liter		2.000 liter	
	Minimum	Lavenergi	Minimum	Lavenergi	Minimum	Lavenergi
500 l med 50 mm isolering	491	771	-	-	-	-
500 l med 75 mm isolering	245	526	-	-	-	-
1.000 l med 50 mm isolering	1.226	1.507	981	1.296	-	-
1.000 l med 75 mm isolering	806	1.086	561	876	-	-
2.000 l med 50 mm isolering	2.313	2.593	2.067	2.383	1.752	2.172
2.000 l med 75 mm isolering	1.167	1.927	1.402	1.717	1.086	1.507

Tabel 4. Eksempel på energibesparelser ved udskiftning af varmtvandsbeholder



Derudover kan der opnås besparelser ved etablering af solvarmeanlæg til supplerende af det eksisterende kedelanlæg.

## Renovering af anlæg til varmt brugsvand

Det anbefales at renovere anlæg til varmt brugsvand i kedelanlæg og anlæg med varmepumper, hvis der er:

- Et stort varmetab
- Mistanke om bakteriedannelse i varmtvandssystemet
- Hyppige driftsproblemer eller reparationer og/eller udskiftninger af komponenter, typisk på grund af tæring

## Udførelse

### Dimensionering af varmtvandsanlæg

#### Varmt brugsvand

Anlæg til produktion af varmt brugsvand dimensioneres efter DS 439, Norm for vandinstallationer.

Anlæg til produktion af varmt brugsvand skal under hensyntagen til varmtvandsstedernes antal og brug kunne yde en tilstrækkelig vandmængde og vandstrøm med en temperatur, der passer til formålet.

#### Anlæg i enfamilieshuse

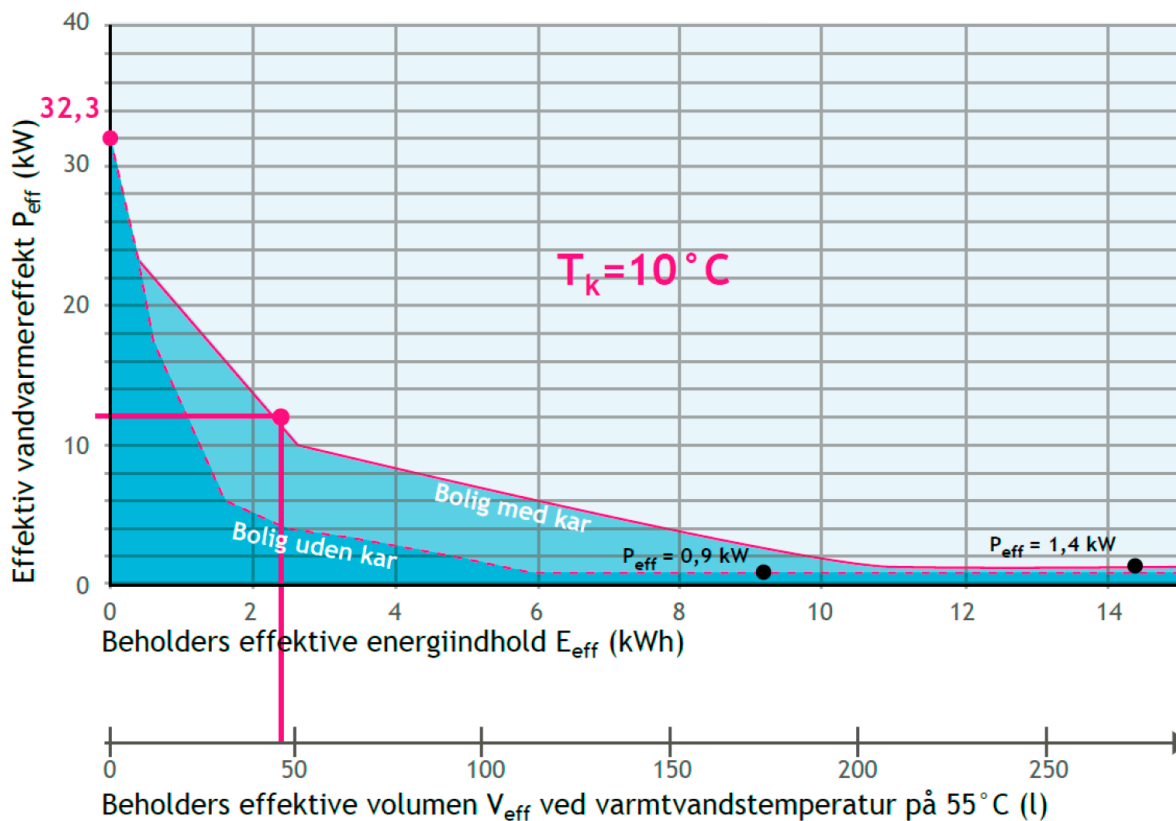
##### Varmtvandsbeholder

Anlæg til produktion af varmt vand skal dimensioneres til en maksimal fremløbstemperatur på 60 °C og en maksimal returtemperatur på 30 °C. Ved disse temperaturer skal vandet kunne opvarmes fra 10 °C til 55 °C.

De væsentligste data for varmtvandsbeholderen er den effekt, som varmefladen kan tilføre vandet og beholderens volumen. I den forbindelse anvendes:

- det effektive beholdervolumen  $V_{\text{eff}}$  (det volumen vand, der kan tappes fra beholderen med varmtvandstemperatur  $T_{v,0}$ , før vandets afgangstemperatur er sunket til under en given afgangstemperatur  $T_{v, \text{min}}$ ). Beholderens geometriske volumen  $V \sim 1,4 \times V_{\text{eff}}$ .
- den effektive beholderydelse  $P_{\text{eff}}$ . Det vil sige den effekt, som varmefladen kan yde kontinuert ved en given effektilførsel og ved opvarmning af brugsvandet fra en given koldt vandstemperatur  $T_k$  til den varmtvandstemperatur  $T_v$  som kan opnås ved den valgte vandstrøm  $q_v$ . Den effektive beholderydelse, som aflæses i leverandørernes kataloger, er for rene varmeflader. Effekten skal derfor korrigeres for belægninger med ca. 15 %.

I figur 12 ses den effektive beholderydelse  $P_{\text{eff}}$  som funktion af beholderens effektive volumen  $V_{\text{eff}}$ . Figur 12 stammer fra DS 439.



Figur 12. Fastlæggelse af varmvandsbeholders effektive energiindhold

### Eksempel 5

I et enfamiliehus er der installeret en gaskedel med en maksimal effekt på 14 kW. Kedlen har varmtvandsprioritering, og den maksimale effekt tilføres beholderen ved varmtvandsproduktion. Der er installeret badekar i boligen, og et normalt varmtvandsbehov.

Effekten skal som tidligere nævnt korrigeres for belægninger på varmefladen i varmtvandsbeholderen med ca. 15 %. Effekten  $P_0$ , der kan overføres til brugsvandet, er derfor:

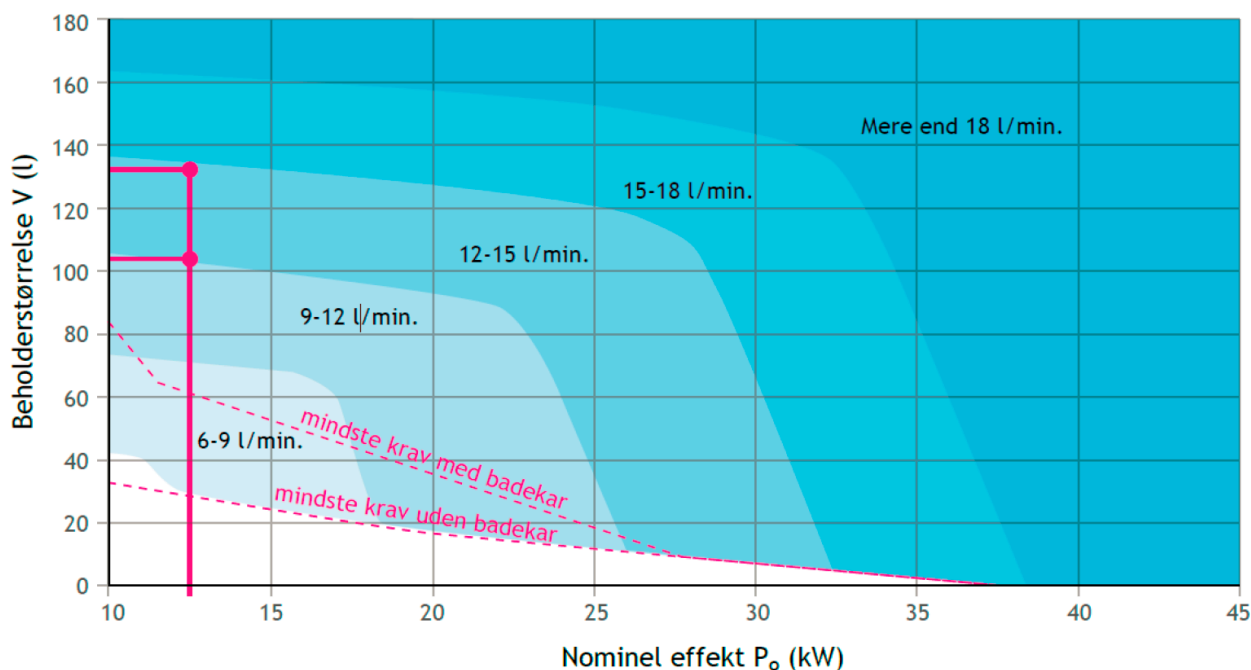
$$P_0 = 14 \text{ kW} / 1,15 = 12 \text{ kW}$$

Ved hjælp af figur 9 kan beholderens effektive volumen bestemmes til ca. 45 liter.

Beholderens geometriske volumen kan herefter bestemmes til:

$$V = 1,4 \cdot 45 \text{ liter} = 63 \text{ liter}$$

Der kan nu vælges en beholder på 60 liter (standardstørrelse).



Figur 13. Fastlæggelse af beholderstørrelse ved forskellige varmtvandsbehov

Varmtvandsbehov	Liter pr. minut i 10 min.	Det svarer fx til
Lille	6 - 9	Bruser
Normalt	9 - 12	Bruser og håndvask samtidig
Stort 12 - 15	12 - 15	Badekar eller to brusere samtidig
Meget stort 15 - 18	15 - 18	To brusere og en håndvask samtidig

Tabel 5.

### Eksempel 6

Eksempel 5 viser, hvilken størrelse beholder der bør vælges, hvis man dimensionerer efter DS 439 til et vandforbrug og et dagligt tappeprogram, der afviger væsentligt fra standardtappeprogrammet i DS 439, fx fordi man der er to badeværelser, som ofte benyttes samtidig, kan man benytte nedenstående figur til at bestemme beholderstørrelsen.

Hvis varmtvandsbehovet i enfamiliehuset i stedet for "normalt" er stort (12 – 15 liter pr. minut i 10 min.), skal beholderen ifølge ovenstående figur være et sted mellem 105 og 135 liter.

I dette tilfælde vil man typisk vælge en beholder på 110 liter. Næste standardstørrelse er 160 liter.

## Store anlæg (etageejendomme, kontorer m.m.)

### Varmtvandsbeholder

Anlæg til produktion af varmt vand skal dimensioneres til en maksimal fremløbstemperatur på 60 °C og en maksimal returtemperatur på 30 °C. Ved disse temperaturer skal vandet kunne opvarmes fra 10 °C til 55 °C.

Det er vigtigt, at der er en god lagdeling i beholderen, så beholderens buffer-kapacitet udnyttes. Lagdelingen ødelægges, hvis cirkulationsstrømmen ledes ind i beholderen med stor hastighed.

De væsentligste data for et anlæg til varmtvandsproduktion er antallet af "normallejligheder", den effekt som varmeffladen kan tilføre vandet og beholderens volumen. I den forbindelse anvendes:

- Antallet af bygningens normallejligheder findes som bygningens energibehov pr. døgn divideret med en normallejligheds energiforbrug pr. døgn.
- Antallet af normallejligheder beregnes ud fra det faktiske antal lejligheder, antal beboere pr. lejlighed samt antal badeværelser og effekter pr. tapning.
- Den nødvendige effekt pr. normallejlighed
- Det effektive beholdervolumen pr. normallejlighed

$N = \sum (n \cdot p \cdot v \cdot E) / 3,5 \cdot 4,36$	
N	antallet af "normallejligheder"
n	antallet af lejligheder
p	antallet af beboere pr. lejlighed
v	varmtvandsenheder i lejligheden.
E	Sættes til 1 i boliger med ét badeværelse.
En normallejlighed forudsættes beboet af 3,5 person. Se endvidere DS 439.	

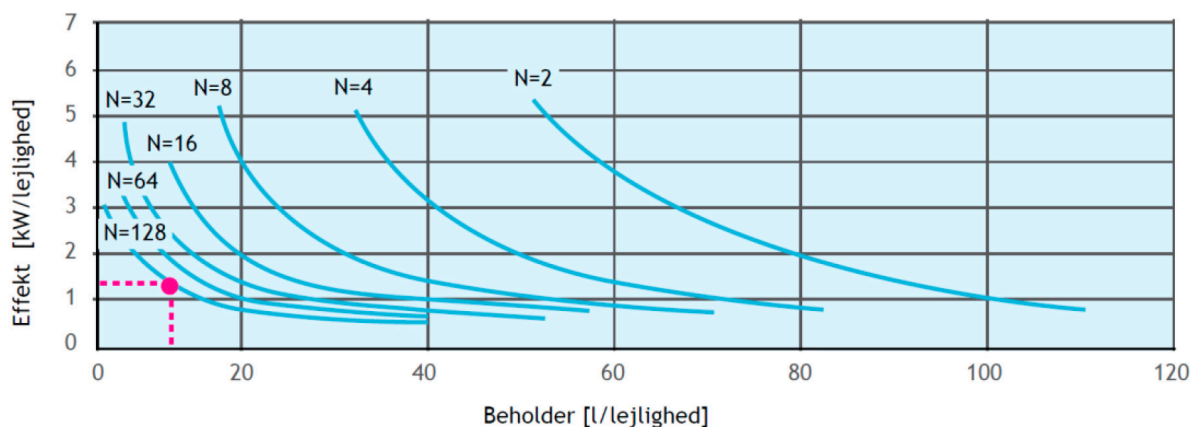
Tabel 6.

Beholdere med indbygget veksler (varmespiral) forsynet fra kedler kan dimensioneres ved hjælp af nedenstående figur. Effekt og beholdervolumen i diagrammet er angivet ved 45 °C. Ved beholdere med temperaturer højere end 45 °C kan beholderstørrelsen beregnes til:

$$V_{\text{eff}} = (35/(T-10)) \cdot V_{45}$$

hvor  $V_{45}$  er det aflæste volumen på figur 14.

### PV-kurver for ladekreds anlæg eller beholdere med indbygget veksler forsynet fra kedler



Figur 14. PV-kurver for ladekreds anlæg eller beholdere med indbygget veksler forsynet fra kedler

#### Eksempel 7

I en ejendom er der 100 lejligheder med i gennemsnit tre personer pr. lejlighed. Der er en varmtvandsenhed pr. lejlighed. På baggrund af dette kan antallet af normallejlighed  $N$  beregnes til:

$$N = (100 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 4,36) / 3,5 \cdot 4,36 = 86$$

Der vælges en beholder på 1.000 liter, svarende til ca. 12 liter pr. normallejlighed. I figur 14 ses, at den nødvendige effekt pr. normallejlighed er ca. 1,3 kW. Det vil sige, at den samlede effekt er ca. 112 kW.

Cirkulationsledningens varmetab er beregnet til 9 kW.

Varmespiralens effekt inkl. 15 stentillæg kan beregnes til:

$$P_{\text{varmespiral}} = 1,15 \cdot (112 \text{ kW} + 9 \text{ kW}) = 139 \text{ kW}.$$

## Montage

### Anlæg i enfamilieshuse

#### Renovering

Den eksisterende varmtvandsbeholder kobles fra varmeanlægget og demonteres. Den nye varmtvandsbeholder monteres og tilsluttes de eksisterende rørforbindelser.

I forbindelse med udskiftning af varmtvandsbeholder bør det vurderes om reguleringsventiler og evt. styring også skal udskiftes alt afhængigt af alder og tilstand.

Installationen skal udføres, så den lever op til gældende regler i forskrifter for vand- og varmeinstallationer, herunder DS 469 for varmeanlæg, DS 452 for isolering af tekniske installationer og DS 439 for vandinstallationer.

## Store anlæg (etageejendomme, kontorer m.m.)

### Renovering

Den eksisterende varmtvandsbeholder kobles fra varmeanlægget og demonteres. Den nye varmtvandsbeholder monteres.

I forbindelse med udskiftning af varmtvandsbeholder bør størrelsen vurderes i forhold til det beregnede behov. Det bør ligeledes vurderes om reguleringsventiler har den korrekte størrelse og eller skal udskiftes og evt. styring også skal udskiftes alt afhængigt af alder og tilstand.

Hvis det årlige energiforbrug til opvarmning af varmt brugsvand og cirkulation overstiger 10.000 kWh, skal der monteres bimåler på varmforsyningen til varmtvandsproduktionen iht. bygningsreglementet.

Installationen skal udføres, så den lever op til gældende regler i forskrifter for vand- og varmeinstallationer, herunder DS 469 for varmeanlæg, DS 452 for isolering af tekniske installationer og DS 439 for vandinstallationer.

### Indregulering

I Bygningsreglementets vejledning om termisk indeklima og installationer til varme- og køleanlæg står der:

Ved planlægning og udførelse af installationer til varme- og køleanlæg skal DS 469 Varme- og køleanlæg i bygninger overholdes. DS 469 omfatter alle typer varme- og køleanlæg, der har til formål at tilføre rum og bygninger samt tilknyttede systemer varme eller køling.

Dette gælder således også for varmforsyningsledninger til varmtvandsproduktionen.

## Funktionsafprøvning

Der stilles ikke krav til funktionsafprøvning af anlæg til varmt brugsvand i bygningsreglementet. Dog stilles der krav til at varmforsyningsanlægget indreguleres og funktionsafprøves i henhold til Bygningsreglementet kap 19 § 391 før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at varme- og køleanlæggene overholder bygningsreglementets krav til indregulering og styring.

## Eftersyn

Vedligeholdelse af brugsvandsanlæg ved regelmæssige eftersyn er særdeles vigtigt både energi- og driftsmæssigt. Der bør som udgangspunkt med jævne mellemrum foretages følgende i større installationer:

- Udslamning af varmtvandsbeholdere minimum en gang hver måned

Ved et hovedeftersyn tjekkes både varmtvandsproduktion og at styring fungerer efter hensigten. Derudover anbefales det at følgende tiltag udføres for at sikre at installationen kan yde det den skal og er energimæssigt optimeret:

- Rensning af varmtvandsbeholder årligt for at sikre ydelse

## Varmt brugsvand med el opvarmning

El opvarmning er pga. de høje afgifter på elektricitet den dyreste form for opvarmning af varmt brugsvand. Nedenfor beskrives de mest anvendte anlægstyper til varmt brugsvand med el opvarmning.

### Varmtvandsbeholder

Varmtvandsbeholder til el opvarmning findes i mange forskellige størrelse helt ned til 15 liter og op til størrelser på 450 liter. Opvarmningen finder sted med et elvarmelegeme der er placeret direkte i beholderen og styres med en termostat. Mange elvarmebeholder kan tilsluttes til både 230V og 400V hvor der ved sidstnævnte opnås en større effekt og dermed hurtigere opvarmningstid. Små el varmtvandsbeholder anvendes tit til steder hvor der ikke er anden tilgængelige varmforsyning eller i enden af en vidtudstrakt bygning hvor forsyning fra bygningens øvrige varmtvandsproduktion ikke er rentabelt.

### Gennemstrømningsvandvarmer

Gennemstrømningsvandvarme opvarmet med el bliver typisk anvendt til enkelte tapsteder. Der vil typisk være behov for 400V tilslutning for at sikre en tilstrækkelig effekt når der ikke er nogen beholder i forbindelse med opvarmningen.

### Energibesparelse

Energibesparelser i forbindelse med el opvarmning af varmt brugsvand kan typisk opnås ved konvertering til f.eks. en luftvand varmepumpe til opvarmning af brugsvandet (og evt. også til opvarmning af bygningen) eller suppleret med solvarme se nærmere i afsnittet om solvarme.

### Renovering af anlæg til varmt brugsvand

Det anbefales at renovere anlæg til varmt brugsvand med elopvarmning, hvis der er:

- Et stort varmetab
- Mistanke om bakteriedannelse i varmtvandssystemet
- Hyppige driftsproblemer eller reparationer og/eller udskiftninger af komponenter, typisk på grund af tæring
- Stort energiforbrug

### Udførelse

#### Dimensionering af varmtvandsanlæg

##### Varmt brugsvand

Anlæg til produktion af varmt brugsvand dimensioneres efter DS 439, Norm for vandinstallationer.

Anlæg til produktion af varmt brugsvand skal under hensyntagen til varmtvandsstedernes antal og brug kunne yde en tilstrækkelig vandmængde og vandstrøm med en temperatur, der passer til formålet.

#### Anlæg i enfamiliehuse

##### Varmtvandsbeholder

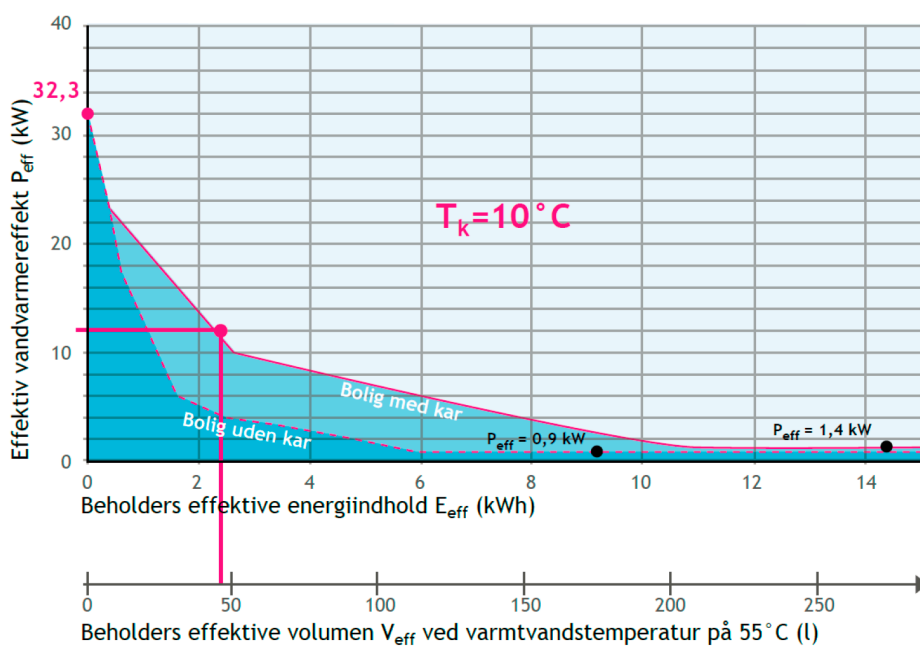
Anlæg til produktion af varmt vand skal dimensioneres til en maksimal fremløbstemperatur på 60 °C og en maksimal returtemperatur på 30 °C. Ved disse temperaturer skal vandet kunne opvarmes fra 10 °C til 55 °C.



De væsentligste data for varmtvandsbeholderen er den effekt, som varmebladen kan tilføre vandet og beholderens volumen. I den forbindelse anvendes:

- det effektive beholdervolumen  $V_{\text{eff}}$  (det volumen vand, der kan tappes fra beholderen med varmtvandstemperatur  $T_{v,0}$ , før vandets afgangstemperatur er sunket til under en given afgangstemperatur  $T_{v, \text{min}}$ ). Beholderens geometriske volumen  $V \sim 1,4 \times V_{\text{eff}}$ .
- den effektive beholderydelse  $P_{\text{eff}}$ . Det vil sige den effekt, som varmebladen kan yde kontinuert ved en given effekttilførsel og ved opvarmning af brugsvandet fra en given koldtvandstemperatur  $T_k$  til den varmtvandstemperatur  $T_v$  som kan opnås ved den valgte vandstrøm  $q_v$ . Den effektive beholderydelse, som aflæses i leverandørernes kataloger, er for rene varmeblader. Effekten skal derfor korrigeres for belægninger med ca. 15 %.

I figur 16 ses den effektive beholderydelse  $P_{\text{eff}}$  som funktion af beholderens effektive volumen  $V_{\text{eff}}$ . Figur 16 stammer fra DS 439.



Figur 16. Fastlæggelse af varmvandsbeholders effektive energiindhold

### Eksempel 8

I et enfamiliehus er der installeret en el vandvarmer med en maksimal effekt på 9 kW. Der er installeret badekar i boligen, og et normalt varmtvandsbehov.

Effekten skal som tidligere nævnt korrigeres for belægninger på varmebladen i varmtvandsbeholderen med ca. 15 %.

Effekten  $P_0$ , der kan overføres til brugsvandet, er derfor:

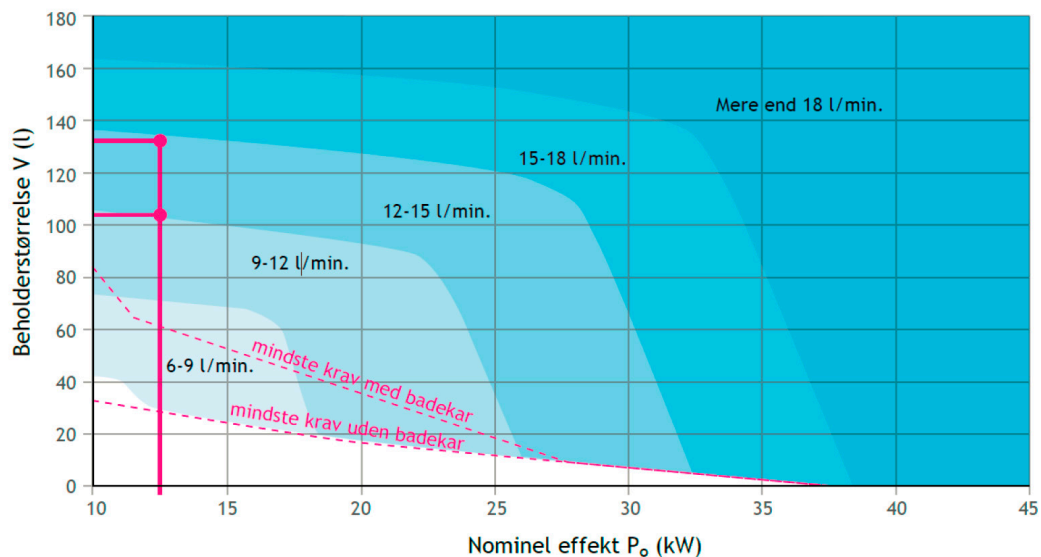
$$P_0 = 9 \text{ kW} / 1,15 = 7,8 \text{ kW}$$

Ved hjælp af figur 13 kan beholderens effektive volumen bestemmes til ca. 90 liter.

Beholderens geometriske volumen kan herefter bestemmes til:

$$V = 1,4 \cdot 90 \text{ liter} = 126 \text{ liter}$$

Der kan nu vælges en beholder på 160 liter (standardstørrelse).



Figur 17 Fastlæggelse af beholderstørrelse ved forskellige varmtvandsbehov

Varmtvandsbehov	Liter pr. minut i 10 min.	Det svarer fx til
Lille	6 - 9	Bruser
Normalt	9 - 12	Bruser og håndvask samtidig
Stort 12 - 15	12 - 15	Badekar eller to brusere samtidig
Meget stort 15 - 18	15 - 18	To brusere og en håndvask samtidig

Tabel 7.

### Eksempel 9

Figur 14 viser, hvilken størrelse beholder der bør vælges, hvis man dimensionerer efter DS 439 til et vandforbrug og et dagligt tappeprogram, der afviger væsentligt fra standardtappeprogrammet i DS 439, fx fordi man der er to badeværelser, som ofte benyttes samtidig, kan man benytte nedenstående figur til at bestemme beholderstørrelsen.

Hvis varmtvandsbehovet i enfamiliehuset i stedet for "normalt" er stort (12 – 15 liter pr. mi-nut i 10 min.), skal beholderen ifølge ovenstående figur være et sted mellem 105 og 135 liter.

I dette tilfælde vil man typisk vælge en beholder på 110 liter. Næste standardstørrelse er 160 liter.

## Store anlæg (etageejendomme, kontorer m.m.)

### Varmtvandsbeholder

Anlæg til produktion af varmt vand skal dimensioneres til en maksimal fremløbstemperatur på 60 °C og en maksimal returtemperatur på 30 °C. Ved disse temperaturer skal vandet kunne opvarmes fra 10 °C til 55 °C.

Det er vigtigt, at der er en god lagdeling i beholderen, så beholderens buffer-kapacitet udnyttes. Lagdelingen ødelægges, hvis cirkulationsstrømmen ledes ind i beholderen med stor hastighed.

De væsentligste data for et anlæg til varmtvandsproduktion er antallet af "normallejligheder", den effekt som varmeffladen kan tilføre vandet og beholderens volumen. I den forbindelse anvendes:

- Antallet af bygningens normallejligheder findes som bygningens energibehov pr. døgn divideret med en normallejligheds energiforbrug pr. døgn.
- Antallet af normallejligheder beregnes ud fra det faktiske antal lejligheder, antal beboere pr. lejlighed samt antal badeværelser og effekter pr. tapning.
- Den nødvendige effekt pr. normallejlighed
- Det effektive beholdervolumen pr. normallejlighed

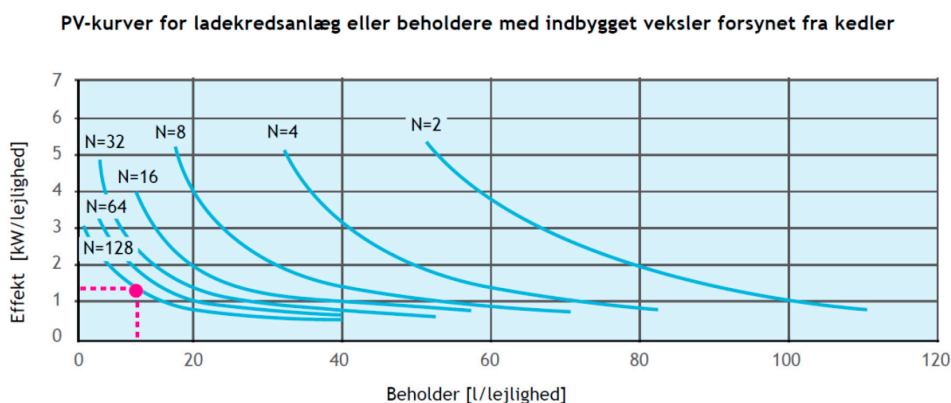
$N = \Sigma (n \cdot p \cdot v \cdot E) / 3,5 \cdot 4,36$	
N	antallet af "normallejligheder"
n	antallet af lejligheder
p	antallet af beboere pr. lejlighed
v	varmtvandsenheder i lejligheden.
E	Sættes til 1 i boliger med ét badeværelse.
En normallejlighed forudsættes beboet af 3,5 person. Se endvidere DS 439.	

Tabel 8.

Beholdere med indbygget veksler (varmespiral) forsynet fra kedler kan dimensioneres ved hjælp af nedenstående figur. Effekt og beholdervolumen i diagrammet er angivet ved 45°C. Ved beholdere med temperaturer højere end 45 °C kan beholderstørrelsen beregnes til:

$$V_{\text{eff}} = (35/(T-10)) \cdot V_{45}$$

hvor  $V_{45}$  er det aflæste volumen på figur 18.



Figur 18. PV-kurver for ladekreds anlæg eller beholdere med indbygget veksler forsynet fra kedler

## Eksempel 10

I en ejendom er der 100 lejligheder med i gennemsnit tre personer pr. lejlighed. Der er en varmtvandsenhed pr. lejlighed. På baggrund af dette kan antallet af normalejlighed  $N$  beregnes til:

$$N = (100 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 4,36) / 3,5 \cdot 4,36 = 86$$

Der vælges en beholder på 1.000 liter, svarende til ca. 12 liter pr. normalejlighed. I figur 18 ses, at den nødvendige effekt pr. normalejlighed er ca. 1,3 kW. Det vil sige, at den samlede effekt er ca. 112 kW.

Cirkulationsledningens varmetab er beregnet til 9 kW.

Varmespiralens effekt inkl. 15 stentillæg kan beregnes til:

$$P_{\text{varmespiral}} = 1,15 \cdot (112 \text{ kW} + 9 \text{ kW}) = 139 \text{ kW}.$$

## Regulering

Anlæg til varmt brugsvand med elvarme reguleres med en trinløs elektrisk termostat med en føler direkte i beholderen. Termostaten er typisk forsynet med en overkognings sikring som sikkerhed.

## Montage

### Anlæg i enfamilieshuse

#### Renovering

Den eksisterende varmtvandsbeholder kobles fra varmeanlægget og demonteres. Den nye varmtvandsbeholder monteres og tilsluttes de eksisterende rørforbindelser.

Installationen skal udføres, så den lever op til gældende regler i forskrifter for vand- og varmeinstallationer, herunder DS 469 for varmeanlæg, DS 452 for isolering af tekniske installationer og DS 439 for vandinstallationer.

### Store anlæg (etageejendomme, kontorer m.m.)

#### Renovering

Den eksisterende varmtvandsbeholder kobles fra varmeanlægget og demonteres. Den nye varmtvandsbeholder monteres.

I forbindelse med udskiftning af varmtvandsbeholder bør størrelsen vurderes i forhold til det beregnede behov.

Installationen skal udføres, så den lever op til gældende regler i forskrifter for vand- og varmeinstallationer, herunder DS 469 for varmeanlæg, DS 452 for isolering af tekniske installationer og DS 439 for vandinstallationer.

#### Indregulering

I Bygningsreglementets vejledning om termisk indeklima og installationer til varme- og køleanlæg står der:

Ved planlægning og udførelse af installationer til varme- og køleanlæg skal DS 469 Varme- og køleanlæg i bygninger overholdes. DS 469 omfatter alle typer varme- og køleanlæg, der har til formål at tilføre rum og bygninger samt tilknyttede systemer varme eller køling.

Dette gælder således også for varmforsyningsledninger til varmtvandsproduktionen.

## Funktionsafprøvning

Der stilles ikke krav til funktionsafprøvning af anlæg til varmt brugsvand i bygningsreglementet. Dog stilles der krav til at varmforsyningsanlægget indreguleres og funktionsafprøves i henhold til Bygningsreglementet kap 19 § 391 før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at varme- og køleanlæggene overholder bygningsreglementets krav til indregulering og styring.

## Eftersyn

Vedligeholdelse af brugsvandsanlæg ved regelmæssige eftersyn er særdeles vigtigt både energi- og driftsmæssigt. Der bør som udgangspunkt med jævne mellemrum foretages følgende i større installationer:

- Udslamning af varmtvandsbeholdere minimum en gang hver måned

Ved et hovedeftersyn tjekkes både varmtvandsproduktion og at styring fungerer efter hensigten. Derudover anbefales det at følgende tiltag udføres for at sikre at installationen kan yde det den skal og er energimæssigt optimeret:

- Rensning af varmtvandsbeholder årligt for at sikre ydelse

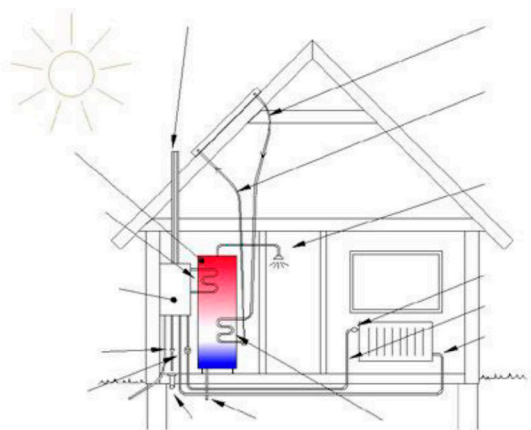
## Varmt brugsvand med solvarmeanlæg

Nedenfor beskrives de mest anvendte anlægstyper til varmt brugsvand i anlæg med solvarme. I anlæg med solvarme er der typisk også en anden opvarmningskilde til dækning af behovet i vinterhalvåret eller ved spidslast. Det kan f.eks. være et kedelanlæg eller elvarme.

### Anlæg i enfamiliehuse

I forbindelse med brug af solvarme til opvarmning af brugsvand i boliger fastlægges størrelsen af varmtvandsbeholderen og arealet af solfangerne med hensyntagen antallet af beboere så der kan lagres tilstrækkelig kapacitet til at alle beboere kan tage bad uden at der kræves supplerende varme i sommerhalvåret.

Der anvendes typisk er typisk lodretstående varmtvandsbeholdere med varmespiral til solvarme i bunden og en ekstra varmespiral til supplementsvarmen i toppen af beholderen. Dette sikrer at solvarmen kan bidrage mest muligt også når der er få solskinstimer.



Figur 19. Eksempel solvarmeanlæg til opvarmning af brugsvand suppleret med kedelanlæg i enfamiliehus

### Anlæg i store bygninger

Solvarmeanlæg i store bygninger anbefales især hvis der er et stort varmtvandsforbrug.

I større anlæg fastlægges størrelsen af beholderen typisk ud fra at den skal have lagringskapacitet til det daglige varmtvandsforbrug og solfangerarealet fastlægges ud fra at der skal være  $1\text{m}^2$  solfangerareal for hver 50 L lagringskapacitet.

Da det som regel er store energimængder der skal overføres, er det også nødvendigt med relativt store eksterne varmevekslere, f.eks. pladevarmevekslere, der ikke optager plads inde i beholderen. Der kan i denne type anlæg være tale om at der er behov for flere beholdere for at have det nødvendige volumen.



Figur 20 Større solvarmeanlæg til opvarmning af brugsvand på tagflade

## Energibesparelse

Energibesparelser i forbindelse med solvarmeanlæg til varmt brugsvand opnås typisk i forbindelse med at eksisterende varmforsyning suppleres med solvarmeanlægget.

### Anlæg i enfamiliehuse

I enfamiliehuse er de typiske tiltag etablering af solvarme til opvarmning af det varme brugsvand i huse, som opvarmes med olie-, gaskedel eller elradiatorer.

Eksisterende forhold	Nyt solvarmeanlæg	
	Energibesparelse pr. kvadratmeter solfanger	Energiforbrug til drift af an-lægget pr. kvadratmeter solfanger
	kWh/m <sup>2</sup> pr. år	
A-mærket kedel, fjernvarme eller elvarme	520	30
Ældre kedel eller kedel med dårligere energimærke	790	790

Tabel 9.












### Forudsætning

Besparelserne forudsætter, at solfangerne orienteres mod syd med en hældning på 45°.

En solfanger virker optimalt ved en placering på en sydvendt 45 grader tagflade på det mest solbeskinnede sted. Der må ikke være skygge på solfangeren fra kl. 9.00-16.00 fra maj til september. Er der ikke mulighed for dette, vil samme ydeevne kunne opnås ved at øge solfangerens størrelse i m<sup>2</sup> afhængig af retning og taghældning.



I figur 21 ses, hvordan placering og ydeevne hænger sammen. Figuren kan anvendes til at finde den procentvis mindre ydelse eller til at gøre bestemte hvor meget arealet af solfangerne tilsvarende skal gøres større.

Hældning fra vandret	Afvigelse fra syd	 0°	 30°	 45°	 75°	 90°
 15°		89	88	87	81	78
 30°		97	95	92	83	78
 45°		100	98	94	83	76
 60°		99	96	92	80	73
 75°		91	89	86	75	67
 90°		77	77	74	65	58

Figur 21. Ydelser angivet i % for afvigelser i forhold til placering mod syd og i forhold til hældning på 45°

### Eksempel 11

I et parcelhus med fem beboere etableres der 5 m<sup>2</sup> solfanger på et sydvendt tag med 45° hældning og 250 liter solvarmebeholder i bryggers.

Huset opvarmes med en A-mærket naturgaskedel, der slukkes om sommeren.

Gasforbruget til fremstilling af varmt vand kan beregnes til:

$$5 \text{ m}^2 \cdot 520 \text{ kWh/m}^2 = 2.600 \text{ kWh}$$

Elforbrug til drift af pumpen kan beregnes til:

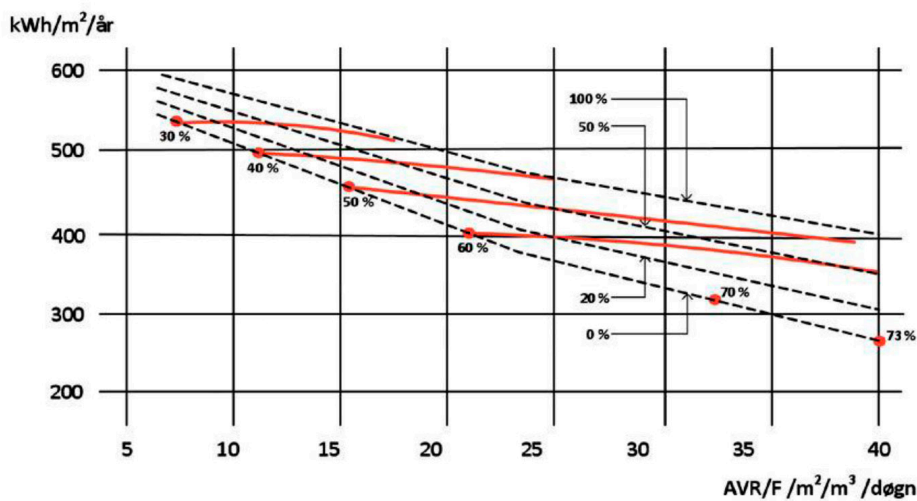
$$5 \text{ m}^2 \cdot 30 \text{ kWh/m}^2 = 150 \text{ kWh}$$

Besparelsen kan beregnes til:

$$2.600 \text{ kWh} - 150 \text{ kWh} = 2.450 \text{ kWh}$$

## Store anlæg (etageejendomme, kontorer m.m.)

I etageejendomme, kontorer m.m. er de typiske tiltag konvertering til fjernvarme fra oliekedel eller renovering af eksisterende fjernvarmeanlæg.



X – akse:  $\frac{\text{valgt solfangerareal, regningsmæssig (AVR) (m}^2\text{)}}{\text{døgnforbrug af varmt brugsvand, F (m}^3\text{ / døgn)}}$

Y-akse: årlig anlægsydelse (kWh) pr. m<sup>2</sup> solfanger (AVR)

Figur 22. Solfangerydelse og dækningsgrad i til valgt solfangerareal og forbrug af varmt brugsvand

### Eksempel 12

En bygning forudsættes at have et dagligt varmtvandsforbrug på 3.000 liter opvarmet fra 10°C til 45°C og et varmetab fra cirkulationsledningen, som er lige så stort som varmtvandsforbruget. Bygningen har et oliefyr med en årlig nyttevirkning på 85 %.

Et passende solvarmeanlæg til bygningen har et solfangerareal på  $3.000/50 = 60 \text{ m}^2$ . Pumpens og styresystemets effektforbrug er 80 W.

Den årlige energibesparelse med 60 m<sup>2</sup> solfanger og oliefyr bliver:

Energi produceret af solvarmeanlæg (se figur 22):

$$500 \text{ kWh/m}^2 / 0,85 \cdot 60 \text{ m}^2 = 35.294 \text{ kWh}$$

Årligt energiforbrug til pumpe og styring:

$$0,08 \text{ kW} \cdot 2.250 \text{ h} = 180 \text{ kWh}$$

$$\text{Samlet årlig energibesparelse: } 35.294 \text{ kWh} - 180 \text{ kWh} = 35.114 \text{ kWh}$$

### Eksempel 13

Et anlæg med et solfangeareal på 60 m<sup>2</sup>, et forbrug på 3 m<sup>3</sup>/døgn samt et cirkulationstab der udgør 50% af varmetabet vil ifølge figur 22 have en forventet ydelse på ca. 470 kWh/m<sup>2</sup> pr. år og en dækningsgrad på knap 45%

## Dimensionering af solvarmeanlæg til varmt brugsvand

### Anlæg i enfamiliehuse

I enfamiliehuse anbefales normalt 4m<sup>2</sup> solfanger og en 200 liter solvarmebeholder. Hvis der er flere end fire beboere i huset bør solfangerarealet øges med 1m<sup>2</sup> og solvarmebeholderens volumen med 50 liter for hver ekstra beoer. Dette er under forudsætning af at solfangerne kan placeres under optimale forhold ellers korrigeres der i forhold til figur 21.

### Anlæg i større bygninger

Anlægget bør dimensioneres til at solvarmen kan dække bygningens varmtvandsforbrug og cirkulationsledningens varmetab om sommeren så supplerende energianlæg kan slukkes.

I figur 22 er angivet typiske solfangerydelser i kWh pr. m<sup>2</sup> solfanger. De stiplede sorte kurver angiver ydelsen for solvarmeanlæg med cirkulationsledningstab på hhv. 0%, 20%, 50% og 100% af varmtvandsforbruget. De røde kurver viser dækningsgraden.

Hvis tagfladen vender i en anden retning end syd eller har en anden hældning end 45°, anvendes figur 21 til at finde den mindre ydelse eller til at gøre arealet af solfangerne tilsvarende større.

## Montage

Solfangeranlæg fastgøres på tagflader med beslag der er beregnet til opgaven så montagen kan ske uden at tagbelægningens tæthed forringes. På flade taget monteres solfangerne på stativer der fastgøres på tagfladen. Hvis montering udføres i forbindelse med lægning af nyt tag, er der også mulighed for at udføre solfangeren som en integreret løsning i taget.

Solfangeranlægget frostsikres med en frostvæske. Frostvæsken må ikke påfyldes mens solfangerne udsættes for varme. Så det skal enten ske i overskyet vejr/efter solnedgang eller ved at overdække solfangerne under påfyldning. Det er også muligt at anvende vand som væske i solfangerkredsen. Det skal blot sikres at der ikke kan opstå frostskeer i form af frostsprængninger i kredsen. Vand anvendes som solfangervæske i tømmeanlæg, dvs. anlæg hvor komponenter placeret udenfor bygningens klimaskærm tømmes for væske når anlægget ikke er i drift.

Næsten alle solvarmeanlæg installeres med lukket kredsløb. I lukket kredsløb er væsken i solfangerkredsen under tryk. Det har den fordel at kogepunktet for væsken stiger, samt at der ikke suges luft ind i kredsløbet. Kredsen udføres med en trykekspressionsbeholder, der kan optage væskeudvidelserne som følge af temperaturstigninger i væsken ved normal drift.

Det er vigtigt at eliminere luft i solfangerkredsen, fordi luft udskilles fra væske under opvarmning, og fordi luft kan udvide sig meget og derved blokere for væskecirkulation. I ekstreme tilfælde kan luft forhindre cirkulation i solfangerkredsen med mulighed for kogning i kredsen og tab af væske fra kredsen.

Kredsløbet skal være forsynet med påfyldnings- og aftapningshane samt strategisk placerede ventiler, f.eks. på hver side af pumpen således at pumpen nemt kan skiftes, hvis den går i stykker, uden at hele kredsen skal tømmes for væske.

Væskehastigheden i solfangerkredsen bør være tilstrækkelig til, at fri luft kan føres med til nærmeste luftudlader.

Solvarmeanlæg skal opføres i overensstemmelse med følgende standarder og regler:

- DS 469 Norm for varmeanlæg og køleanlæg i bygninger
- DS 439 Vandinstallationer
- DS 452 Termisk isolering af tekniske installationer
- Arbejdstilsynets regler for ufyrede varmtvandsanlæg, 58/1-975
- Arbejdstilsynets bekendtgørelse vedr. trykbeholdere, 746/1987

## Funktionsafprøvning

Der er ikke krav om funktionsafprøvning af solvarmeanlæg til varmt brugsvand i bygningsreglementet.

## Eftersyn

Det anbefales at solvarmeanlæg efterses en gang årligt herunder Kontrol af solfangervæskens tilstand for at forebygge frostskeer på anlægget

Derudover kan et eftersyn af solvarmeanlæg indeholde:

- Kontrol af styringsautomatik
- Kontrol af tryk i anlæg, ekspansionsbeholder og funktion af sikkerhedsventil
- Rensning af evt. snavssamler og udluftning af anlægget
- PH-måling og eventuel udskiftning af solfangervæskens

## Cirkulationssystemer

Cirkulationssystemer til varmt brugsvand skal under hensyn til varmtvandskredsløbet antal og anvendelse kunne yde en tilstrækkelig vandmængde og vandstrøm med en temperatur, der passer til formålet. Ved de tapsteder, hvor der er behov for varmt vand, skal der være en passende varmtvandstemperatur til stede uden besværende ventetid under hensyn til energiforbrug, vandforbrug og hyppigheden af installationens brug. I enfamiliehuse kan cirkulation normalt undværes hvis alle tapsteder er placeret relativt tæt på brugsvandsopvarmningen og rørdimensioner ikke er for store.

I større bygninger vil det næsten altid være nødvendigt med cirkulationssystemer for det varme brugsvand pga. udstrækningen af rørnettet.

### El-tracing

El-tracing er opretholdelse af temperaturen i distributionssystemet ved hjælp af varmekabler. Det gør det muligt at undgå, at cirkulationsvandet skal føres tilbage til produktionsstedet (veksler/beholder). Det betyder, at returledningen til beholderen eller veksleren gøres overflødig, hvilket reducerer varmetabet til cirkulation af varmt brugsvand.

I rapporten Varmt Brugsvand. Måling af forbrug og varmetab fra cirkulationsledninger fra SBI ses dog, at eltracing ikke giver mindre tab end et traditionelt cirkulationssystem.

Ved nybyggeri reduceres anlægsudgiften imidlertid, når returledning og cirkulationspumpe overflødiggøres. Som et alternativ til at have en separat cirkulationsledning ved siden af varmtvandsledningen findes der også systemer hvor cirkulationsledningen placeres som et løst fleksibelt rør inden i varmtvandsledningen hvilket både er pladsbesparende og medvirkende til et mindre varmetab fra cirkulationsledningen. Denne løsning kan dog kun anvendes til lodrette cirkulationsledninger.

## Energibesparelse

Energibesparelser vedr. cirkulationssystemer kan opnås på flere forskellige måder. Det er værd at bemærke at nogle af besparelsesmulighederne kan give øget risiko for bakterievækst i varmtvandsystemet.

### Efterisolering af rør

Reduktion af varmetabet fra varmtvandsledningen og cirkulationsledningen kan give anledning til en varmebesparelse. Ligeledes vil en efterisolering også give anledning til at der er behov for en mindre cirkulationsvandmængde og dermed mindre pumpeenergi.

Se kapitel vedr. teknisk isolering.

## Udskiftning af cirkulationspumpe

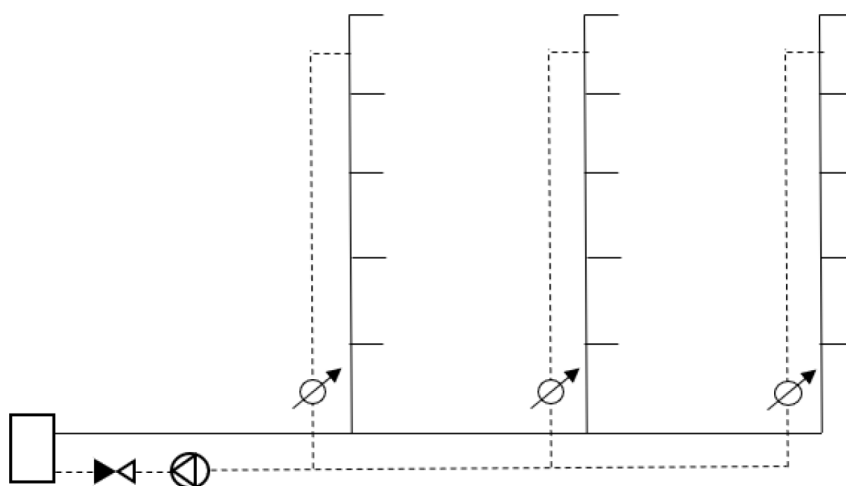
Hvis der er en ældre cirkulationspumpe i systemet, kan det måske betale sig at udskifte den med en ny mere energieffektiv Pumpe.

## Tidsstyring af cirkulationspumpe

I anlæg der ikke er i drift hele tiden f.eks. kontorbygninger kan der være tale om at lave en tidsstyring af cirkulationspumpen så den kun er i drift når bygningen er i brug. Det giver dog en øget risiko for bakterievækst i det stillestående vand når pumpen ikke er i drift.

## Termostatstyrede Cirkulationsventiler

På ældre cirkulationssystemer hvor indreguleringen er foretaget med statiske strengreguleringsventiler kan der opnås energibesparelser ved at montere termostatiske cirkulationsventiler på returledningerne.



Figur 23. Eksempel på placering af cirkulationsventiler i et rørsystem med 3 stigestre

Det sikrer, at den cirkulerende vandmængde overalt har en given minimumstemperatur. Ved faldende temperatur i cirkulationsledningen åbner cirkulationsventilen for vandgennemstrømning. Ved stigende temperatur lukker cirkulationsventilen for gennemstrømning.

Anvendelse af termostatiske cirkulationsventiler kan også medføre et reduceret elforbrug til drift af cirkulationspumper hvis der anvendes elektronisk regulerede pumper.

Termostatiske ventiler kan øge risikoen for stillestående vand i cirkulationssystemet og opformering af Legionella bakterier. Dette kan afhjælpes ved anvendelse af ventiler med påbyggede elektriske aktuatorer der kan tvangsåbne ventilen så der med regelmæssige mellemrum kan foretages gennemskylning af cirkulationsledningen med vand med en højere temperatur end den normale cirkulationstemperatur.

## Dimensionering

Cirkulationsledninger til varmt brugsvand dimensioneres ud fra at vandstrømmen skal være tilstrækkelig til at sikre at der ikke sker et temperaturfald på mere end 3-5 grader til fjerneste tapsted. Vandstrømmen beregnes på baggrund af det samlede varmetab fra varmtvandsledningen og cirkulationsledningen.

## Eksempel 13

I et varmt vandsystem er varmetabet fra varmtvandsledningen og cirkulationsledningen be-regnet til 800W. Der ønskes et temperaturfald på maks. 3°C. Cirkulationsstrømmen bestem-mes ved:

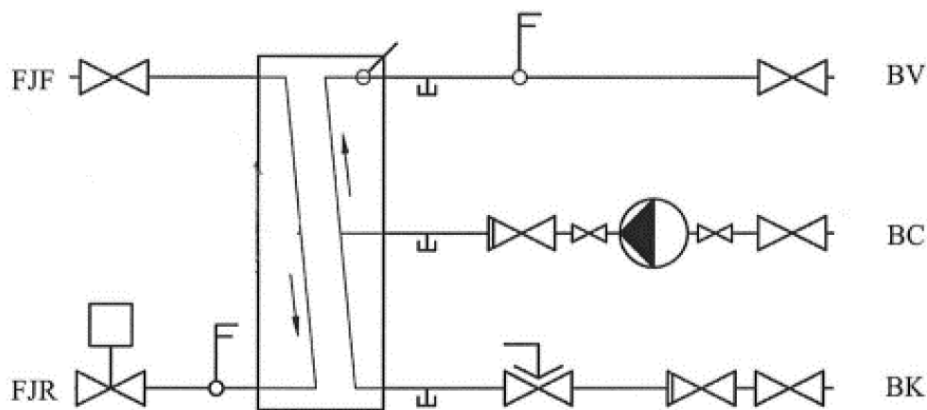
$$Q_{\text{cirkulation}} = \text{Varmetab [W]} \cdot 0,86 / \Delta T = 800\text{W} \cdot 0,86 / 3^{\circ}\text{C} = 229,3 \text{ L/h}$$

## Montage

Det har tidligere været almindeligt, at cirkulationsledningen blev anbragt på koldt vandsledningen, lige før beholderen. Ved beholdere skal cirkulationsvandet bestrøge varmepladen på en sådan måde, at føleren kan føle temperaturen på det opvarmede cirkulationsvand.

Det er vigtigt, at cirkulationsvandstrømmen indreguleres så der ikke skabes for meget omrøring i beholderen, da det kan gå ud over lagdelingen i beholderen og afkølingen i fjernvarmesystemer.

I fjernvarmeinstallationer med en gennemstrømningsvandvarmer anbefales det at anvende en 5-benet veksler hvis der ikke er termostatstyring på cirkulationsvandstrømmen da det ellers kan være vanskeligt at opnå en fornuftig afkøling af fjernvarmevandet.



Figur 24. 5 benet veksler med cirkulation

## Funktionsafprøvning

Der stilles ikke krav til funktionsafprøvning af anlæg til varmt brugsvand i bygningsreglementet. Dog stilles der krav til at varmforsyningsanlægget indreguleres og funktionsafprøves i henhold til Bygningsreglementet kap 19 § 391 før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at varme- og køleanlæggene overholder bygningsreglementets krav til indregulering og styring.

## Bakterier i det varme vand

Legionærsyge er en sygdom, som skyldes bakterien Legionella. Denne bakterie findes mange steder, men har især ideelle vækstbetingelser varmtvandsanlæg, hvor temperaturen flere steder er under 60 °C.

Bakterien Legionella kan ved indånding af forstøvet vand (aerosoler), fx under brusebadning – både medføre Legionærsyge (lungesygdom) og Pontiac feber (influenzalignende febersygdom). Legionærsyge kan være dødelig for især personer med svækket immunforsvar – og sygdomstilfældene skal anmeldes til de offentlige myndigheder.



Vækst af Legionella skyldes ofte lav driftstemperatur, "døde ender" med stillestående vand eller at vandets cirkulation hindres af kalk, slam og rust. Problemerne kan reduceres, hvis varmtvandssystemet overholder de foreskrevne mindstekrav til brugsvandstemperaturer.

I den nedenstående tabel er angivet hvordan betingelserne for legionellavækst er ved forskellige temperaturniveauer.

Temperatur	Temperaturens effekt på vækst af Legionella
Under 20 °C	Legionella kan overleve, men er oftest i et hvilestadie
20 °C - 50 °C	Legionella kan vokse – det optimale temperaturniveau er 35 °C til 46 °C
Over 50 °C	Legionella kan overleve, men der sker ikke vækst
55 °C	Legionella dør inden for 5 – 6 timer
60 °C	Legionella dør inde for en halv time, men der er øget risiko for kalkdannelse
66 °C	Legionella dør inden for 2 minutter

Tabel 10. Temperaturniveauer legionellavækst

I tabel 10 er angivet anbefalede driftstemperaturer i varmtvandssystemer.

Sted	Temperaturkrav	anbefalinger
Beholder	Mindst 50 °C	Opvarmningsperioden fra 20 °C til 50 °C bør minimeres for at forebygge vækst af patogene mikroorganismer.
	Gerne 55 °C	Temperaturen bør være mere end 50 °C for at undgå vækst af patogene mikroorganismer. Anlæg bør være dimensioneret til at kunne opvarme varmt brugsvand til 60 °C. Herved kan foretages en pasteurisering af vandet, der kan reducere bakterietallet.
	Højst 60 °C	Temperaturen bør af hensyn til kalkudfældning og korrosion ikke overstige 60 °C i længere perioder.
Fjerneste tapsted	Mindst 50 °C	For at undgå øget bakterievækst i stagnerende vand i døde ender skal temperaturen være over 50 °C ved det fjerneste tapsted.
Cirkulationsledning	Mindst 50 °C	Temperaturen skal være over den kritiske værdi for vækst patogene bakterier i hele cirkulations-ledningen.

Tabel 11. Anbefalede driftstemperaturer af hensyn til Legionella

I større brugsvandssystemer er vandmængden i ledningssystemet langt større end i en eventuel beholder, hvorfor risikoen typisk ligger. Betydningen af og risikoen for at der kommer Legionella i et varmt brugsvandssystem ligger mere i cirkulationskredsen end i opvarmningsenheden, hvorfor en nærmere undersøgelse af fx temperaturforhold, indregulering etc's betydning for muligheden for opformering af Legionella i cirkulationskredsen bør overvejes. Der findes i dag mange ældre systemer, hvor der fx er placeret 43 – 48 °C termostatiske indreguleringsventiler, hvilket betyder at disse installationer altid kører med en returtemperatur der er under 50 °C.

I Større installationer bør det derfor sikres, at der er foretaget en korrekt indregulering af installationen fx ved anvendelse af moderne indreguleringsventiler med mulighed for overstyring af temperaturen. Eksisterende indreguleringsventiler er indstillet til en fast temperatur, og kommer der problemer med Legionella i anlægget, er det ikke muligt at hæve temperaturen ude i cirkulationskredsen.

## Metoder til bekæmpelse af Legionella

Desinficering af varmtvandssystemer kan ske på flere forskellige måder. I nedenstående tabel er angivet en række metoder der kan anvendes til formålet:

Metode	Virkemåde	Bemærkninger
Termisk desinfektion, Temperaturchok (temperatur-gymnastik).	Forhøjet temperatur i varmtvandsbeholderen med efterfølgende gennemskylning af ledningsnettet	Effektiv og gennemprøvet metode. Giver øget risiko for skoldning. Giver øget kalkudfældning, og et øget energi- og vandforbrug. Kan være vanskelig at gennemføre i cirkulationssystemer hvor der er termostatiske indreguleringsventiler især af ældre type.
Ultraviolet stråling (UV)	Har en ødelæggende effekt på bakteriers DNA, hvorved vækst stoppes	Har ingen effekt på biofilmdannelse i ledningsnettet, og bør derfor kombineres med andre metoder. Ultralyd kan anvendes som forbehandling og øger effekten af UV behandling
Kloring	Desinficerer og inaktiverer bakterier	Der er mulighed for dannelse af giftige biprodukter.
Klordioxid	Har en ødelæggende effekt på transport af næringsstoffer over bakteriernes cellemembran.	Der kan ske dannelse af giftige biprodukter som klorite og klorate. Metoden har effekt på dannelsen af biofilm.
Ozon	Ødelægger bakterier og fjerner dårlig lugt og smag og farve.	Ozon er korrosivt, og bliver desuden hurtigt nedbrudt.
Kobber-sølv ionisering	Virker toksisk for bakterier	Metoden er pH afhængig, hvorfor en forbehandling kan være nødvendig.
Anodisk oxidation	Dræber bakterier, mens de sammen med vandet strømmer gennem et specialudviklet apparat	Processen dræber alle bakterierne samt fjerner biofilmbelægningerne i varmtvandsbeholdere og rørsystemer
Membranteknologi. Ultrafiltrering. Omvendt osmose.	Filtrering af vandet gennem filtre med lille porestørrelse	Der er risiko for tilstopning af filtre, og nedsat tryk i ledningsnettet.
On site produktion af Mixed Oxidants	On site produktion af en Mixed Oxidant desinfektionsvæske ved hjælp af en membran celle elektrolyseproces	Har vist sig i forbindelse med anvendelse på bl.a. hospitaler o.l. i udlandet at give en særdeles effektiv desinfektionsvæske til bekæmpelse af biofilm i varmtvandssystemer og eliminerer dermed Legionella bakterieproblemerne i vandet. Har ikke været afprøvet i Danmark.
Overvågning af temperaturen i større cirkulationssystemer.	Systemet overvåger tempereturerne i stigstreng og cirkulationskreds, og giver en alarm ved for lave temperaturer.	Anlægget kan kobles direkte til ejendommens CTS anlæg, eller sende en SMS beske til udvalgt person.

Figur 25. Oversigt over bekæmpelsesmetoder

# ENERGIHÅNDBOGEN

## 2019



## VENTILATION



*Energihåndbogen er udgivet med støtte fra Grundejernes Investeringsfond*



# VENTILATON

## Indhold

Ventilation	132
Ventilationssystemer	133
Ventilationsanlæg	133
Friskluftanlæg	133
Komfortanlæg	133
CAV anlæg	134
VAV anlæg	134
Energibesparelse	135
Udførelse	150
Dimensionering af ventilationsanlæg	150
Montage	160
Funktionsafprøvning	160
Eftersyn	161

Ventilation er nødvendig for at opretholde et tilfredsstillende indeklima for de personer, der opholder sig i lokalet, samt af hensyn til produktionsprocesserne.

Konsekvenserne af dårligt indeklima kan vise sig som nedsat velbefindende og arbejdsevne. I værste fald kan et dårligt indeklima give svære lidelser.

Personer reagerer ofte forskelligt på de samme påvirkninger. Nogle er f.eks. mere følsomme over for kulde og træk, og andre påvirkes lettere af støv.

Typiske symptomer på dårligt indeklima er:

- Kulde og træk
- Overophedning
- Dårlig lugt
- Hovedpine og træthed
- Irritation i øjne, næse og hals
- Kvalme og svimmelhed
- Udslæt, rødme og kløe i huden

Indeklimaet kan opdeles i:

- Termisk indeklima
- Atmosfærisk indeklima

### **Termisk indeklima**

Personers termiske opfattelse af omgivelserne er afhængig af følgende faktorer:

- Beklædningens varmeisolering [clo]
- Aktivitetsniveauet [met]
- Lufttemperaturen [°C]
- Middelstrålingstemperaturen [°C]
- Lufthastigheden [m/s]

### **Atmosfærisk indeklima (luftkvalitet)**

Personers opfattelse af det atmosfæriske indeklima afhænger af følgende faktorer:

- Lugte
- Støv og fibre
- Gasser og dampe
- Relativ fugtighed

For at opretholde et tilfredsstillende atmosfærisk indeklima er det nødvendigt med tilførsel af en vis mængde udeluft samt udsugning af en vis mængde rumluft.



# Ventilationssystemer

## Ventilationsanlæg

Der findes to hovedtyper af ventilationsanlæg i ejendomme: Friskluftanlæg og komfortanlæg.

### Friskluftanlæg

Friskluftanlæg er anlæg som udelukkende arbejder på at opretholde det atmosfæriske indeklima. Til styring af friskluftanlæg benyttes oftest en regulator, der regulerer indblæsningstemperaturen efter et sætpunkt for ønsket indblæsningstemperatur.

### Komfortanlæg

Komfortanlæg er anlæg hvis funktion er både at opretholde det termiske og det atmosfæriske indeklima. Til styring af komfortanlæg benyttes typisk en regulator, der regulerer rumtemperaturen efter et sætpunkt for ønsket rumtemperatur.

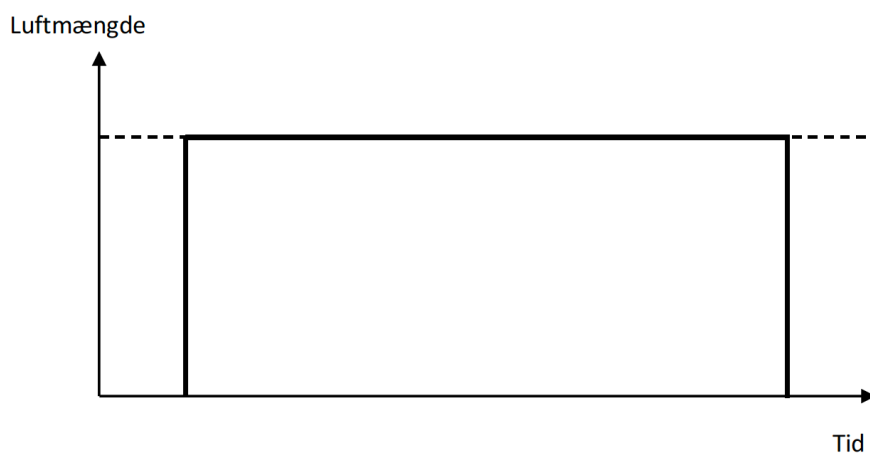


Figur 1. Komfortanlæg med varmegenvinding samt varme- og køleflade

Der eksisterer to grundlæggende ventilationssystemer nemlig CAV (Constant Air Volume) anlæg og VAV (Variable Air Volume) anlæg.

## CAV anlæg

CAV-anlæg er ventilationssystemer med konstant volumenstrøm. Systemet kan vælges, hvis den parameter (f.eks. emissioner til rumluften eller varmebelastning) som er dimensionsgivende for den nødvendige luftmængde, ikke varierer mere end 10 % inden for ventilationsanlæggets driftstid over døgnet eller året.

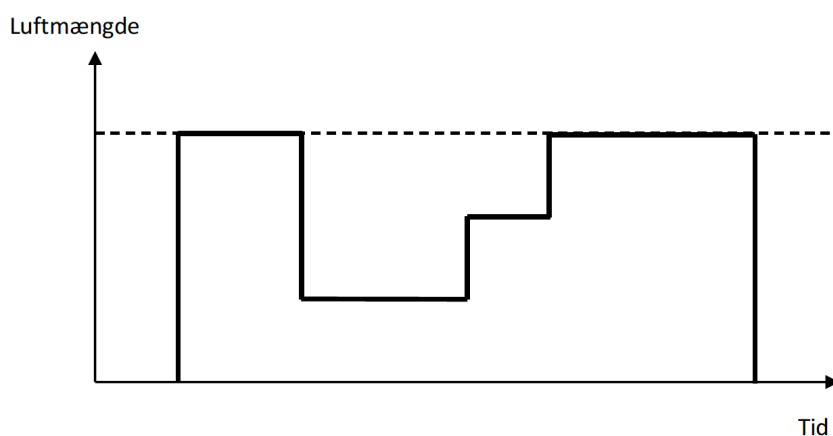


Figur 2. CAV-anlæg

## VAV anlæg

VAV-anlæg er ventilationssystemer med variabel luftstrøm. Anlæggene regulerer luftmængden efter det aktuelle behov. Dette kan ske ved variationer i varme- og forureningsbelastninger fra industriens processer eller i kontorer med variabel belastning fra apparater og solindfald.

Med et VAV-anlæg er det muligt at opnå meget store energibesparelser i forhold til et CAV-anlæg. Hvis luftmængden halveres ved omdrejningsregulering af ventilatoren, vil elforbruget til driften kunne reduceres med op til 82 %. Se tabel 6.

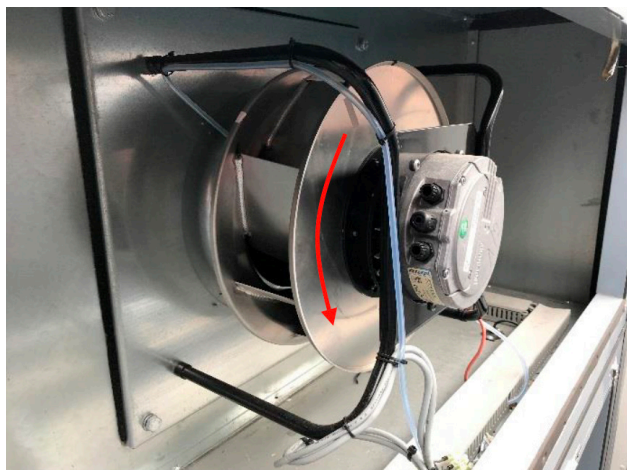


Figur 3. VAV-anlæg



Der er mange faktorer der har betydning for energiforbruget til et ventilationsanlæg. Disse faktorer ses nedenfor:

- Indblæst og udsuget luftmængde
- Indblæsnings- og udsugningstemperatur
- Temperaturvirkningsgrad for varmegenvindingsenheden (afhænger af typen)
- Effektoptag for ventilatormotorer (afhænger blandt andet af tryktab over anlæggets komponenter samt ventilator- og motorvirkningsgraden)
- Ventilationssystem
  - o CAV (konstante luftmængder)
  - o VAV (variable luftmængder)
- Styring-og reguleringsform
  - o Automatisk tænd/sluk (ur eller bevægelsesmelder)
  - o CO<sub>2</sub>-styring
  - o Spjældregulering
  - o Hastighedsregulering (med frekvensomformer)
  - o Regulering af indblæsningstemperatur (konstant eller udekompenseret)
  - o Regulering af rumtemperatur (konstant eller udekompenseret)



*Figur 4. Energieffektiv ventilator med bagudkrum-mede skovle og EC-motor (permanent magnet motor)*

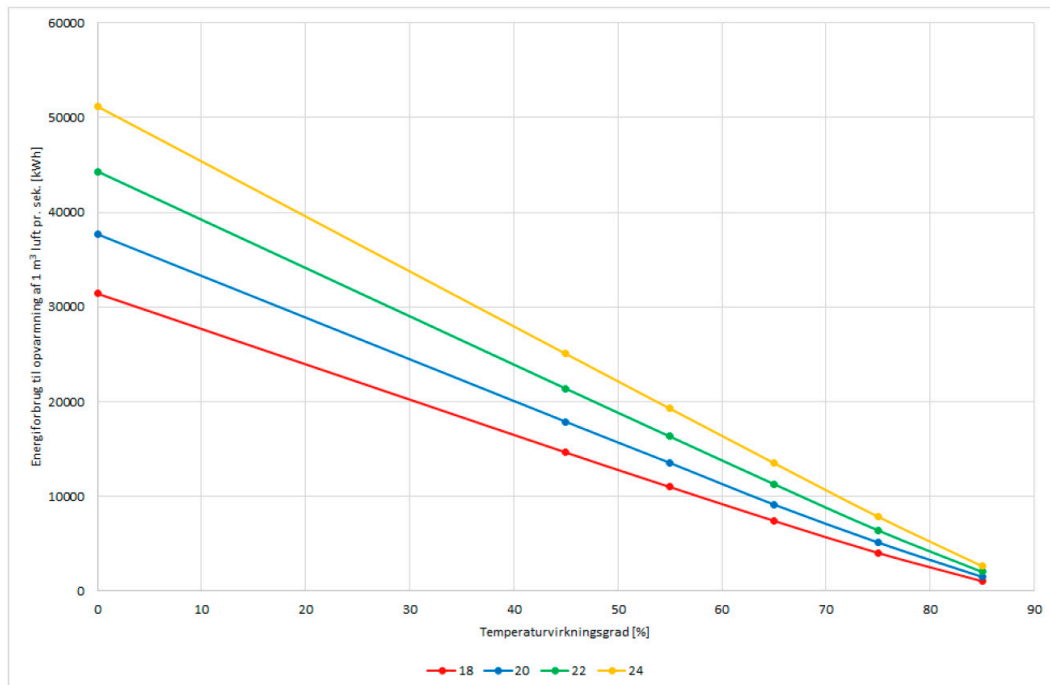


*Figur 5. Energieffektiv roterende veksler*

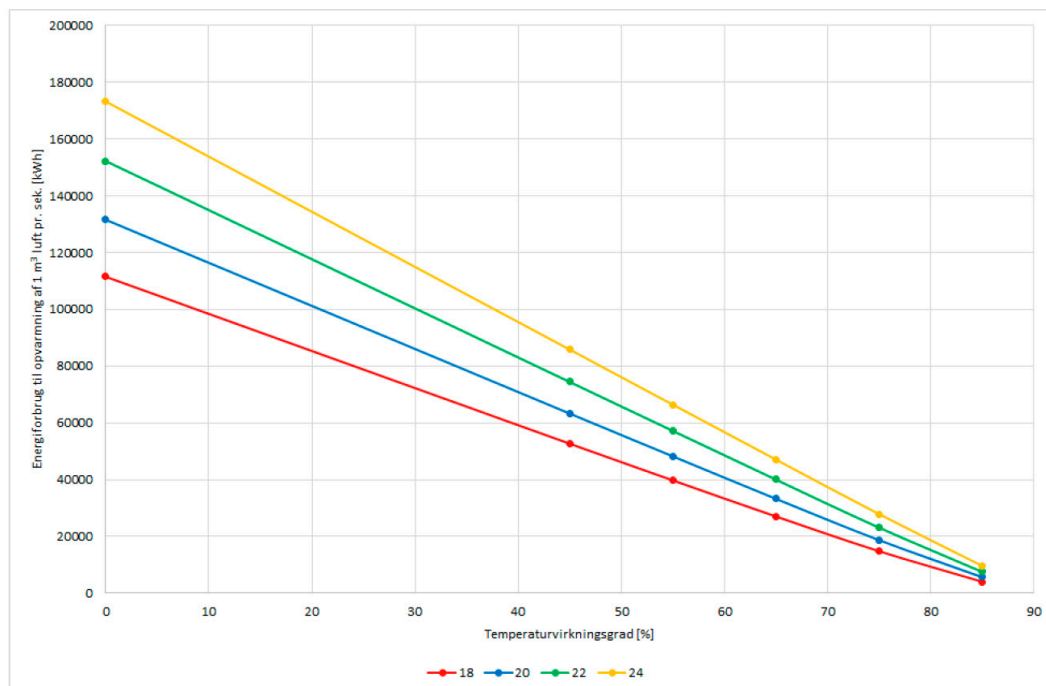
## Varmeforbrug

I figur 6 er energiforbruget til opvarmning af ventilationsluft opgjort for tidsrummet fra kl. 8.00 til 16.00 mens energiforbruget i figur 7 er opgjort for tidsrummet fra kl. 0.00 til 24.00 (samtlige af årets timer). På figurene ses betydningen af indblæsningstemperaturen og temperaturvirkningsgraden for varmegenvindingen.

Figureerne viser energiforbruget ved drift i 7 dage pr. uge og 52 uger pr. år. Hvis driftstiden er en anden, skal der korrigeres forholdsmæssigt for dette.

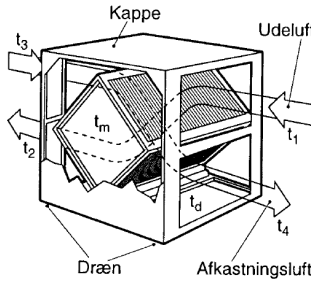
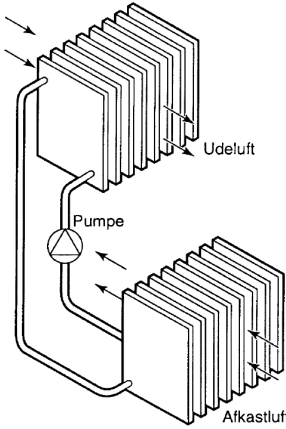
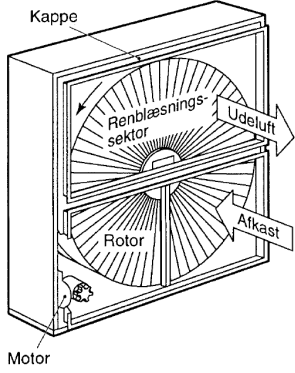


Figur 6. Årligt energiforbrug i kWh til opvarmning af 1 m³ luft pr time i tidsrummet fra kl. 8.00 til kl. 16.00



Figur 7. Årligt energiforbrug i kWh til opvarmning af 1 m³ luft pr time i tidsrummet fra kl. 0.00 til kl. 24.00.

Som det ses i figur 6 og 7 har temperaturvirkningsgraden for varmegenvindingen stor indflydelse på energiforbruget til opvarmning af luften. I tabel 1 ses temperaturvirkningsgrader for forskellige typer varmegenvindingsenheder.

 <p><i>Figur 8. Krydsvarmeveksler</i></p>	 <p><i>Figur 8. Krydsvarmeveksler</i></p>	 <p><i>Figur 10. Roterende varmeveksler</i></p>
<p>Opnåelig temperaturvirkningsgrad: 50 – 65 %</p>	<p>Opnåelig temperaturvirkningsgrad: 40 – 60 %</p>	<p>Opnåelig temperaturvirkningsgrad: 75 – 85 %</p>

*Tabel 1. Temperaturvirkningsgrader for forskellige typer varmegenvindingsenheder*

Der findes endvidere luft/luft pladevarmevekslere, som bruger modstrømsprincippet fremfor krydsstrømsprincippet. Denne type vekslere har en temperaturvirkningsgrad på 75 % eller derover.

## Energiforbrug til nedkøling af luft

I tabel 2 er energiforbruget til køling af ventilationsluft opgjort for tidsrummet fra kl. 8.00 til 16.00 mens energiforbruget i tabel 3 er opgjort for tidsrummet fra kl. 0.00 til 24.00 (samtlige årets ti-mer). Bemærk, at det årlige energiforbrug er opgivet i Wh/m<sup>3</sup> pr. time. Der er samtidig tale om den energi, der skal tilføres selve luften.

For at bestemme det elforbrug, der skal tilføres kølemaskinen, skal man dividere med kølemaskinens gennemsnitlige effektfaktor (typisk mellem 2 og 4).

T <sub>ind</sub> [°C]	T <sub>overflade</sub> [°C]							
	8	10	12	14	16	18	20	22
8	877							
10	664	615						
12	472	439	395					
14	309	288	260	227				
16	186	175	157	137	123			
18	105	99	89	78	70	67		
20	54	51	47	41	36	35	34	
22	25	24	22	19	17	16	16	16

Tabel 2. Årligt energiforbrug i Wh pr. én ugedag til nedkøling af 1 m<sup>3</sup> luft pr time i tidsrummet fra kl. 8.00 til kl. 16.00

T <sub>ind</sub> [°C]	T <sub>overflade</sub> [°C]							
	8	10	12	14	16	18	20	22
8	877							
10	1425	1324						
12	920	863	776					
14	543	510	461	399				
16	294	277	250	218	192			
18	150	141	128	112	99	94		
20	72	68	63	55	48	46	45	
22	32	30	28	24	21	20	20	20

Tabel 3. Årligt energiforbrug i Wh pr. én ugedag til nedkøling af 1 m<sup>3</sup> luft pr time i tidsrummet fra kl. 0.00 til kl. 24.00

### Eksempel 1

En kontorbygning har installeret et ventilationsanlæg til ventilering af kontorlokalerne.

Anlægget er et CAV-anlæg og den indblæste og udsugede luftmængde er dimensioneret til 20.000 m<sup>3</sup>/h.

Indblæsningstemperaturen er 20 °C og kølefladen i anlægget tilføres vand med en temperatur på 10 °C.

Driftstiden er fra kl. 8.00 – 16.00 i fem dage pr. uge.

I tabel 2 kan det årlige energiforbrug aflæses til 51 Wh pr. m<sup>3</sup> luft pr. time, pr. dag, pr. uge (markeret med blå).

Det årlige energiforbrug til nedkøling af luften i den pågældende periode vil være:

$$51 \text{ Wh}/(\text{m}^3/\text{h})/\text{ugedag} \cdot 20.000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 5 \text{ ugedage} = 5.100 \text{ kWh}/\text{år}$$

Ved en effektfaktor på eksempelvis 3,5 vil kølemaskinen anvende en energimængde på ca. 1.500 kWh årligt.

## Elforbrug

Effektbehovet til lufttransport afhænger primært af luftmængderne og tryktabene eller trykdifferenserne i anlæggets komponenter, sekundært af virkningsgraden for ventilatorer, remme, motorer og evt. frekvensomformere.

Ventilatormotorens effektoptag  $P$  defineres således:

$$P = \frac{q_v \cdot \Delta p_t}{\eta_t}$$

hvor:

- $q_v$  er luftmængden i  $m^3/s$
- $\Delta p_t$  er totaltrykstigningen i Pa
- $\eta_t$  er totalvirkningsgraden

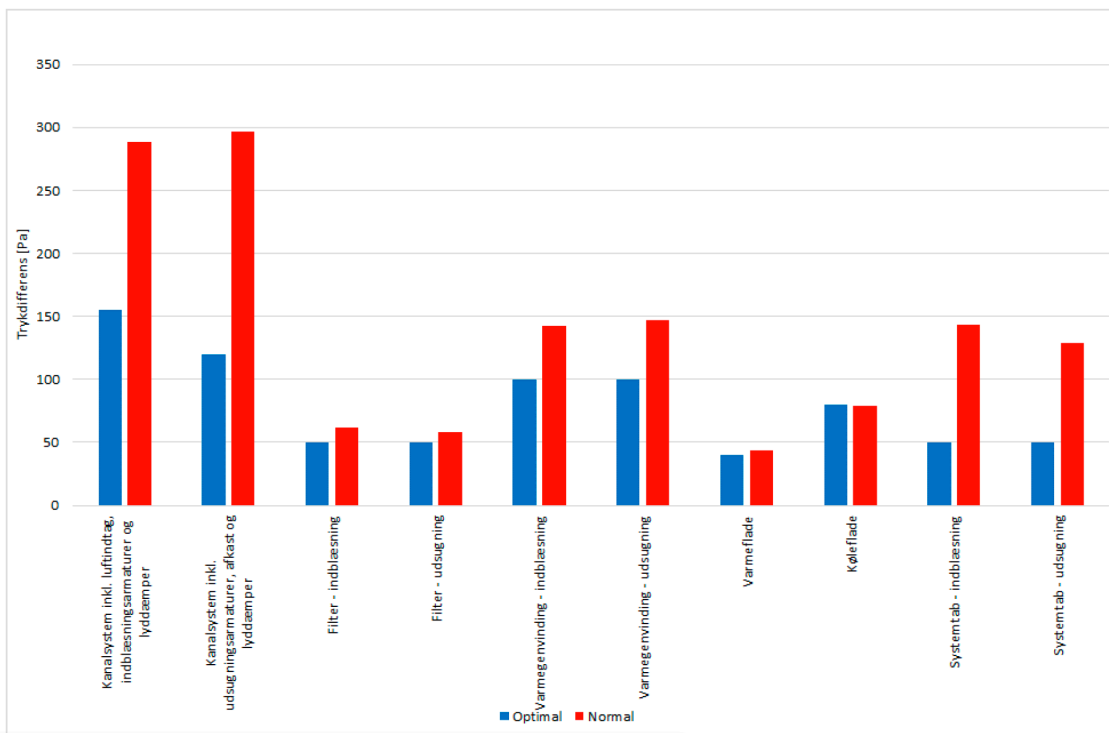
$\Delta p_t$  afhænger primært af trykdifferenserne i komponenterne i ventilationsanlægget. Se endvidere figur 10.

$\eta_t$  er produktet af ventilatorens virkningsgrad  $\eta_v$ , remtransmissionens virkningsgrad  $\eta_r$ , motorens virkningsgrad  $\eta_m$  og frekvensomformerens virkningsgrad  $\eta_f$ .

Elforbruget til ventilatoren findes ved at multiplicere ventilatormotorens effektoptag med driftstiden.

I figur 11 er de optimale trykdifferenser sammenlignet med de normalt forekommende trykdifferencer.

Middelluftmængden (indblæsning og udsugning) for de 110 ventilationsanlæg er ca.  $8.000 m^3/h$ .



Figur 11. Optimale og normalt forekommende trykdifferenser i komponenterne i ventilationsanlæg

Som det fremgår, er de normalt forekommende trykdifferenser i kanalsystemerne inkl. indblæsnings- og udsugningsarmaturer betydeligt højere end de optimale. Dette indikerer, at kanalsystemerne ikke er opbygget strømningsmæssigt korrekt og er underdimensionerede, dvs. at der er anvendt for små kanaldimensioner.

De energimæssigt acceptable kanalmodstande i lavtryksanlæg, som omfatter både indblæsnings- og udsugningsanlæg til komfortventilation, er vist i tabel 4.

Driftstid [h/døgn]	Maksimal lufthastigheder [m/s]	Acceptable kanalmodstande [Pa/m kanal]
8 - 16	4 (Ø 125 mm) 9 (Ø 500 mm)	1,5 – 2,0
16 - 24	3 (Ø 125 mm) 7 (Ø 125 mm)	1,0

*Tabel 4. Acceptable kanalmodstande i lavtryksanlæg*

De normalt forekommende systemtab i anlæggene er også betydeligt højere end de optimale. Dette indikerer, at tilslutningerne og afgangene fra ventilatorerne ikke er opbygget strømningsmæssigt korrekt.

Trykdifferenserne over varmegenvindingsenhederne er også noget højere end de optimale. Dette indikerer, at varmegenvindingsenhederne er underdimensionerede (varmeoverføringsarealet er for lille).

Figur 11. viser hvor vigtigt det er at dimensionere et ventilationsanlæg korrekt. En underdimensionering af anlægget medfører muligvis et billigere anlæg, men et anlæg med betydeligt højere driftsudgifter end nødvendigt.





## Ventilatorer



Ventilatoren har også stor betydning for elforbruget. I tabel 5 og 6 ses de hyppigst anvendte ventilatorer i ventilationsanlæg og deres virkningsgrader.

Centrifugalventilatorer med fremadkrummede skovle bør så vidt muligt undgås på grund af lave virkningsgrader. Se tabel 5.

I ventilationsaggregater benyttes typisk centrifugalventilatorer med bagudkrummede skovle uden hus (kammerventilatorer). De har som det ses i tabel 5 relativt høje virkningsgrader.

 <p>Figur 12. Aksialventilator</p>	 <p>Figur 13. Centrifugalventilator med fremadkrummede skovle</p>
Opnåelig virkningsgrad: 75 – 85 %	Opnåelig virkningsgrad: 55 – 65 %

Tabel 5. Virkningsgrader for aksialventilatorer og centrifugalventilator med fremadkrummede skovle

 <p>Figur 14. Centrifugalventilator med bagudkrummede skovle uden hus (kammerventilator)</p>	 <p>Figur 15. Centrifugalventilator med bagudkrummede skovle</p>
Opnåelig virkningsgrad: 65 – 75 %	Opnåelig virkningsgrad: 75 – 85 %

Tabel 6. Centrifugalventilator med bagudkrummede skovle (uden og med hus)



## Motorer

Motorerne leveres typisk sammen med ventilatorerne som samlede enheder. Der benyttes tre typer motorer, som beskrives nedenfor.

### Asynkronmotorer

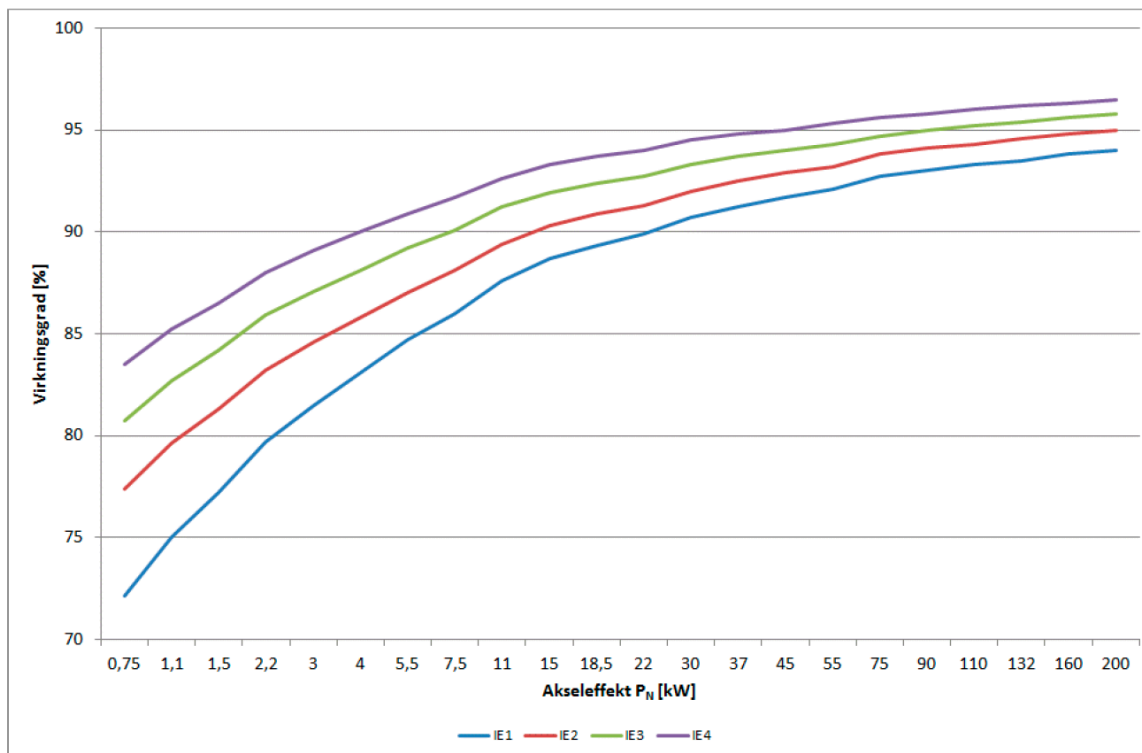
I 2008 blev der med vedtagelsen af den internationale standard IEC 60034-30:2008 indført nye effektivitetsklasser IE1, IE2 og IE3, se tabel 6. I IEC 60034-31-1:2012 "Technical specification" defineres effektivitetsklassen IE4 "Super premium efficiency", gældende for asynkron- og synkronmotorer.

Klasse	Beskrivelse af motorens effektivitet	Betegnelse
1	Super premium efficiency	IE4
2	Premium efficiency	IE3
3	High efficiency	IE2
4	Standard efficiency	IE1

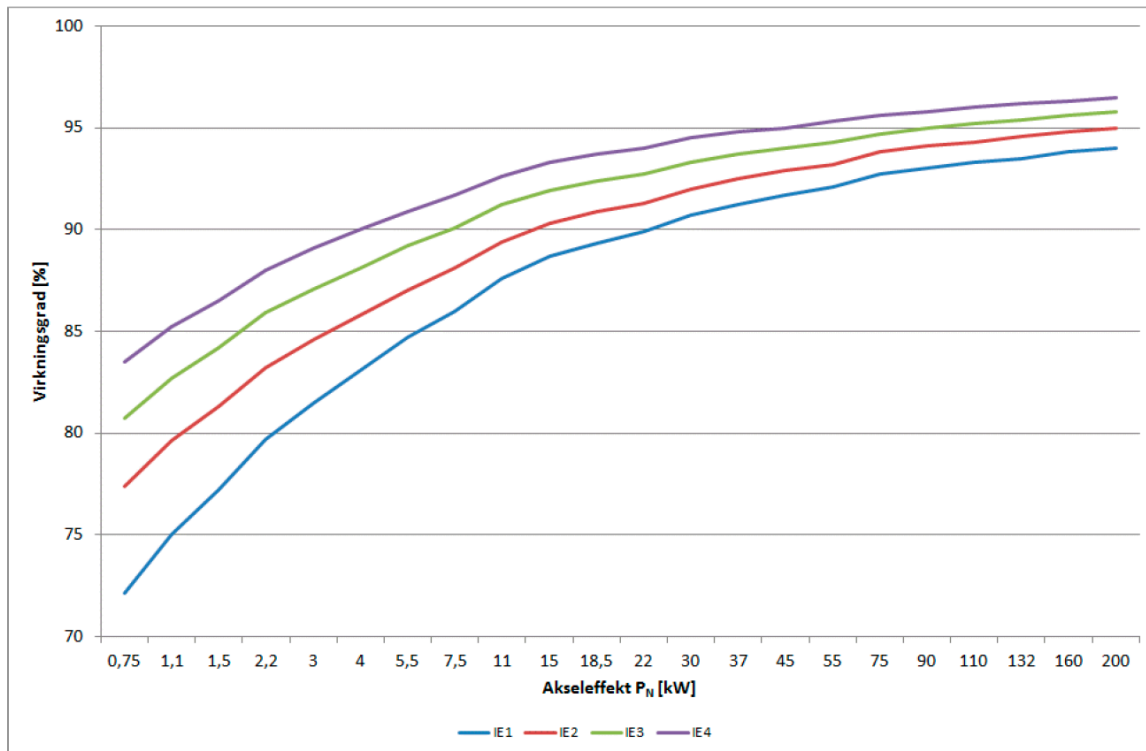
Tabel 7. Inddeling af motorer i effektivitetsklasser

Figur 15 og 16 viser, at der ved projektering af motordrevne maskinsystemer altid bør vælges IE3 eller IE4 motorer.

Det forventes, at der indføres en IE5 klasse kaldet Ultra premium efficiency. Det vides dog ikke hvornår IE5 klassen indføres.



Figur 16. Virkningsgrader for 2-polede motorer i henhold til IEC 60034-30:2008 og IEC 60034-31:2010



Figur 17. Virkningsgrader for 4-polede motorer i henhold til IEC 60034-30:2008 og IEC 60034-31:2010

I 2011 blev der i EU indført krav om miljøvenligt design (ECO-design) af elmotorer. Kravene gælder almindelige trefasede elmotorer med én hastighed i størrelsen 0,75 kW til 500 kW. Kravene gælder også, hvis motoren er indbygget i et produkt, så længe det er muligt uden større besvær at måle motorens energieffektivitet særskilt.

Fra 2017 er kravet, at alle motorer på over 0,75 kW skal være i mindst energieffektivitetsklasse IE3, eller være mindst IE2 hvis motoren er tilsluttet en frekvensomformer.

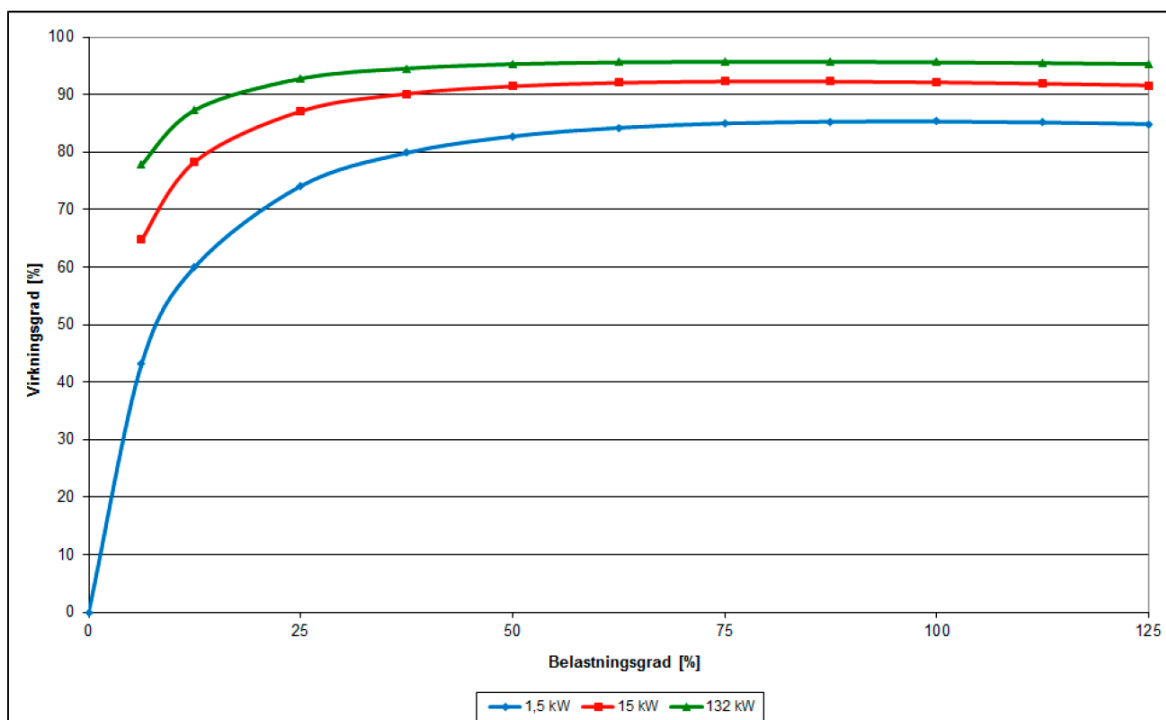
Effektiviteten eller virkningsgraden for en elmotor afhænger udover størrelsen  $P_m$  også af belastningsgraden. Belastningsgraden for elmotoren defineres således:

$$\text{Belastningsgrad} = \frac{P_m}{P_{m,N}}$$

hvor:

- $P_m$  er den aktuelle akseffekt [kW]
- $P_{m,N}$  er den nominelle akseffekt [kW]

I figur 19 ses virkningsgrader for tre 4-polede IE3 asynkronmotorer som funktion af belastningsgraden. For alle tre motorer ses, at virkningsgraden er nogenlunde konstant ved belastningsgrader mellem 75% og 125%. Når belastningsgraden går fra 50% til 25%, sker der en betydelig forringelse af virkningsgraderne for de tre motorer. Den største forringelse ses for den lille motor. Når belastningsgraden kommer under 25% sker der markante fald i virkningsgraderne for alle tre motorer.



Figur 18. Virkningsgrader for 4-polede standard asynkronmotorer som funktion af belastningsgraden ( $P/P_N$ )

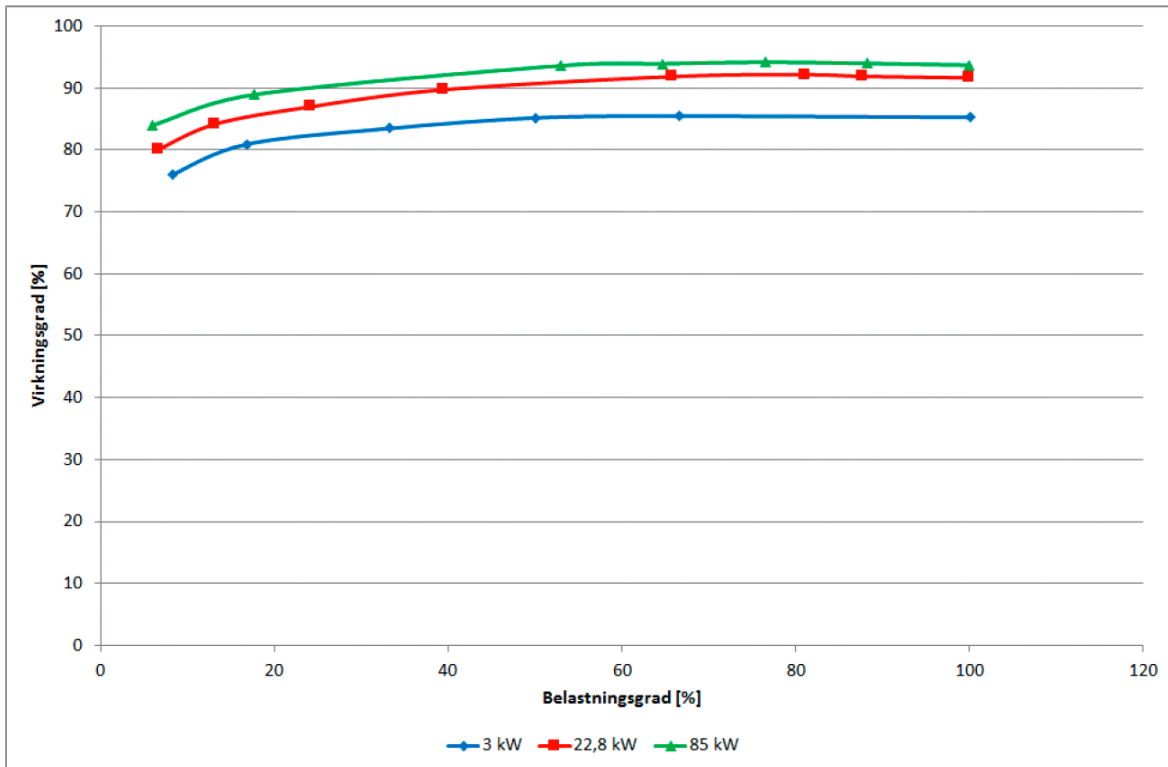
Figur 17 viser, at motorstørrelsen så vidt muligt altid bør vælges således, at belastningsgraden ligger mellem 75% og 100%. Herved opnås altid den højeste mulige virkningsgrad.

### PM-motorer (Permanent Magnet motorer)

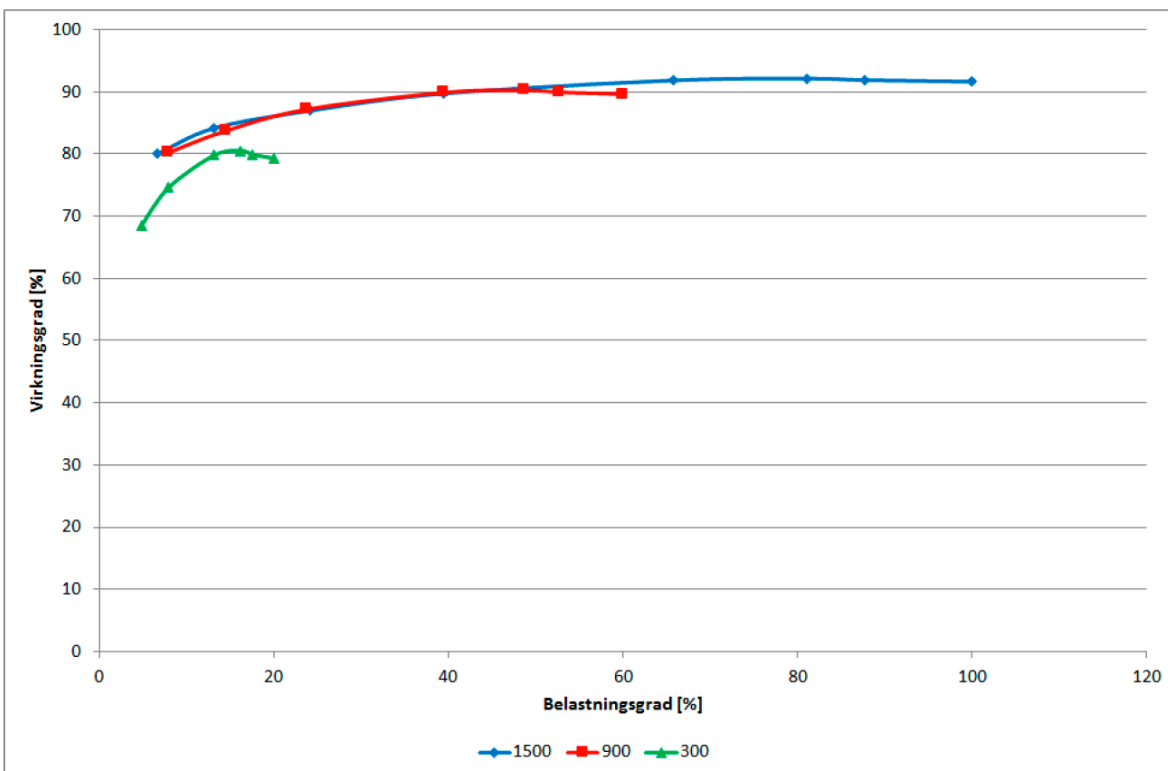
I figur 18 ses virkningsgrader for tre 4-polede PM-motorer inkl. frekvensomformerne som funktion af belastningsgraden. For alle tre drev (motor og frekvensomformer) er virkningsgraden nogenlunde konstant ved belastningsgrader mellem 50% og 125%.

Selv ved belastningsgrader ned til 20 %, sker der beskedne reduktioner i virkningsgraderne for de tre drev. Belastningsgraden skal under 10%, før der for alvor sker fald i virkningsgraderne.

PM-motoren benyttes ofte i mindre ventilatorapplikationer. Denne PM-motor betegnes også EC-motor (Elektronisk kommuteret motor).

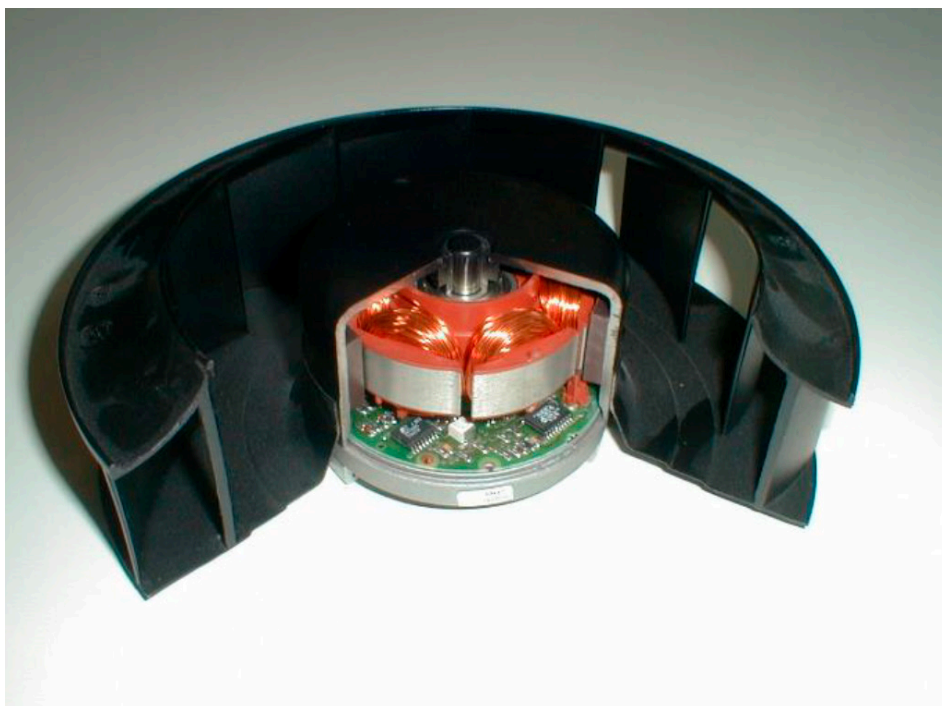


Figur 19. Virkningsgrad for 4-polede PM-motorer inkl. frekvensomformere som funktion af belastningsgraden (P/PN)

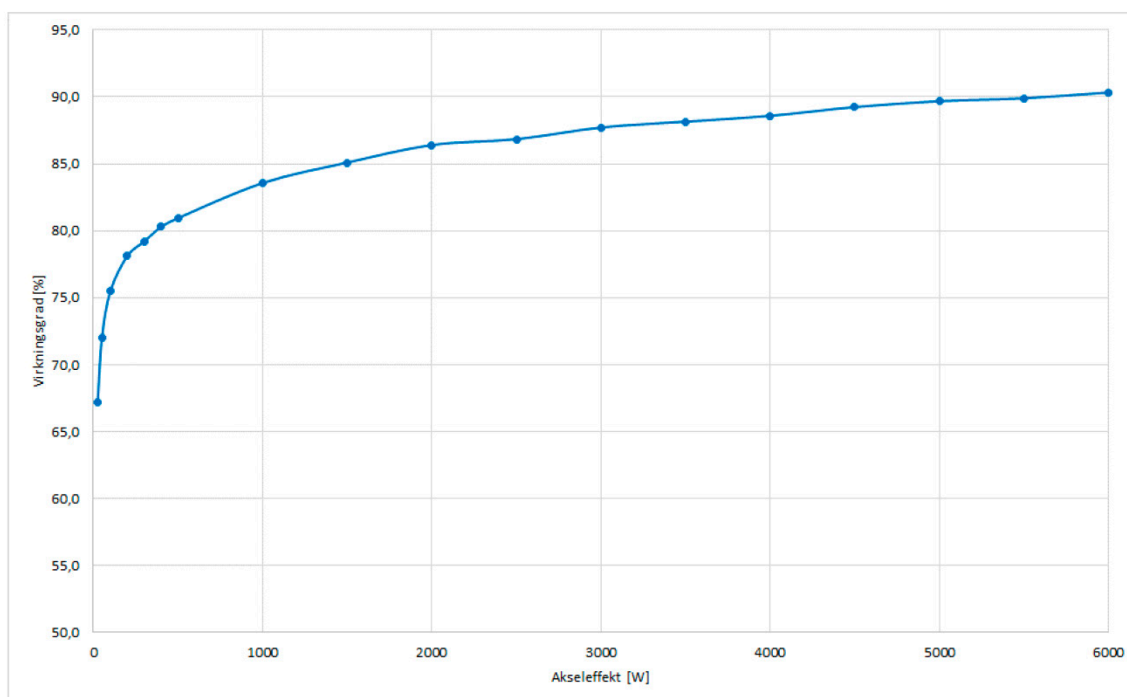


Figur 20. Virkningsgrad for 22,8 kW PM-motorer inkl. frekvensomformere ved tre forskellige hastigheder som funktion af belastningsgraden (P/PN)

EC-motorerne er normalt designet således, at de er en del af ventilatorapplikationen. Et eksempel på det er vist i figur 21, hvor EC-motoren er indbygget i ventilatorhjulet.



Figur 21. EC-motor indbygget i ventilatorhjulet. Billedet er leveret af den tyske motorfabrikant ebmpapst



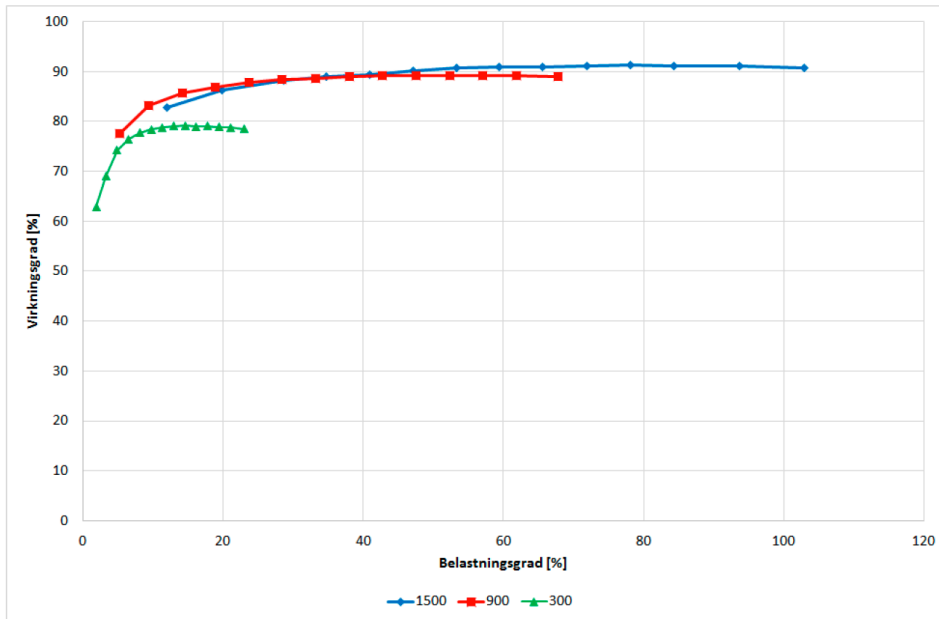
Figur 22. Virkningsgrader for EC-motorer inkl. frekvensomformer ved et omdrejningstal på 1.500 o/min.

Figur 22 viser virkningsgrader for EC-motorer inkl. frekvensomformer ved 1.500 o/min. Virkningsgraderne for EC-motorerne inkl. frekvensomformer svarer stort set til virkningsgraderne for net-tilsluttede IE3 motorer.

## Synkron reluktansmotorer

I figur 23 ses virkningsgrader for en 15 kW 4-polet synkron reluktansmotor inkl. frekvensomformer ved tre forskellige omdrejningstal som funktion af belastningsgraden. Ved alle tre hastigheder er virkningsgraden nogenlunde konstant i store dele af belastningsgradsområderne.

Figur 23. Virkningsgrad for en 15 kW synkron reluktansmotor inkl. frekvensomformere ved tre forskellige hastigheder som



funktion af belastningsgraden (P/PN)

Både permanent magnet motorer og synkron reluktans motorer forsynes fra frekvensomformere, da de ikke kan nettilsluttes.

Ventilatorerne bør altid forsynes med de mest energieffektive motorer. De mest energieffektive motorer på markedet i dag er klassificeret IE4 og IE5.

### Eksempel 2

En kontorbygning har installeret et ventilationsanlæg til ventilering af kontorlokalerne.

Anlægget er et CAV-anlæg og den indblæste og udsugede luftmængde er dimensioneret til 20.000 m<sup>3</sup>/h (= 5,5 m<sup>3</sup>/s).

Indblæsningstemperaturen er 22 °C og temperaturvirkningsgraden for varmegenvindingen er målt til 55 %.

Driftstiden er fra kl. 8.00 – 17.00 i fem dage pr. uge svarende til en årlig driftstid på 2.000 timer.

Effekttaget for motorerne til indblæsnings- og udsugningsventilatoren er målt til henholdsvis 10,5 kW og 9,0 kW.

Indblæsningsventilator og –motor bidrager til opvarmning af indblæsningsluften.

Indblæsningstemperaturen er for høj og kan reduceres til 20 °C. Besparelsen ved at gøre dette beregnes nedenfor:

Nedenfor ses et udtryk til beregning af det årlige varmeforbrug.

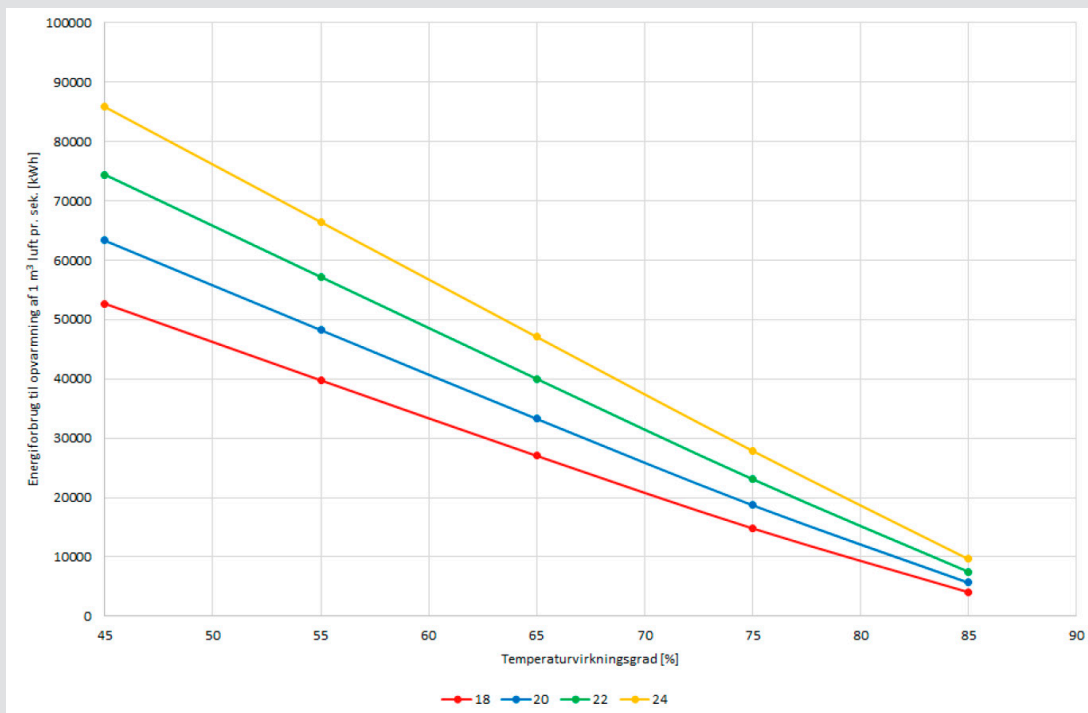
$$Q_{\text{varme}} = (V \cdot a \cdot (t/8.760) \cdot Q_{\text{specifik}}) - Q_{\text{el, ventilator}} \text{ [kWh/år]}$$

Som det ses afhænger det årlige varmeforbrug af den indblæste luftmængde  $V$ , reduktionsfaktoren  $a$  (kun for VAV-anlæg), antallet af driftstimer  $t$ , det specifikke varmeforbrug  $Q_{\text{specifik}}$  og elforbruget til indblæsningsventilatoren  $Q_{\text{el, ventilator}}$  (som bliver til varme).

Reduktionsfaktoren (a) beregnes på baggrund af en forventet gennemsnitlige luftmængde i forhold til den maksimale. Faktoren er kun relevant for VAV-anlæg.

En reduktionsfaktor på 0,7 betyder at den gennemsnitlige luftmængde er 70 % af den maksimale.

Det specifikke varmeforbrug som funktion af temperaturvirkningsgraden og indblæsningstemperaturen ses i figur 25.



Figur 245. Specifikke varmeforbrug som funktion af temperaturvirkningsgraden og indblæsningstemperaturen

Det årlige varmeforbrug i før-situationen udgør:

$$Q_{\text{varme}} = 5,5 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (2.000/8.760) \cdot 57.000 \text{ kWh}/\text{m}^3/\text{s} - (10,5 \text{ kW} \cdot 2.000 \text{ h}/\text{år}) = 50.600 \text{ kWh}/\text{år}$$

Det årlige varmeforbrug i efter-situationen udgør:

$$Q_{\text{varme}} = 5,5 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (2.000/8.760) \cdot 48.000 \text{ kWh}/\text{m}^3/\text{s} - (10,5 \text{ kW} \cdot 2.000 \text{ h}/\text{år}) = 39.300 \text{ kWh}/\text{år}$$

Besparelsen udgør således:  $50.600 \text{ kWh}/\text{år} - 39.300 \text{ kWh}/\text{år} = 11.300 \text{ kWh}/\text{år}$



### Eksempel 3

En kontorbygning har installeret et ventilationsanlæg til ventilering af kontorlokalerne.

Anlægget er et VAV-anlæg og den indblæste og udsugede luftmængde er dimensioneret til 20.000 m<sup>3</sup>/h.

Driftstiden er fra kl. 8.00 – 17.00 i fem dage pr. uge svarende til en årlig driftstid på 2.000 timer.

Effekttaget for motorerne til indblæsnings- og udsugningsventilatoren er målt til henholdsvis 10,5 kW og 9,0 kW.

Styringen er defekt for luftmængderne er konstante og anlægget kører derfor som et CAV-anlæg. Dette er konstateret ved at kigge på et skærmbillede i CTS-anlægget.

I før-situationen måles effekttaget til ventilatorernes motorer ved maksimal luftmængde.

Elforbruget  $Q_{el, ventilator}$  beregnes herefter ved at multiplicere med den årlige driftstid  $t$ .

I efter-situationen skønnes en forventet gennemsnitlige luftmængde i % af den maksimale, og reduktionsfaktoren i % beregnes på baggrund af denne. En belastningsfaktor på effekttag findes på baggrund af denne, og et gennemsnitligt effekttag beregnes.

Elforbruget  $Q_{el, ventilator}$  beregnes herefter ved at multiplicere med den årlige driftstid  $t$ .

Reduktionsfaktor, a	Belastningsfaktor på effekttag, b [-]
0,5	0,177
0,6	0,279
0,7	0,410
0,8	0,572
0,9	0,768

Tabel 8. Reduktionsfaktor, a og belastningsfaktor på effekttag, b

Elforbruget før- og efter-situationen beregnes således:

$$Q_{el, ventilator} = b \cdot P_{el, ventilator} \cdot t \text{ [kWh/år]}$$

Da anlægget, pga. en fejl i automatikken, kører som et CAV-anlæg er reduktions- og belastningsfaktoren i før-situationen 1,0.

Anlægget bør køre med en reduktionsfaktor på 0,7, hvorfor den gennemsnitlige belastningsfaktor på effekttaget vil være 0,410.

Det årlige elbesparelse udgør:

$$((19,5 \text{ kW} \cdot 2000 \text{ h}) - (0,41 \cdot 19,5 \text{ kW} \cdot 2000 \text{ h})) = 23.000 \text{ kWh.}$$

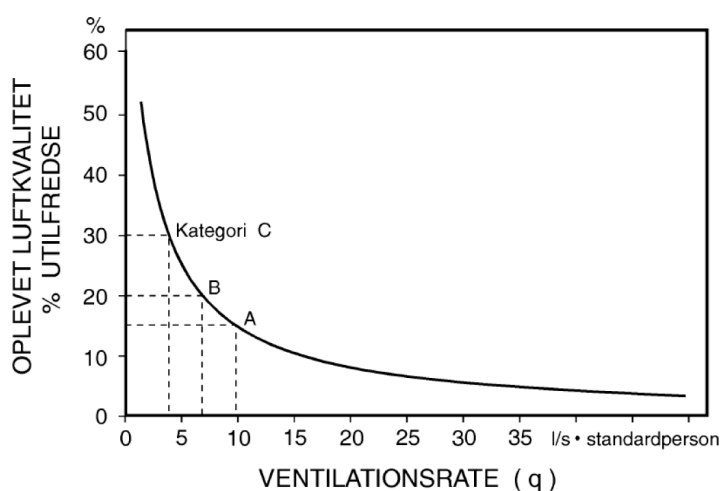
## Dimensionering af ventilationsanlæg

## Friskluftanlæg

Ventilationsanlægget skal dimensioneres til at opretholde et tilfredsstillende atmosfærisk indeklima.

Ved ikke-sundhedsskadelig forurening, f.eks. ubehagelige lugte fra processer eller fra menneskelige aktiviteter, kan ventilationsbehovet bestemmes på basis af Arbejdstilsynets vejledning "Grænseværdier for stoffer og materialer, Bygningsreglementet BR18 eller DS/CEN/CR 1752.

DS/CEN/CR 1752 specificerer tre forskellige kategorier af kvalitet af det atmosfæriske indeklima, som kan vælges opfyldt, når et lokale med menneskelig forurening (bioeffluenter), f.eks. CO<sub>2</sub>, vanddamp og lugte med udåndingsluften, skal ventileres. Den ønskede oplevede luftkvalitet i et lokale kan vælges blandt de tre kategorier A, B og C vist i figur 26.



Figur 256. Utilfredshed forårsaget af en standardperson (en olf) ved forskellige ventilationsrater

Atmosfærisk indeklima omhandler indeluftens renhed, oftest udtrykt ved koncentrationen af luftens forurenende komponenter. Koncentrationen kan være konstant (stationære forhold) eller den kan variere med tiden fordi forureningen opstår og forsvinder i forskellig takt.

#### Eksempel 4 - Luftmængde for godt indeklima

Et friskluftanlæg skal tilføre udeluft til et storrumskontor med 30 personer.

Anlægget er et kategori A anlæg. Ved hjælp af figur 26 kan udeluftmængden bestemmes til

10 l/s pr. person. Den samlede udeluftmængde bliver da:

$30 \text{ personer} \cdot 10 \text{ l/s pr. person} = 300 \text{ l/s}$ .

#### Boligventilation

Ventilationsanlæg i enfamilieshuse og etageboliger skal dimensioneres til et "arealbetinget luftskifte" på 0,30 l/s pr. kvadratmeter bruttoopvarmet etageareal. Yderligere skal anlægget kunne forøges til et "fugtzone betinget luftskifte" fra køkken, bad, toilet og bryggers.

Køkken:	20 l/s
Bad og toilet:	15 l/s
Toilet/bryggers/kælderrum:	10 l/s

Er det arealmæssige luftskifte lavere end den funktionsbaserede, kan det tillades, at anlægget kører behovsstyret (variabelt VAV anlæg). Mindre areal og flere fugtige zoner giver større mulighed for at anvende VAV.

## Komfortanlæg

Ventilationsanlægget skal dimensioneres til at opretholde et tilfredsstillende termisk og atmosfærisk indeklima.

DS 1752 "Projekteringskriterier for indeklimaer" specificerer tre forskellige kategorier af kvalitet af det termiske og atmosfæriske indeklima, som kan vælges opfyldt, når et lokale skal ventileres.

Kategorien "A" imødekommer et højt forventet niveau, kategorien "B" et middel forventet niveau og kategorien "C" et moderat forventet niveau.

I tabel 9 ses indeklimaklasser for storrumskontorer.

Indeklimaklasse	A	B	C
Operativ temperatur i °C • Sommer (kølesæson) • Vinter (fyringssæson)	23,5 – 25,5 21,0 – 23,0	23,0 – 26,0 20,0 – 24,0	22,0 – 27,0 19,0 – 25,0
Træk og lufthastigheder Trækrisiko (draught rate), maks1)	15%	20%	25%
Atmosfærisk indeklima i ppm CO <sub>2</sub> -koncentration (over udeniveau)	4602)	660	1.190

Tabel 9. DS 1752 "Projekteringskriterier for indeklimaer".

- 1) For rum med stillesiddende aktivitet stiller Bygningsreglementet krav om en maksimal trækrisiko på 20%
- 2) I daginstitutioner og undervisningsrum i skoler og lignende stiller Bygningsreglementet krav til maksimalt 1.000 ppm (absolut) for dimensionerende forhold

Kvaliteten af det termiske indeklima omfatter den operative temperatur, som er middelværdien af luft- og middelstrålingstemperaturen og trækrisikoen.

Kriterierne for den operative temperatur er baseret på et aktivitetsniveau på 1,2 (stillesiddende aktivitet) for en sommerbeklædning på 0,5 clo (underbukser, skjorte med korte ærmer, lette bukser, tynde strømper og sko) og en vinterbeklædning på 1,0 clo (underbukser, skjorte, bukser, jakke, sokker og sko).

Den operative temperatur kan måles med et globetermometer.

Træk er en uønsket lokal afkøling af kroppen forårsaget af luftbevægelse og temperatur. Det er den oftest forekommende årsag til klager i ventilerede lokaler. En trækvurdering eller trækrisikoen kan udtrykkes som den procentdel af personer, der forventes at være generet af træk.

Oplevelsen af træk er afhængig af luftens hastighed, temperaturen og turbulensintensiteten. Turbulensintensiteten er standardafvigelsen divideret med middelværdien af lufthastigheden. I rum ventileret efter opblandingsprincippet er turbulensintensiteten typisk ca. 40 %. Hvis man ikke kender turbulensintensiteten, kan denne værdi benyttes.

Trækrisikoen måles med et måleudstyr til ventilation og indeklime, der kan måle samhoørende værdier for lufttemperatur og –hastighed. Disse måledata omsættes i måleudstyret til trækrisikoen.

Kvaliteten af det atmosfæriske indeklime omfatter CO<sub>2</sub>-koncentration, som er en god indikator for forureningen forårsaget af stillesiddende mennesker.

CO<sub>2</sub>-koncentration måles med en CO<sub>2</sub>-måler.



Figur 267. Globetermometer



Figur 278. Træk måleudstyr



Figur 289. CO<sub>2</sub>-måler

### Automatik

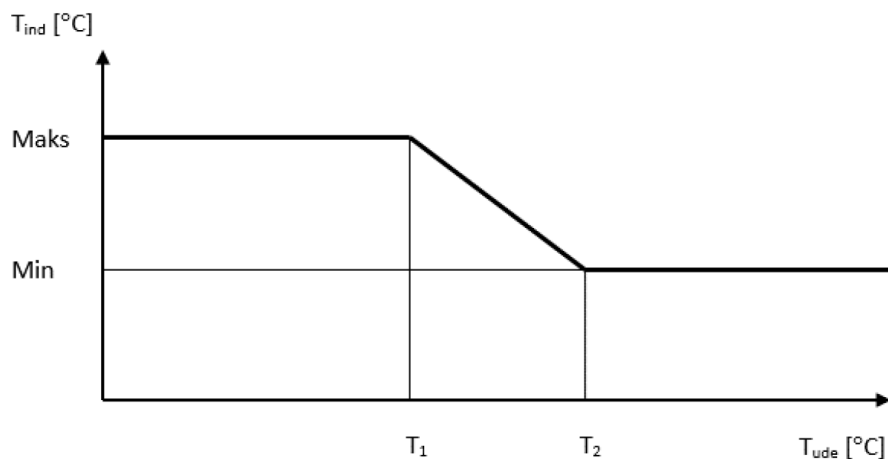
Anlægget forsynes med en automatik, der skal være i stand til at styre og regulere ventilationsanlægget effektivt og energioptimalt samtidig med, at krav til funktioner og indeklime er opfyldt.

### Friskluftanlæg

- Til styring af friskluftanlæg, som udelukkende arbejder på at opretholde det atmosfæriske indeklime, benyttes oftest en regulator, der regulerer indblæsningstemperaturen efter et sætpunkt for ønsket indblæsningstemperatur

Regulatoren styrer typisk en varmegenvindingsenhed (bypass spjæld) og en ventil til varmepladen i sekvens. Det er med andre ord en regulering, der sikrer, at der ikke foregår bypass af luft og opvarmning samtidig

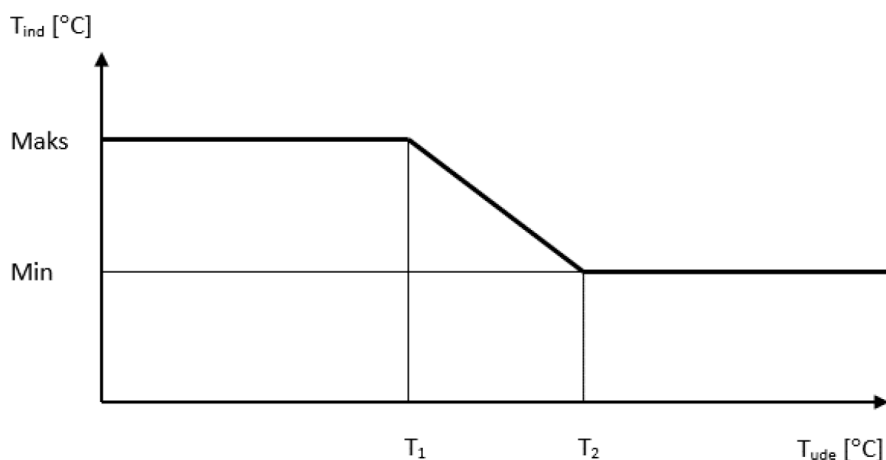
- Regulatoren kan endvidere styre omdrejningstallene på ventilatormotorerne. Regulatoren vil typisk øge omdrejningstallene og dermed den indblæste og udsugede luftmængde, hvis sætpunktet for rumtemperaturen overskrides. Luftmængderne kan også øges, hvis sætpunktet for luftkvaliteten (CO<sub>2</sub> indholdet) overskrides
- Regulatoren bør indeholde en funktion, der gør det muligt at kompensere indblæsningstemperaturen efter udetemperaturen (udekompensering)



Figur 29. Kompensering af indblæsningstemperaturen efter udetemperaturen

På figur 30 ses, at ved lave udetemperaturer, hvor varmebehovet er størst, indblæses med maksimumstemperaturen. Ved stigende udetemperaturer indblæses med lavere temperaturer, indtil der er opnået en vis minimumstemperatur

- Regulatoren bør indeholde en funktion, der gør det muligt at kompensere indblæsningstemperaturen efter rumtemperaturen (kaskaderegulering). Se figur 31



Figur 301. Kompensering af indblæsningstemperaturen efter rumtemperaturen (kaskaderegulering)

Ved lave rumtemperaturer, når varmebelastningerne i rummet er lave, indblæses med maksimumstemperaturen, se figur 31 herover. Ved stigende rumtemperatur indblæses med lavere temperaturer, indtil en vis minimumstemperatur nås. Af hensyn til komforten må temperaturen inden døre ikke blive for lav: Den anbefalede minimumstemperatur i rum, hvor der foregår stillesiddende arbejde er 21 °C. Kaskadereguleringen kan kombineres med kompensation efter udetemperaturen.

- Automatikken bør være forsynet med mulighed for indprogrammering af driftstider (urstyring), da ventilationsanlæg som udgangspunkt kun skal være i drift i de ventilerede lokaler, i den tid, de faktisk benyttes. Automatikken bør være forsynet med mulighed for tilkobling af tilstedeværelsessensorer (infrarød, radar eller lydsensor)

## Komfortanlæg

- Til styring af komfortanlæg, hvor anlæggets funktion både er at opretholde det termiske og det atmosfæriske indeklima, benyttes typisk en regulator, der regulerer rumtemperaturen efter et sætpunkt for ønsket rumtemperatur. Der bruges enten et CAV anlæg (constant air volume) eller VAV anlæg (variable air volume).

Et CAV anlæg (constant air volume) holder som grundprincip rumtemperaturen konstant ved at ændre på indblæsningstemperaturen, når rumtemperaturen afviger fra den indstillede værdi. Forholdet mellem ændringen i rumtemperaturen og den tilsvarende ændring af indblæsningstemperaturen indstilles på regulatoren.

Ofte indstilles en nedre grænse for indblæsningstemperaturen på regulatoren. Denne minimums-indblæsningstemperatur skal sikre, at trækgener undgås.

I VAV anlæg (variable air volume) holdes rumtemperaturen som grundprincip konstant ved at ændre på volumenstrømmene, når rumtemperaturen afviger fra den indstillede værdi. Indblæsningstemperaturen holdes som udgangspunkt konstant.

Regulatoren for både CAV og VAV anlæg styrer typisk en varmegenvindingsenhed (bypass spjæld), en ventil til varmefladen og en ventil til kølefladen i sekvens (dvs. en regulering der sørger for, at der eksempelvis ikke foregår varmegenvinding og køling samtidig).

- Regulatoren bør indeholde en funktion, der gør det muligt at kompensere rumtemperaturen efter udetemperaturen (udekompensering). Her bruges kompenseringen til at hæve sætpunktet (indstillingsværdien) for den ønskede rumtemperatur, når udetemperaturen kommer over en vis grænse. Under denne grænse holdes rumtemperaturen konstant. Dette anvendes, hvis anlægget er forsynet med køleflade
- Automatikken bør være forsynet med mulighed for indprogrammering af driftstider (urstyring), da ventilationsanlæg som udgangspunkt kun skal være i drift i de ventilerede lokalers, mens disse faktisk benyttes
- Automatikken bør være forsynet med mulighed for tilkobling af tilstedeværelsessensorer (infrarød, radar eller lyd sensor)

I opvarmningssæsonen gælder, at for hver 1 °C rumtemperaturen kan sænkes, falder energiforbruget til opvarmning med 5 – 8 %.

Tilsvarende gælder, at jo højere rumtemperatur der kan accepteres om sommeren jo mindre bliver energiforbruget til køling. I kølesæsonen gælder, at for hver 1 °C rumtemperaturen kan hæves, falder energiforbruget til køling med 2 – 3 %.

## Eksempel 5

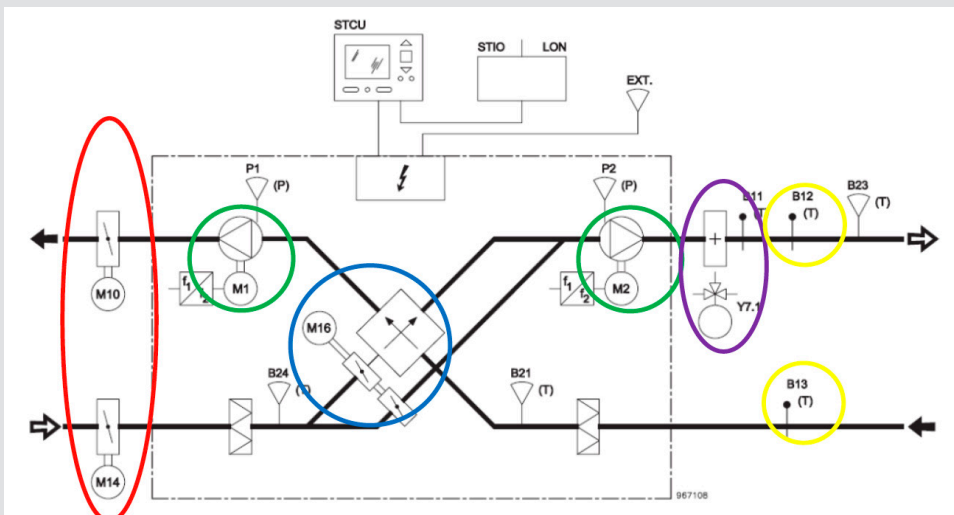
I nedenstående figur ses et eksempel på et styringsdiagram for et komfortanlæg.

Regulatoren (kaldet STCU) styrer spjæld i indtag- og afkastkanalen (M10 og M14 – markeret med rød) samt bypass spjæld med varmegenvindingsenheden (M16 – markeret med blå).

Regulatoren styrer endvidere omdrejningstallet på ventilatormotorerne (M1 og M2 – markeret med grøn).

Endelig styrer regulatoren ventilen ved varmefladen (Y7.1 – markeret med lilla).

En række temperaturfølere samt brand- og frosttermostater er koblet til regulatoren (B12, B13 m.fl. – markeret med gul).



Figur 312. Styringsdiagram for et komfortanlæg

## Energikrav

Nye ventilationsanlæg skal leve op til nedenstående krav jf. Bygningsreglementet BR18.

Anlæg	Krav til varmegenvindingen (tør virkningsgrad)	Krav til specifikt elforbrug (SFP)
Anlæg til andre bygninger end boliger <sup>1)</sup>		
Konstant luftmængde	73%	1.800 J/m <sup>3</sup>
Variabel luftmængde	73%	2.100 J/m <sup>3</sup>
Ventilationsanlæg med varmegenvinding til én bolig <sup>2)</sup>		
Konstant luftmængde	80%	1.000 J/m <sup>3</sup>
Variabel luftmængde	80%	1.000 J/m <sup>3</sup>
Ventilationsanlæg, der forsyner etageboliger <sup>1)</sup>	73%	1.500 J/m <sup>3</sup>
Udsugningsanlæg, der forsyner etageboliger <sup>1)</sup>		800 J/m <sup>3</sup>

Tabel 10. Krav til nye ventilationsanlæg jf. Bygningsreglementet BR18

- 1) Den tørre virkningsgrad skal være dokumenteret iht. EN 308 og målt med ens massestrømme, uden kondensering af fugt og med en maksimal lækage på 3 %
- 2) Den tørre virkningsgrad skal være dokumenteret iht. EN 13141-7



## Eksempel 6

En kontorbygning fra 1990 har installeret et ventilationsanlæg til ventilering af kontorlokalerne.

Anlægget er et CAV-anlæg og den indblæste og udsugede luftmængde er dimensioneret til 20.000 m<sup>3</sup>/h. Indblæsningstemperaturen er 22 °C.

Effektforbruget for motoren til indblæsningsventilatoren er målt til 9,5 kW mens effektforbruget for motoren til udsugningsventilatoren er målt til 8,5 kW.

SFP-faktoren for anlægget kan derfor beregnes til 3.240 J/m<sup>3</sup>.

Temperaturvirkningsgraden for varmegenvindingsenheden er beregnet til 60 %.

Driftstiden er fra kl. 6.00 – 20.00 (i fem dage pr. uge).

Anlægget udskiftes til et VAV-anlæg som overholder Bygningsreglementets krav til specifikt elforbrug, dvs. 2.100 J/m<sup>3</sup>. Se tabel 10.

Temperaturvirkningsgraden for varmegenvindingsenheden forventes at være 75 % (roterende varmeveksler, hvilket er 2 % højere end kravet i tabel 10).

Ventilationsentreprenøren forventer at den gennemsnitlige luftmængde vil være ca. 70 % af den maksimale.

Det årlige varmeforbrug i før-situationen udgør:

$$Q_{\text{varme}} = 5,5 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (3.600/8.760) \cdot 48.000 \text{ kWh/m}^3/\text{s} - (9,5 \text{ kW} \cdot 3.600 \text{ h/år}) = 74.300 \text{ kWh/år}$$

Det årlige varmeforbrug i efter-situationen udgør:

$$Q_{\text{varme}} = 5,5 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (3.600/8.760) \cdot 24.000 \text{ kWh/m}^3/\text{s} - (2,6 \text{ kW} \cdot 3.600 \text{ h/år}) = 44.900 \text{ kWh/år}$$

Besparelsen udgør således:  $74.300 \text{ kWh/år} - 44.900 \text{ kWh/år} = 29.400 \text{ kWh/år}$

De 2,6 kW for motoren til indblæsningsventilatoren beregnes nedenfor.

Det årlige elforbrug i før-situationen udgør:

$$E = (9,5 \text{ kW} + 8,5 \text{ kW}) \cdot 3.600 \text{ h/år} = 64.800 \text{ kWh/år}$$

Der gælder følgende:

$$SFP = \frac{P_{\text{ind}} + P_{\text{ud}}}{q} \Leftrightarrow P_{\text{ind}} + P_{\text{ud}} = SFP \cdot q$$

$$P_{\text{ind}} + P_{\text{ud}} = SFP \cdot q = 2.100 \text{ J/m}^3 \cdot 5,5 \text{ m}^3/\text{s} = 11.550 \text{ W} = 11,6 \text{ kW}$$

Da den gennemsnitlige luftmængde vil være ca. 70 % af den maksimale fås:

$$P_{\text{ind}} + P_{\text{ud}} = 0,410 \cdot 11,6 \text{ kW} = 4,8 \text{ kW}$$

Effektoptaget for motoren til indblæsningsventilatoren skønnes at udgøre 2,6 kW.

Det årlige elforbrug i efter-situationen udgør:

$$E = (2,6 \text{ kW} + 2,2 \text{ kW}) \cdot 3.600 \text{ h/år} = 17.300 \text{ kWh/år}$$

Besparelsen udgør således:  $64.800 \text{ kWh/år} - 17.300 \text{ kWh/år} = 47.500 \text{ kWh/år}$

## Ecodesign krav

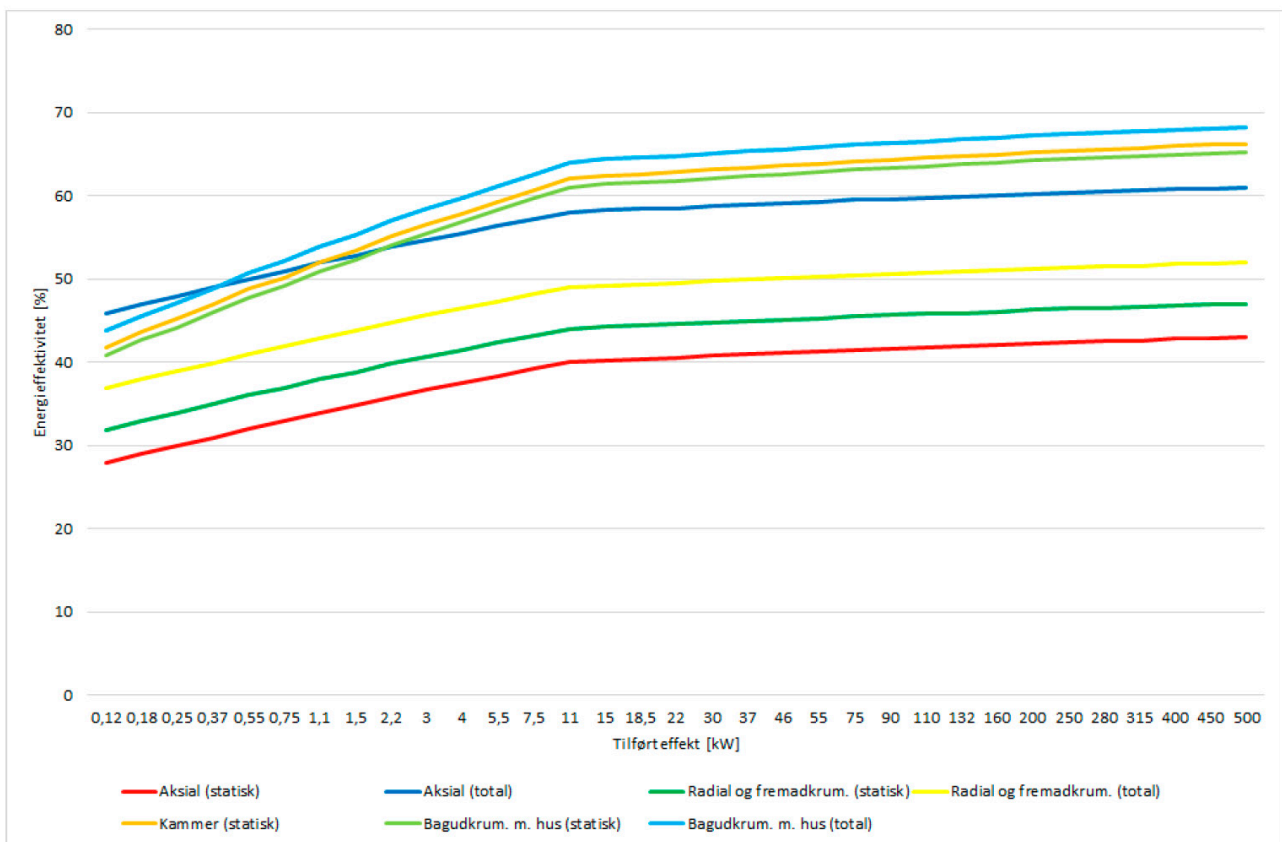
### Ventilatorer

Den 1. januar 2013 trådte nye krav til miljøvenligt design af elmotordrevne ventilatorer i kraft. Kravene, som er minimumskrav, vedrører ventilatorer, som er udformet til brug med eller udstyret med en motor med en effekt fra 125 W til 500 kW designet for driftspunktet med optimal energieffektivitet.

Energieffektiviteten måles og beregnes nu som en totalvirkningsgrad for hele ventilationssystemet, dvs. for ventilator, motor og styring. Tidligere blev virkningsgraden beregnet ud fra den statiske eller dynamiske trykstigning samt luftmængde og tilført effekt til ventilatoren.

Målingerne foretages i henhold til målestandard for ventilatorer ISO 5801.

I figur 33 ses krav til ventilatorers energieffektivitet gældende siden 1. januar 2015.



Figur 323. Krav til ventilatorers energieffektivitet siden 1. januar 2015

Nærmere information vedr. kraven kan findes i Energistyrelsens skrivelse omhandlende de nye ecodesign krav ([www.ens.dk/energikrav](http://www.ens.dk/energikrav)) eller i kommissionens forordning (EF) Nr. 327/2011.

## Ventilationsaggregater

### Minimum ventilatorvirkningsgrad for aggregater

I EU-forordning nr. 1253/2014 stilles der yderligere krav om minimum ventilatorvirkningsgrad for aggregater ( $\eta_{v,ag}$ ). Fra den 1. januar 2018 er kravene:

$$\eta_{v,ag} \geq 6,2 \% \cdot \ln(P) + 42,0 \%, \text{ hvis } P \leq 30 \text{ kW}$$

$$\eta_{v,ag} \geq 63,1 \%, \text{ hvis } P > 30 \text{ kW}$$

hvor:

- P er ventilatorens nominelle effektoptag inkl. reguleringsudstyr ved nominel volumenstrøm og tryk

### Elmotorer

I 2011 blev der i EU indført krav om miljøvenligt design (ecodesign) af elmotorer. Ecodesign er krav om produktudformning, der tilgodeser eksempelvis energieffektivitet. Kravene gælder almindelige trefasede elmotorer med én hastighed i størrelsen 0,75 kW til 375 kW. Kravene gælder også, hvis motoren er indbygget i et produkt, så længe det er muligt uden større besvær at måle motorens energieffektivitet særskilt.

Fra 2017 skal alle motorer på over 0,75 kW være i energieffektivitetsklasse IE3 eller være i IE2 og være tilsluttet en frekvensomformer.

Fra 2016 skal alle ventilationsaggregater i henhold til EU-forordning nr. 1253/2014", med undtagelse af aggregater til dobbelt anvendelse (brand mv.), være udstyret med et flerhastighedsdrev eller variabel hastighedsregulering.



Figur 334. Ventilator med variabel hastighedsregulering

### Eksisterende installation

Det eksisterende ventilationsanlæg, som typisk er placeret i kælder, i loftsrum eller på tag demonteres.

### Ny installation

Det nye ventilationsanlæg monteres. Eftervarmefladen og eventuelt kølefladen forbindes til henholdsvis varme- og kølesystemet.

Der etableres afløb og anlægget tilsluttes elektrisk af en autoriseret elinstallatør.

Anlægget sættes afslutningsvis i gang.

Ventilationsanlæggets bruger skal have overleveret en fyldestgørende danske installationsvejledning, som skal følge med anlægget fra producenten. Vejledningen skal altid følges nøje.

Hele ventilationsanlægget skal udføres, så det lever op til gældende regler i forskrifter som er relevante for ventilationsanlæg, herunder Bygningsreglementet (BR18), DS 447 "Ventilation i bygninger – Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer", DS 428 "Norm for brandtekniske foranstaltninger ved ventilationsanlæg" og DS 452 "Termisk isolering af tekniske installationer".

Bemærk endvidere, at der skal være plads til betjening, rensning og besigtigelse af anlægget jf. AT-Vejledning A-1-1.

Ventilationsanlæg, hvor elforbruget til ventilatorer overstiger 3.000 kWh pr. år, skal forsynes med målere til måling af elforbruget. Bestemmelsen gælder ved nybyggeri og ved nyinstallation i eksisterende byggeri.

I ventilationsanlæg, hvor varmemeforbruget til varmeklader overstiger 10.000 kWh pr. år, skal varmemeforbruget måles. Elforbruget i elvarmeklader, hvor det samlede forbrug overstiger 3.000 kWh pr. år, skal måles. Bestemmelserne gælder ved nybyggeri og ved nyinstallation i eksisterende byggeri.

### Indregulering

I henhold til DS 447:2013, kapitel 6.3, 7.3 og 8.3 "Indregulering og aflevering", skal et ventilationsanlæg være indreguleret af ventilationsentreprenøren.

Dokumentation herfor leveres for indregulering af alle de væsentlige parametre, som er:

- Indblæst og udsuget luftmængde
- Trykdifferenser over anlæg (suge- og trykside) samt komponenter
- Effektoptag og omdrejningstal for ventilatormotorer
- Temperaturvirkningsgrad for varmegenvindingsenhed

## Funktionsafprøvning

I henhold til Bygningsreglementet kap 22 § 450 skal der gennemføres en funktionsafprøvning af ventilationsanlæg før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise om ventilationsanlægget overholder Bygningsreglementets krav til luftmængder (nominel luftstrøm), specifikt elforbrug til lufttransport (SEL-værdi) samt at eventuel behovsstyring fungerer efter hensigten.

Ventilationsanlægget skal vedligeholdes for at fungere korrekt. Dette gælder også den tilhørende automatik, der styrer og regulerer anlægget.

Der skal foreligge en drifts- og vedligeholdelsesmanual for ventilationsanlægget ved ibrugtagning. Manualen skal indeholde tegninger med oplysning om placering af installationer, der skal vedligeholdes, samt hvordan og hvor ofte vedligeholdelsen skal ske. Drift- og vedligeholdelsesmanualen skal udarbejdes som anvist i henhold til DS 447, Ventilation i bygninger – Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer.

Det ses dog ofte, at ventilationsanlæg ikke drives og vedligeholdes efter forskrifterne fra leverandøren eller installatøren, hvilket ofte medfører ringe komfort for bygningens brugere og væsentligt højere energiforbrug end nødvendigt.

I forbindelse med service/eftersyn på ventilationsanlægget bør der foretages et tjek af indblæsningstemperaturen. Tjekket skal vise, om der er overensstemmelse mellem den ønskede og målte indblæsningstemperatur. Hvis indblæsningstemperaturen er for høj, kan det skyldes, at regulatoren er indstillet forkert eller er defekt. Det kan også skyldes en defekt temperaturføler, som udskiftes i forbindelse med eftersynet.

Der bør endvidere foretages et tjek af driftstid, så det sikres at anlægget starter og stopper på de ønskede tidspunkter.

Endelig bør det tjekkes at der ikke sker samtidig opvarmning og køling i samme anlæg eller rum. Samtidig opvarmning og køling ses fx i ventilationsanlæg, hvor der varmegenvindes og køles på samme tid. Det skyldes typisk fejl i automatikken.

### **VENT-ordningen**

VENT-ordningen er en serviceordning for drift og vedligeholdelse af ventilationsanlæg.

VENT-ordningen sikrer, at et ventilationsanlæg til stadighed lever op til de krav, ejeren har til ventilation, samtidig med at energiforbruget altid er mindst muligt.

VENT-ordningen sikrer virksomheden:

- En effektiv udnyttelse af energien til ventilationsanlæg
- Et bedre indeklima
- Et bedre og sundere arbejdsmiljø

I VENT-ordningen sikres kvaliteten af arbejdet og funktionen af ventilationsanlægget ved:

- Anvendelse af godkendte, veluddannede servicemontører og godkendt måleudstyr
- Anvendelse af godkendte retningslinjer for VENT service
- Måling og gennemgang af alle relevante dele i ventilationsanlægget
- Stikprøvekontrol af VENT firmaet og VENT montørens arbejde

Læs mere om ordningen på [www.vent.dk](http://www.vent.dk)



# ENERGIHÅNDBOGEN

## 2019



## TEKNISK ISOLERING



*Energihåndbogen er udgivet med støtte fra Grundejernes Investeringsfond*





# TEKNISK ISOLERING

## Indhold

<b>Teknisk isolering</b>	<b>162</b>
Rør til radiatorer	165
Energibesparelse	165
Udførelse	168
Dimensionering	168
Montage	168
Rør til varmt brugsvand	169
Energibesparelse	169
Udførelse	172
Dimensionering	172
Montage	172
Ventiler og pumper	173
Energibesparelse	173
Udførelse	176
Dimensionering	176
Montage	176
Varmtvandsbeholder	177
Energibesparelse	177
Udførelse	179
Dimensionering	179
Montage	179
Plane flader	180
Energibesparelse	180
Udførelse	182
Dimensionering	182
Montage	182

## Teknisk isolering

For isolering af rør, ventiler, flanger, beholdere, vekslere, kedler, ventilationskanaler o. lign. gælder en række krav. De er bl.a. angivet i DS 452 Norm for termisk isolering af tekniske installationer.

Producenter og leverandører af isoleringsmaterialer har med baggrund i førnævnte krav udarbejdet internetbaserede produktblade, hvori er angivet oversigt over næsten alle forekommende isoleringsløsninger med henblik på at reducere varmetabet.

Endvidere tilbyder producenterne og leverandørerne også programmer til beregning af varmetab fra komponenter baseret på en række parametre, såsom medie- og omgivelsestemperatur, rørdiameter, isoleringstykkelse m.m.

I dette afsnit beskrives teknisk isolering af følgende komponenter:

- Rør til radiatorer, konvektorer og gulvvarme
- Rør til varmt brugsvand
- Ventiler og pumper
- Varmtvandsbeholdere
- Plane flader

Installationer skal udføres, så unødvendigt energiforbrug undgås. De skal isoleres mod varmetab og kondens i overensstemmelse med DS 452, norm for termisk isolering af tekniske installationer. I henhold til DS 452 kan normale bygningsinstallationer og dele af dem klassificeres efter nedenstående tabeller.

Det er anlæggets funktion, der bestemmer, hvilken isoleringsklasse der skal dimensioneres efter. Se nedenstående tabeller for opvarmningsanlæg samt anlæg til varmt brugsvand.

### Opvarmningsanlæg

Anlægstype	Omgivende temperatur $T_a$	
	$\leq 5 \text{ °C}^{1)}$	$\geq 5 \text{ °C}^{2)}$
Opvarmningsanlæg		
Koblingsledninger i samme rum som varmegiver		Kl. 0
Koblingsledninger i andre rum end varmegiver, samt alle koblingsledninger nedlagt eller indstøbt i gulve, vægge eller lofter	Kl. 6	Kl. 2
Fordelingsledninger, varmevekslere, varmebeholdere og installationsdele:		
Kun varme i opvarmningssæsonen med $T_m < 45 \text{ °C}$	Kl. 6	Kl. 3
Kun varme i opvarmningssæsonen, med regulering af fremløbstemperatur	Kl. 6	Kl. 3
Andre tilfælde, herunder fjernvarme inden for bygningen og fordelingsledninger mellem bygninger	Kl. 6	Kl. 4

Tabel 1. Isoleringsklasser for opvarmningsanlæg

### Varmt brugsvand

Anlægstype	Omgivende temperatur $T_a$	
	$\leq 5 \text{ °C}^{1)}$	$\geq 5 \text{ °C}^{2)}$
Varmt brugsvand		
Koblingsledninger i samme rum som tappested	-	Kl. 0
Koblingsledninger i andre rum end tappested	-	Kl. 4
Fordelings- og cirkulationsledninger	Kl. 6	Kl. 4
Vekslere og varmtvandsbeholdere samt vandvarmere	Kl. 6	Kl. 5

Tabel 2. Isoleringsklasser for anlæg til varmt brugsvand

## Ventilationsanlæg

Anlægstype	Omgivende temperatur $T_a$	
	$\leq 5 \text{ °C}^{1)}$	$\geq 5 \text{ °C}^{2)}$
Ventilationsanlæg	$\leq 5 \text{ °C}^{1)}$	$\geq 5 \text{ °C}^{2)}$
Tilslutningskanaler, der er placeret i de rum, de betjener	-	Kl. 0
Fraluftskanaler og tilluftskanaler på anlæg med varmegenvinding	Kl. 3	Kl. 0
Tilluftskanaler på anlæg uden mekanisk køling med dimensionerende lufttemperatur mellem $15 \text{ °C}$ og $23 \text{ °C}$	Kl. 3	Kl. 0
Tilluftskanaler på anlæg med mekanisk køling med dimensionerende lufttemperatur mellem $15 \text{ °C}$ og $23 \text{ °C}$	Kl. 3	Kl. 1
Tilluftskanaler på anlæg med dimensionerende lufttemperatur under $15 \text{ °C}$	Kl. 3	Kl. 3
Tilluftskanaler i luftvarmeanlæg med lufttemperatur over $23 \text{ °C}$	Kl. 4	Kl. 2
Ventilationskanaler i udsugningsanlæg uden varmegenvinding og til naturligt aftræk	Kl. 0 <sup>3)</sup>	Kl. 0
Ventilationskanaler til udeluftindtag (før evt. varmegenvinding) og til afkast til det fri efter varmegenvinding)	Kl. 0 <sup>3) 5)</sup>	Kl. 3 <sup>3)</sup>

Tabel 3. Isoleringsklasser for ventilationsanlæg

## Ventilationsaggregater

Anlægstype	Omgivende temperatur $T_a$	
	$\leq 5 \text{ °C}^{1)}$	$\geq 5 \text{ °C}^{2)}$
Ventilationsaggregater	$\leq 5 \text{ °C}^{1)}$	$\geq 5 \text{ °C}^{2)}$
Ventilationsaggregater	$\leq 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tabel 4. Isoleringsklasser for ventilationsaggregater

## Solvarmeanlæg

Anlægstype	Omgivende temperatur $T_a$	
	$\leq 5 \text{ °C}^{1)}$	$\geq 5 \text{ °C}^{2)}$
Solvarmeanlæg	$\leq 5 \text{ °C}^{1)}$	$\geq 5 \text{ °C}^{2)}$
Rørføring mv. til solfangere	Kl. 4	Kl. 4
Beholdere	Kl. 6	Kl. 5

Tabel 5. Isoleringsklasser for opvarmningsanlæg

## Luft-vand og luft/luft varmepumper

Anlægstype	Omgivende temperatur $T_a$	
	$\leq 5 \text{ °C}^{1)}$	$\geq 5 \text{ °C}^{2)}$
Luft-vand og luft/luft varmepumper		
Varme forbindelsesrør til udedel	Kl. 6	Kl. 5
Kolde forbindelsesrør til udedel	Kl. 0 <sup>3)</sup>	Kl. 4 <sup>4)</sup>

Tabel 6. Isoleringsklasser for anlæg til varmt brugsvand

## Jordvarme (væske til vand varmepumper)

Anlægstype	Omgivende temperatur $T_a$	
	$\leq 5 \text{ °C}^{1)}$	$\geq 5 \text{ °C}^{2)}$
Jordvarme (væske til vand varmepumper)		
Jordslanger mv.	I jord <sup>4)</sup>	Kl. 4 <sup>3)</sup>

Tabel 7. Isoleringsklasser for anlæg til varmt brugsvand

- 1) Omfatter placeringer ude, i jord, i uopvarmet rum uden for klimaskærm og i rum opvarmet til højst  $5 \text{ °C}$
- 2) Opvarmet rum ( $>5 \text{ °C}$ ) eller uopvarmet rum inden for klimaskærm
- 3) Kondensisoleres efter forholdene
- 4) Se Miljøministeriets BEK nr. 1019

I tabel 8 ses eksempler på isoleringstykkelser for forskellige rørdiameter og isoleringsklasser.

Temperaturforskellen er  $30 \text{ °C}$ , omgivelsestemperaturen er  $20 \text{ °C}$  og isoleringsmaterialet er lamelmåtte med en lambdaværdi på  $0,038 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Udvendig rørdiameter [mm]	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5	Klasse 6
35	20	20	30	40	60	80
48	20	20	30	50	70	100
48	20	30	40	50	70	110
89	30	30	40	60	90	130
140	20	40	50	70	100	150

Tabel 8. Eksempler på isoleringstykkelser for forskellige rørdiameter og isoleringsklasser

## Rør til radiatorer

Rør til radiatorer m.m. bør være isoleret uden for det rum, hvor radiatoren, konvektoren eller gulvvarmeanlægget befinder sig.

Hvis rør til radiatorer, konvektorer eller rør frem til gulvvarme kun er isoleret med 20 mm isolering eller mindre, bør rørene efterisoleres.



Figur 1. Isolering af rør til radiatorer

## Energibesparelse

### Anlæg i enfamiliehuse

I enfamiliehuse er de typiske rørstørrelser til radiatorer, konvektorer og gulvvarmeanlæg 22 mm, 28 mm og 35 mm. Hvis disse rør er uisolerede eller isoleret med maksimalt 20 mm isolering, bør de efterisoleres.

## Rør uden for isolering af klimaskærm

Hvis rørene er placeret uden for isoleringen af klimaskærmen fx i skunk eller i krybekælder, kan energibesparelserne findes i tabel 9.

Eksisterende forhold Rørdimension og isolering	Ny samlet isoleringstykkelse	
	Op til 40 mm isolering	Op til 50 mm isolering
	Energibesparelse i kWh/m pr. år	
22 mm rør med 0 mm isolering	212	214
22 mm rør med 10 mm isolering	34	37
22 mm rør med 20 mm isolering	15	17
28 mm rør med 0 mm isolering	261	263
28 mm rør med 10 mm isolering	42	44
28 mm rør med 20 mm isolering	17	20
35 mm rør med 0 mm isolering	320	325
35 mm rør med 10 mm isolering	52	57
35 mm rør med 20 mm isolering	22	27

Tabel 9. Rør uden for isolering af klimaskærm

Der er forudsat en temperatur på det varme vand på 45 °C. Omgivelsernes temperatur er sat til 4 °C. Driftstid 6.000 timer.

## Rør inden for isolering af klimaskærm

Hvis rørene er placeret inden for isoleringen af klimaskærmen fx over isolering af gulv i terrændæk eller i panel på inderside af væg, kan energibesparelserne findes i tabel 10.

Eksisterende forhold Rørdimension og isolering	Ny samlet isoleringstykkelse	
	Op til 40 mm isolering	Op til 50 mm isolering
	Energibesparelse i kWh/m pr. år	
22 mm rør med 0 mm isolering	85	85
22 mm rør med 10 mm isolering	24	25
22 mm rør med 20 mm isolering	10	12
28 mm rør med 0 mm isolering	103	103
28 mm rør med 10 mm isolering	29	29
28 mm rør med 20 mm isolering	12	13
35 mm rør med 0 mm isolering	125	125
35 mm rør med 10 mm isolering	34	34
35 mm rør med 20 mm isolering	15	18

Tabel 10. Rør inden for isolering af klimaskærm

Halvdelen af varmetabet før efterisolering vurderes til at blive udnyttet til opvarmning af ejendommen og betragtes derfor ikke som tab. Den samme varmemængde skal derfor tilføjes efter efterisoleringen, så temperaturen i det pågældende rum ikke falde til under ønsket temperatur og givet fugtproblemer. Der er forudsat en rørtemperatur på 45 °C. Omgivelsernes temperatur er sat til 17 °C.

### Eksempel 1

I et hus er rørene til radiatorerne placeret i skunken dvs. uden for isoleringen. Rørenes dimension er 28 mm og de er uisolerede. I tabel 9 kan besparelsen ved at isolere rørene med 40 mm isolering aflæses til 261 kWh/m.

### Eksempel 2

Hvis rørene til radiatorerne havde været isoleret med 20 mm, kan besparelsen ved at isolere rørene med 40 mm isolering aflæses til 17 kWh/m.

## Store anlæg (etageejendomme, kontorer m.m.)

I etageejendomme, kontorer m.m. er de typiske rørstørrelser til radiatorer, konvektorer og gulvvarmeanlæg 35 mm, 38 mm, 60 mm og 89 mm. Hvis disse rør er uisolerede eller isoleret med maksimalt 30 mm isolering, bør de efterisoleres.

### Centralvarme - kælder

Hvis rørene er placeret i kælderen, kan energibesparelserne findes i tabel 11.

Eksisterende forhold Rørdimension og isolering	Ny samlet isoleringstykkelser	
	Op til 45 mm isolering	Op til 50 mm isolering
	Energibesparelse i kWh/m pr. år	
35 mm rør med 0 mm isolering	217	220
35 mm rør med 20 mm isolering	18	21
35 mm rør med 30 mm isolering	8	11
48 mm rør med 0 mm isolering	290	293
48 mm rør med 20 mm isolering	23	27
48 mm rør med 30 mm isolering	10	14
60 mm rør med 0 mm isolering	355	360
60 mm rør med 20 mm isolering	29	34
60 mm rør med 30 mm isolering	13	17
89 mm rør med 0 mm isolering	509	515
89 mm rør med 20 mm isolering	42	49
89 mm rør med 30 mm isolering	18	25

Tabel 11. Centralvarme - kælder

Halvdelen af varmetabet før efterisolering, vurderes at blive udnyttet til opvarmning af ejendommen og betragtes derfor ikke som tab. Den samme varmemængde skal derfor tilføres efter efterisolering, så temperaturen i det pågældende rum ikke falder til en uønsket temperatur. Der er forudsat en temperatur på det varme vand på 45 °C. Omgivelsestemperaturen er sat til 15 °C. Driftstiden er 6.000 timer pr. år.

### Centralvarme - loft

Hvis rørene er placeret på loftet, kan energibesparelserne findes i tabel 12.

Eksisterende forhold Rørdimension og isolering	Ny samlet isoleringstykkelser	
	Op til 45 mm isolering	Op til 50 mm isolering
	Energibesparelse i kWh/m pr. år	
35 mm rør med 0 mm isolering	307	311
35 mm rør med 20 mm isolering	23	28
35 mm rør med 30 mm isolering	10	14
48 mm rør med 0 mm isolering	409	415
48 mm rør med 20 mm isolering	32	38
48 mm rør med 30 mm isolering	13	19
60 mm rør med 0 mm isolering	501	508
60 mm rør med 20 mm isolering	39	46
60 mm rør med 30 mm isolering	17	23
89 mm rør med 0 mm isolering	715	725
89 mm rør med 20 mm isolering	57	67
89 mm rør med 30 mm isolering	25	34

Tabel 12. Centralvarme - loft

Der er forudsat en temperatur på det varme vand på 45 °C. Omgivelsestemperaturen er sat til 4 °C. Driftstiden er 6.000 timer pr. år.



Ifølge Bygningsreglementet skal installationer udføres, så unødvendigt energiforbrug undgås. De skal isoleres mod varmetab og kondens i overensstemmelse med DS 452, Termisk isolering af tekniske installationer.

### **Anlæg i enfamiliehuse**

Rørføringerne skal muligvis flyttes lidt for at give plads til efterisoleringen.

Samlingerne i den eksisterende rørisolering efterses, og evt. utætte samlinger udbedres. De nye rørskåle skal ligge tæt mod de eksisterende rørskåle. Dvs., at det indvendige mål på de nye rørskåle skal svare til det udvendige mål på de eksisterende rørskåle.

De nye rørskåle placeres uden på de eksisterende rørskåle. Alle nye samlinger forskydes i forhold til samlingerne i de eksisterende rørskåle. Rørskålene stødes tæt sammen. Alle samlinger lukkes, så de er tætte.

Rørskålene skal være forsvarligt fastholdt. Det kan fx gøres med galvaniseret jerltråd eller med kobbertråd, som bindes rundt om rørskålene.

### **Store anlæg (etageejendomme, kontorer m.m.)**

Rørføringerne skal muligvis flyttes lidt for at give plads til efterisoleringen.

Rørføring i etageejendomme er som oftest isoleret med lamelmåtter afsluttet med pap og lærred (kløtzellærred). Rørisoleringen efterses, og evt. manglende eller beskadiget isolering udbedres.

Rørføringerne efterisoleres med lamelmåtter afsluttet med pap og lærred. De nye lamelmåtter skal ligge så tæt som muligt mod den eksisterende isolering, pap og lærred.

Alternativt kan rørføringerne efterisoleres med rørskåle. De nye rørskåle skal ligge tæt mod den eksisterende isolering. Det vil sige, at det indvendige mål på de nye rørskåle skal svare til det udvendige mål på den eksisterende isolering.

De nye rørskåle placeres uden på den eksisterende isolering. Rørskålene stødes tæt sammen. Alle samlinger lukkes, så de er tætte.

Rørskålene skal være forsvarligt fastholdt. Det kan fx gøres med galvaniseret jerltråd eller med kobbertråd, som bindes rundt om rørskålene.

Hvis det ikke er muligt at flytte rørene, må man efterisolere en del af røroverfladen med den ønskede isoleringstykkelse, mens resten må isoleres med en mindre isoleringstykkelse.

## Rør til varmt brugsvand

Hvis rør til varmt brugsvand kun er isoleret med 20 mm isolering, bør rørene efterisoleres.



Figur 2. Isolering af rør til varmt brugsvand

## Energibesparelse

### Anlæg i enfamilieshuse

I enfamilieshuse er de typiske rørstørrelser til armaturer i køkkener og badeværelser 15 mm, 18 mm og 22 mm. Hvis disse rør er uisolerede eller isoleret med maksimalt 20 mm isolering, bør de efterisoleres.

## Rør uden for isolering af klimaskærm

Hvis rørene er placeret uden for isoleringen af klimaskærmen fx i skunk eller i krybekælder, kan energibesparelserne findes i tabel 13.

Eksisterende forhold Rørdimension og isolering	Ny samlet isoleringstykkelse	
	Op til 40 mm isolering	Op til 50 mm isolering
	Energibesparelse i kWh/m pr. år	
15 mm rør med 0 mm isolering	206	210
15 mm rør med 10 mm isolering	27	27
15 mm rør med 20 mm isolering	22	22
18 mm rør med 0 mm isolering	308	313
18 mm rør med 10 mm isolering	49	54
18 mm rør med 20 mm isolering	22	27
22 mm rør med 0 mm isolering	384	389
22 mm rør med 10 mm isolering	63	67
22 mm rør med 20 mm isolering	27	31

Tabel 13. Rør uden for isolering af klimaskærm

Der er forudsat en temperatur på det varme brugsvand på 55 °C. Omgivelsernes temperatur er sat til 4 °C. Driftstid 8.760 timer. I beregningerne er endvidere anvendt et isoleringsmateriale med en  $\lambda$ -værdi på 0,038 W/mK (ved en middeltemperatur  $T_m = 40^\circ\text{C}$ ).

## Rør inden for isolering af klimaskærm

Hvis rørene er placeret inden for isoleringen af klimaskærmen fx over isolering af gulv i terrændæk eller i panel på inderside af væg, kan energibesparelserne findes i tabel 14.

Eksisterende forhold Rørdimension og isolering	Ny samlet isoleringstykkelse	
	Op til 40 mm isolering	Op til 50 mm isolering
	Energibesparelse i kWh/m pr. år	
15 mm rør med 0 mm isolering	90	90
15 mm rør med 10 mm isolering	18	21
15 mm rør med 20 mm isolering	15	18
18 mm rør med 0 mm isolering	127	127
18 mm rør med 10 mm isolering	34	37
18 mm rør med 20 mm isolering	15	18
22 mm rør med 0 mm isolering	155	155
22 mm rør med 10 mm isolering	43	44
22 mm rør med 20 mm isolering	18	21

Tabel 14. Rør inden for isolering af klimaskærm

Der er forudsat en temperatur på det varme brugsvand på 55 °C. Omgivelsernes temperatur er sat til 20 °C. Driftstid 8.760 timer.

I beregningerne er endvidere anvendt et isoleringsmateriale med en  $\lambda$ -værdi på 0,038 W/mK (ved en middeltemperatur  $T_m = 40^\circ\text{C}$ ).

Halvdelen af varmetabet før vurderes til at blive udnyttet til opvarmning af ejendommen og betragtes derfor ikke som tab, og den samme varmemængde skal tilføjes efter.

### Eksempel 3

I et hus er rørene til det varme brugsvand placeret i skunken dvs. uden for klimaskærmens isolering. Rørenes dimension er 28 mm og de er uisolerede. I tabel 13 kan besparelsen ved at isolere rørene med 40 mm isolering aflæses til 308 kWh/m.

### Eksempel 4

Hvis rørene til det varme brugsvand havde været isoleret med 20 mm, kan besparelsen ved at isolere rørene med 40 mm isolering aflæses til 22 kWh/m.

## Store anlæg (etageejendomme, kontorer m.m.)

I etageejendomme, kontorer m.m. er de typiske rørstørrelser til armaturer i køkkener og badeværelser 35 mm, 48 mm, 60 mm og 89 mm. Hvis disse rør er uisolerede eller isoleret med maksimalt 30 mm isolering, bør de efterisoleres.

### Varmt brugsvand – kælder

Hvis rørene er placeret i kælderen, kan energibesparelserne findes i tabel 15.

Eksisterende forhold Rørdimension og isolering	Ny samlet isoleringstykkelser	
	Op til 45 mm isolering	Op til 50 mm isolering
	Energibesparelse i kWh/m pr. år	
35 mm rør med 0 mm isolering	455	461
35 mm rør med 20 mm isolering	35	41
35 mm rør med 30 mm isolering	15	21
48 mm rør med 0 mm isolering	607	615
48 mm rør med 20 mm isolering	46	53
48 mm rør med 30 mm isolering	19	27
60 mm rør med 0 mm isolering	745	754
60 mm rør med 20 mm isolering	56	66
60 mm rør med 30 mm isolering	25	34
89 mm rør med 0 mm isolering	1.065	1.079
89 mm rør med 20 mm isolering	81	95
89 mm rør med 30 mm isolering	35	49

Tabel 15. Varmt brugsvand – kælder

Halvdelen af varmetabet før efterisolering vurderes at blive udnyttet til opvarmning af ejendommen og betragtes derfor ikke som tab. Den samme varmemængde skal derfor tilføres efter efterisolering. Der er forudsat en temperatur på det varme vand på 55 °C. Omgivelsestemperaturen er sat til 15 °C. Driftstiden er 8.760 timer pr. år.

### Varmt brugsvand – loft

Hvis rørene er placeret på loftet, kan energibesparelserne findes i tabel 16.

Eksisterende forhold Rørdimension og isolering	Ny samlet isoleringstykkelser	
	Op til 45 mm isolering	Op til 50 mm isolering
	Energibesparelse i kWh/m pr. år	
35 mm rør med 0 mm isolering	596	604
35 mm rør med 20 mm isolering	44	52
35 mm rør med 30 mm isolering	19	27
48 mm rør med 0 mm isolering	793	803
48 mm rør med 20 mm isolering	58	68
48 mm rør med 30 mm isolering	25	35
60 mm rør med 0 mm isolering	971	982
60 mm rør med 20 mm isolering	72	83
60 mm rør med 30 mm isolering	32	43
89 mm rør med 0 mm isolering	1.382	1.400
89 mm rør med 20 mm isolering	103	121
89 mm rør med 30 mm isolering	44	61

Tabel 16. Varmt brugsvand – loft

Der er forudsat en temperatur på det varme vand på 55 °C. Omgivelsestemperaturen er sat til 4 °C. Driftstiden er 8.760 timer pr. år.

Ifølge Bygningsreglementet skal installationer udføres, så unødvendigt energiforbrug undgås. De skal isoleres mod varmetab og kondens i overensstemmelse med DS 452, Termisk isolering af tekniske installationer.

### **Anlæg i enfamiliehuse**

Rørføringerne skal muligvis flyttes lidt for at give plads til efterisoleringen.

Samlingerne i den eksisterende rørisolering efterses, og evt. utætte samlinger udbedres. De nye rørskåle skal ligge tæt mod de eksisterende rørskåle. Dvs., at det indvendige mål på de nye rørskåle skal svare til det udvendige mål af de eksisterende rørskåle.

De nye rørskåle placeres uden på de eksisterende rørskåle. Alle nye samlinger forskydes i forhold til samlingerne i de eksisterende rørskåle. Rørskålene stødes tæt sammen. Alle samlinger lukkes, så de er tætte. Rørskålene skal være forsvarligt fastholdt. Det kan fx gøres med galvaniseret jerntråd eller med kobbertråd, som bindes rundt om rørskålene.

Hvis det ikke er muligt at flytte rørene, må man efterisolere en del af røroverfladen med den ønskede isoleringstykkel mens resten må isoleres med en mindre isoleringstykkel. Rørskålene må derfor tilskæres efter pladsforholdene.

### **Store anlæg (etageejendomme, kontorer m.m.)**

Rørføringerne skal muligvis flyttes lidt for at give plads til efterisoleringen.

Rørføring i etageejendomme er som oftest isoleret med lamelmåtter afsluttet med pap og lærred (kløtzellærred). Rørisoleringen efterses, og evt. manglende eller beskadiget isolering udbedres.

Rørføringerne efterisoleres med lamelmåtter afsluttet med pap og lærred. De nye lamelmåtter skal ligge så tæt som muligt mod den eksisterende isolering, pap og lærred.

Alternativt kan rørføringerne efterisoleres med rørskåle. De nye rørskåle skal ligge tæt mod den eksisterende isolering. Det vil sige, at det indvendige mål på de nye rørskåle skal svare til det udvendige mål på den eksisterende isolering.

De nye rørskåle placeres uden på den eksisterende isolering. Rørskålene stødes tæt sammen. Alle samlinger lukkes, så de er tætte.

Rørskålene skal være forsvarligt fastholdt. Det kan fx gøres med galvaniseret jerntråd eller med kobbertråd, som bindes rundt om rørskålene.

Hvis det ikke er muligt at flytte rørene, må man efterisolere en del af røroverfladen



## Ventiler og pumper

Omkring bygningens varmeproducerende enhed befinder der sig ofte en række delvist isolerede eller uisolerede ventiler, svavssamlere og pumper.

Uisolerede ventiler, snavssamlere og pumper m.m. bør efterisoleres med isoleringskapper.



Figur 3. Præfabrikeret isoleringskappe på cirkulationspumpe

## Energibesparelse

### Anlæg i enfamilieshuse

I enfamilieshuse er de typiske rørtilslutninger til ventiler og cirkulationspumper 15 mm, 18 mm, 22 mm, 28 mm og 35 mm. Hvis ventilerne og cirkulationspumperne er uisolerede, bør de efterisoleres.

### Ventiler

I tabel 17 ses varmebesparelser i kWh pr. år ved efterisolering af uisolerede ventiler ud fra den ydre rørdiameter og temperaturen på vandet i rørene, der isoleres med 40 mm.

Diameter [mm]	Temperatur [°C]	
	45 (centralvarme)	55 (varmt brugsvand)
15	-	19
18	-	27
22	17	33
28	21	-
35	25	-

Tabel 17. Besparelse ved isolering af uisolerede ventiler i enfamilieshuse

For centralvarme er der forudsat en gennemsnitstemperatur på 45 °C for fremløbs- og returledningen i fyringssæsonen. Omgivelsernes temperatur er sat til 17 °C. Driftstid 6.000 h.

For det varme brugsvand er der forudsat en temperatur på 55 °C. Omgivelsernes temperatur er sat til 17 °C. Driftstid 8.760 h.

I beregningerne er anvendt et isoleringsmateriale med en  $\lambda$ -værdi på 0,038 W/mK (ved en middeltemperatur  $T_m = 40$  °C). Der er forudsat, at overfladearealet af en ventil svarer til 0,2 m rør i samme dimension.

### Cirkulationspumper

I tabel 18 ses varmebesparelser i kWh pr. år ved efterisolering af uisolerede cirkulationspumper ud fra den ydre rørdiameter og temperaturen på vandet i rørene.

Diameter [mm]	Temperatur [°C]	
	45 (centralvarme)	55 (varmt brugsvand)
15	-	96
18	-	135
22	85	164
28	103	-
35	125	-

Tabel 18. Besparelse ved isolering af uisolerede cirkulationspumper i enfamiliehuse

Der er for centralvarme forudsat en gennemsnitstemperatur på 45 °C for fremløbs- og returledningen i fyringssæsonen. Omgivelsernes temperatur er sat til 17 °C. Driftstid 6.000 h. For det varme forbrugsvand er der forudsat en temperatur på det varme brugsvand på 55 °C. Omgivelsernes temperatur er sat til 17 °C. Driftstid 8.760 h.

I beregningerne er anvendt et isoleringsmateriale med en  $\lambda$ -værdi på 0,038 W/mK (ved en middeltemperatur  $T_m = 40$  °C). Der er forudsat, at overfladearealet af en cirkulationspumpe svarer til 1 m rør i samme dimension.

#### Eksempel 5

I et hus er der installeret en ventil på rørene til radiatorsystemet. Rørsystemets dimension er 35 mm. I tabel 18 kan besparelsen ved at isolere ventilen aflæses til 25 kWh.

#### Eksempel 6

I et hus er der installeret en cirkulationspumpe på rørene til det varme brugsvand. Rørsystemets dimension er 22 mm. I tabel 10 kan besparelsen ved at isolere cirkulationspumpen aflæses til 164 kWh.



## Store anlæg (etageejendomme, kontorer m.m.)

I etageejendomme, kontorer m.m. er de typiske rørtilslutninger til ventiler og cirkulationspumper 35 mm, 48 mm, 60 mm og 89 mm. Hvis ventilerne og cirkulationspumperne er uisolerede, bør de efterisoleres.

### Ventiler

I tabel 19 ses varmebesparelser i kWh pr. år ved efterisolering af uisolerede ventiler ud fra den ydre rørdiameter og temperaturen på vandet i rørene, der isoleres med 40 mm.

Diameter [mm]	Temperatur [°C]	
	45 (centralvarme)	55 (varmt brugsvand)
35	25	59
48	33	85
60	40	109
89	58	166

Tabel 19. Besparelse ved isolering af uisolerede ventiler i store anlæg

For centralvarme er der forudsat en gennemsnitstemperatur på 45 °C for fremløbs- og returledningen i fyringssæsonen. Omgivelsernes temperatur er sat til 15 °C. Driftstid 6.000 h.

For det varme brugsvand er der forudsat en temperatur på 55 °C. Omgivelsernes temperatur er sat til 15 °C. Driftstid 8.760 h.

I beregningerne er anvendt et isoleringsmateriale med en  $\lambda$ -værdi på 0,038 W/mK (ved en middeltemperatur  $T_m = 40$  °C). Der er forudsat, at overfladearealet af en ventil svarer til 0,2 m rør i samme dimension.

### Cirkulationspumper

I tabel 20 ses varmebesparelser i kWh pr. år ved efterisolering af uisolerede cirkulationspumper ud fra den ydre rørdiameter og temperaturen på vandet i rørene.

Diameter [mm]	Temperatur [°C]	
	45 (centralvarme)	55 (varmt brugsvand)
35	125	291
48	165	416
60	202	531
89	291	809

Tabel 20. Besparelse ved isolering af uisolerede cirkulationspumper i store anlæg

Der er for centralvarme forudsat en gennemsnitstemperatur på 45 °C for fremløbs- og returledningen i fyringssæsonen. Omgivelsernes temperatur er sat til 15 °C. Driftstid 6.000 h. For det varme forbrugsvand er der forudsat en temperatur på det varme brugsvand på 55 °C. Omgivelsernes temperatur er sat til 15 °C. Driftstid 8.760 h.

I beregningerne er anvendt et isoleringsmateriale med en  $\lambda$ -værdi på 0,038 W/mK (ved en middeltemperatur  $T_m = 40$  °C). Der er forudsat, at overfladearealet af en cirkulationspumpe svarer til 1 m rør i samme dimension.

## Udførelse

## Dimensionering

Ifølge Bygningsreglementet skal installationer udføres, så unødvendigt energiforbrug undgås. De skal isoleres mod varmetab og kondens i overensstemmelse med DS 452, Termisk isolering af tekniske installationer.

## Montage

### **Anlæg i enfamiliehuse og store anlæg (etageejendomme, kontorer m.m.)**

Til isolering af ventiler (typisk afspærrings- og strengreguleringsventiler) og pumpehuse findes præfabrikerede isoleringskapper. Alternativt kan isoleringen udføres med lamelmåtter og pladekapper.

Med hensyn til cirkulationspumper er det vigtigt ikke at isolere kontrolboksen og undlade at tildække betjeningspanelet. Se fabrikantens anvisninger.

## Varmtvandsbeholder

Der kan opnås en energibesparelse ved at udskifte en ældre varmtvandsbeholder til en ny eller efterisolere en beholder med for lidt isolering.

Hvis varmtvandsbeholderen i et enfamilieshus er isoleret med mindre end 20 mm isolering, bør den udskiftes med en beholder, der højst har et varmetab svarende til nedenstående minimumsanbefaling eller til et mere fremtidssikret lavenergyniveau.

Hvis varmtvandsbeholderen er vandretliggende, bør den under alle omstændigheder udskiftes pga. en dårlig energiøkonomi som bl.a. skyldes en minimal temperaturlagdeling i beholderen.



Figur 4. Isolering af varmtvandsbeholder

## Energibesparelse

### Anlæg i enfamilieshuse

I enfamilieshuse er de typiske beholderstørrelser 60 liter, 110 liter, 160 liter og 200 liter. Hvis disse beholdere er uisolerede eller isoleret med maksimalt 20 mm isolering, bør de efterisoleres.

I tabel 21 ses minimumsanbefalinger til varmetab fra beholdere samt varmetab fra lavenergibeholdere.

Beholderstørrelse	Minimum	Lavenergi
	Varmetab [W/K]	
60 liter	1,6	1,3
110 liter	2,0	1,7
160 liter	2,3	2,0
200 liter	2,6	2,3

Tabel 21. Anbefalede varmetab for ny varmtvandsbeholder

Varmetabene er baseret på en beholdertemperatur på 55 °C og en omgivelsestemperatur på 20 °C. Tabene fra varmtvandsbeholderne er inkl. tilslutninger.

I tabel 22 findes energibesparelserne ved udskiftning af beholdere.

Eksisterende varmtvandsbeholder	Ny varmtvandsbeholder							
	Energibesparelse i kWh pr. år							
	60 l		110 l		160 l		200 l	
	Minimum	Lavenergi	Minimum	Lavenergi	Minimum	Lavenergi	Minimum	Lavenergi
60 l med 20 mm isolering	84	127	-	-	-	-	-	-
60 l med 30 mm isolering	19	62	-	-	-	-	-	-
110 l med 20 mm isolering	191	235	136	180	-	-	-	-
110 l med 30 mm isolering	93	137	38	82	-	-	-	-
160 l med 20 mm isolering	298	342	243	287	189	232	-	-
160 l med 30 mm isolering	167	211	113	157	57	102	-	-
200 l med 20 mm isolering	384	428	329	373	274	318	231	274
200 l med 30 mm isolering	227	271	172	216	218	161	74	118

Tabel 22. Energibesparelse ved installation af ny varmtvandsbeholder

### Eksempel 7

I et hus er der installeret et 110 liter varmtvandsbeholder med 20 mm isolering. I tabel 22 kan besparelsen ved at udskifte beholderen til minimumsanbefalingen aflæses til 191 kWh.

### Eksempel 8

Hvis beholderen i stedet for udskiftes til en lavenergi beholder kan besparelsen aflæses til 235 kWh.

### Store anlæg (etageejendomme, kontorer m.m.)

I enfamiliehusene er de typiske beholderstørrelser 500 liter, 1.000 liter og 2.000 liter. Hvis disse beholdere er uisolerede eller isoleret med maksimalt 50 mm isolering, bør de efterisoleres.

I tabel 23 ses minimumsanbefalinger til varmetab fra beholdere samt varmetab fra lavenergi beholdere.

Beholderstørrelse	Minimum	Lavenergi
	Varmetab [W/K]	
500 liter	2,6	1,8
1.000 liter	3,3	2,4
2.000 liter	4,2	3,0

Tabel 23. Anbefalede varmetab for ny varmtvandsbeholder

Varmetabene er baseret på en beholdertemperatur på 55 °C og en omgivelsestemperatur på 15 °C. Tabene fra varmtvandsbeholderne er ekskl. tilslutninger.

I tabel 24 findes energibesparelserne ved udskiftning af beholdere.

Eksisterende varmtvandsbeholder	Ny varmtvandsbeholder					
	Energibesparelse i kWh pr. år					
	500 l		1.000 l		2.000 liter	
	Minimum	Lavenergi	Minimum	Lavenergi	Minimum	Lavenergi
500 l med 50 mm isolering	491	771	-	-	-	-
500 l med 75 mm isolering	245	526	-	-	-	-
1.000 l med 50 mm isolering	1.226	1.507	981	1.296	-	-
1.000 l med 75 mm isolering	806	1.086	561	876	-	-
2.000 l med 50 mm isolering	2.313	2.593	2.067	2.383	1.752	2.172
2.000 l med 75 mm isolering	1.647	1.927	1.402	1.717	1.086	1.507

Tabel 24. Energibesparelse ved installation af ny varmtvandsbeholder

## Udførelse

### Dimensionering

Ifølge Bygningsreglementet skal installationer udføres, så unødvendigt energiforbrug undgås. De skal isoleres mod varmetab og kondens i overensstemmelse med DS 452, Termisk isolering af tekniske installationer.

## Montage

### Anlæg i enfamilieshuse

I enfamilieshuse vil man typisk ikke efterisolere men udskifte varmtvandsbeholderen.

### Store anlæg (etageejendomme, kontorer m.m.)

Beholdere i etageejendomme er som oftest isoleret med lamelmåtter afsluttet med pap og lærred (kløtzellærred). Beholderisoleringen efterses, og evt. manglende eller beskadiget isolering udbedres.

Beholderen efterisoleres med lamelmåtter afsluttet med pap og lærred. De nye lamelmåtter skal ligge så tæt som muligt mod den eksisterende isolering, pap og lærred.

## Plane flader

I mange installationer vil man ofte kunne konstatere at plane flader i f.eks. produktionsapparater, firkantede eller runde beholdere, låger, vekslere, kedelflader eller ventilationskanaler er uisolerede, hvilket medfører et overforbrug af energi.



Figur 5. Ventilationskanaler

## Energibesparelse

I tabel 25 ses varmetab fra en plan flade som funktion af isoleringstykkelse og indvendig temperatur.

Indvendig temperatur [°C]	Tab i W/m <sup>2</sup>								
	Isoleringstykkelse [mm]								
	0	20	40	60	80	100	120	200	300
20	39	8	4	3	2	2	-	-	-
30	179	26	15	10	8	7	6	3	2
40	292	41	23	16	12	10	9	5	4
50	419	57	32	22	17	14	12	7	5
60	556	74	41	29	22	18	15	9	6
70	705	92	51	36	27	22	19	11	8
80	866	111	62	43	33	27	22	14	9
90	1.037	131	73	50	39	31	26	16	11
100	1.220	152	84	58	45	36	31	19	13
120	1621	198	110	76	58	47	40	24	16
140	2071	250	138	95	73	59	49	30	20
160	2572	307	169	116	89	72	60	37	25
180	3127	371	203	140	107	86	72	44	30
200	3741	440	240	166	126	102	86	52	35
220	4418	517	282	194	148	119	100	61	41
240	5161	601	327	224	171	138	116	70	47

Tabel 25. Varmetab fra plane flader

Omgivelsernes temperatur er sat til 15 °C.

I tabel 26 ses varmetab fra en plan flade (ventilationskanal) som funktion af isoleringstykkelse og indvendig temperatur.

Indvendig temperatur [°C]	Tab i W/m <sup>2</sup>					
	Isoleringstykkelse [mm]					
	0	20	40	60	80	100
20	139	25	14	10	7	6
22	160	28	16	11	8	7
24	181	21	18	12	9	8

Tabel 26. Varmetab fra plane flader - ventilationskanaler

Omgivelsernes temperatur er sat til 4 °C.

### Eksempel 9

I et hus er indblæsningskanalen til ventilationsanlægget placeret på loftet dvs. uden for isoleringen. Kanalens dimension er 200 mm og den er uisolert. Kanalens længde er 20 m og temperaturen i kanalen er 22 °C. Overfladearealet af kanalen kan beregnes til ca. 13 m<sup>2</sup>

$(2 \cdot \pi \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 20 \text{ m})$ .

I tabel 26 kan varmetabet aflæses til 160 W/m<sup>2</sup>

Hvis kanalen isoleres med 40 mm isolering vil varmetabet blive reduceret til 16 W/m<sup>2</sup>.

Besparselsen ved at efterisolere kanalen kan beregnes til:

$$\text{Besparselse} = (160 \text{ W/m}^2 - 16 \text{ W/m}^2) \cdot 13 \text{ m}^2 \cdot 6.000 \text{ h/år} = 11.230 \text{ kWh/år}$$

### Eksempel 10

Hvis rørene til indblæsningskanalen til ventilationsanlægget blev isoleres med 80 mm isolering ville besparelsen udgøre:

$$\text{Besparselse} = (160 \text{ W/m}^2 - 8 \text{ W/m}^2) \cdot 13 \text{ m}^2 \cdot 6.000 \text{ h/år} = 11.900 \text{ kWh/år}$$



## Udførelse

## Dimensionering

Ifølge Bygningsreglementet skal installationer udføres, så unødvendigt energiforbrug undgås. De skal isoleres mod varmetab og kondens i overensstemmelse med DS 452, Termisk isolering af tekniske installationer.

## Montage

Overflader med høje temperaturer (kedler, ovne m.m.)

Når det drejer sig om isolering af kedler, er baggrunden for valg af isoleringsmateriale og type i princippet relativt enkelt. Producenter og leverandører af isoleringsmaterialer har anbefalinger til isoleringstyper for kedler med driftstemperaturer på under 250 °C, eksempelvis lamelmåtter. For driftstemperaturer over 250 °C, eksempelvis trådvævsåtter.

Er der tale om plane flader med temperaturer under 250 °C anbefales industribatts, og ved temperaturer over 250 °C anbefales brandbatts/trådvævsåtter.

### Ventilationskanaler

Isolering af ventilationskanaler sker ofte med baggrund i erfaring med anvendelse af bestemte typer isoleringsmaterialer.

For firkantede eller rektangulære kanaler anbefales eksempelvis lamelmåtter med papir eller aluoverflade eller industribatts.

For cirkulære kanaler anbefales lamelmåtter med papir eller aluoverflade.

# ENERGIHÅNDBOGEN

## 2019



## KØLE- OG FRYSEANLÆG



*Energihåndbogen er udgivet med støtte fra Grundejernes Investeringsfond*



# KØLE- OG FRYSEANLÆG

## Indhold

<b>Køle- og fryseanlæg</b>	<b>183</b>
Kompressoren	183
Fordampnings- og kondenseringstemperatur	184
<b>Køling af ventilationsluft</b>	<b>186</b>
Valg af køleanlæg	186
Energibesparelse	187
Udførelse	190
Dimensionering af køleanlæg til ventilationsluft	190
Montage	191
Funktionsafprøvning	191
Eftersyn	192
<b>Serverkøling</b>	<b>193</b>
Valg af køleanlæg	193
Energibesparelse	194
Udførelse	194
Dimensionering af serverkøleanlæg	194
Frikøling	195
Indretning af serverrum	197
Montage	199
Funktionsafprøvning	199
Eftersyn	199
<b>Butikskøling</b>	<b>200</b>
Valg af køleanlæg	200

Placering af varer i køle- og frostrum samt køle- og frostmøbler	202
Afdækning af køle- og frostmøbler	202
Udførelse	204
Dimensionering af butikskøleanlæg	204
Montage	204
Funktionsafprøvning	205
Eftersyn	205

## Køle- og fryseanlæg

Gamle og udtjente køleanlæg er ofte dyre i drift.

Der er typisk både høje energiudgifter og store omkostninger forbundet med at vedligeholde og driftssikre et udtjent anlæg.

Desuden kan det være både vanskeligt og besværligt at skaffe reservedele til ældre anlæg.

Der kan med andre ord være mange gode grunde til at investere i et nyt køleanlæg.

Køle- og fryseanlæg benyttes til mange formål. De mest udbredte formål er:

- Køling af ventilationsluft
- Serverkøling
- Butikskøling

## Kompressoren

Kompressoren i køleanlægget omtales ofte som dettes "hjerter" med rette, fordi dens pumpefunktion er altafgørende for systemet. En enkelt fejl her kan være fatal for hele køleanlægget. Endvidere tegner kompressoren sig for langt den største tilførte energi til køleanlægget.

Mange forhold har direkte indflydelse på kompressorens drift og energiforbrug, men to af de væsentligste er fordampnings- og kondenseringstemperaturen. Dette beskrives nærmere i det følgende afsnit "Fordampnings- og kondenseringstemperatur.



Figur 1. Kompressorer



## Fordampnings- og kondenseringstemperatur

Fordampnings- og kondenseringstemperaturen har overordentlig stor betydning for elforbruget til et køleanlæg.



Figur 2. Fordamper (luftkøler)



Figur 3. Kondensatorer (luftkølede)

Som tommelfingerregel gælder der følgende for et køleanlæg:

Fordamper	
Luftkøler (f.eks. i køle- eller frostrum)	Fordampningstemperaturen $T_o$ bør ikke være mere end 8 – 10°C under luftens tilgangstemperatur.
Væskekøler (f.eks. til vandkøling af maskiner)	Fordampningstemperaturen $T_o$ bør ikke være mere end 5 – 7°C under væskens tilgangstemperatur.
Kondensator	
Luftkølet	Kondenseringstemperaturen $T_k$ bør ikke være mere end 10 – 15°C over luftens tilgangstemperatur. I praksis vil $T_k$ ikke kunne komme under ca. 25°C af hensyn til anlæggets drift.
Vandkølet	Kondenseringstemperaturen $T_k$ bør ikke være mere end 5 – 7°C over væskens tilgangstemperatur.

Tabel 1. Tommelfingerregler for køleanlæg

Der gælder endvidere følgende tommelfingerregler:

- Besparelsen ved at hæve fordampningstemperaturen er ca. 2 – 3 % pr. grad
- Besparelsen ved at sænke kondenseringstemperaturen er ca. 3 – 4 % pr. grad

Årsagerne til for lav fordampningstemperatur eller for høj kondenseringstemperatur kan være mange. Nedenfor er oplyst en række mulige årsager til dette.

Mulige årsager til for lav fordampningstemperatur:

- Forkert indstilling af temperaturen
- Fordamperen i kølerummet er fyldt med støv og snavs
- Fordamperen i frostrummet er iset til
- Defekte ventilatorer
- Olie i fordamperen
- Svigtende vandtilførsel til vandkøleren

Mulige årsager til for høj kondenseringstemperatur:

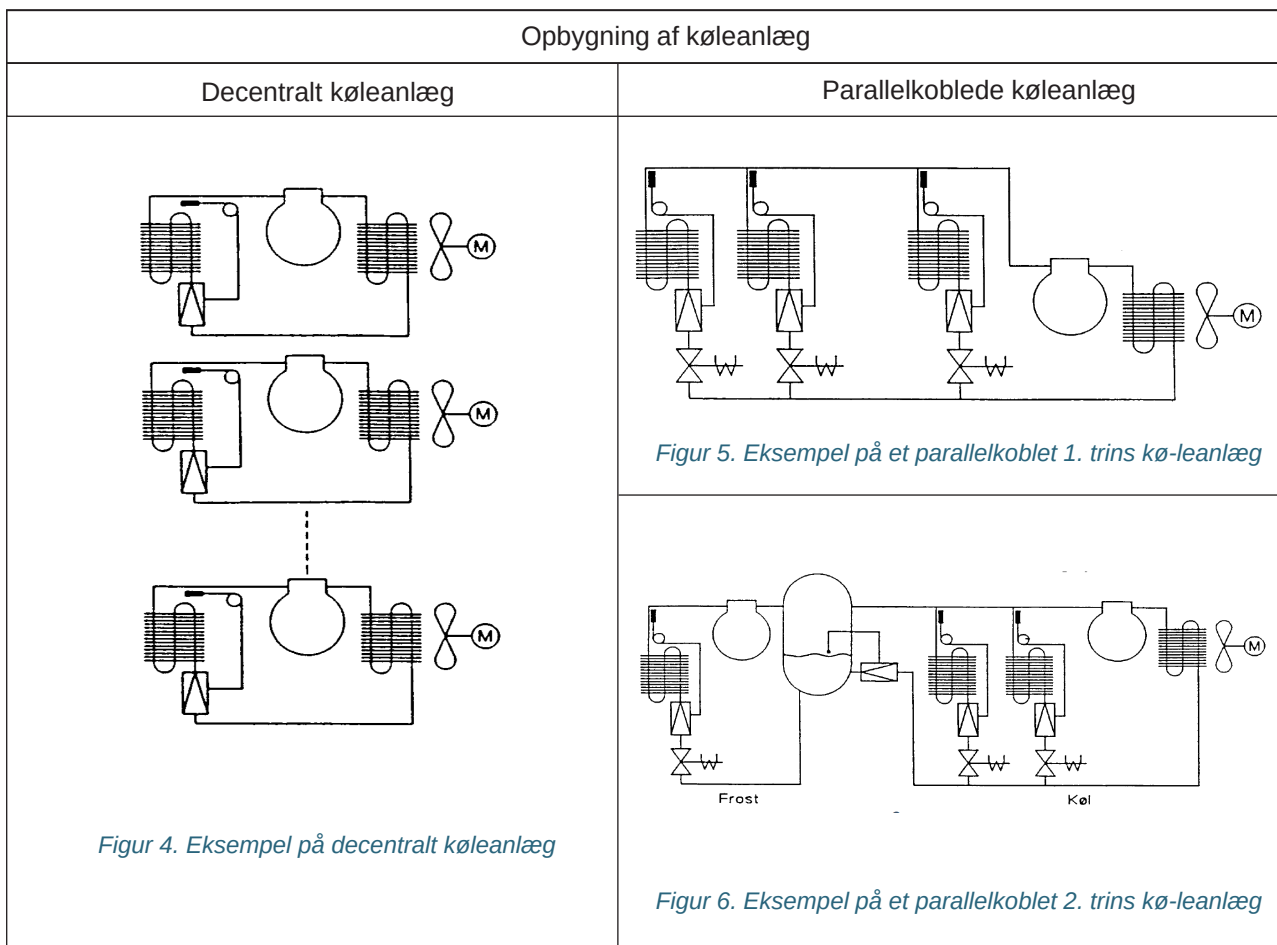
- Forkert indstilling af temperaturen
- Snavs og belægnings på kondensatorens varmeoverførende flader
- Blokeret luftindtag på kondensatoren
- Defekte ventilatorer
- Svigtende vandtilførsel til kondensatoren
- Placering af kondensatoren i varme omgivelser
- For lille kondensatorareal

Der findes en lang række andre årsager end de ovenfor nævnte, men det er dem som umiddelbart vil kunne opdages.

Det skal bemærkes, at ændringer af fordampnings- og kondenseringstemperaturen altid skal foretages af en autoriseret kølemontør. Endvidere skal et autoriseret kølefirma foretage en grundig analyse af anlægget for at klarlægge om der overhovedet er muligheder for at ændre anlæggets driftsforhold.

Ofte skyldes for høje kondenseringstemperaturer anvendelsen af decentrale køleanlæg med kondensatorerne placeret i samme rum som kompressorerne. Kondenseringstemperaturen bliver da ofte højere end nødvendigt. Ved at parallelkoble anlæggene samt placere en fælles kondensator udendørs, kan kondenseringstemperaturen ofte sænkes betydeligt. En beregning af besparelsespotentialer ved etablering af et parallelkoblet anlæg er kompliceret.

I tilfælde af at det observeres at der er placeret decentrale anlæg i kompressorcentralen bør, virksomheden gøres opmærksom på at der kan opnås væsentlige besparelser ved at parallelkoble disse.





## Køling af ventilationsluft

Energiforbruget til opvarmning af ventilationsluft og drift af ventilatorer udgør størstedelen af elforbruget for et ventilationsanlæg over året, men energiforbruget til køling af ventilationsluft udgør en stor del af driftsudgifterne for sommerhalvåret og det er derfor vigtigt, at det ikke er højere end nødvendigt.

Kølingen af ventilationsluften sker ved hjælp en køleflade som er indbygget i ventilationsaggregatet.

Der findes grundlæggende to typer køleflader:

- Køleflader tilføres koldt vand eller brine fra eksempelvis en chiller (væskekøleanlæg)
- Køleflader med direkte ekspansion (DX-anlæg) hvor kølemiddel cirkulerer imellem køle- og varmefladen (luft-luft)



Figur 7. Ventilationsanlæg med køleflade der tilføres koldt vand

## Valg af køleanlæg

Køleanlæggets SEER-værdi skal ifølge EU's ecodesign forordning nr. 2016/2281 som minimum leve op til nedenstående krav:

Køleanlæg	SEER-værdi
Luft-vand-chiller med oplyst køleydelse < 400 kW drevet af en elmotor	3,8
Luft-vand-chiller med oplyst køleydelse ≥ 400 kW drevet af en elmotor	4,8
Vand/væske-vand-chiller med oplyst køleydelse < 400 kW drevet af en elmotor	5,0
Vand/væske-vand-chiller, 400 kW ≥ oplyst køleydelse < 1 500 kW drevet af en elmotor	5,8
Vand/væske-vand-chiller med oplyst køleydelse ≥ 1 500 kW drevet af en elmotor	6,2
Luft-luft-klimaanlæg (DX-anlæg) drevet af en elmotor	4,6

Her følger de vigtigste punkter, der sikrer lavest muligt energiforbrug:

1. Kondenseringstemperaturen (og dermed kondenseringstrykket) for køleanlægget skal være lavest mulig. Da besparelsen ligger mellem 3 og 4 % for hver °C kondenseringstemperaturen sænkes, kan der være meget at hente ved at optimere her. I praksis opnås det ved såkaldt flydende kondensatortrykstyring. Dette betyder at kondenseringstemperaturen falder, når udetemperaturen falder. Det vil sige, at den kommer under den dimensionerende værdi, hvilket i Danmark normalt er 27 °C, da det kun er meget få timer om året temperaturen er højere. Der skal dog tages højde for at luft til køleanlægget og til ventilationsluftindtaget kan passere varme tagflader, således at luften i praksis kan være varmere, ofte i størrelsesordenen 3 °C
2. For køleanlæg anvendes ofte en såkaldt vinterstyring. Denne skal sørge for at holde kondenseringstemperaturen over en vis minimumsværdi, for at undgå driftsproblemer, når det er koldt. Det er meget vigtigt, at stille vinterstyringen så lavt som muligt og dette bliver ofte forsømt. Den optimale værdi er afhængig af det enkelte anlæg, og vil typisk ligge mellem 15 °C og 25 °C for vinterstyringen
3. Fremløbstemperaturen for køleanlægget skal være så høj som muligt. For hver °C at fremløbstemperaturen hæves, vil energiforbruget falde med 1 til 3 %. Ældre anlæg er ofte dimensioneret til en fremløbstemperatur på 7 °C. På disse anlæg kan der ofte opnås en besparelse hvis fremløbstemperaturen fra køleanlægget hæves når udetemperaturen falder. Nye anlæg bør også udføres med udekompensering, men kølefladen i ventilationsaggregatet kan med fordel udlægges med en højere fremløbstemperatur, hvorved der opnås en besparelse i hele driftsperioden. Se også tabel 3
4. Driftsperioden bør tilpasses brugen af de ventilerede arealer. Ved at stoppe køleaggregatet og tilhørende pumper om natten og i weekenden spares tomgangstab, som kan være en betragtelig del af energiforbruget når kølebehovet er lavt. Det er også vigtigt at pumper og andre sekundære energiforbrugere stoppes udenfor kølesæsonen
5. Hvis der ikke er en overordnet styring af ventilationskølebehov og varmestyring, skal der udvises særlig opmærksomhed for at undgå at varme og køle samtidigt i de betjente lokaler. Da dette ofte ikke er praktisk muligt at sikre manuelt, anbefales det at påbygge en overordnet styring, som til eksempel kan bestå af elektriske aktuatorer på radiatorerne styret af en rumtermostat, der først bliver frigivet af ventilationsautomatikken udenfor kølesæsonen
6. På større anlæg er det almindeligt at anvende en buffertank i forbindelse med kølekredsløbet fra køleanlægget for at undgå hyppige start/stop af kølekompressoren. Ved anvendelse af en primær og en sekundærkreds på buffertanken, skal man være ekstra opmærksom på at det kolde vand ikke blandes op med returvandet fra kølefladerne. Det er ikke ualmindeligt at buffertanken ikke fungerer som tilsigtet og det kan undersøges ved at måle fremløbstemperaturen til kølefladerne. Denne skal være mindre end 2 - 3 °C varmere end fremløbet til tanken fra kølemaskinen, ellers skal det overvejes at ombygge buffertanken og / eller tilslutningerne til denne. På nye anlæg er det derfor almindeligt at buffertanken kun er monteret på returen

## Eksempel 1

Belastning og driftstimer for et køleanlæg er i tabel 2 eksemplificeret for et ventilationsanlæg med en luftmængde på 5.000 m<sup>3</sup>/h og en temperatur efter kølefladen på 15 °C. Som det kan ses varierer belastningen meget med udetemperaturen, det er derfor vigtigt hvordan køleanlægget kører ved delast. Antallet af driftstimer er det samlede antal for udetemperaturer over 15 °C. Antallet af driftstimer vil derfor blive mindre, hvis driftstiden indskrænkes. Eksempelvis vil 12 timer i hverdage give ca. det halve antal timer og andelen af timer i intervallet 20 – 15 °C vil være mindre. Kølebehovet er kølefladens kølebehov og er kun indirekte udtryk for energiforbruget.

Udetemperatur [°C]	Driftstimer [h/år]	Driftstid [%]	Kølebehov [kW]	Ydelse [%]	Kølebehov [kWh]
27 - 23	145	8	36	100	4.278
23 - 20	268	16	23	64	4.288
20 - 15	1.294	76	9	25	5.823
<b>Sum</b>	<b>1.707</b>	<b>100</b>			

Tabel 2. Belastning og driftstimer for et køleanlæg

I tabel 3 er elforbruget beregnet i kWh ved fire forskellige driftstilstande (1-4).

Udetemperatur [°C]	Driftstilstand 1		Driftstilstand 2		Driftstilstand 3		Driftstilstand 4	
	COP	kWh el	COP	kWh el	COP	kWh el	COP	kWh el
27 - 23	3,2	1.337	3,2	1.337	3,4	1.153	3,2	1.337
23 - 20	3,8	1.128	3,9	1.099	4,0	979	3,2	1.340
20 - 15	4,4	1.323	4,7	1.239	4,7	1.156	3,2	1.820
<b>Samlet forbrug</b>		<b>3.788</b>		<b>3.675</b>		<b>3.288</b>		<b>4.497</b>
<b>Forbrug i %</b>		<b>100</b>		<b>97</b>		<b>87</b>		<b>119</b>

Tabel 3. Elforbruget ved fire forskellige driftstilstande

Tallene for COP stammer fra leverandørdata for det luftkølede vandkøleaggregat.

De forskellige driftstilstande dækker over følgende:

Driftstilstand 1: Fremløbstemperaturen holdes konstant på 7 °C og kondenseringstemperaturen følger udetemperaturen (flydende kondensatortrykstyring).

Driftstilstand 2: Fremløbstemperaturen varierer med udetemperaturen, så den hele tiden er højest mulig. Kondenseringstemperaturen følger udetemperaturen (flydende kondensatortrykstyring)

Driftstilstand 3: Adskiller sig fra de øvrige ved at fremløbstemperaturen er udlagt til 10 °C ved maksimal belastning. Dette kræver en køleflade med ca. 60 % større areal. Ved en højere temperatur på kølefladen vil der også kondenseres mindre vand ud af luften, hvilket giver et lavere forbrug på kølefladen. Tallene for energiforbruget er derfor korrigeret herfor, samtidigt hermed ses det at COP er højere, hvilket skyldes den højere fremløbstemperatur. Fremløbstemperaturen varierer med udetemperaturen, så den hele tiden er højest mulig. Kondenseringstemperaturen følger udetemperaturen (flydende kondensatortrykstyring).

Driftstilstand 4: Denne svarer til driftstilstand 1 med en for højt stillet vinterstyring (kondensatortrykstyring). Det ses tydeligt hvordan dette slår igennem på COP værdierne og dermed for energiforbruget.

Det ses således at der kan spares 3 % ved optimal styring af fremløbstemperatur (2 i forhold til 1), men at den største besparelse på 13 % kan opnås ved at investere i en større køleflade (3 i forhold til 1). Helt galt går det hvis kondenseringstemperaturen (og dermed kondenseringstrykket) ikke holdes lavest muligt. Energiforbruget stiger med næsten 20 % (4 i forhold til 1).

## Køling af ventilationsluft – forenklet beregning

I tabel 2 og 3 er energiforbruget til køling af ventilationsluft opgjort for henholdsvis tidsrummene kl. 8.00 til 16.00 og kl. 0.00 til 24.00 (samtlige årets timer). Bemærk, at det årlige energiforbrug er opgivet i Wh/m<sup>3</sup> pr. time. Der er samtidig tale om den energi, der skal tilføres selve luften.

For at bestemme det elforbrug, der skal tilføres kølemaskinen, skal man dividere med kølemaskinens gennemsnitlige effektfaktor (mellem 3 og 5).

Indblæsningstemperatur [°C]	Overfladetemperatur [°C]							
	8	10	12	14	16	18	20	22
8	877							
10	664	615						
12	472	439	395					
14	309	288	260	277				
16	186	175	157	137	123			
18	105	99	889	78	70	67		
20	54	51	47	41	36	35	34	
22	25	24	22	19	17	16	16	16

Tabel 4. Energiforbruget til køling af ventilationsluft i tidsrummet fra kl. 8.00 til 16.00

Indblæsningstemperatur [°C]	Overfladetemperatur [°C]							
	8	10	12	14	16	18	20	22
8	2.023							
10	1.425	1.324						
12	920	863	776					
14	543	510	461	399				
16	294	277	250	218	192			
18	150	141	128	112	99	94		
20	72	68	63	55	48	46	45	
22	32	30	28	24	21	20	20	20

Tabel 5. Energiforbruget til køling af ventilationsluft i tidsrummet fra kl. 0.00 til 24.00 (samtlige årets timer)

## Eksempel 2

En kontorbygning ventileres med 20.000 m<sup>3</sup> luft pr. time. Indblæsningstemperaturen er 18 °C. Kølefladen i anlægget tilføres vand med en temperatur på 10 °C.

Anlægget er i drift i tidsrummet fra kl. 8.00 til kl. 16.00 i 5 dage om ugen.

I tabel 4 kan det årlige energiforbrug aflæses til 99 Wh pr. m<sup>3</sup> luft pr. time pr. dag pr. uge.

Det årlige energiforbrug til nedkøling af luften i den pågældende periode vil være:

$$99 \text{ Wh}/(\text{m}^3/\text{h})/\text{ugedag} \cdot 20.000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 5 \text{ ugedage} = 9.900 \text{ kWh.}$$

Ved en årseffektfaktor på eksempelvis 4 vil kølemaskinen anvende en energimængde på 2.500 kWh årligt.

Hvis indblæsningstemperaturen ændres til 20 °C kan det årlige energiforbrug aflæses til 51 Wh pr. m<sup>3</sup> luft pr. time pr. dag pr. uge i tabel 4.

Det årlige energiforbrug til nedkøling af luften i den pågældende periode vil være:

$$51 \text{ Wh}/(\text{m}^3/\text{h})/\text{ugedag} \cdot 20.000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 5 \text{ ugedage} = 5.100 \text{ kWh.}$$

Ved en årseffektfaktor på eksempelvis 4 vil kølemaskinen anvende en energimængde på ca. 1.300 kWh årligt.

Dette svarer til en reduktion på 48 %.

Ovenstående beregninger er forenkede og der tages ikke hensyn til mulighederne for at variere fordampnings- og kondenseringstemperaturen som funktion af udetemperaturen.

## Udførelse

### Dimensionering af køleanlæg til ventilationsluft

Køleanlæg til ventilationsluft dimensioneres i henhold til retningslinjerne i DS 469 "Varme og køleanlæg i bygninger". I standarden står blandet andet:

Ved køling af ventilationsluft skal den dimensionerende rumtemperatur for køling kunne opretholdes i rummene ved den dimensionerende varmebelastning, udetemperatur og luftfugtighed under forudsætning af kontinuerlig drift af kølingen.

- Den dimensionerende udetemperatur for mekanisk køling fastsættes til 26 °C
- Den dimensionerende udeluftfugtighed for mekanisk køling fastsættes til 60 % RF
- Den dimensionerende rumtemperatur for køling i almindelige rum, fx kontorer, arbejdsrum, undervisningsrum, opholdsrum i institutioner, forsamlingsrum samt butikker, udstillingslokaler, biografer, teatre, fastsættes normalt til 26 °C

Det dimensionerende kølebehov bestemmes som summen af de maksimale kølebehov i de enkelte rum under hensyntagen til samtidigheden af varmebelastningen fra personer, udstyr, belysning mv. i bygningen ved de dimensionerende udeforhold.

Rumkølingen samt eventuelle ventilationskøleflader og andre installationer tilsluttet køleanlægget skal dimensioneres for en fremløbstemperatur, som ikke må være lavere end 10 °C, og en returløbstemperatur, som ikke må være lavere end 15 °C ved de dimensionerende forhold.

I DS 469 anvises endvidere hvorledes køleanlægget skal udformes (kapitel 10) samt hvorledes anlæggets skal styres (kapitel 11).

## Montage

### Eksisterende installation

Det eksisterende køleanlæg til ventilationsluft nedtages. Nedtagningen skal foretages af en autoriseret kølemontør, VVS-installatør og el-installatør.

### Ny installation

Det nye køleanlæg til ventilationsluft opsættes og idriftsættes af en autoriseret kølemontør.

Hele køleanlægget skal udføres, så det lever op til gældende regler i forskrifter som er relevante for køleanlæg, herunder Bygningsreglementet (BR18), Arbejdstilsynets bekendtgørelse om trykbærende udstyr, At-vejledning B.4.4 "Køleanlæg og varmepumper og DS 469 "Varme og køleanlæg i bygninger".

Der findes en række standarder på køleområder, som det er lovpligtigt at følge i Danmark, fordi henvisninger til dem er skrevet ind i lovgrundlaget. Det drejer sig om:

DS/EN 378-1 +A2:2012 Kølesystemer og varmepumper – Sikkerheds- og miljøkrav – Del 1: Generelle krav, definitioner, klassifikation og udvælgelseskriterier

DS/EN 378-2 +A2:2012 Kølesystemer og varmepumper – Sikkerheds- og miljøkrav – Del 2: Udformning, konstruktion, prøvning, mærkning og dokumentation

DS/EN 378-3 +A1:2012 Kølesystemer og varmepumper – Sikkerheds- og miljøkrav – Del 3: Installationssted og personbeskyttelse

DS hæfte 41:2014 DS/EN 378 en generel vejledning

Køleanlæggets bruger skal have overleveret en fyldestgørende dokumentation inklusiv installationstegninger. Dokumentationen skal blandt andet indeholde information om valgte hovedkomponenter, dvs. kompressor, fordampere, kondensator og eventuelt buffertank. Endvidere skal den indeholde information om de valgte styrings- og reguleringskomponenter, herunder manometre og termometre. Endelig skal den indeholde beregninger der viser, at anlægget lever op til kravene (Ecode-sign).

## Funktionsafprøvning

I henhold til Bygningsreglementet kap 19 § 391 skal der gennemføres en funktionsafprøvning af varme- og køleanlæg før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at varme- og køleanlæggene overholder bygningsreglementets krav til indregulering og styring.

Indregulering og styring af varme- og køleanlæg omfatter vand- eller luftstrømme i anlægget, automatiske reguleringsystemer, tidsstyring, temperaturstyring og lignende behovsstyringer.

Både ventilationsanlæg og køleanlæg skal serviceres for at sikre, at den projekterede ydelse og effektivitet opretholdes.

Hvis anlægget indeholder mere end 1 kg kølemiddel, skal det efterses mindst én gang årligt af en montør, som har den fornødne uddannelse. Er der mere end 2,5 kg kølemiddel i varmepumpen, skal det årlige eftersyn udføres af en certificeret montør fra et kølefirma (jf. AT-bekendtgørelse nr. 100 om anvendelse af trykbærende udstyr).

Køleanlæg med kølemiddelfyldninger over 1 kg skal serviceres 1 gang om året med hensyn til sikkerheds-automatik. Det er normalt at tegne en servicekontrakt og denne bør også omfatte et energicheck, der som minimum også skal omfatte rengøring af kondensator og andre luftbestrøgne varmevekslere. For nærmere beskrivelse af krav, se: At-vejledning B.4.4 på [www.at.dk](http://www.at.dk) under fanen "Regler" At-vejledninger mv. "B – Tekniske hjælpemidler" og se efter "Køleanlæg og varmepumper" under "Dampkedler, trykbeholdere mv."



## Serverkøling

Køling af serverrum udgør normalt ca. 30 % af serverrummets samlede elforbrug.

Serverrum er kendetegnet ved en høj køletemperatur og et næsten konstant kølebehov henover året og døgnet, uanset udetemperaturen. Det giver optimale betingelser for frikøling og derved store besparelser på elforbruget til køling af serverrum.



Figur 8. Frikøling

## Valg af køleanlæg

Køleanlæggets SEER-værdi skal ifølge EU's ecodesign forordning nr. 2016/2281 som minimum leve op til nedenstående krav:

Køleanlæg	SEER-værdi
Luft-vand-chiller med oplyst køleydelse < 400 kW drevet af en elmotor	3,8
Luft-vand-chiller med oplyst køleydelse $\geq$ 400 kW drevet af en elmotor	4,8
Vand/væske-vand-chiller med oplyst køleydelse < 400 kW drevet af en elmotor	5,0
Vand/væske-vand-chiller, 400 kW $\geq$ oplyst køleydelse < 1 500 kW drevet af en elmotor	5,8
Vand/væske-vand-chiller med oplyst køleydelse $\geq$ 1 500 kW drevet af en elmotor	6,2

### Elbesparelse ved frikøling

Fremløbstemperatur på væsken [°C]	Grænse for frikøling [°C]	Antal timer pr. år med frikøling [h]	Andel af år med frikøling [%]	Årligt elforbrug pr. kW afsat varme <sup>2)</sup> [kWh]	Besparelse <sup>1)</sup> [%]
5	2	2.071	24	1.530	16
8	5	3.331	38	1.310	28
10	7	4.094	47	1.190	35
13	10	5.120	58	1.020	44
15	12	5.944	68	910	50

Tabel 6. Elbesparelse ved frikøling som funktion af fremløbstemperaturen på væsken

- I forhold til et anlæg med 5 °C fremløbstemperatur og 10 °C returtemperatur uden frikøling
- Disse tal er beregnet uden affugtning på overfladen af kølefladen. Affugtningen vil være større jo koldere overfladen er. Det betyder også, at der vil være relativt tørt i de fleste serverrum. I tabel 7 er vist eksempler på affugtningsandelen af køleenergien samt betydning for anlægget nødvendige ydelse

Fremløbstemperatur på væsken [°C]	Luftfugtighed i serverrummet [%]	Andel af køleenergi til affugtning [%]	Nødvendig ekstra ydelse på køleanlæg [%]
5	50	26,3	35,6
8	50	16,8	20,0
13	50	0	0
5	40	10,5	11,8
8	40	0	0

Tabel 7. Eksempler på affugtningsandelen af køleenergien samt betydning for anlægget nødvendige ydelse

## Udførelse

### Dimensionering af serverkøleanlæg

Driftssikkerhed er en altovervejende parameter i serverrummet, da de fleste virksomheder er fuld-stændigt afhængige af IT-udstyret i deres serverrum. Man skal derfor sikre, at IT-udstyret har høj driftssikkerhed og eventuel backup – hvis virksomheden ønsker at prioritere dette.

- Optimal lufttemperatur til køling af IT-udstyr er 21 °C, maksimal tilladelig temperatur er 35 °C
- Optimal luftfugtighed er mellem 45 % og 55 %. Luftfugtigheden skal ligge mellem 20 % og 80 %

Generelt er det vigtigt at holde en konstant lufttemperatur til IT-udstyret, da variationer i temperaturen forkorter levetiden.

Frikøling kan ske ved:

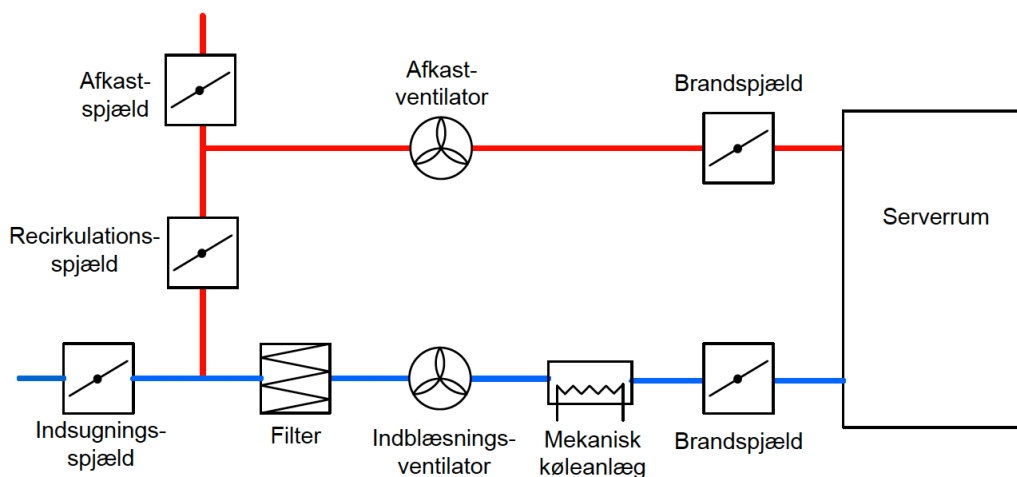
- Direkte frikøling med indblæsning og udsugning af frisk luft
- Indirekte frikøling med en glykol/væskeblending som varmebærer

Direkte frikøling med luft er den mest effektive kølemetode, da der ikke er unødvendige varmevekslinger i køleprocessen. For at sikre konstant indsugningstemperatur til IT-udstyret, skal en del af den varme udsugningsluft recirkuleres og opblandes med ny indsugningsluft i et forhold der giver konstant temperatur af indblæsningsluften.

Anlægget skal udstyres med filtre for at sikre ren indblæsningsluft og der skal ligeledes være et mekanisk køleanlæg til perioder med høje udetemperaturer.

Et anlæg med direkte frikøling kan spare 55 % - 75 % af elforbruget til køling af serverrummet.

Anlægget kan se ud som vist i figur 8.



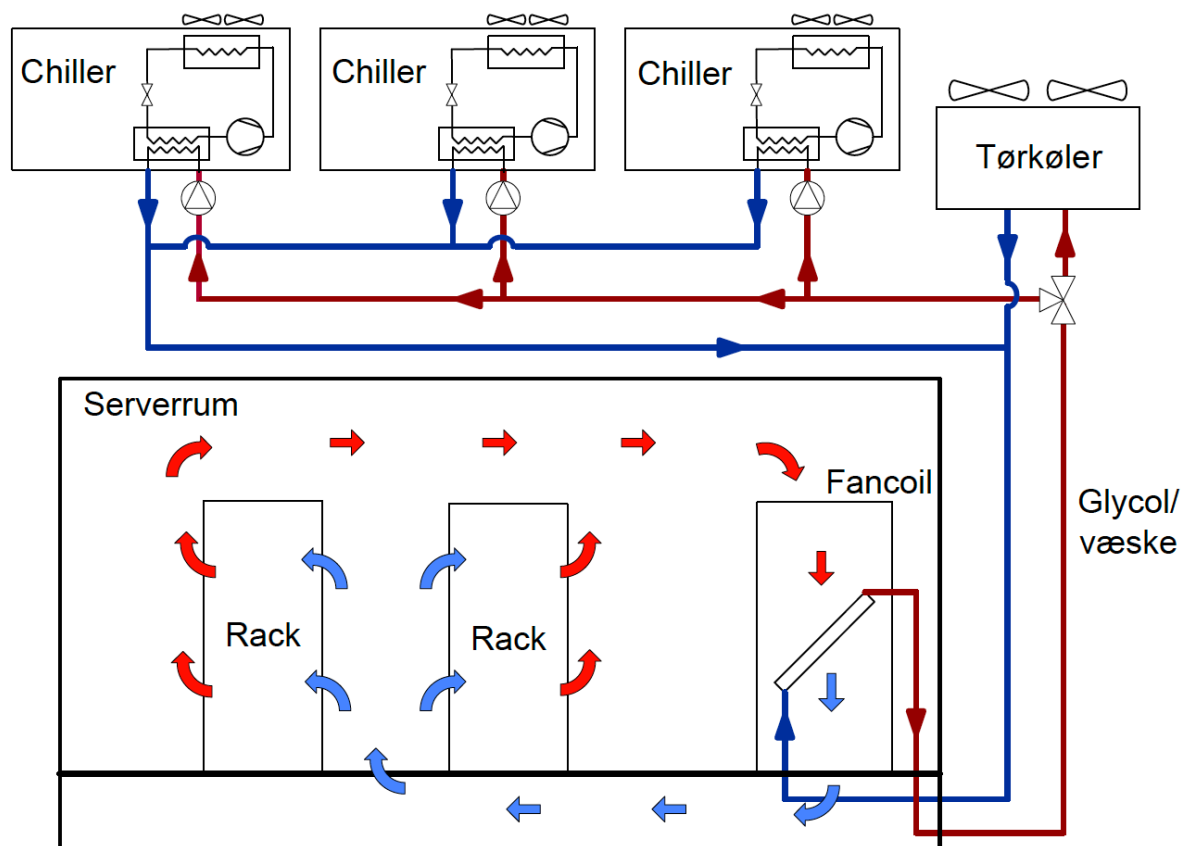
Figur 9. Direkte frikøleanlæg baseret på luftkøling

Indirekte frikøling med væske som varmebærer kan også give en stor besparelse på elforbruget til køling. Her fjernes varmen fra serverrummet via en tørkøler ved lavere udetemperaturer og en chiller ved højere udetemperaturer.

For at opnå så stor besparelse som muligt ved frikøling, er det vigtigt at væskens driftstemperaturer er så høje som muligt. Højere temperaturer af væsken giver længere perioder om året med frikøling og mindre elforbrug ved mekanisk køling.

I figur 9 er vist et eksempel på et indirekte frikølesystem. Et køleanlæg med væskebaseret frikøling kan også have mange andre konfigurationer. F.eks. kan tørkøleren være integreret i chilleren eller den mekaniske del af anlægget kan være integreret i fancoilen i serverrummet. I forhold til forskellige anlægstyper er det vigtigt at sikre at temperaturgrænsen for frikøling bliver så høj som muligt, da denne har direkte betydning for energibesparelsen. Ligeledes er det også en fordel, hvis anlægget kan frikøle delvist, således at ved temperaturer lidt over frikølegrænsen fjernes så meget varme muligt mens resten fjernes vha. chilleren.

Et anlæg med frikøling kan spare op imod 50 % af elforbruget til køling af serverrummet. Som tommelfingerregel kan man sige, at anlægget bruger ca.  $\frac{1}{4}$  el ved frikøling i forhold til almindelig mekanisk køling.



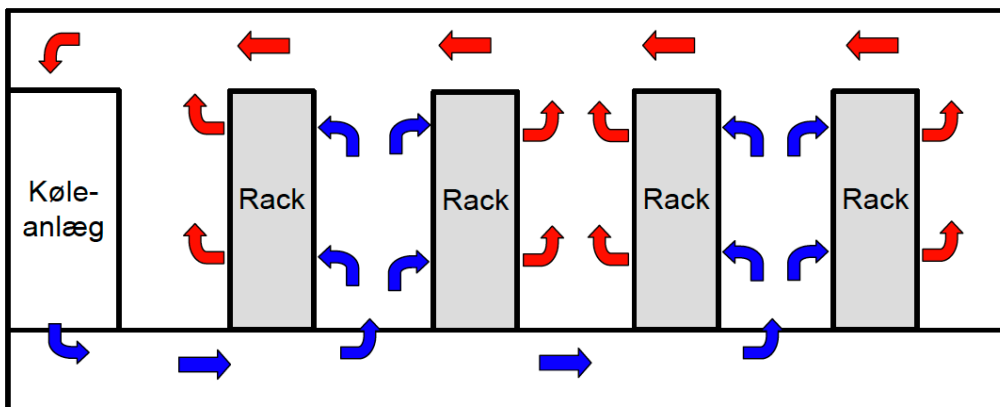
Figur 10. Indirekte køleanlæg med frikøling

## Indretning af serverrum

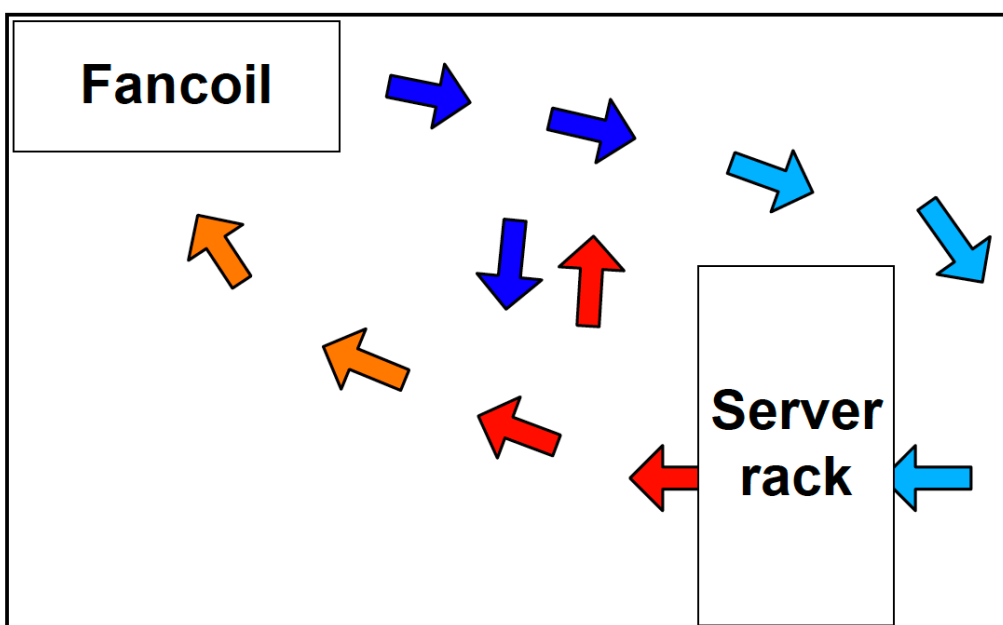
Indretningen af serverrummet spiller en stor rolle i forhold til elforbruget til køling af serverrummet. Jo mindre den kolde luft fra fancoilen i serverrummet opblandes med den varme luft fra IT-udstyret, jo højere kan temperaturen af kølemediet være. For hver grad celsius temperaturen hæves, spares op til 3 % af elforbruget til køling ved mekanisk køling. Ved anlæg med frikøling øges antallet af timer pr. år med frikøling og derved bliver besparelsen endnu større.

Gode råd til indretning af serverrum:

- Indret varme og kolde "gader" i serverrummet, således at serverne suger luft fra kolde gader og blæser ud til varme gader. Køleenhederne suger luft fra varme gader og blæser den kølede luft ud til kolde gader. Se figur 10
- Undgå "kortslutninger" i luftflowene i serverrummet. Se figur 11
- Ved luftindblæsning via ventilationsriste i EDB-gulve placeres rackene bag ved ristene og ikke ovenpå ristene, så luften blæses op foran fronten på racket. Hvis luften skal passere op igennem racket bliver den opvarmet før de øverste servere. Se figur 12
- Indfør blændplader på tomme pladser i rackene. Se figur 13
- Udstyr der ikke behøver køling placeres udenfor serverrummet



Figur 11. Varme og kolde "gader" i serverrum



Figur 12. "Kortslutninger" i luftflow i serverrum

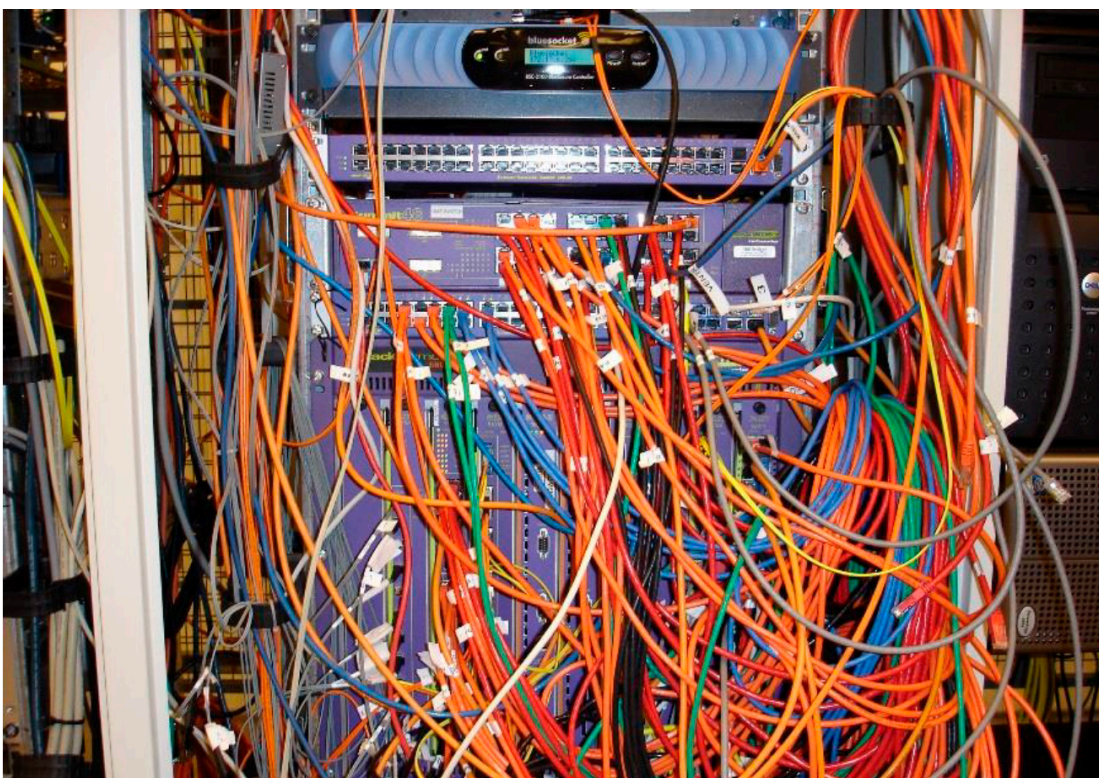




Figur 13. Luftindblæsning via ventilationsriste i EDB-gulve



Figur 14. Indførelse af blændplader på tomme pladser i rackene



Figur 15. Server

## Montage

### Eksisterende installation

Det eksisterende serverkøleanlæg nedtages. Nedtagningen skal foretages af en autoriseret kølemontør, VVS-installatør og el-installatør.

### Ny installation

Det nye serverkøleanlæg opsættes og idriftsættes af en autoriseret kølemontør.

Hele køleanlægget skal udføres, så det lever op til gældende regler i forskrifter som er relevante for køleanlæg, herunder Bygningsreglementet (BR18), Arbejdstilsynets bekendtgørelse om trykbærende udstyr, At-vejledning B.4.4 "Køleanlæg og varmepumper og DS 469 "Varme og køleanlæg i bygninger".

Der findes en række standarder på køleområder, som det er lovpligtigt at følge i Danmark, fordi henvisninger til dem er skrevet ind i lovgrundlaget. Det drejer sig om:

DS/EN 378-1 +A2:2012 Kølesystemer og varmepumper – Sikkerheds- og miljøkrav – Del 1: Generelle krav, definitioner, klassifikation og udvælgelseskriterier

DS/EN 378-2 +A2:2012 Kølesystemer og varmepumper – Sikkerheds- og miljøkrav – Del 2: Udformning, konstruktion, prøvning, mærkning og dokumentation

DS/EN 378-3 +A1:2012 Kølesystemer og varmepumper – Sikkerheds- og miljøkrav – Del 3: Instalationssted og personbeskyttelse

DS hæfte 41:2014 DS/EN 378 en generel vejledning

Køleanlæggets bruger skal have overleveret en fyldestgørende dokumentation inklusiv installationstegninger. Dokumentationen skal blandt andet indeholde information om valgte hovedkomponenter, dvs. kompressor, fordampere, kondensator og eventuelt buffertank. Endvidere skal den indeholde information om de valgte styrings- og reguleringskomponenter, herunder manometre og termometre. Endelig skal den indeholde beregninger der viser, at anlægget lever op til kravene (Ecodesign).

## Funktionsafprøvning

Der er i Bygningsreglementet BR 18 ikke krav om funktionsafprøvning af serverkøleanlæg før ibrugtagning.

## Eftersyn

Hvis anlægget indeholder mere end 1 kg kølemiddel, skal det efterses mindst én gang årligt af en montør, som har den fornødne uddannelse. Er der mere end 2,5 kg kølemiddel i varmepumpen, skal det årlige eftersyn udføres af en certificeret montør fra et kølefirma (jf. AT-bekendtgørelse nr. 100 om anvendelse af trykbærende udstyr).



## Butikskøling

Køling og frysning af varer udgør en betragtelig andel af elforbruget i butikker. Køling og frysning af varerne sker hovedsageligt i køle- og frostmøbler samt køle- og frostrum. Der findes forskellige typer af køleanlæg. Et af dem er kondenseringsaggregater, som der er energikrav til.



## Valg af køleanlæg

For kondenseringsaggregater gælder, at køleanlæggets COP- og SEPR-værdi skal ifølge EU's ecodesign forordning nr. 2015/1095 som minimum leve op til nedenstående krav:

Driftstemperatur	Nominal kapacitet $P_A$	Faktor	Værdi
Middel	$0,2 \text{ kW} \leq P_A < 1 \text{ kW}$	COP	1,20
	$1 \text{ kW} \leq P_A < 5 \text{ kW}$	COP	1,40
	$5 \text{ kW} \leq P_A < 20 \text{ kW}$	SEPR	2,25
	$20 \text{ kW} \leq P_A < 50 \text{ kW}$	SEPR	2,35
Lav	$0,1 \text{ kW} \leq P_A < 0,4 \text{ kW}$	COP	0,75
	$0,4 \text{ kW} \leq P_A < 2 \text{ kW}$	COP	0,85
	$2 \text{ kW} \leq P_A < 8 \text{ kW}$	SEPR	1,50
	$8 \text{ kW} \leq P_A < 20 \text{ kW}$	SEPR	1,60

Tabel 8. COP- og SEPR-værdi skal ifølge EU's ecodesign forordning nr. 2015/1095



Figur 16. Kondenseringsaggregat

## Energibesparelse

### Varenes opbevaringstemperatur

Der er vigtigt, at varer ikke opbevares ved en unødvendig lav temperatur. Ofte forekommer der rumtemperaturer på ca. -30 °C, hvor -20 °C er tilstrækkeligt. I bilag 1 ses typiske varers lagringstemperatur.

Temperaturniveauet kan normalt ændres uden større problemer ved justering af f.eks. termostaters setpunkter. Dette bør dog i praksis ske efter aftale med brugeren og normalt udføres af en kølemontør. Ændring af en termostats setpunkt kan nemlig have stor indflydelse på køleanlæggets driftsforhold såsom start-stop-hyppighed.

Mere lempelige temperaturkrav på kølestedet kan dels medføre en højere fordampningstemperatur, og dels reducere kuldebehovet grundet mindre transmissions- og ventilationstab. Besparelsen på grund af det reducerede kuldebehov kan groft skønnes ved brug af nedenstående udtryk:

$$\Delta E_K = \left( 1 - \frac{T_a - T_{ny}}{T_a - T_{gl}} \right) \cdot 100\%$$

hvor

$T_a$  er omgivelsernes gennemsnitstemperatur

$T_{ny}$  er den opnåelige opbevaringstemperatur

$T_{gl}$  er den nuværende opbevaringstemperatur

Elbesparelsen kan på grund af højere fordampningstemperatur skønsmæssigt sættes til 2 – 3 % pr. grads stigning.

Dette nøgletal samt ovenstående udtryk anvendes i til vurdering af energibesparelspotentialerne.

#### Eksempel 4

I et supermarked findes et frostrum på 100 m<sup>3</sup>. Elforbruget til kompressoren er via en bimåler målt til 15.000 kWh/år. Temperaturen i frostrummet er målt til -25 °C og omgivelsestemperaturen er 5 °C. Fordampningstemperaturen er aflæst til -40 °C på kompressorens manometer.

Temperaturen i frostrummet bør være -18 °C og fordampningstemperaturen bør jf. tabel 1 være -28 °C.

Den procentvise besparelse ved at hæve temperaturen i frostrummet kan beregnes til:

$$\Delta E_k = \left( 1 - \frac{5 \text{ °C} - (-18 \text{ °C})}{5 \text{ °C} - (-25 \text{ °C})} \right) \cdot 100 \% = 23 \%$$

Det svarer således til en elbesparelse på  $0,23 \cdot 15.000 \text{ kWh/år} = 3.500 \text{ kWh/år}$

Fordampningstemperaturen er 12 °C for lav. Den procentvise besparelse ved at hæve fordampningstemperaturen er 24 %.

Det svarer således til en elbesparelse på  $0,24 \cdot 15.000 \text{ kWh/år} = 3.600 \text{ kWh/år}$

Der kan således i alt opnås en elbesparelse på 7.100 kWh/år.

### Placering af varer i køle- og frostrum samt køle- og frostmøbler

Placering af varer i køle- og frostrum samt køle- og frostmøbler har væsentlig betydning for elforbruget til køleanlægget.

I køle- og frostrum er det vigtigt at varerne placeres således, at der sikres en effektiv luftbevægelse omkring disse.

I køle- og frostmøbler er det vigtigt at varerne placeres således, at det lufttæppe ("kuldeskjold") der dannes mod omgivelserne ikke brydes af f.eks. overstabling.

Hindring af effektive luftbevægelser i køle- og frostrum, samt brudte lufttæpper i køle- og frostmøbler medfører et stigende elforbrug idet kompressorens driftstid forøges.

Der beregnes ikke elbesparelser her, da disse beregninger er meget komplicerede. Hvis ovennævnte forhold opdages påpeges de overfor virksomheden.

### Afdækning af køle- og frostmøbler

Afdækning af køle- og frostmøbler udenfor åbningstiden har stor betydning for elforbruget til køleanlæggets kompressorer. Erfaringsmæssigt kan der opnås besparelser på ca. 20 % i elforbruget til forskellige typer køle-møbler ved afdækning uden for åbningstiden.

### Permanent afdækning med glaslåg

I de fleste supermarkeder er der etableret permanent afdækning af køle- og frostmøblerne med glaslåg. Dette resulterer i elbesparelser til køling, både indenfor og udenfor åbningstiden. Undersøgelser har vist, at der kan opnås besparelser på ca. 20 % af elforbruget til køling ved etablering af permanent afdækning med glaslåg. Foruden elbesparelsen opnås også en forbedring af fødevarerens kvalitet, da glaslågene sikrer at varerne opbevares ved korrekt temperatur.



Figur 17. Permanent afdækning med glaslåg

For at opnå den potentielle/mulige elbesparelse på 20 %, bør der ved etablering af permanent afdækning også kigges på en mere optimal drift af kompressorerne, således kapaciteten for disse modsvarer kuldeydelsen noget bedre. Etablering af permanent afdækning kan derfor med fordel foretages ved en større renovering af køleinstallationen.

### Permanent afdækning med glasfronte

Glasfronte i åbne køle- og frostreoler har stor betydning for elforbruget til køleanlæggets kompressorer. I dag er der i de fleste supermarkeder etableret glasfronte i åbne køle- og frostreoler. Ligesom ved permanent afdækning med glaslåg vurderes det, at der kan opnås besparelser på ca. 20 % af elforbruget til køling ved etablering af glasfronte i åbne køle- og frostreoler, hvis de ikke findes.



Figur 18. Glasfronte i køle- og frostreoler

I bilag 2 ses nøgletal for henholdsvis åbne og lukkede køle- og frostreoler.

## Eksempel 5

I et supermarked er der installeret to stk. åbne kølereoler. Der ønskes foretaget en undersøgelse af energisparepotentialet ved etablering af glasfronte i disse.

Længden af hver kølereol er 3 meter og højden 1,5 m. Det vil sige at det samlede areal er 9 m<sup>2</sup>.

Ved at have opmålt arealerne af kølereolerne, er det muligt at beregne en elbesparelse ved etablering af glasfronte. Ved beregning af besparelsen anvendes en middelværdier af nøgletallene i bilag 2.

$$E_{\text{besparelse}} = (3.200 \text{ kWh/år/m}^2 - 2.400 \text{ kWh/år/m}^2) \cdot 9 \text{ m}^2 = 7.200 \text{ kWh/år.}$$

## Udførelse

### Dimensionering af butikskøleanlæg

Butikskøleanlæg skal dimensioneres ud fra kuldebehovet. Kuldebehovet eller nødvendig dimensionerende køleeffekt, der skal præsteres, modsvarer tilført varme til rummet fra transmission gennem vægge, loft og gulv, fra luftskifte, fra varer med højere indbringningstemperatur end rummets, fra belysning m.m.

### Fastlæggelse af kuldebehov

Flest mulig bestemmende faktorer skal kendes, heriblandt flg.:

- Aktuelle produkttyper og -mængder, som skal opbevares
- Indbringningstemperaturer for de enkelte produktmængder
- Produkternes modnings- eller gæringsvarme
- Ønskede/krævede opbevaringstemperaturer for de enkelte produkter
- Krav til luftfugtighed i lagringsperioden
- Opbevaringsform (dybstabling, faste reoler, mobile reoler)
- Rumstørrelse
- Isoleringsevner for vægge, loft og gulv
- Belysning
- Luftskifte
- Varmeudvikling fra personer og/eller maskiner i rummet

Der findes forskellige beregningsprogrammer hvor kuldebehovet kan beregnes. Et eksempel på dette er beregningsprogrammet "Coolpack" fra IPU.

## Montage

### Eksisterende installation

Det eksisterende butikskøleanlæg nedtages. Nedtagningen skal foretages af en autoriseret kølemontør, VVS-installatør og el-installatør.

### Ny installation

Det nye butikskøleanlæg opsættes og idriftsættes af en autoriseret kølemontør.

Hele køleanlægget skal udføres, så det lever op til gældende regler i forskrifter som er relevante for køleanlæg, herunder Bygningsreglementet (BR18), Arbejdstilsynets bekendtgørelse om trykbærende udstyr, At-vejledning B.4.4 "Køleanlæg og varmepumper og DS 469 "Varme og køleanlæg i bygninger".



Der findes en række standarder på køleområder, som det er lovpligtigt at følge i Danmark, fordi henvisninger til dem er skrevet ind i lovgrundlaget. Det drejer sig om:

DS/EN 378-1 +A2:2012 Kølesystemer og varmepumper – Sikkerheds- og miljøkrav – Del 1: Generelle krav, definitioner, klassifikation og udvælgelseskriterier

DS/EN 378-2 +A2:2012 Kølesystemer og varmepumper – Sikkerheds- og miljøkrav – Del 2: Udformning, konstruktion, prøvning, mærkning og dokumentation

DS/EN 378-3 +A1:2012 Kølesystemer og varmepumper – Sikkerheds- og miljøkrav – Del 3: Installationssted og personbeskyttelse

DS hæfte 41:2014 DS/EN 378 en generel vejledning

Køleanlæggets bruger skal have overleveret en fyldestgørende dokumentation inklusiv installationstegninger. Dokumentationen skal blandt andet indeholde information om valgte hovedkomponenter, dvs. kompressor, fordampere, kondensator og eventuelt buffertank. Endvidere skal den indeholde information om de valgte styrings- og reguleringskomponenter, herunder manometre og termometre. Endelig skal den indeholde beregninger der viser, at anlægget lever op til kravene (Ecodesign).

## Funktionsafprøvning

Der er i Bygningsreglementet BR 18 ikke krav om funktionsafprøvning af butikskøleanlæg før ibrugtagning.

## Eftersyn

Hvis anlægget indeholder mere end 1 kg kølemiddel, skal det efterses mindst én gang årligt af en montør, som har den fornødne uddannelse. Er der mere end 2,5 kg kølemiddel i varmepumpen, skal det årlige eftersyn udføres af en certificeret montør fra et kølefirma (jf. AT-bekendtgørelse nr. 100 om anvendelse af trykbærende udstyr).

## Bilag 1. Fortegnelse over anbefalede maksimaltemperaturer

Kølested		Temperatur [°C]
Kølerum	Slagteropskæring	10
	Kødkølerum	5
	Pålægskølerum	5
	Mælkekølerum	5
	Delikatessekølerum	5
	Bistrokølerum	5
	Grøntkølerum	5 til 8
	Grøntsvalerum	8 til 12
Frostrum	Indfryser	-30 til -35
	Dybfrostrum	-18
Kølemøbler	Fersk kød	5
	Pålægsvarer	5
	Salater	10
	Mejeriprodukter	5
	Ost	5
	Æg	10
	Fiskeprodukter	2
	Fisk, halvkonserves	10
	L H kød (langtidsholdbart)	2
	Rå fisk	2
	Rå fjerkræ	4
	Frostmøbler	Kødvarer
Fisk		-18 til -28
Brød		-18
Is		-22 til -25
Grøntsager		-18

## Bilag 2. Specifikke nøgletal for en række kølesteder

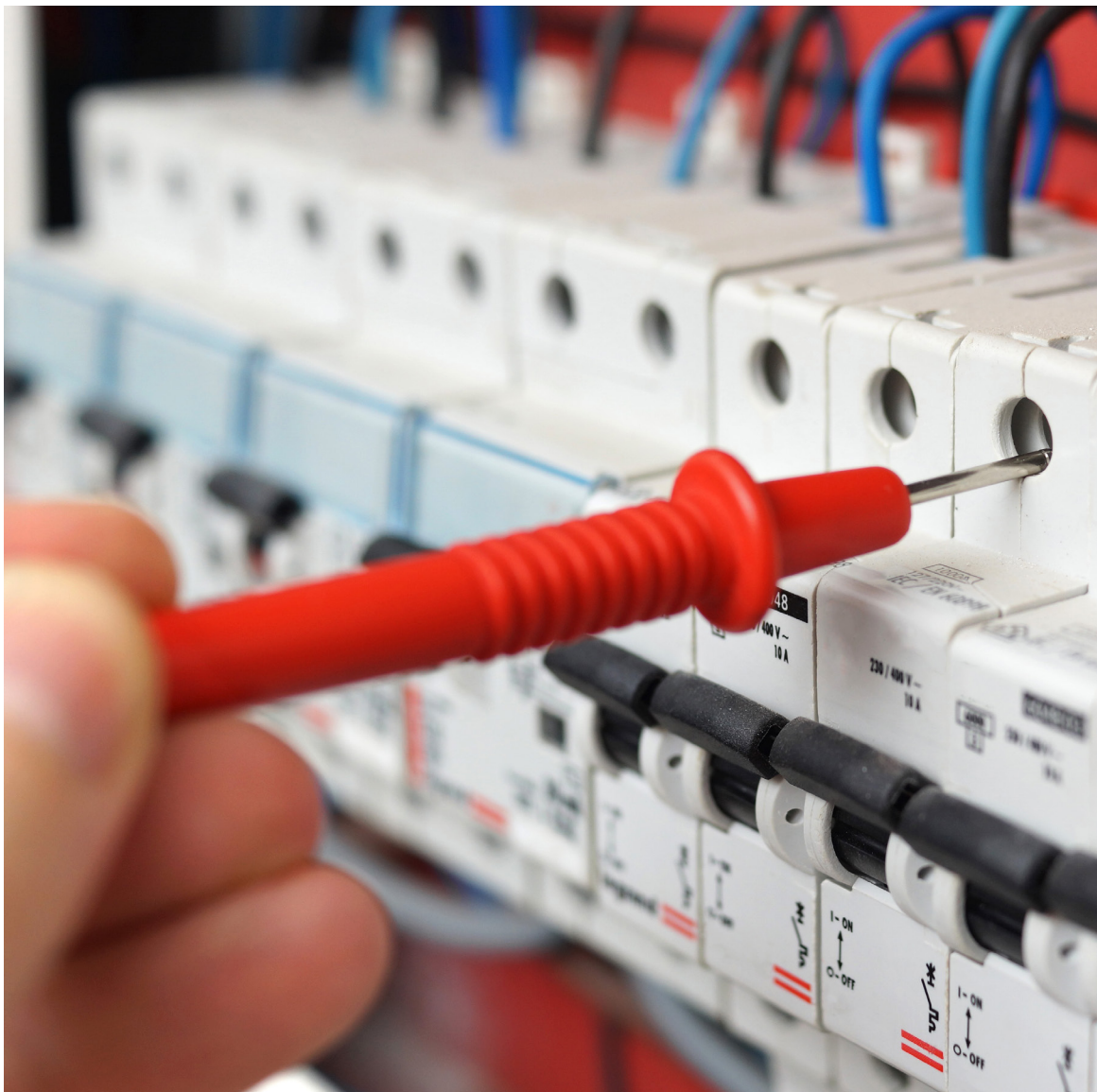
Kølested	Specifikt elforbrug	
	[kWh/år/m <sup>2</sup> ]	[kWh/år/m <sup>3</sup> ]
Kølereol (åben)	2.800 – 3.500	
Kølereol (lukket)	2.000 - 2.800	
Kølegondol (åben)	2.000 – 2.400	
Kølegondol (lukket)	1.700 – 2.000	
Frostreol (åben)	8.500 – 9.100	
Frostreol (lukket)	6.500 – 7.000	
Frostgondol (åben)	3.200 – 4.200	
Frostgondol (lukket)	2.700 – 3.500	
Mælkefront (lukket og uden bagved liggende rum)	3.000 – 3.500	
Mælkefront (lukket med bag-ved liggende rum)	4.000 – 4.500	
Kølerum		40 - 60
Frostrum		100 - 200

Bemærkninger vedr. kølemøblerne:

- Arealet er møblets åbningsareal
- Tallene gælder for plug-in kølemøbler, dvs. at kompressor og kondensator er indbygget i møblet. Hvis møblerne er koblet på et centralt køle- eller fryseanlæg, vil de specifikke elforbrug være lavere, da centrale køle- og fryseanlæg er mere effektive.



# ENERGIHÅNDBOGEN 2019



## BELYSNINGSANLÆG



*Energihåndbogen er udgivet med støtte fra Grundejernes Investeringsfond*



# BELYSNINGSANLÆG

## Indhold

<b>Belysningsanlæg</b>	<b>208</b>
Lysudsendelse (lysstrøm)	208
Lysstyrke	208
Belysningsstyrke	209
Belysningens regelmæssighed (Uniformitet)	209
Luminans	210
Lysets farvegengivelse	210
Farvetemperatur (CCT)	210
Flicker-procent (flimmer)	212
Spektrometer	212
Energibesparelse	213
Udførelse	229
Dimensionering af belysningsanlæg	229
Montage	232
Funktionsafprøvning	232
Eftersyn og vedligehold	233

## Belysningsanlæg

Lys er en meget vigtig indeklimafaktor. Lys i bygninger, i lokaler på arbejdspladsen er helt afgørende for, at vi kan fungere på jobbet, men naturligvis også i boligen.

Lys i dagligdagen bygger dels på dagslys udefra – altså sollys – og dels på kunstigt lys via energiforbrugende lyskilder.

Dagslys igennem vinduer er ikke konstant. Dagslysmængden stiger over falder i løbet af dagen og i takt med årets lyse og mørke perioder. Derfor er det nødvendigt at installere kunstigt lys i vores bygninger i form af belysningsanlæg med lyskilder, armaturer og styringer.

Belysningsanlæg bruger energi. I Bygningsreglementet stilles bl.a. krav til anlæggenes energieffektivitet. Derfor er det vigtigt med god planlægning af et belysningsanlæg og dets styring.

Der er styringstekniske mange muligheder og store energibesparelser ved at installere lysstyring, der både kan sikre optimal udnyttelse af dagslyset, men også kan reducere elforbruget til belysningen med 10 – 50 %.

Målet for et energivenligt belysningssystem er et lavt årligt elforbrug pr. m<sup>2</sup> gulvareal og en god belysningskvalitet, således at der altid er den rette belysning i alle områder af opholds-og arbejdslokalerne på de rette tidspunkter.

For at opnå et energivenligt belysningssystem ved nyanlæg er det nødvendigt med omhyggelig planlægning, beregning, komponentvalg og dokumentation af anlæggene.

Regulering af belysningen, effektive lyskilder, effektive armaturer og differentiering af belysningen giver gode muligheder for at begrænse energiforbruget, reducere varmebelastningen fra belysning og samtidig opnå god belysningskvalitet.

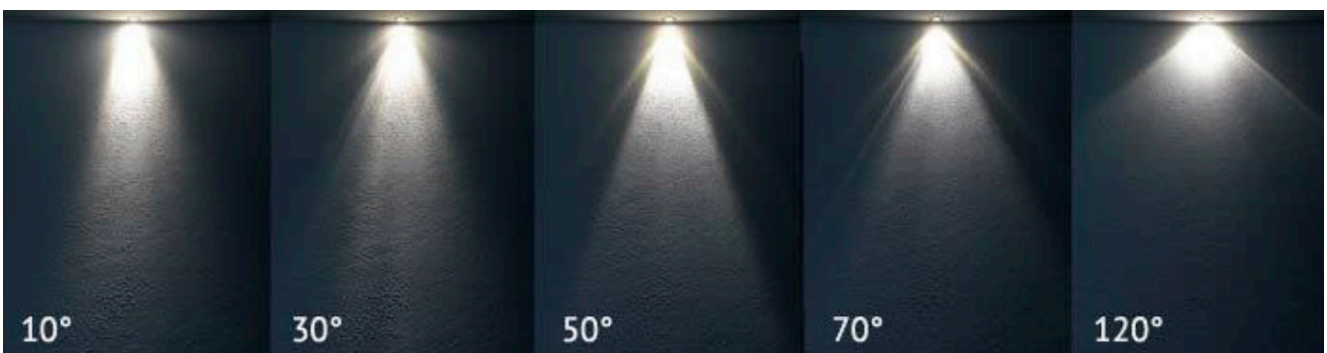
Belysningens kvalitet afhænger af en række faktorer, som beskrives nedenfor.

## Lysudsendelse (lysstrøm)

Lysudsendelsen eller lysstrømmen beskriver mængden af lys, som en lyskilde udsender. Enheden for lysstrømmen er lumen [lm].

## Lysstyrke

Lysstyrken er et mål for, hvor meget lys en lyskilde sender i én retning eller inden for en bestemt vinkel og anvendes for retnings bestemte lyskilder. Spredningsvinklen angives oftest som grader. Enheden for lysstyrken er Candela [lm/steradian].



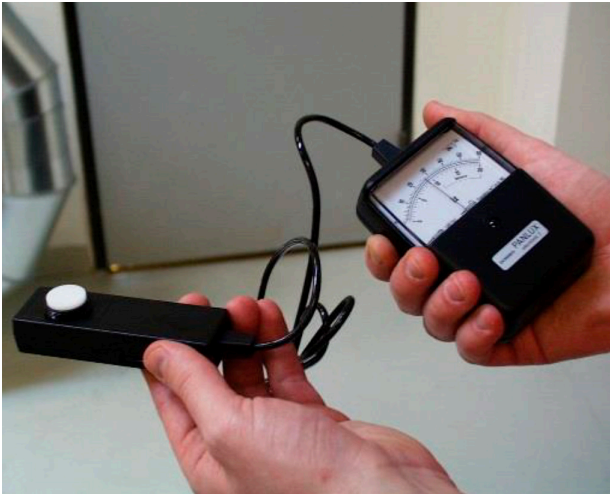
Figur 1. Spredningsvinkler. (Kilde: <http://www.klusdesign.com/blog/led-tape/>)

## Belysningsstyrke

Belysningsstyrken defineres som den lysmængde, der falder på et givent areal. Enheden for belysningsstyrken er lumen pr. kvadratmeter [ $\text{lm}/\text{m}^2$ ] eller lux.

Lux-værdier kan være interessante i forbindelse med kortlægning af belysningsniveauer i konkrete zoner og områder. Det er ofte lux-værdier, der beskriver krav til almen belysning i bygningszoner og arbejdsbelysning ved forskellige arbejdsituationer.

Belysningsstyrken måles med et luxmeter.



Figur 2. Måling af belysningsstyrke

## Belysningens regelmæssighed (Uniformitet)

Belysningens Uniformitet beskriver variationen i lysets fordeling (Uniformity of illuminance,  $U_0$ ). Det defineres som  $U_0 = E_{\min} / E_{\text{avr}}$ , hvor  $E_{\min}$  er den mindste og  $E_{\text{avr}}$  er den gennemsnitlige af de repræsentative luxværdier ( $E_r$ ), der er målt i en given zone.

Hvis fx den aktuelle kontrolmåling i en zone har givet et gennemsnit over et nærmere bestemt antal målepunkter på 350 lux og en mindsteværdi på 240 lux, vil Uniformiteten være:

$$U_0 = E_{\min}/E_{\text{avr}} = 220/350 = 0,63$$

I tabel 1 ses måleplan til måling af belysningsstyrke og regelmæssighed.

Længde af lokale [m]	Maksimal afstand mellem punkter i måleplanet [m]	Maksimal afstand mellem punkter i måleplanet [m]
0,40	0,15	3
0,60	0,20	3
1,00	0,20	5
2,00	0,30	6
5,00	0,60	8
10,00	1,00	10
25,00	2,00	12
50,00	3,00	17
100,00	5,00	20

Tabel 1. Måleplan til måling af belysningsstyrke og regelmæssighed

## Eksempel 1

I et lokale der er 10 meter langt og 10 meter bredt må den maksimale afstand mellem punkter i måleplanet være 1,0 m og den maksimale afstand mellem punkterne i målepla-net være 10. Det maksimale antal punkter i måleplanet dermed 100.

## Luminans

Luminans beskriver den reflekterede lysmængde i en bestemt retning fra et givent punkt eller en given flade. Luminansen er en funktion af den lysmængde, der rammer målepunktet [lm], målepunktets størrelse, lyskildens vinkel i forhold til målepunktet og vinklen til målingens sigtelinje.

Luminans kan være interessant i forbindelse med kortlægning af blænding og refleksion fra forskellige typer overflader under forskellige påvirkning af lys i forskellige situationer.

Enheden for luminansen er candela pr. kvadratmeter [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ].

## Lysets farvegengivelse

Sollys gengiver farver fuldt ud. Lyskildens evne til at gengive farver korrekt i forhold til solens optimale lys udtrykkes ved en såkaldt Ra-værdi (på engelsk CRI - Color Rendering Index). Egenskaben er vigtigere nogle steder frem for andre. I et køkken vil man gerne kunne genkende, hvis en råvare ser fordærvet ud, og i badeværelset vil man gerne kunne skelne nuancer i hud og sminke. Ved Ra90 eller derover anses lyset for naturtro. Værdien bør som regel være mindst Ra80. Det vil ofte være sådan, at højere Ra-værdi giver anledning til et lidt højere energiforbrug.



Figur 3. Farvegengivelse Ra-værdi = 75 (øverst) og Ra-værdi = 95 (nederst). (Kilde: <https://www.ho-melectrical.com/what-color-rendering-index-or-cri-light-bulb.6.html>)

## Farvetemperatur (CCT)

Lysfarven angives som en farvetemperatur (CCT) i enheden Kelvin, og jo højere farvetemperaturen er, jo mere køligt opfattes lyset. Dagslyset har en væsentlig højere farvetemperatur (6000-10000 K) end den kunstige belysning, hvilket har betydning, når dagslyset suppleres med kunstig belysning. Der findes lyskilder med farvetemperaturer svarende til dagslysets, men disse er ikke velegnede til aftenbelysning.



Der er en vis sammenhæng mellem belysningsniveauet og en foretrukken farvetemperatur. Erfaringen viser, at varme lysfarver (2800 K) foretrækkes ved lave belysningsstyrker (100-200 lux) og koldere lysfarver (5.000 K) i lokaler med høj belysningsstyrke. Kombineres dagslys og kunstlys er det u hensigtsmæssigt at prøve at tilpasse kunstlyset efter dagslysets farve, fordi lyset i perioder med kunstlys alene vil virke alt for koldt. Et krav på 4000 Kelvin vil ofte være en god løsning i en sådan situation.



Figur 4. Farvetemperaturer. (Kilde: <https://lumega.eu/da/blog/en-verden-af-lys-hvad-er-farvetempera-tur>)

### MacAdam - spredning i lysfarven

Lyskildens lysfarve kvalitet eller kromaticitet er mål for spredning i lysfarven. Afvigelser i farven angives med MacAdam-ellipser SDCM (Standard Deviation of Color Matching) i henhold til standarden CIE 1964. MacAdam-systemet graduerer kromaticiteten på en skala fra 1–10 hvor 1 er den bedste kromaticitet man kan opnå.

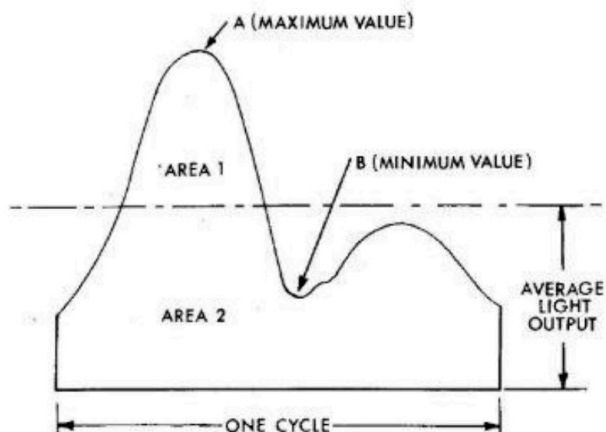
Mellem 1 og 3 er det svært at se forskel på farverne. Højere op i skalaen opleves tydelige forskelle alt efter det omgivende miljø. Belysning af hvide vægge med wall-washers eller spotlights kræver en lav MacAdam-værdi. I øvrige applikationer kan kravene være lidt mindre. I indendørsapplikationer ligger kravet vedr. MacAdam normalt på højst 3 SDCM. I udendørsmiljøer er 5 SDCM normalt fuldt tilstrækkeligt.

På hospitaler og operationsstuer er der behov for optimale forhold, hvad angår farvetemperatur og farvegenkendelse. Dette gælder ligeledes for museer, gallerier, hoteller, butikker m.m., hvorfor det er altafgørende, at de lyskilder der installeres her har en lav SDCM. Ligeledes kan producentspecifikke forhold påvirke kvaliteten af den valgte af lyskilde og den faktiske SDCM værdi.

## Flicker-procent (flimmer)

Flicker-procent (flimmer) er et relativt mål for den cykliske variation i lyset fra en lyskilde (dvs. procent modulation). Dette er også undertiden benævnt "graduering indeks."

Flicker-procent =  $100\% \times (\max - \min) / (\max + \min)$



Source: IESNA Lighting Handbook, 9<sup>th</sup> Edition (Rea 2000)

Figur 5. Flicker. (Kilde: <http://www.ledbenchmark.com/faq/LED-Flicker-Measurement.html>)

Flicker-indeks er et relativt pålideligt mål for den cykliske variation i lyset ved en given effekt frekvens. Den tager hensyn til bølgeformen af lyseffekten samt dens amplitude. Flimmer indeks antager værdier mellem 0 og 1,0 - med 0 som konstant lysudbytte. Højere værdier indikerer en øget mulighed for at opleve mærkbare flimmer i lyset, samt stroboskopisk effekt.

Flicker er ikke altid noget man vil opfatte visuelt, men det kan være årsagen til hovedpine og andre gener, hvis man arbejder under en belysning med et højt flicker niveau i længere tid.

## Spektrometer

Til måling af flere af de ovennævnte lystekniske parametre kan benyttes et spektrometer. Det er eksempelvis til måling af farvegengivelse, farvetemperatur, SDCM og flicker-procent.



Figur 6. Eksempel på spektrometer. (Kilde: [https://www.building-supply.dk/announcement/view/91632/flyt\\_lyslaboratoriet\\_ud\\_til\\_kunden](https://www.building-supply.dk/announcement/view/91632/flyt_lyslaboratoriet_ud_til_kunden))



Energibesparelsen ved udskiftning af et belysningsanlæg afhænger af:

- Antallet af armaturer
- Antallet af lyskilder pr. armatur
- Lyskildens effekt målt i W ( aflæses på lyskilden)
- Tabet i en eventuel forkoblingsenhed (tabet tillægges lyskildens effekt)
- Styringsform

Ovenstående forhold gælder både for det eksisterende og det nye belysningsanlæg.

For det eksisterende anlæg er det relativt nemt at skaffe de nødvendige data til at beregne energiforbruget.

### Forkoblingsenhed til lysstofrør

Forkoblingens hovedfunktion er at virke som strømbegrænser under opstart af lysstofrøret. Der findes to forskellige typer af forkoblinger: Elektroniske forkoblinger og elektromagnetiske forkoblinger.

Elektromagnetiske forkoblinger er ældst, og skal benyttes i kombination med en separat starter, for at tænde lysstofrør.

Elektroniske forkoblinger fungerer med højfrekvens spænding, så starter er ikke nødvendig, og røret starter op uden at flimre.

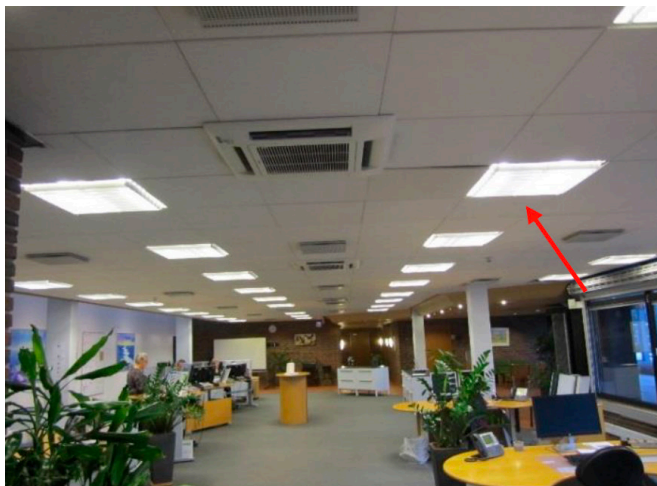
Tabet i en forkoblingsenhed kan være det sværeste at fremskaffe. I nedenstående tabel ses eksempler på tab i forkoblingsenheder til forskellige T8- og T5-lysstofrør, som er meget udbredte lyskilder. Disse tab skal tillægges lyskildens effekt. Eksempelvis vil et ældre armatur (fra før 2006) med et 58 W lysstofrør optage ca. 70 W (1,2 \* 58 W).

Typer af lysstofrør	Konventionel mekanisk forkobling (glimtænder)  EEI Class C eller D (klasser benyttes ikke mere)  Armaturer før 2006	Nyere mekanisk forkobling (glimtænder) EEI Class B1 eller B2 (middel)	Elektronisk forkobling EEI Class A2 eller A3 (middel)	Elektronisk forkobling (dæmpbar) EEI Class A1
Tab [%]				
18 W T8-lysstofrør	55	39	11	17
36 W T8-lysstofrør	25	17	3	6
58 W T8-lysstofrør	20	13	0	2
14 W T5-lysstofrør	-	-	29	36
35 W T5-lysstofrør	-	-	16	20
54 W T5-lysstofrør	-	-	14	17

Tabel 2. Tab i forkoblingsenheder

## Energibesparelser på belysningsanlæg

- Reduktion af driftstiden
- Sektionsopdeling
- Reduktion af belysningsstyrken
- Dagslysstyring
- Bevægelsesmeldere (PIR følere)
- Vælge lyse farver på vægge og lyse møbler



Figur 7. Armaturer til T8-lysstofrør



Figur 8. Armaturer til T5-lysstofrør

## Strømforsyning (driver) til LED-lyskilder

En vigtig komponent i ethvert LED-baseret belysningsystem er armaturstrømforsyningen, der står for at sende den korrekte energi til LED-lyskilden, så man opnår den ønskede lysstyrke.

LED-belysning bliver typisk forsynet med energi fra en AC/DC-strømforsyning, der tilsluttes mellem det almindelig 230V elnet og LED-lyskilden. Denne strømforsyning kaldes for en LED-driver.

Lyset fra LED-lyskilder er tilnærmelsesvis proportionalt med størrelsen af strømmen, der bliver sendt gennem dem. Derfor forsynes LED-lyskilder typisk med jævnstrøm fra en LED-driver, der er 'strømstyret'. Dette vil sige, at den regulerer sin udgang til at levere en konstant strøm (i modsætning til en konstant spænding). En konstantstrøm- LED-driver er typisk forsynet med teksten 'Constant Current' samt størrelsen på den konstante strøm (eller minimum- til maximum-strøm, hvis den er dæmpbar – opgives i enheden Ampere) i kombination med et spændingsområde (minimum- til maksimum-spænding – opgives i enheden Volt).

Tabet i driveren udgør ca. 10 – 12 %.

## Lysstyring

- **Hvorfor lysstyring**

Der kan være to grunde til at man installerer lysstyring. Den ene kan være ønsket om at have et belysningsanlæg som bruger så lidt energi som muligt. Den anden kan være ønsket om et bestemt visuelt indeklima af hensyn til de personer som befinder sig i lokalerne, eksempelvis patienter på en hospital.

- **Behovsanalyse**

Inden der vælges en lysstyring er det nødvendigt med en grundig behovsanalyse. Ved behovsanalysen er der fire forhold der skal vurderes nøjere.

- **Rumtype**

Først er det nødvendigt at få et overblik over det rum eller lokale som lysstyringen skal installeres i. Det er primært rummets størrelse og anvendelsen (eksempelvis kontor, gangareal, sportshal m.m.).

- **Brugsmønster**

Derefter er det nødvendigt at få et overblik over brugsmønstret og om hvor mange personer der opholder sig i rummet og herunder om der tidspunkter hvor der ikke opholder sig nogen personer i rummene.

- **Dagslystilgang**

Hvis der er tilstrækkeligt dagslysindfald i rummet, bør der installeres dagslysstyring, hvor lysudsendelsen fra lyskilderne styres efter dagslysindfaldet. I større åbne rum som for eksempel storrumskontorer skal lysstyringen zoneopdeles, så de enkelte zoner kan reguleres individuelt. Størrelse og form af zoner bestemmes ud fra rummets udformning

- **Aktiviteter**

Det er endelig nødvendigt at få et overblik over de aktiviteter der foregår i rummet. Aktiviteter kan eksempelvis være kontorarbejde, klasseundervisning m.m. I nogle rum foregår der flere aktiviteter som eksempelvis tavleundervisning og arbejde ved skriveborde. Hvis der foregår flere aktiviteter i rummet, bør hver aktivitet betragtes som en zone og lysreguleringen skal indstilles efter det. Hvis nogle zoner overlapper hinanden er det det største krav i belysningsstandarden (DS/EN 12464-1) der er bestemmende.

- **Principper**

- **Manuel lysstyring**

Ved manuel styring styrer brugerne selv lyset. Dette kan enten ske ved en manuel kontakt, hvor lyset tændes og slukkes efter behov eller ved en manuel lysdæmper, hvor lysudsendelsen fra lyskilderne ligeledes styres efter behovet.

Manuel lysstyring har den ulempe at brugerne kan glemme at slukke for lyset, når der ikke er behov for lys.

- **Automatisk lysstyring**

Ved automatisk lysstyring styres lyset ved hjælp af sensorer, kontroludstyr (forkoblinger eller drivere) og programmering (tidsstyring). Lysets funktion og styringsprincip vælges ud fra brugsmønster og dagslysindfald. De mest anvendte automatiske lysstyringsprincipper er styring med sensorer efter tilstedeværelse eller lysstyring med lyssensorer.

Automatisk tænd/sluk (ur- eller tidsstyring) er også et meget anvendt styringsprincip. Her programmeres lyset til at tænde og slukke på bestemte tidspunkter.

Med automatisk lysstyring er der mulighed for at opnå store elbesparelser i forhold til manuel styring.

I eksempel 2 ses hvorledes besparelspotentialet kan beregnes ved etablering af automatisk lysstyring.

- **Sekvensstyring**

Ved sekvensstyring styres lyset med et bestemt formål. Ved sekvensstyring har man på forhånd kortlagt hvordan lyset i armaturerne skal ændre sig i løbet af døgnet, herunder lysstyrke og/eller lysfarve. Endvidere har man afgjort hvornår disse parametre skal ændres og hvilke armaturer der skal aktiveres. Sekvensstyring benyttes blandt andet i forbindelse med dynamisk døgnrytmebelysning.

Besparelspotentialet ved sekvensstyring afhænger af hvor meget lysudsendelsen fra lyskilderne reduceres. I figur 15 og 16 ses sammenhængen mellem lysstrømmen fra en lyskilde og effekttaget. For eksempelvis LED-lyskilder er lysstrømmen proportional med effekttaget (se figur 16).

- **Strategier**

Lysstyringsstrategier handler om planlægning af styringens funktion. Her skal der tages stilling til hvilke styringsprincipper der skal anvendes og hvordan de skal implementeres.

- **Lokal og personlig**

I rum eller lokaler hvor en enkelt person opholder sig i længere tid anbefales altid en lokal og personlig styring. Det vil typisk være enkeltmandskontorer, hvor brugeren vil have mulighed for at indstille lyskildernes lysudsendelse som ønsket.

I nogle LED-armaturer anvendes dioder med flere forskellige farvetemperaturer eller farver. Her vil brugeren have mulighed for at indstille lyskildernes farvetemperaturer eller farver som ønsket.

- **Central automatisk lysstyring**

Central automatisk lysstyring implementeres ud fra et ønske om energibesparelser. Indstillingen af den centrale automatiske lysstyring skal tage hensyn til brugerne for at undgå at de bliver utilfredse og eventuelt ødelægger den tiltænkte funktion.

Central automatisk lysstyring baseres på strategier for urstyring, bevægelses og tilstedeværelse, dagslysindfald og scenarier.

- **Ur- og kalenderstyring**

Ved urstyring indstilles lysstyringen til at tænde og slukke efter faste mønstre. På arbejdspladser kan det eksempelvis være indstilling efter arbejdstiden. Urstyring anvendes i lokaler hvor brugsmønstrene er faste og/eller dagslysindfaldet kan forudses.

Der findes endvidere avancerede systemer, der er baseret på forskellige scenarier og smarte systemer, hvor styringen er programmeret til aktivering på forskellige tidspunkter.

### ○ **Bevægelse og tilstedeværelse**

I lokaler der kun er i brug lejlighedsvis bør belysningsanlægget være udstyret med bevægelses- eller tilstedeværelsesfølere.

De mest typiske typer af tilstedeværelsesfølere er PIR-sensorer (passiv infrarød) der registrerer tilstedeværelse vha. varmedetektering, akustiske sensorer eller kamerabaserede sensorer.

Oftentimes bliver tilstedeværelsesfølere kombineret med manuel tænd/sluk, så brugeren selv tænder lyset når vedkommende kommer ind i lokalet. Lyset slukkes herefter automatisk, hvis brugeren ikke slukker lyset.

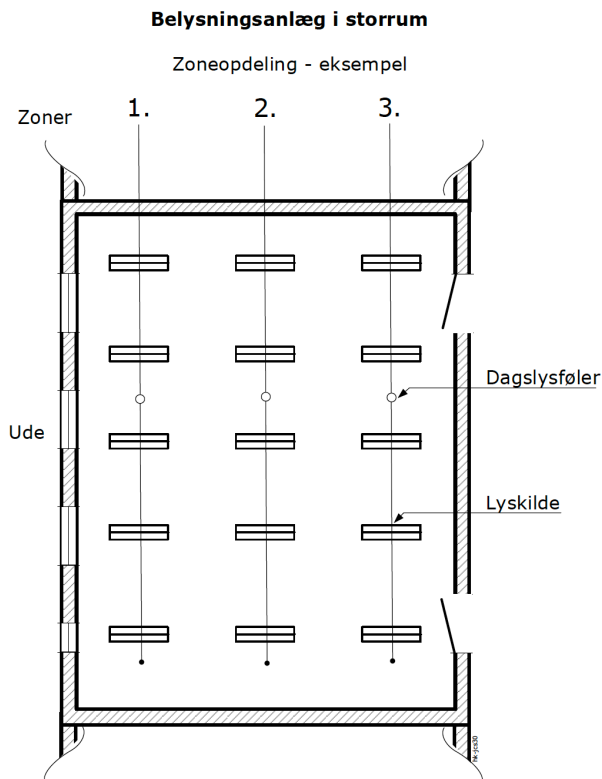
Et af problemerne med denne typer føler er, at sensorerne ikke er følsomme nok, at de er for følsomme eller at de ikke dækker hele det ønskede område.

### ○ **Dagslys**

I lokaler hvor der er tilstrækkeligt dagslysindfald kan dagslyset i perioder helt eller delvist dække behovet for belysning. Dagslysstyringen benyttes til at dæmpe det almene belysningsanlæg.

I lokaler med stor rumdybde bør dagslysstyringen kombineres med zoneopdeling, så belysningsarmaturerne i de zoner der er nærmest vinduerne dæmpes mere end de øvrige armaturer.

Ved dagslysstyring styres belysningsanlægget typisk ved hjælp af sensorer der måler lysniveauet et givet sted i lokalet. Belysningsanlægget kan også styres efter lysniveauet uden for bygningen ved hjælp af en udendørs vejrstation.



Figur 9. Zoneopdeling af belysningsanlæg i storrúm



Figur 10. Zoneopdeling af belysningsanlæg. Armaturerne i højre side af lokalet er slukkede mens armaturerne til venstre er tændt. (Kilde: <https://installator.dk/store-besparelser-med-lysstyring>)

### o Døgnrytme/dynamisk

Forskellige lyskilder har forskellige farvetemperaturer. LED-lyskilder giver større mulighed for at styre lyset både i styrke og farve end andre lamper. I de fleste tilfælde handler farvestyring om, hvorvidt det skal være et koldt eller varmt lys (farvetemperatur der har enheden Kelvin). Varmt lys har lavere farvetemperatur, mens et koldt lys har en høj farvetemperatur. LED-lys kilder giver mulighed for at styre farvetemperaturen meget nøjagtigt.

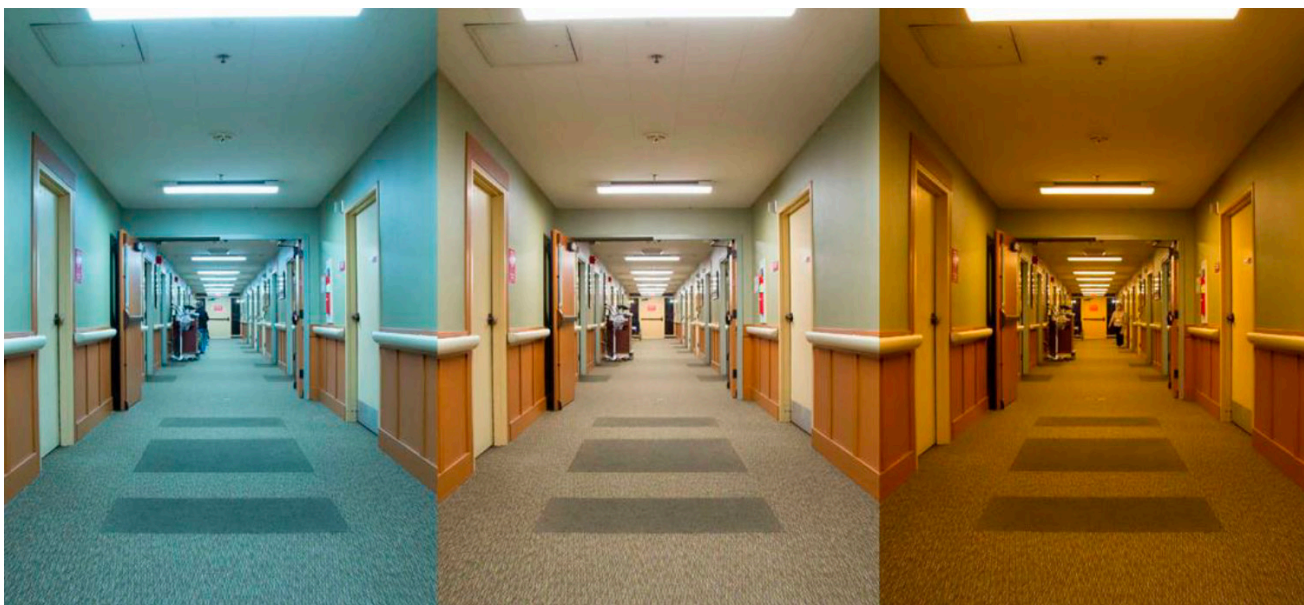


Farvetemperaturen styres ved, at et lysarmatur indeholder en kombination af to eller flere forskellige typer LED-lyskilder, som styres individuelt.

Ved dynamisk belysning skal styringen kunne sørge for lyskilderne yder forskellige lysstyrker i forhold til forskellige tidspunkter på døgnet eller forskellige lysstyrker i forskellige områder af en bygning/arbejds miljø.

Dynamisk døgnrytmebelysning skal simulere variationer af dagslyset over døgnet, så belysningens farvetemperatur og lysstyrke styres efter dette. Døgnrytmebelysning bruges oftest i sundhedsvæsenet og benytter sig primært af forprogrammerede lysscenarier, der styres automatisk. Den manuelle overstyring eller overstyring styres af personalet og typisk ikke af patienterne/beboerne.

Ved brug af døgnrytmebelysning er det vigtigt at være opmærksom på, at ved scenarier, hvor f.eks. de blå bølgelængder er stærkt reduceres eller helt udelades (f.eks. under aften og nat scenarier), vil dette påvirke lysets farve og dermed også farvegengivelsen f.eks. af hudtoner.



Figur 11. Dynamisk døgnrytmebelysning. (Kilde: <https://www.ledsmagazine.com/articles/2016/09/doe-releases-results-in-gateway-project-testing-tunable-led-lighting-for-care-facility.html>)

#### o Smart (intelligente systemer)

I smarte eller intelligente systemer er der mulighed for gennem internettet at tilslutte, integrere og kontrollere systemer af forskellige typer komponenter. Dette sker på grundlag af Internet of Things (IoT), hvor automationssystemet er placeret i skyen. Et eksempel på dette kan være en energieffektiv og samlet styring af bl.a. radiator- eller gulvvarme, ventilation og belysning. Her kan eksempelvis en tilstedeværelsessensor sende oplysninger til de forskellige systemer og eventuelt reducere rumtemperaturen og den indblæste og udsugede luftmængde, når sensoren mærker at der ikke er personer tilstede. Alarmsystemer kan også integreres i det smarte system.



- **Lysstyringsanlægget**

Lysstyringsanlæg kan være mere eller mindre avancerede eller komplekse. Meget simple anlæg er baseret på en kontakt, en forkoblingsenhed eller LED-driver samt en lyskilde mens meget store og komplekse anlæg er baseret på mange typer af sensorer, farveønsker, lysprofiler, tidsindstillinger og meget mere, der kræver specialister til at projektere og planlægge. Nedenfor beskrives de grundlæggende komponenter, som kan indgå i et lysstyringsanlæg.

## **Opbygning**

De grundlæggende komponenter i et lysstyringsanlæg er betjening, belysning og sensorer. Hvordan, disse rent teknisk er sat sammen og evt. programmeret, afhænger af hvilken lysstyringsprotokol, der er basis for systemet. Valget af lysstyringsprotokol beror på de overordnede krav, man har til lysstyringsanlægget. De mest anvendte lysstyringsprotokoller er:

- 1-10 V (analog)
- DALI (digital)
- DMX512 (digital)

For helt simple lysstyringsanlæg kan 1-10 V-styring være en mulighed at benytte, men når man ønsker at integrere sensorer, opdele lys i grupper og/eller opstille scenarier, vil en digital løsning være at foretrække. De enkelte protokoller gennemgås mere detaljeret i afsnittet "Protokoller" nedenfor.

- **Kontakter og dæmpere**

Ved manuel styring af belysningsanlæg benyttes kontakter og eventuelt dæmpere der er koblet til anlægget. Kontakterne benyttes til at tænde og slukke anlægget mens dæmpere benyttes til justere lysudsendelsen fra lyskilderne. I nogle tilfælde er kontakten og dæmperen indbygget i samme enhed.

- **Sensorer**

Et lysstyringsanlæg kan benytte forskellige typer af sensorer. Sensorerne kan opdeles i to typer. Den ene type registrerer tilstedeværelsen af personer mens den anden registrerer behovet for lys.

De mest almindeligt anvendte typer der registrerer tilstedeværelsen af personer er PIR-sensorer (passiv infrarød) og akustiske sensorer. Med den akustiske sensor behøver personen ikke at være indenfor sensorens synsfelt. Den er derfor velegnet i eksempelvis storrumskontorer med rumdelere eller parkeringskældre.

En speciel variant inden for akustiske sensorer er ultralydssensoren, der i stedet udløses på baggrund af reflekteret lyd. Den sender en højfrekvent lyd ud og analyserer den reflekterede lyd for ændringer, der indikerer persontilstedeværelse.



Figur 12. Bevægelsesmelder

Lyssensorer benyttes til at registrere behovet for lys. Lyssensoren måler lysniveauet på et givet sted og sender informationen videre til en regulator der herefter indstiller lysudsendelsen fra lyskilden. Lyssensoren kan også være bygget sammen med regulatoren til en enhed, så den nemt kan integreres i lysstyringssystemer. Lyssensorer kan enten måle på det naturlige dagslys, eksempelvis ved et vindue eller på en blanding af elektrisk og naturligt lys. Placeringen af sensoren har stor betydning, da den måler det reflekterede lys fra det område den peger på. Derfor har det stor betydning om man måler tæt på eller langt fra et vindue. Endvidere har det stor betydning om man måler det reflekterede lys fra en mørk eller lys overflade.

- **Regulatorer**

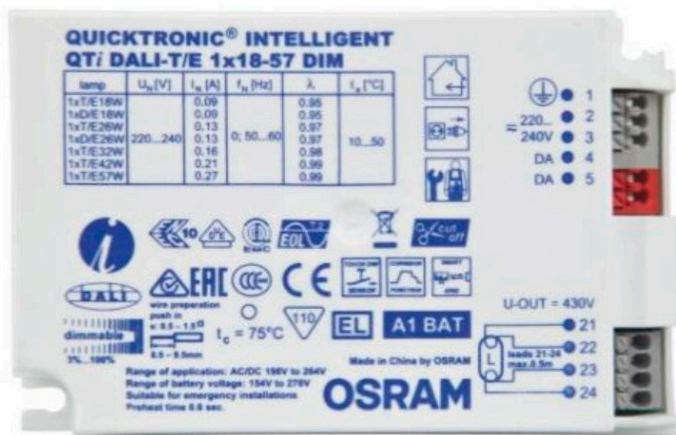
Regulatoren eller controlleren er sammen med en lyssensor en af hovedkomponenterne i et lysstyringsanlæg. Regulatorens opgave er at oversætte lyssensorens måling til et fornuftig eller ønsket lysniveau i lokalet.

Mange moderne regulatorer kan integreres i større lysstyringssystemer baseret på eksempelvis DALI-protokollen (se senere).

- **Strømforsyning**

## HF-forkobling

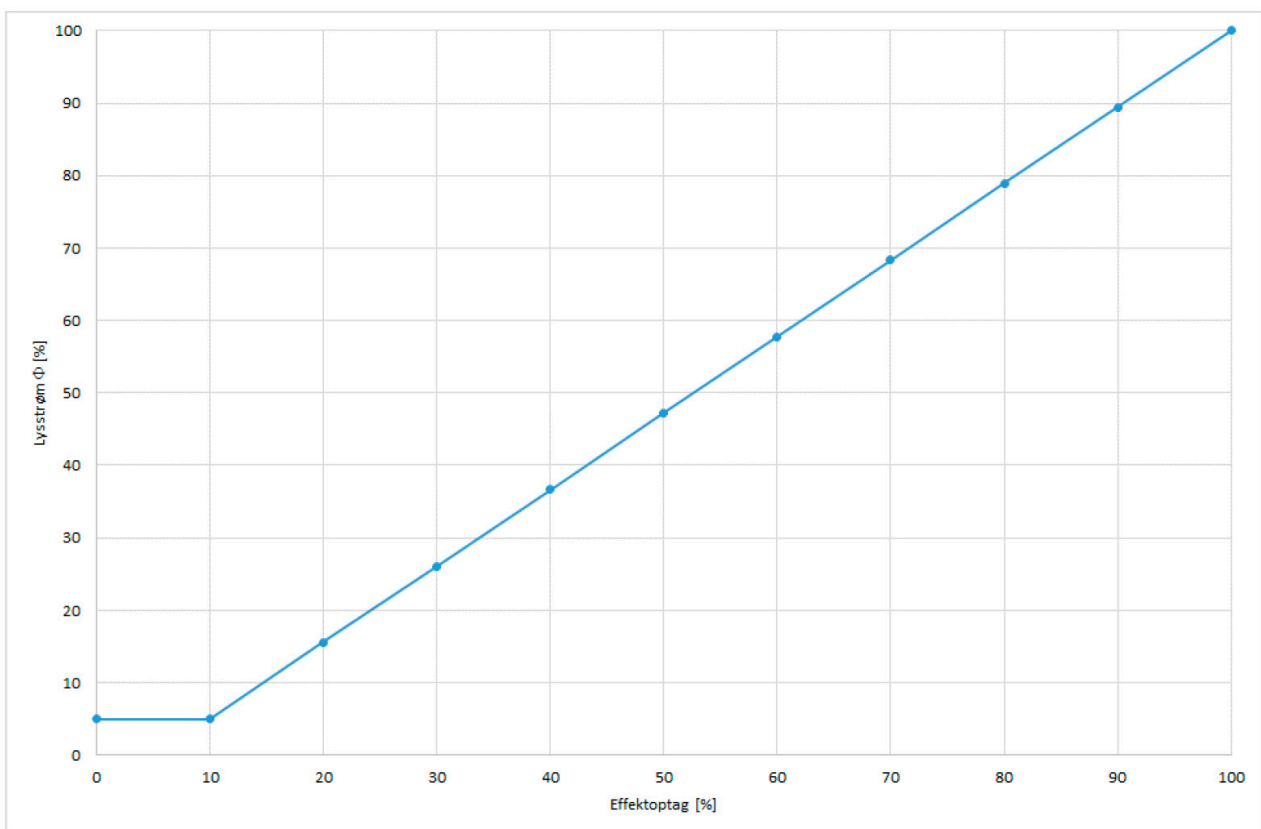
HF-forkoblingen står for at sende for at sende den korrekte energi til lysstofrøret ved en frekvens på 25 – 50 kHz.



Figur 13. Eksempel på HF-forkobling (Kilde: <https://www.osram.com>)

Dæmpning med HF-forkoblingen sker ved at regulere på den frekvens, som lysstofrøret får tilført.

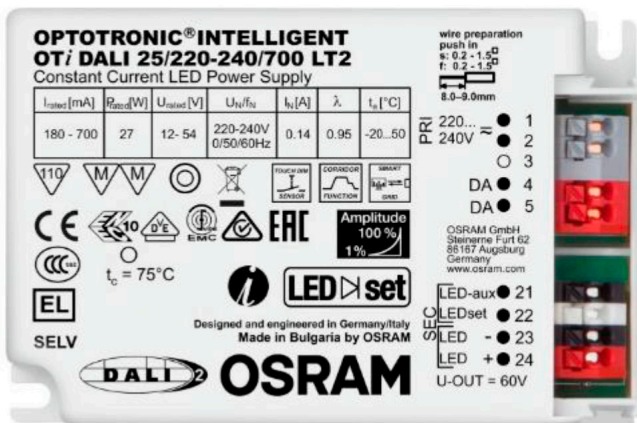
I figur 14 ses lysstrømmen som funktion af effektoptaget for et T5-lystofrør der drives af en HF-forkobling.



Figur 14. Lysstrøm som funktion af effektoptag

## LED-driver

Som tidligere nævnt står LED-driveren for at sende den korrekte energi til LED-lyskilden, så der opnås den ønskede lysudsendelse.



Figur 15. Eksempel på LED-driver (Kilde: <https://www.osram.com>)

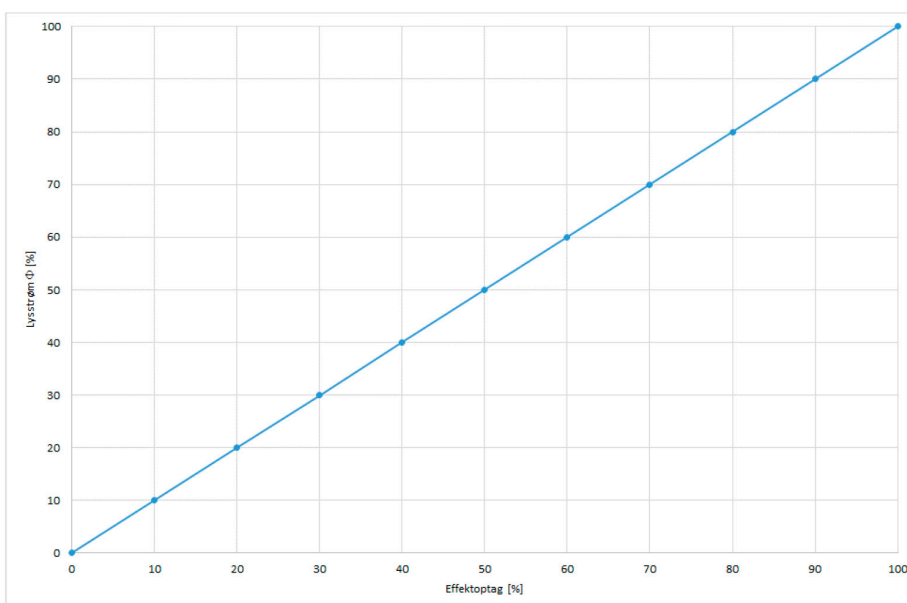
LED drivere kan udføre dæmpning af LED-strømmen, så en lavere strøm sendes til LED-lyskilden og dermed opnås en svagere belysningsstyrke. I disse tilfælde skal LED-driveren også forsynes med et dæmpningsniveau. Selve dæmpningen opnås sædvanligvis enten ved:

- LED-driveren reducerer strømmen til LED'erne (typisk kaldet konstantstrøm-dæmpning 'Constant Current Dimming')
- LED-driveren tænder og slukker for strømmen til LED'erne mange gange i sekundet, så den opfattede mængde lys vil se 'dæmpet' ud (typisk kaldet puls-bredde-dæmpning, 'Pulse-Width-Modulation' eller 'PWM-dimming')

Endelig kan LED-driveren også dæmpes via en kombination/hybrid af de to metoder.

Styringsformen har stor betydning for elforbruget til både det eksisterende og det nye belysningsanlæg.

I figur 16 ses lysstrømmen som funktion af effektoptaget for et LED lysstofrør der drives af en driver.



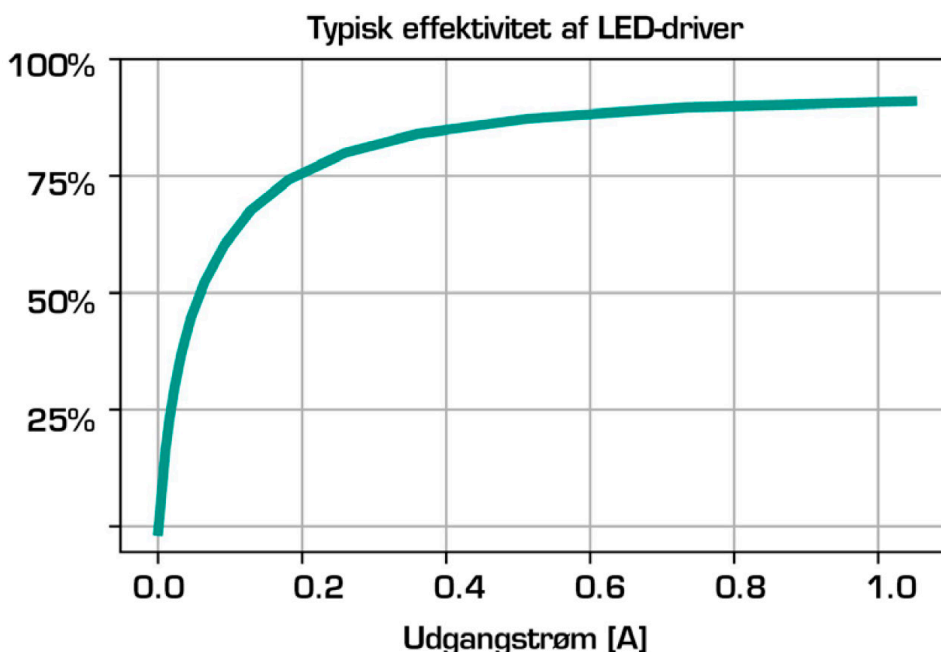
Figur 16. Lysstrøm som funktion af effektoptag

## LED-drivere og effektivitet

LED-driverens energieffektivitet findes ved at måle effekten, der kommer ind og ud af LED-driveren og herefter dividere udgangseffekten med indgangseffekten. Effektiviteten er derfor forholdet mellem ud- og indgangseffekt udtrykt i procent. Da LED-driveren kan fungere ved mange dæmpningsniveauer, giver det mening at måle effektiviteten for flere dæmpningsniveauer for at få et helhedsbillede af LED-driverens effektivitet.

Bemærk at mange LED-driverfabrikanter opgiver et enkelt tal for LED-driverens effektivitet – typisk ved dens maksimale effekt. Som det ses af figuren, kan et enkelt tal ikke fuldt ud repræsentere effektiviteten, da den er afhængig af dæmpningsgraden. Det anbefales derfor at vælge LED-drivere, hvor fabrikanterne opgiver disse data, især hvis der er specifikke krav til energiforbruget til belysningen.

Ved puls-bredde-dæmpning skal der kun benyttes en effektivitet. Det vil typisk være effektiviteten ved maksimal udgangsstrøm, med mindre LED-driveren er meget overdimensioneret.



Figur 17. Typisk effektivitet af LED-driver

### o Protokoller

For forkoblingsenheder eller LED-drivere, der kan dæmpe lyset, skal den ønskede lysstyrke som regel kommunikeres til forkoblingsenheden eller LED-driveren. Der findes forskellige metoder, der bliver anvendt til at opnå dette.

#### 1-10 V

1-10 V-dæmpning er en af de mest simple måder at dæmpe lyset på. Den går ud på, at der på forkoblingsenhedens eller LED-driverens 1-10 V indgang sætter en spænding mellem 1 og 10 V, som så anvendes som reference til at sætte lysstyrken i forhold til maksimalstrømmen.

1 V giver således 0 % lysstrøm (eller forkoblingsenhedens eller LED-driverens minimale lysstrøm) og 10 V giver 100 % lysstrøm.

#### DALI og DALI-2

DALI er en forkortelse for Digital Addressable Lighting Interface. Bag DALI står Digital Illumination Interface Alliance (DiiA), som er et åbent globalt konsortium af belysningsvirksomheder.

Hovedformålet er at øge markedet for belysningsstyringsløsninger baseret på IEC 62386,

den internationale standard for standardiseret digital protokol til lysstyring (DALI). DiiA står for certificeringer og giver retten for et produkt at bære DALI-certificeringslogoet.

Med DALI er det muligt at foretage digital styring af individuelle forkoblingsenheder eller LED-drivere i større belysningsystemer. Der er store fordele ved det, såsom muligheden for opdeling af belysningsanlægget i grupper og muligheden for ændringer af lysprofiler efter opsætning af belysningsanlægget. Det er således kun nødvendigt at omprogrammere indstillingerne, hvis lokalets udformning ændres, eller hvis det skal bruges på en anden måde.

For større individuelt styrede belysningsanlæg er DALI at foretrække frem for 1-10 V, da mængden og kompleksiteten af kabler til styring nedsættes. DALI er således baseret på et enkelt kabel, gennem hvilket der føres et dobbeltrettet digitalt signal mellem samtlige enheder i systemet.

Med DALI er der mulighed for dobbeltrettet kommunikation via styrelederne. Status- og eventuel fejlindikering fra komponenterne i systemet kan indhentes til eventuelt tilsluttet software.

En såkaldt 'DALI bus' kan håndtere op til 64 enheder som eksempelvis kan være forkoblingsenheder eller LED-drivere, trykknapper og sensorer. Disse kobles ofte sammen med en 'DALI router', der står for at kommunikere på tværs af busserne og til at kommunikere med DALI-software på en PC. Hele styringssystemet er således forbundet i et Ethernetnetværk.

DALI kan også integreres med et BMS-system (eksempelvis KNX).

DALI 2 er en udvidelse af DALI-standarden og tager udgangspunkt i den oprindelige standard, Grunden til udvidelsen er, at der længe har været et stigende ønske og krav til en del forbedringer af standarden, bl.a. en fælles standard på input-siden, PIR-sensorer, dagslyssensorer, trykknapper m.m. Med den oprindelige Dali standard har det kun været muligt at benytte fælles output, forkoblinger, LED drivere, lysdæmpere, relæmoduler m.m.

## **DMX-512**

DMX-512-standarden er en anden digital styringsmetode, der oprindeligt er udviklet til teater- og koncertbelysning samt sceneteknik. I de senere år har styringsmetoden vundet indpas i arkitektonisk belysning og andre steder med høje krav til hurtig og præcis styring. Hver enhed i DMX systemet har sin egen adresse og kan derved styres individuelt (tænde, slukke, dæmpe og farveskift). DMX systemet kan håndtere 512 enheder (adresser) pr. streng i modsætning til 64 i DALI systemet. DMX-512 er meget centraliseret, idet der kræves en kontrolstation, der samler styringen. Som udgangspunkt kan DMX-512-udstyr ikke kommunikere tilbage fra lysudstyret til kontrolstationen, men systemet kan udvides med RDM (Remote Device Management), der kan tilføje denne funktionalitet.

DALI eller DMX512?

De to mest fremherskende standarder for digital lysstyring er DALI og DMX512. Deres forskelligheder kan kort opsummeres til:

DALI-systemer ses typisk som protokol til områder såsom kontorbygninger, fabrikker og klasselokaler, hvor DMX-512-styringer typisk ses til applikationer, hvor hurtig og præcis lysstyring er nødvendig, f.eks. koncerter, tv-produktioner, teater og arkitektonisk belysning.



### ○ Brugerflade

Brugerfladen er den del af lysstyringssystemet, hvor brugerne har mulighed for at styre belysningsanlægget.

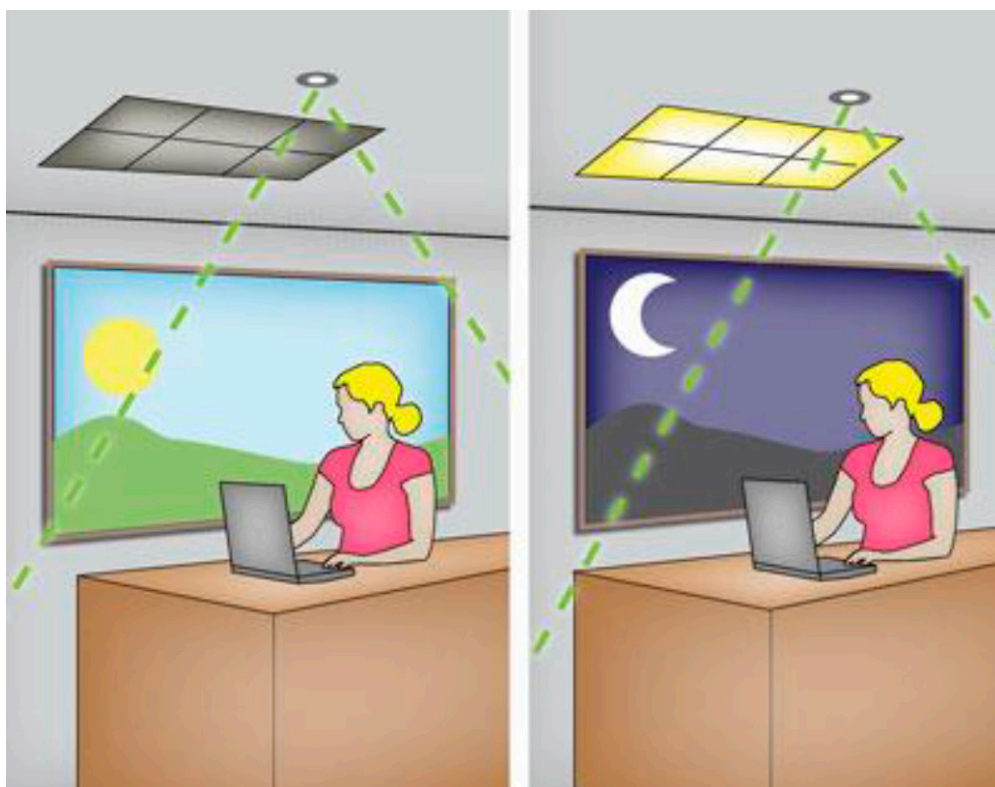
Der er to brugere af brugerfladen. Den ene bruger et belysningsteknikeren der skal indstille og programmere de ønskede indstillinger af belysningsanlægget mens den anden er personen eller de personer der skal styre lyset til daglig.

Brugerfladen kan være alt fra simple tænd/sluk knapper der udelukkende kan tænde og slukke belysningsanlægget til avancerede applikationer på tablets eller mobiltelefoner, hvor der kan vælges mellem forskellige forprogrammerede belysnings-scenarier eller hvor brugeren selv kan indstillet sit ønskede scenarie (lysfarve, farvetemperatur, belysningsstyrke, driftstid m.m.).

Brugerfladen har stor betydning for hvorledes lysstyringen anvendes. Det er vigtigt at brugerfladen er overskuelig og ukompliceret at anvende da brugerne ellers ikke vil anvende lysstyringen og indstillingen altid være den samme.

### **Energibesparelse ved etablering af dagslysstyring**

Belysningsanlægget kan være forsynet med automatisk dagslysstyring. Hvis der er installeret automatisk dagslysstyring, skal det undersøges om dagslysstyringen er enten on/off eller kontinuerlig (lysdæmpning).

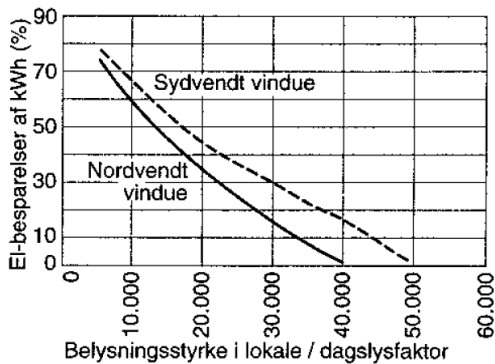


Figur 18. Dagslysstyring. (Kilde: <https://www.flex7.co.uk/lighting-controls/daylight-dependency/>)

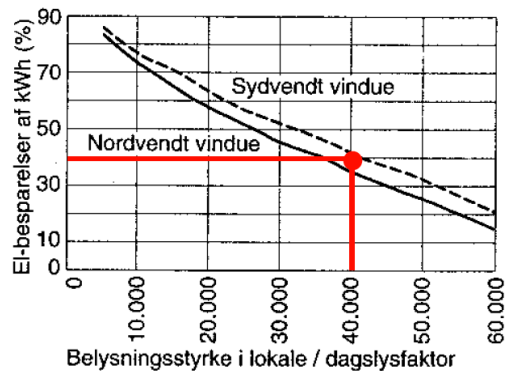
Den simpleste regulering er en automatisk tænd/sluk funktion af belysningen ved hjælp af en lyssensor. Lyssensoren sørger for at belysningsanlægget ikke tændes, hvis dagslysniveauet er tilstrækkeligt højt, hvilket medfører energibesparelser.

Ved kontinuerlig regulering sker der regulering af belysningen efter dagslysniveauet. Når dagslysniveauet stiger vil reguleringen søge at fastholde en ønsket belysningsstyrke i lokalet ved at dæmpe den kunstige belysning.



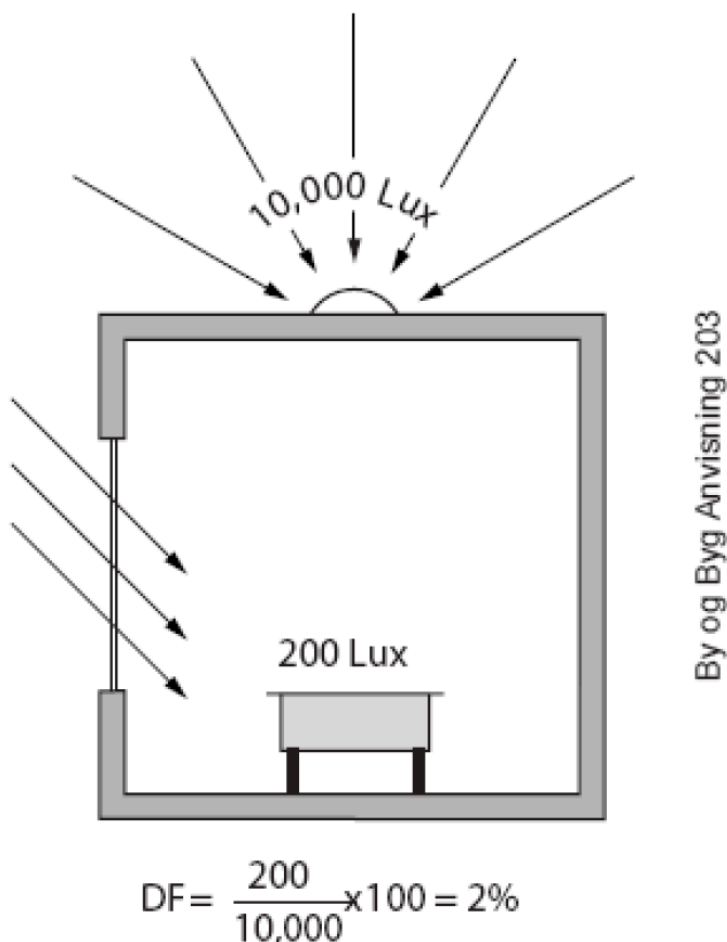


Figur 19. Elbesparelser ved on/off regulering af belysningen (Kild: BPS-publikation 132. Februar 2000.)



Figur 20. Elbesparelser ved kontinuert regulering af belysningen (Kilde: BPS-publikation 132. Fe-bruar 2000.)

For at beregne elbesparelsen ved anvendelse af en af de to reguleringsformer kan ovenstående figurer anvendes. Forholdet mellem kravet til middelbelysningsstyrken og dagslysfaktoren skal kendes. Dagslysfaktoren er et mål for, hvor meget dagslys, der er indendørs i forhold til udendørs under fri himmel og uden sol. Dagsfaktoren beregnes som vist med nedenstående figur.



Figur 21. Måling og beregning af dagslysfaktor (Kilde: By og Byg Anvisning 203. Beregning af dagslys i bygninger)

Endvidere skal der foretages beregninger i forhold til enten sydvendte eller nordvendte vinduer. Elbesparelsen i procent i forhold til et belysningsanlæg uden dagslysstyring findes på y-aksen.

Energiforbruget til det nye anlæg kan først beregnes, når der er foretaget en belysningsberegning. Ved en belysningsberegning bliver der estimeret et antal armaturer med tilhørende lyskilder. I programmet angives typisk en samlet optagen effekt for belysningsanlægget inklusiv forkoblingsenhed eller driver (for LED-lyskilder).

Ud fra en valgt styringsform kan energiforbruget beregnes på tilsvarende måde, som for det eksisterende belysningsanlæg.

## Eksempel 2

En kontorbygning med nord- og sydvendte vinduer har installeret et ældre belysningsanlæg i kontorlokalerne. Anlægget består af 30 stk. armaturer med 4 x 18 W T8-lysstofrør. Armaturerne er uden reflektorer og med gitre (som "stjæler" en stor del af lyset). Effektoptaget for de 30 stk. armaturer er ca. 3,3 kW. Anlægget er uden dagslysstyring.

Anlægget udskiftes til et belysningsanlæg som består af 30 stk. armaturer med indbyggede LED-moduler. Effektoptaget for de 30 stk. armaturer er ca. 0,8 kW. Anlægget er med kontinuerlig regulering, dvs. regulering af belysningen efter dagslysniveauet. Kravet til middelbelysningsstyrke er 300 lux og dagslysfaktoren er beregnet til 0,75 % (0,0075). Forholdet mellem disse to størrelser er således 40.000.

Driftstiden er fra kl. 6.00 – 18.00 i fem dage pr. uge.

Elforbrug til det eksisterende belysningsanlæg kan beregnes til 8.900 kWh mens elforbruget til det nye belysningsanlæg kan beregnes til 2.200 kWh.

Elbesparelsen ved dagslysstyring er ca. 40 % jf. figur 7, hvilket svarer til 900 kWh.

Den samlede elbesparelse er derfor 7.600 kWh.

## Dimensionering af belysningsanlæg

Belysningsanlæg skal dimensioneres, så de lever op til kravene i Bygningsreglementet (BR18). Kravene beskrives nedenfor.

Arbejdsrum mv. og fælles adgangsveje skal:

1. have elektrisk belysning i fornødent omfang. Arbejdspladsbelysning skal udføres i overensstemmelse med DS/EN 12464-1 Lys og belysning – Belysning ved arbejdspladser – Del 1: Indendørs arbejdspladser sammen med DS/EN 12464-1 DK NA.
2. forsynes med energieffektiv belysning, hvilket bl.a. indebærer anvendelse af lyskilder med en virkningsgrad for almenbelysningen på over 50 lm/W. For effektbelysning og arbejdslamper er effektiv belysning på over 15 lm/W
3. forsynes med automatisk dagslysstyring, hvis der er betydeligt dagslysindfald
4. hvor der kun er lejlighedsvis benyttelse, forsynes belysningen med bevægelsesmeldere. Bestemmelsen gælder også baderum og toiletter i tilknytning til arbejdsrum mv. Anvendelse af bevægelsesmeldere kan udelades, hvor slukning af lyset kan give risiko for ulykker, eller hvor lyskilderne ikke er egnede hertil
5. udføres med belysningsanlæg opdelt i zoner med mulighed for benyttelse efter dagslysforhold og aktiviteter. I mindre arbejdsrum, eks. enkeltmandskontorer, kan kravet fraviges

I nedenstående tabel ses krav til belysningsstyrke og regelmæssighed ved udvalgte arbejdspladser, jf. DS/EN 12464-1 og DS/EN 12464-1 DK NA.

Sted	Middelbelysningsstyrke på arbejdsplanet, $E_{mid}$ [lux]	Regelmæssighed, $U_0$
Gange og trapper	100	0,40
Kontorarbejde		
• Opgaveområde (på synsobjektet)	500	0,60
• I nærområdet (over ½ m fra synsobjektet)	300	0,40
Børnehaver og vuggestuer	300	0,40 0,60 (koncentrationsleg)
Undervisningslokaler	300	0,60
Detailhandel		
• Salgsareal	300	0,40
• Kasseområde	500	0,60
• Pakkebord	500	0,60

Tabel 3. Krav til belysningsstyrke og regelmæssighed ved forskellige anvendelser

Som det ses kræves der ved kontorarbejde 500 lux på synsobjektet, mens der kræves 300 lux ½ m fra dette. Den generelle belysningsstyrke eller almenbelysningsstyrken skal således være 300 lux. Det er typisk kontorets loftmonterede belysningsanlæg, der skal tilvejebringe denne belysningsstyrke.

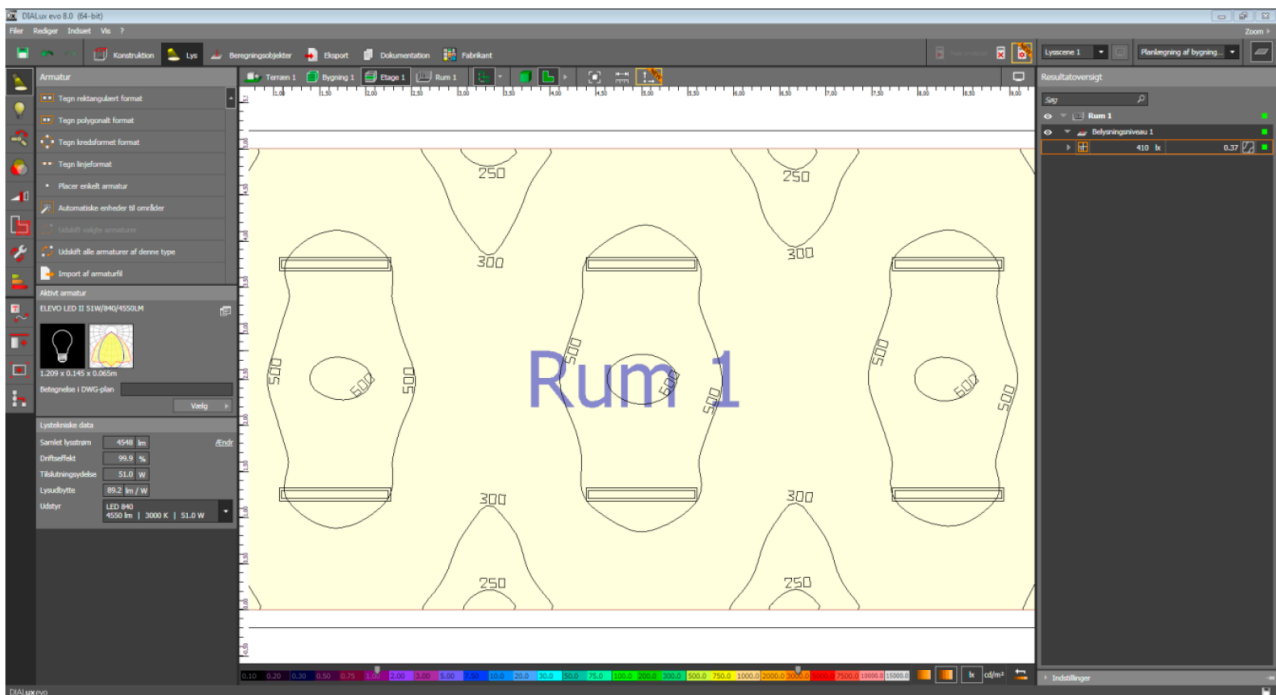
De 500 lux på synsobjektet kan tilvejebringes med effektbelysning eller arbejdspladsbelysning installeret ved arbejdspladsen.

I detailhandlen kræves der en almenbelysningsstyrke på 300 lux, mens der kræves 500 lux i kasseområdet. Når noget skal fremhæves ekstra meget er effektbelysningen typisk mellem 5 og 10 gange almenbelysningens styrke. Her anvendes typisk spotlamper (se figur 16), der sender lys direkte mod objektet.

Ved dimensionering af et belysningsanlæg, bør der benyttes et program til belysningsberegning.

Et eksempel på dette er DIALux, som er et gratis lysberegningssystem, udviklet af det tyske firma DIAL GmbH. Det bruges primært af lysdesignere, rådgivere, arkitekter, belysningsteknikere og elektrikere. Det kan anvendes til at beregne indendørs og udendørs belysning.

Indendørs giver det mulighed for at beregne belysningsniveauet i et givet lokale, og derved om det opfylder kravene i DS/EN 12464-1.



Figur 22. Lysberegning med DIALux

Som det ses i nedenstående tabel 4 kan de typisk anvendte lyskilder i belysningsanlæg til kontorer, skoler, daginstitutioner m.m. leve op til kravene i Bygningsreglementet.

T5-lysstofrør og LED lyskilder (lysrør eller integreret i armatur) er de mest effektive (har de største lysudbytter) og bør som udgangspunkt vælges.

Lyskilder	Lysudbytte [Lm/W]	Farvetemperatur [K]	Ra-index
T8-lysstofrør	65 - 90	3.000	> 80
T5-lysstofrør	75 - 100	3.000	> 80
Kompaktlysstofrør (4-pin)	60 - 75	3.000	> 80
LED lyskilder (lysrør eller integreret i armatur)	90 - 120	3.000	> 80

Tabel 4. Typisk anvendte lyskilder i belysningsanlæg



Figur 23. Ældre armatur med T8-lysstofrør (Kilde: <https://www.ledproff.dk/produkter/8081-led-armatur/5886-4x18w-interioerarmatur-elektronisk-bal-last/>)



Figur 24. Nyt armatur med LED lyskilder (Kilde: <http://www.lighting.philips.dk/prof/indendørs-armaturer/indbyggede-armaturer/powerbalance-gen2/>)



Figur 25. LED lysstofrør (Kilde: <http://leapfroglighting.com/do-retrofit-t8-linear-led-tubes-live-up-to-their-reputation/>)



Figur 26. LED spots (Kilde: <https://www.dlt.dk/led-belysning-til-butik/>)

Når armaturer og lyskilder er valgt, skal der vælges en egnet lysstyring.

Som minimum skal der vælges en lysstyring til automatisk tænd/sluk af belysningsanlægget. Denne lysstyring kræver at der installeres bevægelsesmeldere på kontorerne.

Hvis der er tilstrækkeligt dagslysindfald skal der vælges en automatisk dagslysstyring. Dagslysfaktoren kan anvendes til at vurdere om der er tilstrækkeligt dagslysindfald.

Dagslysindfaldet anses for at være tilstrækkeligt, hvis det ved en beregning kan eftervises, at der er en dagslysfaktor på 2 procent i halvdelen af rummet (længst væk fra vinduerne).

Dagslysstyringen kan enten være on/off eller kontinuerlig.

Anlægget bør samtidig zoneopdeles således at lysudsendelsen fra lyskilderne dæmpes mest i zoner med meget dagslys og mindre i zoner med mindre dagslys.

## Kort fortalt om lysdioder

En lysdiode er en elektronisk halvlederchip, der udsender lys, når der sendes strøm igennem den

Lysdioder udsender et meget koncentreret eller fokuseret lys

LED-pærer består af flere små lysdioder

En enkelt lysdiodechip er typisk på ca. 0,5 · 0,5 mm

En enkelt lysdiodechip har typisk en effekt på 1 - 2 Watt

En lysdiode er en ekstrem punktformet lyskilde

Spændingen over en lysdiode er ofte kun 1 - 2 – 3 Volt

I Danmark markedsføres pt. op mod 150 forskellige fabrikater/typer LED-pærer

På verdensplan er der mere 4000 producenter af LED-lyskilder – heraf mere end 95 % i Asien

## Montage

### Eksisterende installation

Det eksisterende belysningsanlæg nedtages. Nedtagningen skal foretages af en autoriseret elinstallatør.

### Ny installation

Det nye belysningsanlæg opsættes og idriftsættes af en autoriseret elinstallatør.

Hele belysningsanlægget skal udføres, så det lever op til gældende regler i forskrifter som er relevante for belysningsanlæg, herunder Bygningsreglementet (BR18), DS/EN 12464-1 Lys og belysning – Belysning ved arbejdspladser – Del 1: Indendørs arbejdspladser sammen med DS/EN 12464-1 DK NA.

Bemærk endvidere, at anlægget skal overholde Arbejdstilsynets krav til kunstig belysning på faste arbejdssteder jf. At-vejledning A.1.5-1. Belysningsanlægget skal endvidere overholde Arbejdstilsynets krav til indeklima jf. At-vejledning A.1.2 "Vejledning om de hyppigste årsager til indeklimagener samt mulige løsninger".

Anlægget skal endvidere opfylde EMC-direktivets emissions- og immunitetskrav. Dette EU-direktiv henviser til de europæiske produktnormer EN-55015 (elektromagnetisk forstyrrelse fra et lysarmatur) og EN-61547 (et belysningsarmaturs immunitet over for elektromagnetisk forstyrrelse udefra).

Installatøren skal følge fabrikantens installations- og monteringsanvisninger.

Installatøren skal endvidere støtte sig til de råd og anvisninger, som findes i gældende lovgivning på området.

Belysningsanlæggets bruger skal have overleveret en fyldestgørende dokumentation inklusiv installationstegninger. Dokumentationen skal blandt andet indeholde information om valgte armaturer og lyskilder samt placering af disse. Endvidere skal den indeholde information om de valgte styrings- og reguleringskomponenter. Endelig skal den indeholde lysberegninger der viser, at anlægget lever op til kravene.

## Funktionsafprøvning

I henhold til Bygningsreglementet kap 18 § 384 skal der gennemføres en funktionsafprøvning af belysningsanlæg før ibrugtagning.

Funktionsafprøvningen skal påvise om belysningsanlægget overholder Bygningsreglementets krav til belysningsstyrke samt at dagslysstyring, bevægelsesmeldere og zoneopdeling fungerer efter hensigten.

Belysningsanlæg skal passes og vedligeholdes for at fungere korrekt. Dette gælder også den tilhørende automatik, der styrer og regulerer belysningen.

Det ses dog ofte, at disse belysningsanlæg ikke drives og vedligeholdes efter forskrifterne fra leverandøren eller installatøren, hvilket ofte medfører ringe belysningskomfort for bygningens brugere og højere energiforbrug end nødvendigt.

Det er ikke ualmindeligt, at lyskildernes lysnedgang over tid, samt tilsmudsning af lyskilder og armaturer kan reducere lysafgivelse med 20 %. Det er derfor vigtigt, at armaturer og lyskilder rengøres regelmæssigt.

Belysningsanlægget bør mindst rengøres, når belysningsniveauet er reduceret til kravet til belysningsstyrken i DS/EN 12464-1.

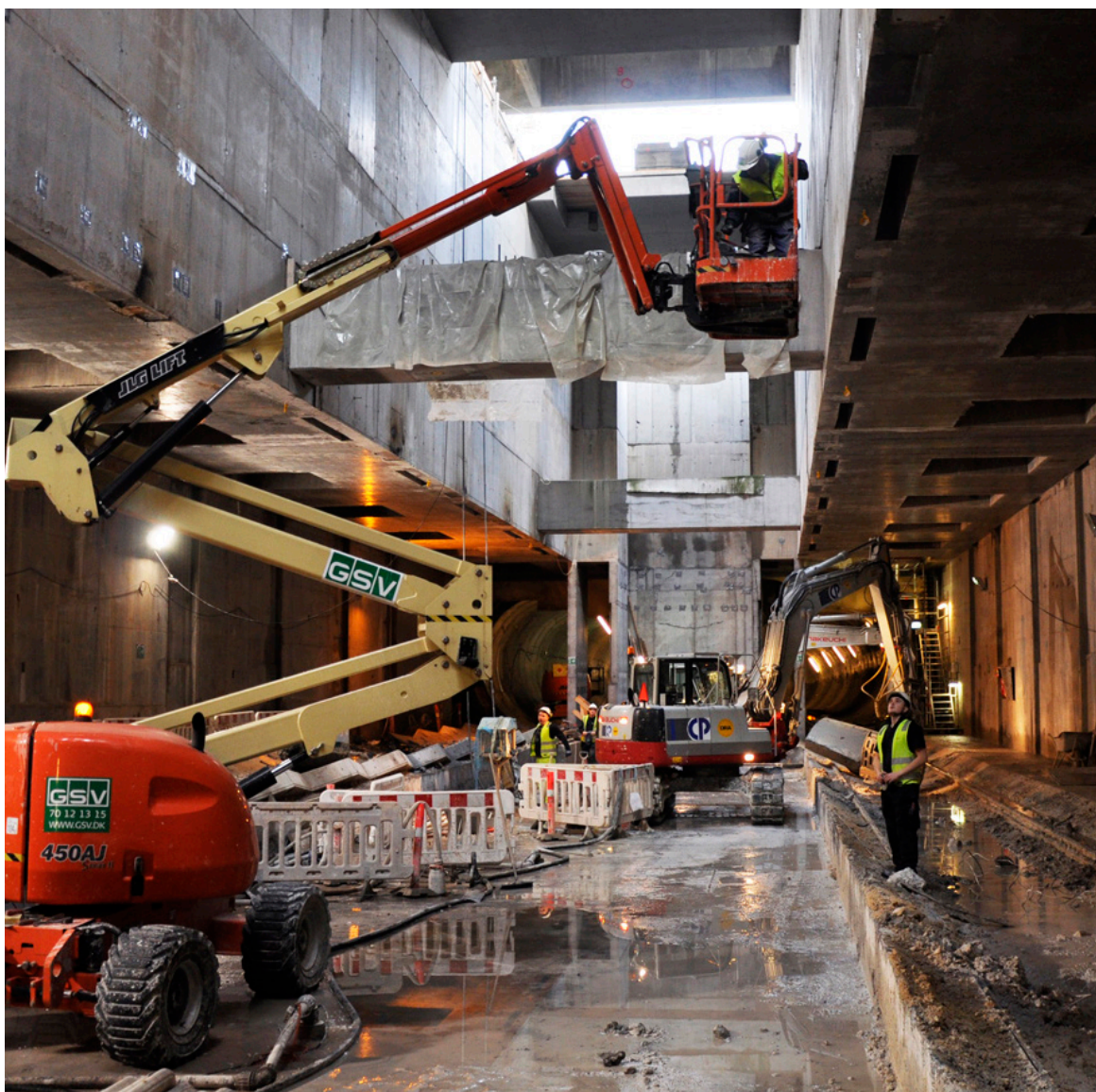
Vedligeholdes belysningsanlægget ikke, er det nødvendigt at overdimensionere dette, dersom et givet lysniveau skal holdes. Dette kan medføre øget energiforbrug.

Det er endvidere vigtigt vinduer rengøres regelmæssigt, da beskidte vinduer reducerer dagslysindfaldet – og dermed effektiviteten af dagslysstyring.

Endelig er det vigtigt, at automatikken løbende bliver tjekket, dvs. om styringerne fungerer i praksis. Dette kan f.eks. undersøges ved en gå en runde i bygningen om aftenen eller natten.



# ENERGIHÅNDBOGEN 2019



## BYGNINGSAUTOMATIK



**BLIK&RØR**  
ARBEJDERFORBUNDET

**TEKNIQ** ARBEJDSGIVERNE  
Industri & Installation

**DANSK EL-FORBUND** 

*Energihåndbogen er udgivet med støtte fra Grundejernes Investeringsfond*

**GI** GRUNDEJERNES  
INVESTERINGSFOND

# BYGNINGSAUTOMATIK

## Indhold

<b>Bygningsautomatik</b>	<b>234</b>
BMS	234
CTS	236
IBI	238
<b>Regulering</b>	<b>239</b>
Varmeautomatik	239
Ventilationsautomatik	241
Belysningsautomatik	244
<b>Energibesparelse</b>	<b>249</b>
Varmeanlæg	249
Ventilationsanlæg	250
Belysningsanlæg	253
<b>Udførelse</b>	<b>255</b>
Projektering af bygningsautomatik	255
Varmeautomatik	258
Ventilationsautomatik	260
Belysningsautomatik	261
Montage	268
Idriftsætning	268
Funktionsafprøvning	269
CE-mærkning	269
Eftersyn	269

## Bygningsautomatik

Optimal komfort med det lavest mulige energiforbrug.

Det er, hvad korrekt anvendelse af bygningsautomatik og styresystemer skal kunne sikre.

I dette afsnit beskrives, hvordan man styrer og regulerer bygningers varme-, køle- og ventilationsanlæg, anlæg til varmt brugsvand samt belysningsanlæg, så bygningens brugere oplever bedre indeklima, og energiforbruget bliver mindre.

Der er i dag et stort udvalg af produkter på markedet, som kan dække individuelle ønsker og behov for et optimalt indeklima. Man kan opdele automatik i fire hovedgrupper:

- Varmeautomatik til styring af fx varmforsyningen til radiator- og gulvvarmekredse samt brugs-vand
- Ventilationsautomatik til styring af mekaniske ventilationsanlæg
- Individuel rumstyring til styring af fx radiatorer, kølelofter, VAV (variable air volume) anlæg, indblæsningsarmaturer og fan coils m.m. i sekvens (dvs. en styring, som sikrer, at der ikke foregår opvarmning og køling samtidig)
- Belysningsautomatik til styring af almen belysningsanlæg

Ligesom alle andre tekniske anlæg skal bygningsautomatik og styresystemer justeres og vedligeholdes for at fungere korrekt. Når denne type anlæg ikke kontrolleres og vedligeholdes efter forskrifterne fra automatikleverandøren, medfører det ofte ringe komfort for bygningens brugere og et væsentligt højere energiforbrug end nødvendigt.

Typiske symptomer på manglende, forkert indstillet eller defekt bygningsautomatik og styresystem er:

- Kulde og træk
- For varmt, evt. overophedning
- Dårlig luft, evt. fugt og lugt
- Samtidig opvarmning og køling af lokaler
- For høj fremløbstemperatur til radiator- eller gulvvarmesystem
- For høj indblæsningstemperatur
- Højt varme-, el- og vandforbrug
- Lav belysningsstyrke
- Blænding fra dagslys

Der findes en række overordnede og velkendte systemer til bygningsstyring. De meste udbredte er BMS, CTS og IBI.

## BMS

BMS står for Building Management System og er en betegnelse for det samlede CTS- og IBI-anlæg. Et BMS-system giver mulighed for at overvåge en bygning energiforbrug, temperatur m.v. via en PC, tablet eller smartphone. Systemet kan anvendes som et samlet betjenings- og overvågningssystem for alle installationer i bygningen.

Et BMS-system samler input fra alle tekniske installationer i bygningen og kan også omfatte perifere systemer som fx sikringsanlæg (adgangskontrol, alarm, og brand). BMS-systemet forbinder til de forskellige undersystemer via forskellige forbindelses teknologier alt afhængigt af hvilke teknologier der er relevante i det enkelte undersystem. Et BMS-system kan derfor favne Undersystemer af mange forskellige fabrikater og modeller.

BMS-systemer består af flere niveauer som kan variere alt efter omfang og opbygning:

## Hovedcentral

Alle input fra de tekniske anlæg samles via BMS-systemets hovedcentral. Hovedcentralen har tidligere været placeret lokalt i de enkelte bygninger, men er i højere grad flyttet ud i "skyen" i et datacenter og en hovedcentral kan således også fungere for flere bygninger. Hovedcentralens funktioner er bl.a. at kæde systemerne sammen på en samlet platform med anlægsbilleder for betjening og overvågning af de tilsluttede undersystemer, opsamling af data for længere perioder end der kan lagres i undercentralerne, backup af systemkonfiguration fra undercentraler mm.

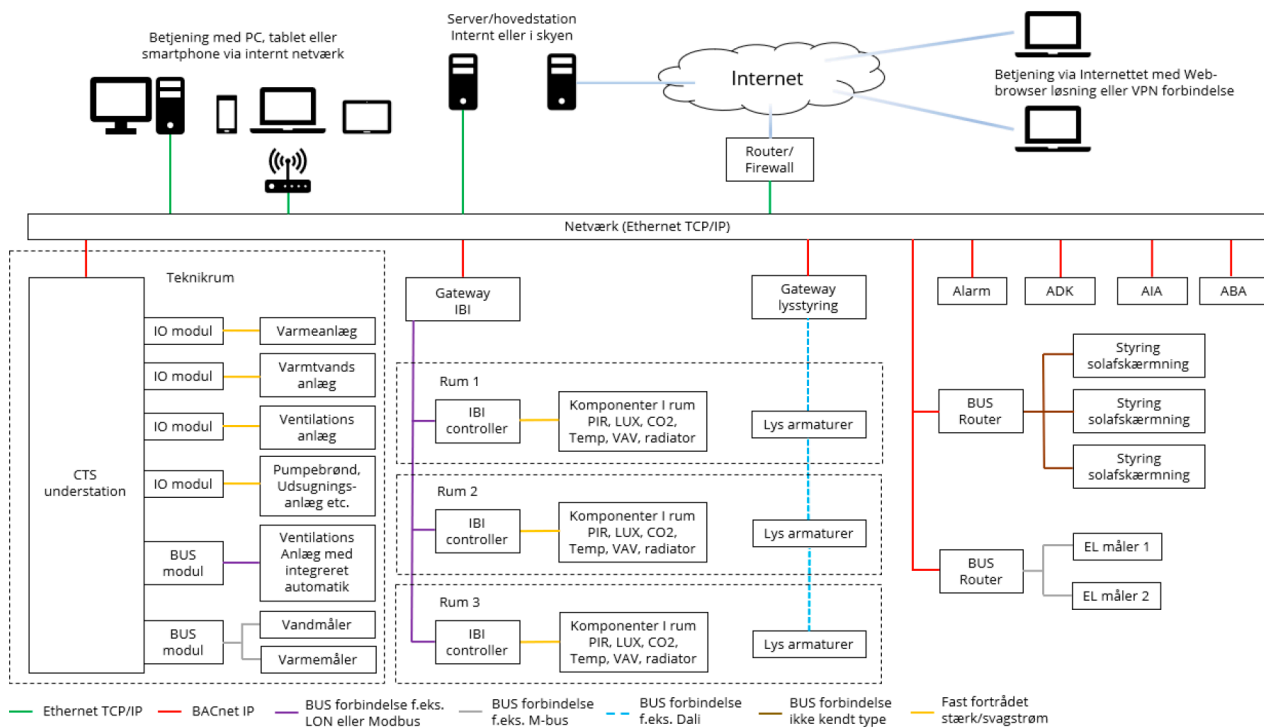
## Klientudstyr til betjening

Hvor betjeningen tidligere skete på selve hovedcentralen er det i dag mere anvendt at tilslutte fra andre klienter så som Pc'er, tablets og smartphone enten via dedikerede apps eller via et webinterface. Klienterne har således ikke nogen funktion uden at være tilsluttet til hovedstationen. På teknikerniveau er det muligt at foretage direkte opkobling med en PC til de enkelte undercentraler og foretage lokal betjening.

## Netværks infrastruktur

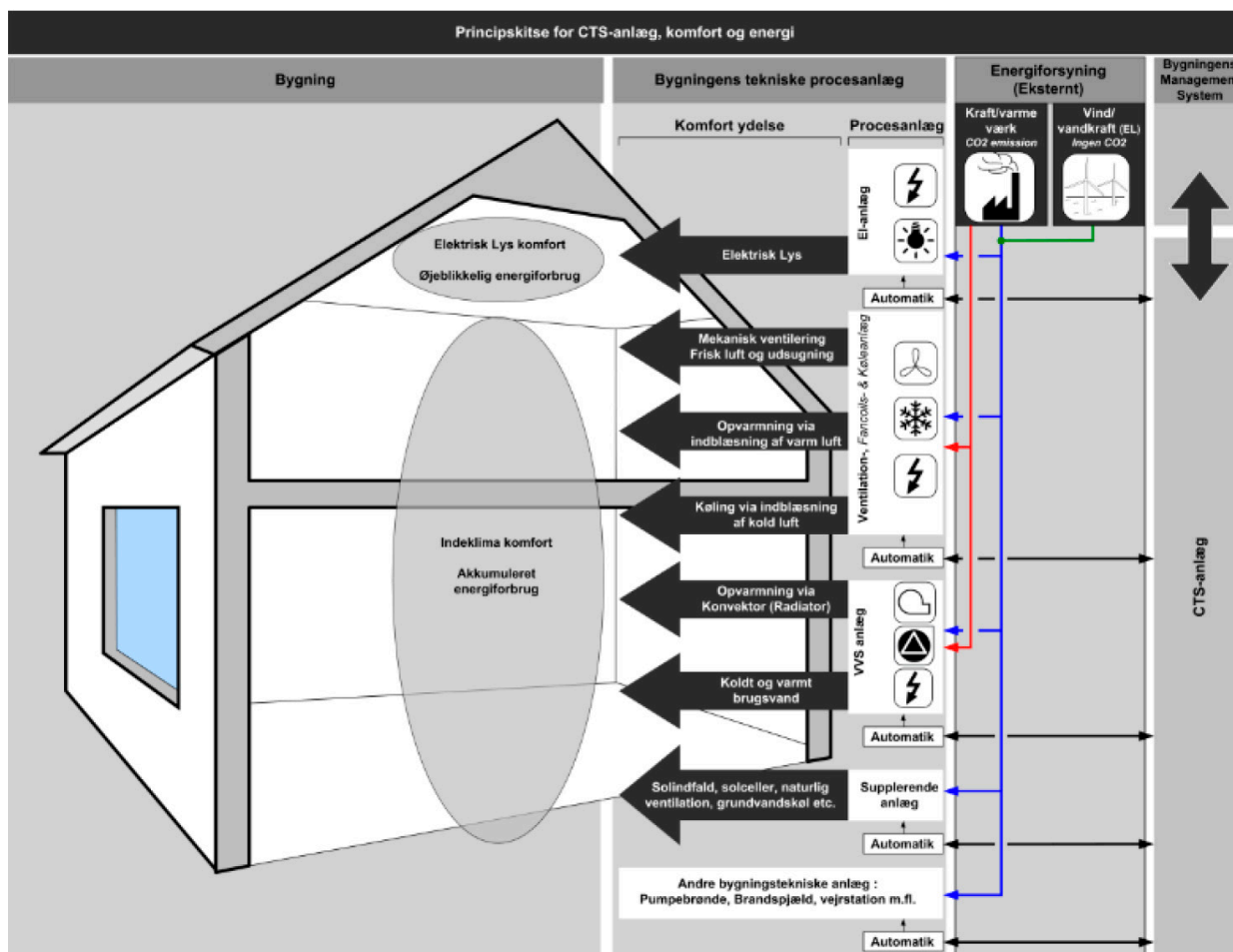
BMS-systemets netværks infrastruktur kan være opbygget på flere måder men kan på øverste niveau med fordel ske via bygningens Internetforbindelse og bygningsnetværk eller alternativt et dedikeret tekniknetværk mellem hovedcentral og undercentraler, gateways og routere.

Kommunikationen fra Undercentraler til underliggende systemer og/eller komponenter kan ske enten som fast fortrådede stærk- og svagstrømsforbindelser eller som BUS systemer alt afhængigt af de tilsluttede systemers muligheder. Fra gateways og Bus routere sker kommunikationen til de underliggende systemer via BUS forbindelser som typisk er systemspecifikke alt efter anvendelsesområde.



Figur 1. Principskitse for BMS-anlæg med forskellige forbindelses teknologier mellem delsystemer

CTS står for Central Tilstandskontrol og Styring. Det er et centralt kontrolsystem, bestående af programmerbare undercentraler der styrer og regulerer en bygnings installationer – fx vand-, varme- og ventilationsanlæg samt belysningsanlæg mens overvågning og opsamling af data sker via hovedcentralen som også kan være hovedcentral for det samlede BMS-anlæg.



Figur 2. Principskitse for CTS-anlæg

Varme- og ventilationsautomatik i et CTS-anlæg er typisk baseret på frit programmerbare digitale undercentraler. Det er muligt at få specialdesignet software til bygningsautomatikken eller at anvende undercentraler med faste applikationer, der passer til det aktuelle anlæg. Undercentralerne kan fungere som selvstændige enheder uden forbindelse til hovedcentralen med enkelte begrænsninger f.eks. tilgang til fælles vejrstation og mængden af data der kan logges lokalt i hukommelsen på den enkelte undercentral.

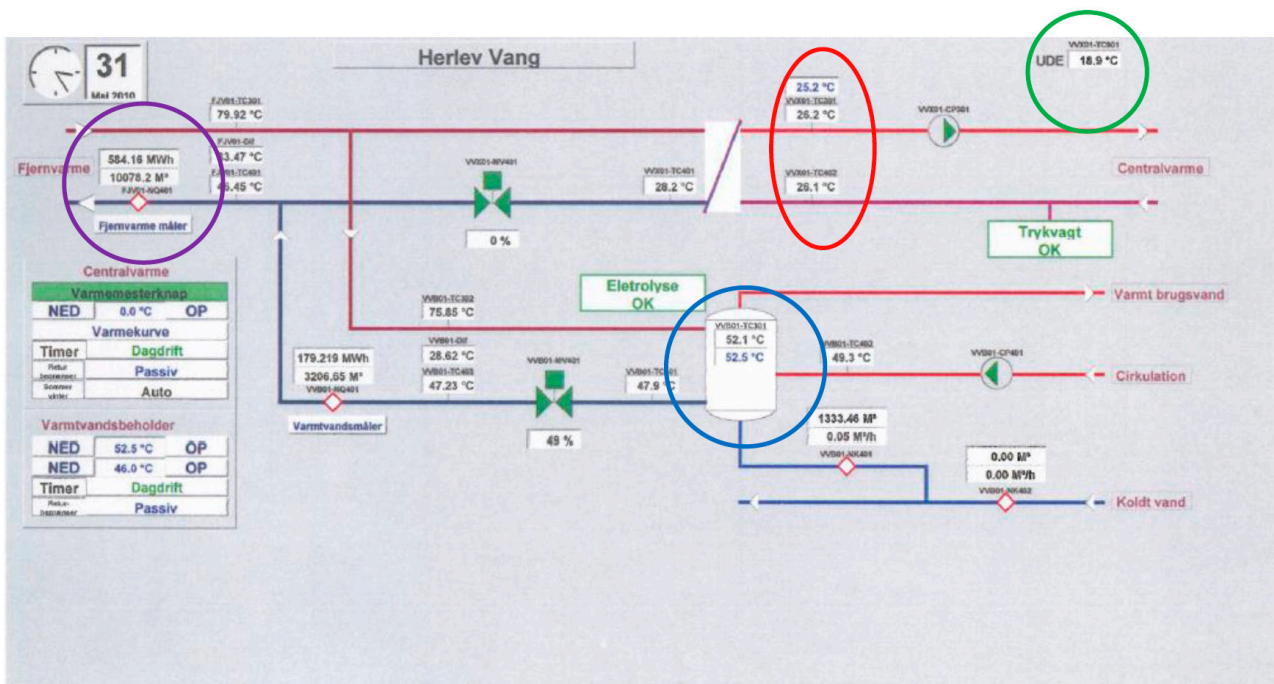
Undercentralerne kan være udbygget med et eller flere IO moduler hvor der er et antal analoge og digitale ind- og udgange der kan fast fortrådes direkte til komponenter. Pga. begrænsninger i kabellængder og mængden af kabler til systemer med mange komponenter vil det ofte være nødvendigt at undercentralen er placeret tæt på de tilsluttede systemer. Alternativt er det muligt at have et BUS moduler i undercentralen så tilslutning til f.eks. ventilationsanlæg med integreret automatik



eller komponenter med BUS modul kan ske med en enkelt kabelforbindelse uden de samme begrænsninger på kabellængden. Se figur 1. for eksempler på forbindelser til undercentral.

I figur 3 ses et eksempel på et skærbillede fra et CTS-anlæg, hvor der er koblet et centralvarmeanlæg og et brugsvandsanlæg på.

På skærbilledet ses en række målepunkter på anlægget. Eksempelvis måles fremløbs- og returtemperaturen i centralvarmeanlægget (markeret med rød), udetemperaturen (markeret med grøn), temperaturen i varmtvandsbeholderen (markeret med blå) og fjernvarmeforbruget til centralvarme og varmt brugsvand (markeret med lilla).

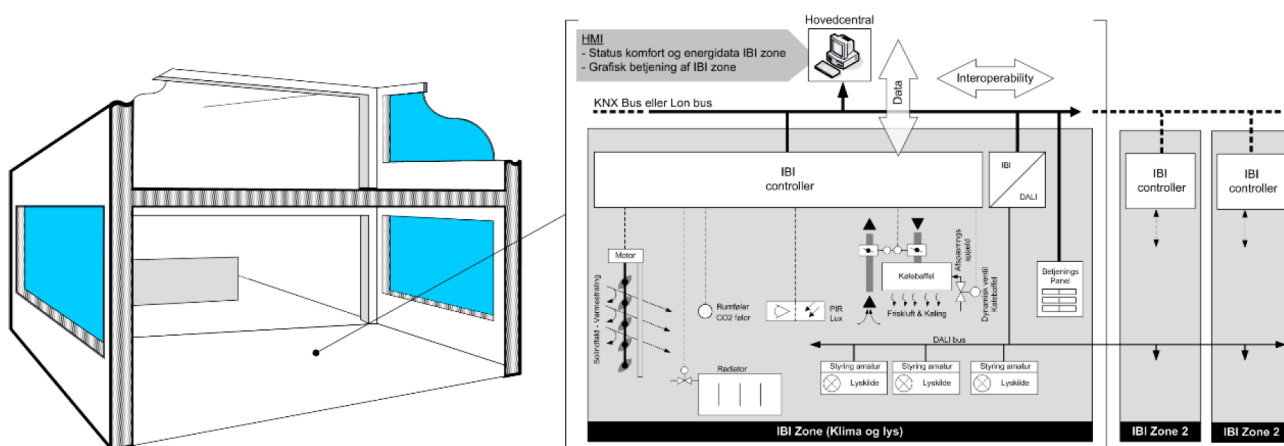


Figur 3. Skærbillede fra et CTS-anlæg

IBI er en forkortelse for Intelligent Bygningsinstallation. Et IBI-anlæg består af flere små enheder kaldet IBI-controllere. En IBI-controller er en automatik, der placeres i brugsområder fx for at styre og regulere lys, varme, ventilation, køling, solafskærmning og mørklægning i forhold til de sensorer der er i brugsområdet (Temp., CO<sub>2</sub>, PIR, LUX).

Et IBI-anlæg er typisk inddelt i zoner som møderum, storrúm, birúm, gange, trapper m.v. med hver sin IBI controller.

Et IBI-anlæg kan være busbaseret, hvilket giver lavere omkostninger til kabling, da forbindelse går fra enhed til enhed. IBI controllerne er typisk forbundet til et CTS-anlæg eller det samlede BMS-anlæg så det er muligt at overstyre og overvåge funktionerne i den enkelte IBI controller. IBI controllerne kan også anvendes til styring af den kunstige belysning. Dette kan udføres med separate controllere på dedikerede lysstyringsystemer der er forbundet til det overordnede BMS-system. For eksempler på opbygning af IBI systemer se hhv. Figur 1 og Figur 4.



Figur 4. IBI-anlæg



- Til styring af radiatorssystemer benyttes en regulator til at vælge forskellige kurver for sammenhængen mellem fremløbstemperaturen og udetemperaturen (udetemperaturkompenseringsanlæg). Kurverne har forskellige hældninger og de kan endvidere parallelforskydes. Kurvens hældning vælges ud fra bygningens beskaffenhed, f.eks. om det er en let eller tung bygning.

Der vælges en kurve, der går gennem to punkter. Det ene punkt er fremløbstemperaturen ved den dimensionerede maksimumsbegrænsning for driftstilstanden, eksempelvis er fremløbstemperaturen 80°C ved en udetemperatur på - 12 °C. Det andet punkt er fremløbstemperaturen ved ophør af fyringssæsonen, dvs. når udetemperaturen er på 17 °C, vælger man at sætte fremløbstemperaturen til 25 - 30 °C.

Hvis det viser sig, at den valgte kurve ikke giver den ønskede komfort i opholdsrummene/lokalerne, kan man benytte regulatoren enten til at forskyde kurven eller til at vælge en kurve med en anden hældning. Udetemperaturkompenseringen kan med fordel kombineres med en vindkompensering.

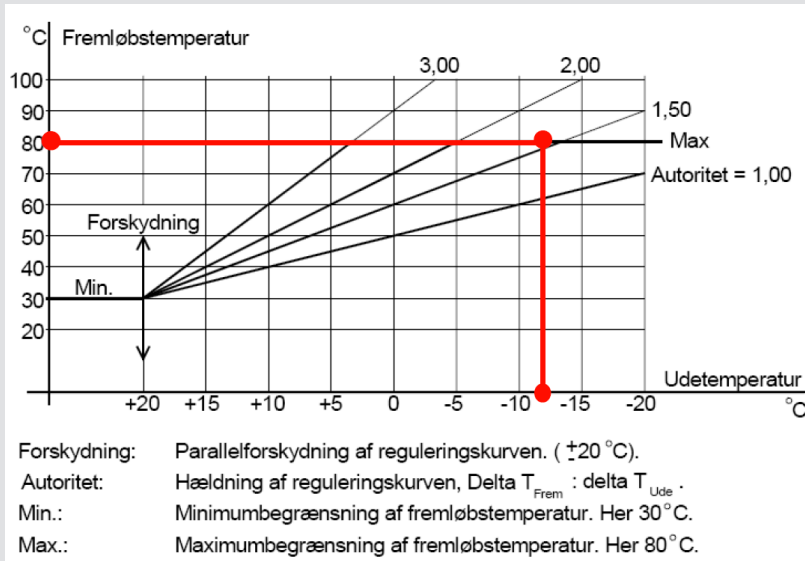
- Regulatoren bør indeholde en funktion, der gør det muligt at sænke rumtemperaturen på bestemte tidspunkter, eksempelvis om natten (natsænkning).
- Regulatoren bør endvidere kunne håndtere pumpestyring (stop uden for fyringssæsonen) og pumperøringsprogram
- Når der anvendes varmeautomatik i fjernvarmeinstallationer, bør der ligeledes kunne tilsluttes en returtemperaturføler til regulatoren, som giver mulighed for maks. returtemperaturbegrænsning for at opnå optimal afkøling af returvandet. Mange fjernvarmeværker pålægger brugerne en afgift ved for høj returtemperatur (for lille afkøling)

## Eksempel 1

I nedenstående figur til venstre er et eksempel på kurverne i et udekompenseringsanlæg. Kurverne har som det ses forskellige hældninger (her kaldet autoritet).

Kurverne kan endvidere parallelforskydes. I dette tilfælde  $\pm 20$  °C. Der kan endvidere vælges en minimum- og maksimumbegrænsning af fremløbstemperaturen. I dette tilfælde henholdsvis 30 °C og 80 °C.

Vælges der som her en hældning på 1,5 og en minimumbegrænsning på 30 °C, ses det at fremløbstemperaturen vil være ca. 78 °C ved en udetemperatur på -12 °C (dimensionerende udetemperatur). På figuren til højre ses udetemperaturkompenseringsanlægget og reguleringsventilen som styres af dette anlæg (rød cirkel).

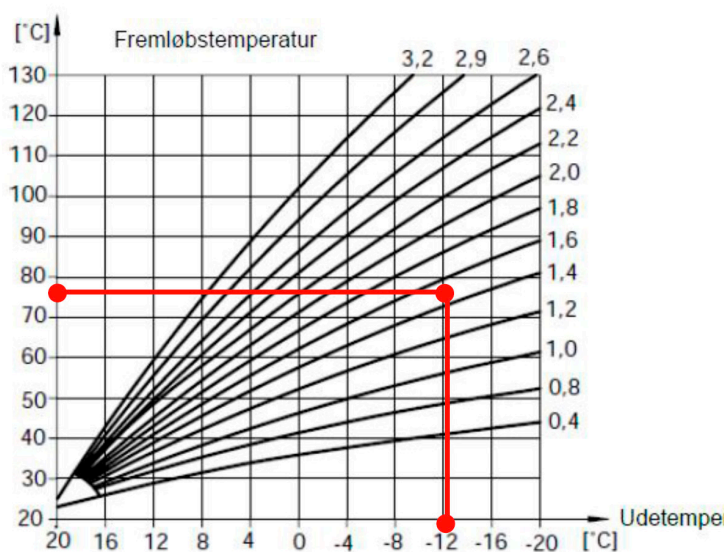


Figur 5



Figur 6

I figur 5 ses, at kurverne er rette linjer. I nyere vejrkompenseringsanlæg er kurverne krumme. Denne krumning sikrer, at fremløbstemperaturen i overgangsperioder (forår og efterår) bliver højere, end den ville være blevet, hvis kurven var en ret linje. Se figur 7.



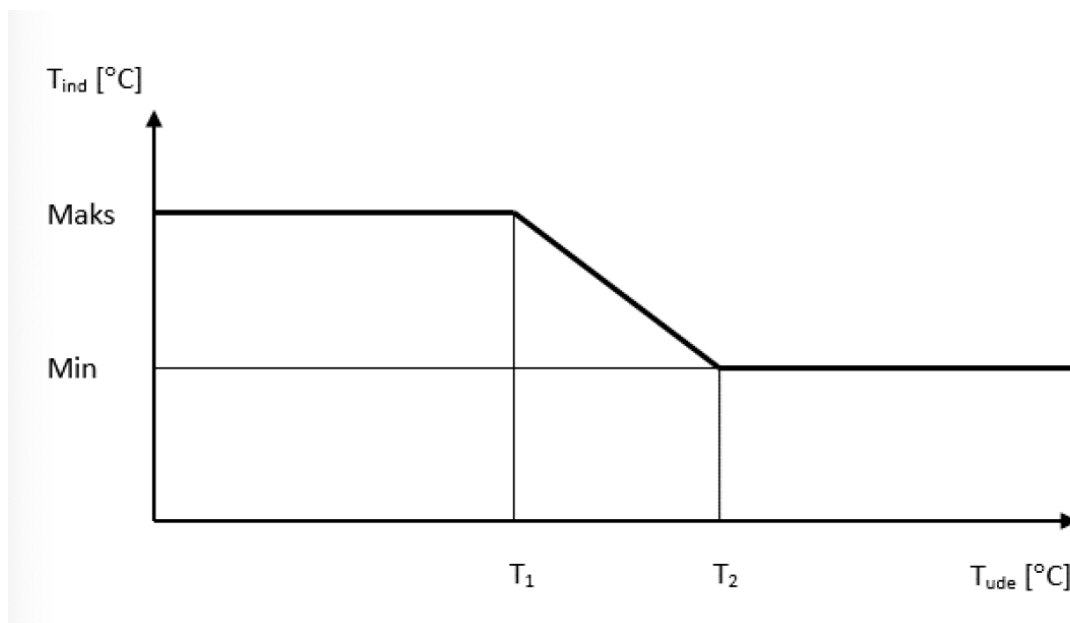
Figur 7. Vejrkompenseringsanlæg med krumme kurver

## Friskluftanlæg

- Til styring af friskluftanlæg, som udelukkende arbejder på at opretholde det atmosfæriske indeklima, benyttes oftest en regulator, der regulerer indblæsningstemperaturen efter et sætpunkt for ønsket indblæsningstemperatur.

Regulatoren styrer typisk en varmegenvindingsenhed (bypass spjæld) og en ventil til varmepladen i sekvens. Det er med andre ord en regulering, der sikrer, at der ikke foregår bypass af luft og opvarmning samtidig

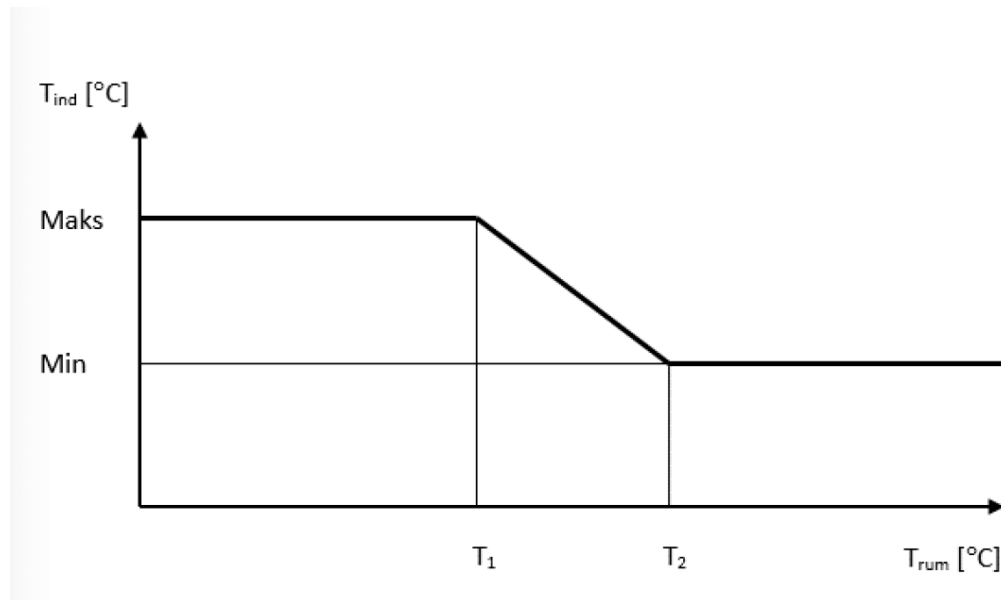
- Regulatoren kan endvidere styre omdrejningstallene på ventilatormotorerne. Regulatoren vil typisk øge omdrejningstallene og dermed den indblæste og udsugede luftmængde, hvis sætpunktet for rumtemperaturen overskrides. Luftmængderne kan også øges, hvis sætpunktet for luftkvaliteten (CO<sub>2</sub> indholdet) overskrides
- Regulatoren bør indeholde en funktion, der gør det muligt at kompensere indblæsningstemperaturen efter udetemperaturen (udekompensering)



Figur 8. Kompensering af indblæsningstemperaturen efter udetemperaturen

På figur 8 ses, at ved lave udetemperaturer, hvor varmebehovet er størst, indblæses med maksimumstemperaturen. Ved stigende udetemperaturer indblæses med lavere temperaturer, indtil der er opnået en vis minimumstemperatur

- Regulatoren bør indeholde en funktion, der gør det muligt at kompensere indblæsningstemperaturen efter rumtemperaturen (kaskaderegulering). Se figur 9



Figur 9. Kompensering af indblæsningstemperaturen efter rumtemperaturen (kaskaderegulering)

Ved lave rumtemperaturer, når varmebelastningerne i rummet er lave, indblæses med maksimumtemperaturen, se figur 9 herover. Ved stigende rumtemperatur indblæses med lavere temperaturer, indtil en vis minimumstemperatur nås. Af hensyn til komforten må temperaturen inden dørene ikke blive for lav: Den anbefalede minimumstemperatur i rum, hvor der foregår stillesiddende arbejde er 21 °C. Kaskadereguleringen kan kombineres med kompensation efter udetemperaturen.

- Automatikken bør være forsynet med mulighed for indprogrammering af driftstider (urstyring), da ventilationsanlæg som udgangspunkt kun bør være i drift i de ventilerede lokaler, i den tid, de faktisk benyttes.
- Automatikken bør være forsynet med mulighed for tilkobling af tilstedeværelsessensorer (infrarød, radar eller lydsensor)

### Komfortanlæg

- Til styring af komfortanlæg, hvor anlæggets funktion både er at opretholde det termiske og det atmosfæriske indeklima, benyttes typisk en regulator, der regulerer rumtemperaturen efter et sætpunkt for ønsket rumtemperatur. Der bruges enten et CAV anlæg (constant air volume) eller VAV anlæg (variable air volume).

Et CAV anlæg (constant air volume) holder som grundprincip rumtemperaturen konstant ved at ændre på indblæsningstemperaturen, når rumtemperaturen afviger fra den indstillede værdi. Forholdet mellem ændringen i rumtemperaturen og den tilsvarende ændring af indblæsningstemperaturen indstilles på regulatoren.

Ofte indstilles en nedre grænse for indblæsningstemperaturen på regulatoren. Denne minimums-indblæsningstemperatur skal sikre, at trækgener undgås.

I VAV anlæg (variable air volume) holdes rumtemperaturen som grundprincip konstant ved at ændre på volumenstrømmene, når rumtemperaturen afviger fra den indstillede værdi. Indblæsningstemperaturen holdes som udgangspunkt konstant.

Regulatoren for både CAV og VAV anlæg styrer typisk en varmegenvindingsenhed (bypass spjæld), en ventil til varmeblænde og en ventil til køleblænde i sekvens (dvs. en regulering der sørger for, at der eksempelvis ikke foregår varmegenvinding og køling samtidig).

- Regulatoren bør indeholde en funktion, der gør det muligt at kompensere rumtemperaturen efter udetemperaturen (udekompensering). Her bruges kompenseringen til at hæve sætpunktet (indstillingsværdien) for den ønskede rumtemperatur, når udetemperaturen kommer over en vis grænse. Under denne grænse holdes rumtemperaturen konstant. Dette anvendes, hvis anlægget er forsynet med køleblænde
- Automatikken bør være forsynet med mulighed for indprogrammering af driftstider (urstyring), da ventilationsanlæg som udgangspunkt kun bør være i drift i de ventilerede lokalers, mens disse faktisk benyttes
- Automatikken bør være forsynet med mulighed for tilkobling af tilstedeværelsessensorer (infrarød, radar eller lyd sensor)

I opvarmningssæsonen gælder, at for hver 1 °C rumtemperaturen kan sænkes, falder energiforbruget til opvarmning med 5 – 8 %. Derfor gælder det om at benytte så lav rumtemperatur i opvarmningssæsonen som muligt.

Tilsvarende gælder, at jo højere rumtemperatur der kan accepteres om sommeren jo mindre bliver energiforbruget til køling.

## Eksempel 2

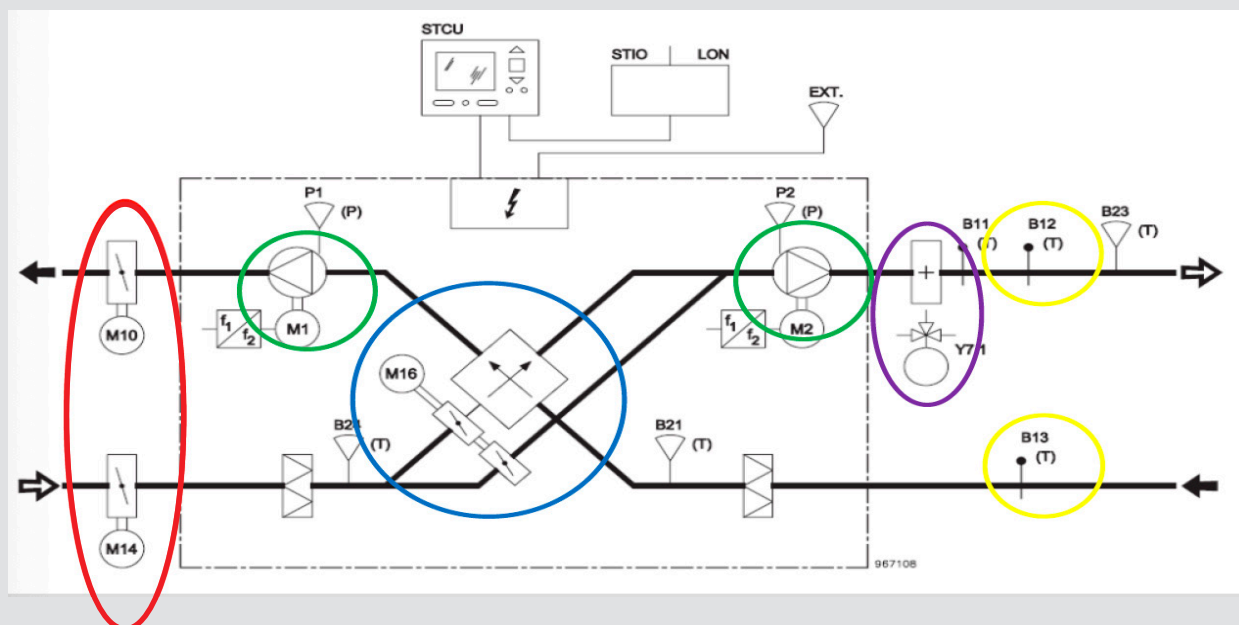
I nedenstående figur ses et eksempel på et styringsdiagram for et komfortanlæg.

Regulatoren (kaldet STCU) styrer spjæld i indtag- og afkastkanalen (M10 og M14 – markeret med rød) samt bypass spjæld med varmegenvindingsenheden (M16 – markeret med blå).

Regulatoren styrer endvidere omdrejningstallet på ventilatormotorerne (M1 og M2 – markeret med grøn).

Endelig styrer regulatoren ventilen ved varmeblænde (Y7.1 – markeret med lilla).

En række temperaturfølere samt brand- og frosttermostater er koblet til regulatoren (B12, B13 m.fl. – markeret med gul).



Figur 10. Styringsdiagram for et komfortanlæg

Se endvidere kapitlet vedr. ventilation.

Belysningsautomatik til lysstyring anvendes blandt andet til styre, hvornår og hvor længe belysningsanlægget er tændt.

- **Hvorfor lysstyring**

Der kan være to grunde til at man installerer lysstyring. Den ene kan være ønsket om at have et belysningsanlæg som bruger så lidt energi som muligt. Den anden kan være ønsket om et bestemt visuelt indeklima af hensyn til de personer som befinder sig i lokalerne, eksempelvis patienter på en hospita.

- **Behovsanalyse**

Inden der vælges en lysstyring er det nødvendig med en grundig behovsanalyse. Ved behovsanalysen er der fire forhold der skal vurderes nøjere.

- **Rumtype**

Først er det nødvendigt at få et overblik over det rum eller lokale som lysstyringen skal installeres i. Det er primært rummets størrelse og anvendelsen (eksempelvis kontor, gangareal, sportshal m.m.).

- **Brugsmønster**

Derefter er det nødvendigt at få et overblik over brugsmønstret og om hvor mange personer der opholder sig i rummet og herunder om der tidspunkter hvor der ikke opholder sig nogen personer i rummene.

- **Dagslystilgang**

Hvis der er tilstrækkeligt dagslysindfald i rummet, bør der installeres dagslysstyring, hvor lysudsendelsen fra lyskilderne styres efter dagslysindfaldet. I større åbne rum som for eksempel storrumskontorer skal lysstyringen zoneopdeles, så de enkelte zoner kan reguleres individuelt. Størrelse og form af zoner bestemmes ud fra rummets udformning

- **Aktiviteter**

Det er endelig nødvendigt at få et overblik over de aktiviteter der foregår i rummet. Aktiviteter kan eksempelvis være kontorarbejde, klasseundervisning m.m. I nogle rum foregår der flere aktiviteter som eksempelvis tavleundervisning og arbejde ved skriveborde. Hvis der foregår flere aktiviteter i rummet, bør hver aktivitet betragtes som en zone og lysreguleringen skal indstilles efter det. Hvis nogle zoner overlapper hinanden er det det største krav i belysningsstandarden (DS/EN 12464-1) der er bestemmende.

- **Principper**

- **Manuel lysstyring**

Ved manuel styring styrer brugerne selv lyset. Dette kan enten ske ved en manuel kontakt, hvor lyset tændes og slukkes efter behov eller ved en manuel lysdæmper, hvor lysudsendelsen fra lyskilderne ligeledes styres efter behovet.

Manuel lysstyring har den ulempe at brugerne kan glemme at slukke for lyset, når der ikke er behov for lys.

- **Automatisk lysstyring**

Ved automatisk lysstyring styres lyset ved hjælp af sensorer, kontroludstyr (forkoblinger eller drivere) og programmering (tidsstyring). Lysets funktion og styringsprincip vælges ud fra brugsmønstre og dagslysindfald. De mest anvendte automatiske lysstyringsprincipper er styring med sensorer efter tilstedeværelse eller lysstyring med lyssensorer.

Automatisk tænd/sluk (ur- eller tidsstyring) er også et meget anvendt styringsprincip. Her programmeres lyset til at tænde og slukke på bestemte tidspunkter.

Med automatisk lysstyring er der mulighed for at opnå store elbesparelser i forhold til manuel styring.

I eksempel 6 ses hvorledes besparelspotentialet kan beregnes ved etablering af automatisk lysstyring.

- **Sekvensstyring**

Ved sekvensstyring styres lyset med et bestemt formål. Ved sekvensstyring har man på forhånd kortlagt hvordan lyset i armaturerne skal ændre sig i løbet af døgnet, herunder lysstyrke og/eller lysfarve. Endvidere har man afgjort hvornår disse parametre skal ændres og hvilke armaturer der skal aktiveres. Sekvensstyring benyttes blandt andet i forbindelse med dynamisk døgnrytmebelysning.

Besparelspotentialet ved sekvensstyring afhænger af hvor meget lysudsendelsen fra lyskilderne reduceres. I figur 24 og 26 ses sammenhængen mellem lysstrømmen fra en lyskilde og effektoptaget. For eksempelvis LED-lyskilder er lysstrømmen proportional med effektoptaget (se figur 26).

- **Strategier**

Lysstyringsstrategier handler om planlægning af styringens funktion. Her skal der tages stilling til hvilke styringsprincipper der skal anvendes og hvordan de skal implementeres.

- **Lokal og personlig**

I rum eller lokaler hvor en enkelt person opholder sig i længere tid anbefales altid en lokal og personlig styring. Det vil typisk være enkeltmandskontorer, hvor brugeren vil have mulighed for at indstille lyskildernes lysudsendelse som ønsket.

I nogle LED-armaturer anvendes dioder med flere forskellige farvetemperaturer eller farver. Her vil brugeren have mulighed for at indstille lyskildernes farvetemperaturer eller farver som ønsket.

- **Central automatisk lysstyring**

Central automatisk lysstyring implementeres ud fra et ønske om energibesparelser. Indstillingen af den centrale automatiske lysstyring skal tage hensyn til brugerne for at undgå at de bliver utilfredse og eventuelt ødelægger den tiltænkte funktion.

Central automatisk lysstyring baseres på strategier for urstyring, bevægelses og tilstedeværelse, dagslysindfald og scenarier.

- **Ur- og kalenderstyring**

Ved urstyring indstilles lysstyringen til at tænde og slukke efter faste mønstre. På arbejdspladser kan det eksempelvis være indstilling efter arbejdstiden. Urstyring anvendes i lokaler hvor brugsmønstrene er faste og/eller dagslysindfaldet kan forudses.



Der findes endvidere avancerede systemer, der er baseret på forskellige scenarier og smarte systemer, hvor styringen er programmeret til aktivering på forskellige tidspunkter.

#### ○ **Bevægelse og tilstedeværelse**

I lokaler der kun er i brug lejlighedsvis bør belysningsanlægget være udstyret med bevægelses- eller tilstedeværelsesfølere.

De mest typiske typer af tilstedeværelsesfølere er PIR-sensorer (passiv infrarød) der registrerer tilstedeværelse vha. varmedetektering, akustiske sensorer, ultralyds sensorer eller kamerabaserede sensorer.

Ofte bliver tilstedeværelsesfølere kombineret med manuel tænd/sluk, så brugeren selv tænder lyset når vedkommende kommer ind i lokalet. Lyset slukkes herefter automatisk, hvis brugeren ikke slukker lyset.

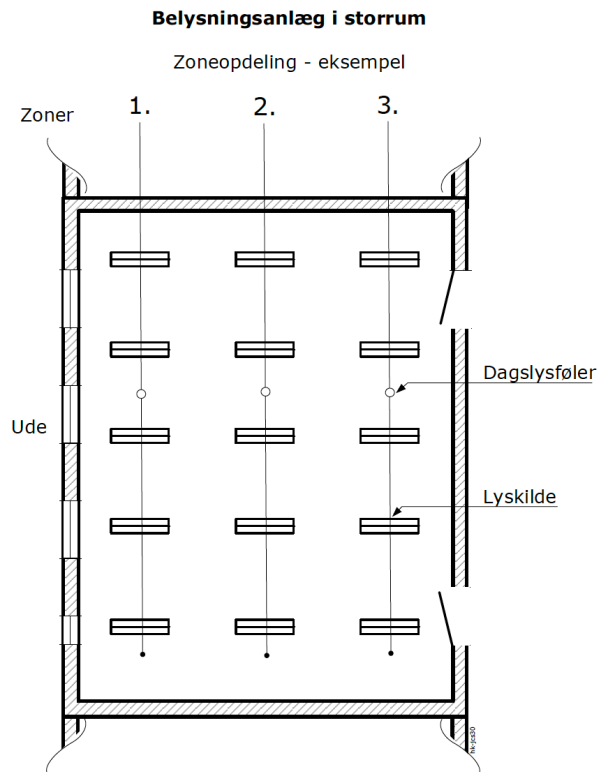
Et af problemerne med denne typer føler er, at sensorerne ikke er følsomme nok, at de er for følsomme eller at de ikke dækker hele det ønskede område.

#### ○ **Dagslys**

I lokaler hvor der er tilstrækkeligt dagslysindfald kan dagslyset i perioder helt eller delvist dække behovet for belysning. Dagslysstyringen benyttes til at dæmpe det almene belysningsanlæg.

I lokaler med stor rumdybde bør dagslysstyringen kombineres med zoneopdeling, så belysningsarmaturerne i de zoner der er nærmest vinduerne dæmpes mere end de øvrige armaturer.

Ved dagslysstyring styres belysningsanlægget typisk ved hjælp af sensorer der måler lysniveauet et givet sted i lokalet. Belysningsanlægget kan også styres efter lysniveauet uden for bygningen ved hjælp af en udendørs vejrstation.



Figur 11. Zoneopdeling af belysningsanlæg i storrúm



Figur 12. Zoneopdeling af belysningsanlæg. Armaturerne i højre side af lokalet er slukkede mens armaturerne til venstre er tændt. (Kilde: <https://installator.dk/store-besparelser-med-lysstyring>)

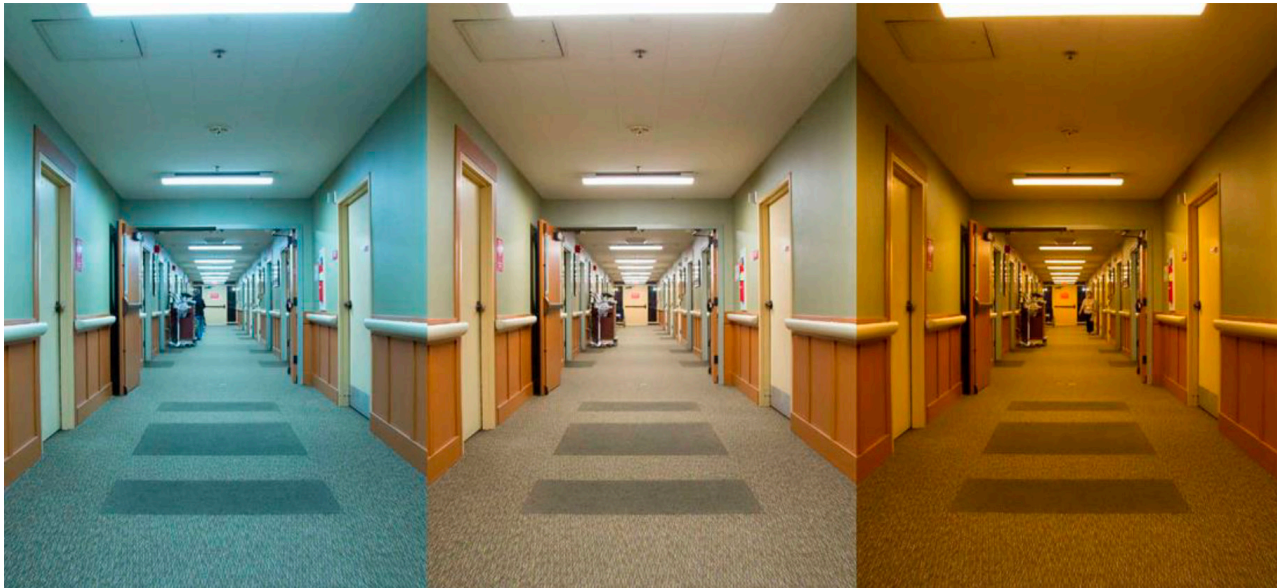
### ○ Døgnrytme/dynamisk

Forskellige lyskilder har forskellige farvetemperaturer. LED-lyskilder giver større mulighed for at styre lyset både i styrke og farve end andre lamper. I de fleste tilfælde handler farvestyring om, hvorvidt det skal være et koldt eller varmt lys (farvetemperatur der har enheden Kelvin). Varmt lys har lavere farvetemperatur, mens et koldt lys har en høj farvetemperatur. LED-lys kilder giver mulighed for at styre farvetemperaturen meget nøjagtigt. Farvetemperaturen styres ved, at et lysarmatur indeholder en kombination af to eller flere forskellige typer LED-lyskilder, som styres individuelt.

Ved dynamisk belysning skal styringen kunne sørge for lyskilderne yder forskellige lysstyrker i forhold til forskellige tidspunkter på døgnet eller forskellige lysstyrker i forskellige områder af en bygning/arbejds miljø.

Dynamisk døgnrytmebelysning skal simulere variationer af dagslyset over døgnet, så belysningens farvetemperatur og lysstyrke styres efter dette. Døgnrytmebelysning bruges oftest i sundhedsvæsenet og benytter sig primært af forprogrammerede lysscenerier, der styres automatisk. Den manuelle overstyring eller overstyring styres af personalet og typisk ikke af patienter/beboere.

Ved brug af døgnrytmebelysning er det vigtigt at være opmærksom på, at ved scenarier, hvor f.eks. de blå bølgelængder er stærkt reduceres eller helt udelades (f.eks. under aften og nat scenarier), vil dette påvirke lysets farve og dermed også farvegengivelsen f.eks. af hudtoner.



Figur 13. Dynamisk døgnrytmebelysning. (Kilde: <https://www.ledsmagazine.com/articles/2016/09/doe-releases-results-in-gateway-project-testing-tunable-led-lighting-for-care-facility.html>)

#### o **Smart (intelligente systemer)**

I smarte eller intelligente systemer er der mulighed for gennem internettet at tilslutte, integrere og kontrollere systemer af forskellige typer komponenter. Dette sker på grundlag af Internet of Things (IoT), hvor automationssystemet er placeret i skyen. Et eksempel på dette kan være en energieffektiv og samlet styring af bl.a. radiator- eller gulvvarme, ventilation og belysning. Her kan eksempelvis en tilstedeværelsessensor sende oplysninger til de forskellige systemer og eventuelt reducere rumtemperaturen og den indblæste og udsugede luftmængde, når sensoren mærker at der ikke er personer tilstede. Alarmsystemer kan også integreres i det smarte system.

## Energibesparelse

Energibesparelsen ved korrekt indstilling, udskiftning eller nyinstallation af bygningsautomatik afhænger af anlægstypen.

Se endvidere kapitlet vedr. belysning.

## Varmeanlæg

Fremløbstemperaturen i et varmeanlæg har meget stor betydning for varmeforbruget. Jo lavere fremløbstemperatur der benyttes jo lavere bliver varmeforbruget.

Varmebesparelsen skønnes at udgøre 1 – 2 % af det graddage afhængige forbrug pr. °C fremløbstemperaturen kan reduceres.

Varmebesparelsen ved at sænke fremløbstemperaturen fremkommer ved:

- At der ikke kan opstå unødvendige høje rumtemperaturer, specielt i overgangsperioderne
- At varmetabene fra cirkulationsledninger (inkl. strengregulerings- og afspærringsventiler) bliver reducerede

Det er derfor væsentligt at automatikken indstilles til en så lav fremløbstemperatur som muligt og at det løbende kontrolleres at afvigelsen fra den indstillede/ønskelige temperatur er minimal.

For at beregne varmebesparelsen skal følgende kendes:

- Årligt varmeforbrug
- Graddage uafhængigt forbrug – GUF (procent andel)
- Fremløbstemperatur

Varmebesparelsen beregnes således:

$$E_{\text{besparelse}} = 0,01 \cdot \text{Reduktion af fremløbstemperatur} \cdot \left( 1 - \left( \frac{\text{GUF}}{100} \right) \right) \cdot E_{\text{varme,årligt}}$$

GUF kendes normalt ikke. Der kan i disse situationen anvendes en standardværdi på 28–30 % af det årlige varmeforbrug. En anden mulighed er at bestemme/aflese varmeforbruget i sommerhalvåret (typisk i månederne juni, juli og august) og så skalere det op til et helt år.

De 0,01 betyder 1 % af det graddage afhængige forbrug pr. °C fremløbstemperaturen kan reduceres.

### Eksempel 3

I en ejendom med vejrkompensering er varmekurven indstillet således at fremløbstemperaturen vil være ca. 70 °C ved en udetemperatur på -12 °C (dimensionerende udetemperatur) og 40 °C ved en udetemperatur på -1 °C. Det vurderes, at varmekurven kan parallelforskydes nedad med 5 °C.

Det årlige varmeforbrug i ejendommen er 850 MWh og GUF er skønnet til at være 30 %.

Energibesparelsen kan på baggrund af ovenstående beregnes:

$$E_{\text{besparelse}} = 0,01 \cdot 5 \text{ °C} \cdot \left( 1 - \left( \frac{30}{100} \right) \right) \cdot 850 \text{ MWh} = 29,8 \text{ MWh}$$

Se endvidere kapitlet vedr. varmesystemer.

## Ventilationsanlæg

Der er mange faktorer der har betydning for energiforbruget til et ventilationsanlæg. Disse faktorer ses nedenfor:

- Indblæst og udsuget luftmængde
- Indblæsnings- og udsugningstemperatur
- Temperaturvirkningsgrad for varmegenvindingsenheden
- Effektoptag for ventilatormotorer
- Ventilationssystem
  - CAV (konstante luftmængder)
  - VAV (variable luftmængder)
- Styring-og reguleringsform
  - Automatisk tænd/sluk (ur eller bevægelsesmelder)
  - CO<sub>2</sub>-styring
  - Spjældregulering
  - Hastighedsregulering (med frekvensomformer)
  - Regulering af indblæsningsstemperatur (konstant eller udekompenseret)
  - Regulering af rumtemperatur

Automatikken har stor indflydelse på energiforbruget til ventilationsanlægget, da det er den der skal sørge for at anlægget kun er i drift på de tidspunkter, hvor der er behov for ventilation. Automatikken skal endvidere sørge for at anlægget til enhver tid leverer de ønskede ydelser i form af friskluft-mængder samt at indblæsnings- og eventuelt rumtemperaturer stemmer overens med de ønskede.

Endelig skal automatikken sørge for at der kun foretages varmegenvinding, når der er behov for varme.

For at automatikken skal kunne sørge for ovenstående, er det nødvendigt at den er bestykket med en række sensorer eller følere til registrering af eksempelvis persontilstedeværelse, temperaturer (indblæsnings- og rumtemperatur), CO<sub>2</sub> og tryk (statisk tryk i indblæsnings- og udsugningskanal).

For at beregne energibesparelsen ved justering eller udskiftning af automatikken skal en eller flere af ovennævnte faktorer kendes.

Nedenfor ses to eksempler på energibesparelser ved justering af automatikken. Det ene eksempel omhandler fremløbstemperaturen mens det andet omhandler hastighedsregulering af ventilatorer og motorer.

## Eksempel 4

En kontorbygning har installeret et ventilationsanlæg til ventilering af kontorlokalerne.

Anlægget er et CAV-anlæg og den indblæste og udsugede luftmængde er dimensioneret til 20.000 m<sup>3</sup>/h (= 5,5 m<sup>3</sup>/s).

Indblæsningstemperaturen er 22 °C og temperaturvirkningsgraden for varmegenvindingen er målt til 55 %.

Driftstiden er fra kl. 8.00 – 17.00 i fem dage pr. uge svarende til en årlig driftstid på 2.000 timer.

Effekttaget for motorerne til indblæsnings- og udsugningsventilatoren er målt til henholdsvis 10,5 kW og 9,0 kW.

Indblæsningsventilator og –motor bidrager til opvarmning af indblæsningsluften.

Indblæsningstemperaturen er for høj og kan reduceres til 20 °C. Besparelsen ved at gøre dette beregnes nedenfor:

Nedenfor ses et udtryk til beregning af det årlige varmeforbrug.

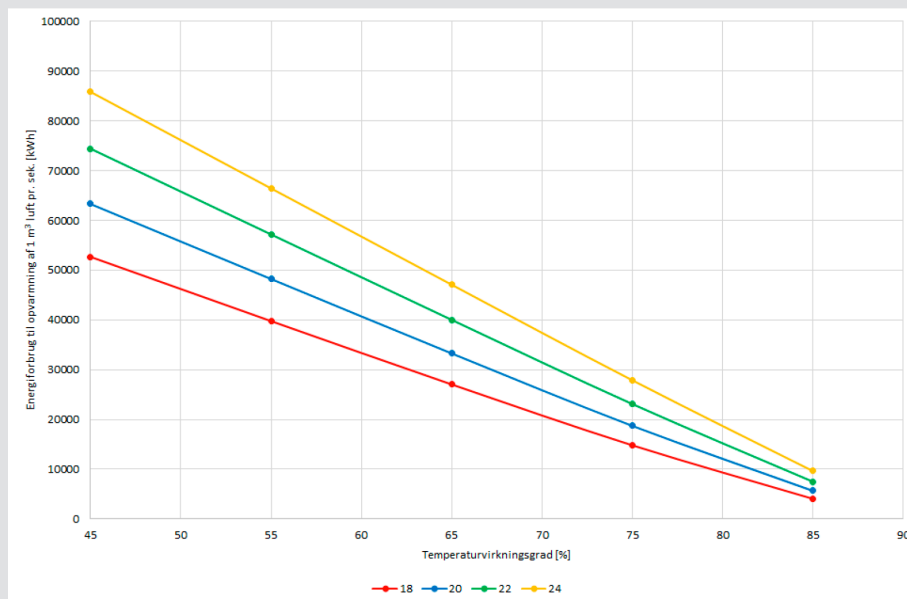
$$Q_{\text{varme}} = (V \cdot a \cdot (t/8.760) \cdot Q_{\text{specifik}}) - Q_{\text{el, ventilator}} \text{ [kWh/år]}$$

Som det ses afhænger det årlige varmeforbrug af den indblæste luftmængde  $V$ , reduktionsfaktoren  $a$  (kun for VAV-anlæg), antallet af driftstimer  $t$ , det specifikke varmeforbrug  $Q_{\text{specifik}}$  og elforbruget til indblæsningsventilatoren  $Q_{\text{el, ventilator}}$  (som bliver til varme).

Reduktionsfaktoren ( $a$ ) beregnes på baggrund af en forventet gennemsnitlige luftmængde i forhold til den maksimale. Faktoren er kun relevant for VAV-anlæg.

En reduktionsfaktor på 0,7 betyder at den gennemsnitlige luftmængde er 70 % af den maksimale.

Det specifikke varmeforbrug som funktion af temperaturvirkningsgraden og indblæsningstemperaturen ses i figur 14.



Figur 14. Specifikke varmeforbrug som funktion af temperaturvirkningsgraden og indblæsningstemperaturen

Det årlige varmeforbrug i før-situationen udgør:

$$Q_{\text{varme}} = 5,5 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (2.000/8.760) \cdot 57.000 \text{ kWh/m}^3/\text{s}) - (10,5 \text{ kW} \cdot 2.000 \text{ h/år}) = 50.600 \text{ kWh/år}$$

Det årlige varmeforbrug i efter-situationen udgør:

$$Q_{\text{varme}} = 5,5 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (2.000/8.760) \cdot 48.000 \text{ kWh/m}^3/\text{s}) - (10,5 \text{ kW} \cdot 2.000 \text{ h/år}) = 39.300 \text{ kWh/år}$$

Besparelsen udgør således: 50.600 kWh/år - 39.300 kWh/år = 11.300 kWh/år

## Eksempel 5

En kontorbygning har installeret et ventilationsanlæg til ventilering af kontorlokalerne.

Anlægget er et VAV-anlæg og den indblæste og udsugede luftmængde er dimensioneret til 20.000 m<sup>3</sup>/h

Driftstiden er fra kl. 8.00 – 17.00 i fem dage pr. uge svarende til en årlig driftstid på 2.000 timer.

Effekttaget for motorerne til indblæsnings- og udsugningsventilatoren er målt til henholdsvis 10,5 kW og 9,0 kW.

Styringen er defekt for luftmængderne er konstante og anlægget kører derfor som et CAV-anlæg. Dette er konstateret ved at kigge på et skærbillede i CTS-anlægget.

I før-situationen måles effekttaget til ventilatorernes motorer ved maksimal luftmængde.

Elforbruget  $Q_{el, ventilator}$  beregnes herefter ved at multiplicere med den årlige driftstid  $t$ .

I efter-situationen skønnes en forventet gennemsnitlige luftmængde i % af den maksimale, og reduktionsfaktoren i % beregnes på baggrund af denne. En belastningsfaktor på effekttag findes på baggrund af denne, og et gennemsnitligt effekttag beregnes.

Elforbruget  $Q_{el, ventilator}$  beregnes herefter ved at multiplicere med den årlige driftstid  $t$ .

Reduktionsfaktor, a	Belastningsfaktor på effekttag, b [-]
0,5	0,177
0,6	0,279
0,7	0,410
0,8	0,572
0,9	0,768

Elforbruget før- og efter-situationen beregnes således:

$$Q_{el, ventilator} = b \cdot P_{el, ventilator} \cdot t \text{ [kWh/år]}$$

Da anlægget, pga. en fejl i automatikken, kører som et CAV-anlæg er reduktions- og belastningsfaktoren i førsituationen 1,0.

Anlægget bør køre med en reduktionsfaktor på 0,7, hvorfor den gennemsnitlige belastningsfaktor på effekttaget vil være 0,410.

Det årlige elbesparelse udgør:

$$((19,5 \text{ kW} \cdot 2000 \text{ h}) - (0,41 \cdot 19,5 \text{ kW} \cdot 2000 \text{ h})) = 23.000 \text{ kWh.}$$



Der er mange faktorer der har betydning for elforbruget til et belysningsanlæg. Disse faktorer ses nedenfor:

- Antallet af armaturer
- Antallet af lyskilder pr. armatur
- Lyskildens effekt målt i W (aflæses på lyskilden)
- Tabet i forkoblingsenheden (tabet tillægges lyskildens effekt)
- Styringsform
  - Manuel tænd/sluk
  - Automatisk tænd/sluk (ur eller bevægelsesmelder)
  - Dagslysstyring

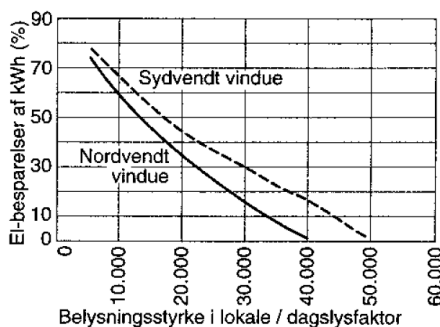
Automatikken har stor indflydelse på elforbruget til belysningsanlægget, da det er den der skal sørge for at anlægget kun er i drift på de tidspunkter, hvor der er behov for belysning. Automatikken skal i nogle tilfælde endvidere sørge for at anlægget til enhver tid leverer den ønskede ydelse i form af belysningsstyrke i lokalet.

For at automatikken skal kunne sørge for ovenstående, er det nødvendigt at den er bestykket med en række sensorer eller følere til registrering af eksempelvis persontilstedeværelse og belysningsstyrke (lux-føler).

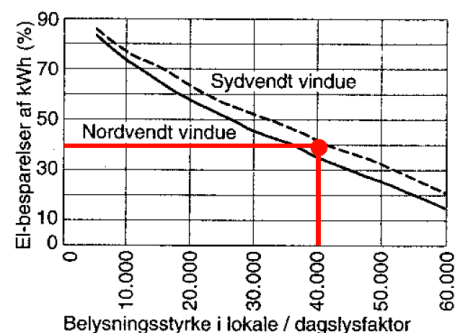
For at beregne energibesparelsen ved justering eller udskiftning af automatikken skal en eller flere af ovennævnte faktorer kendes.

Den simpleste regulering er en automatisk tænd/sluk funktion af belysningen ved hjælp af en lyssensor. Lyssensoren sørger for at belysningsanlægget ikke tændes, hvis dagslysniveauet er tilstrækkeligt højt, hvilket medfører energibesparelser.

Ved kontinuerlig regulering sker der regulering af belysningen efter dagslysniveauet. Når dagslysniveauet stiger vil reguleringen søge at fastholde en ønsket belysningsstyrke i lokalet ved at dæmpe den kunstige belysning.

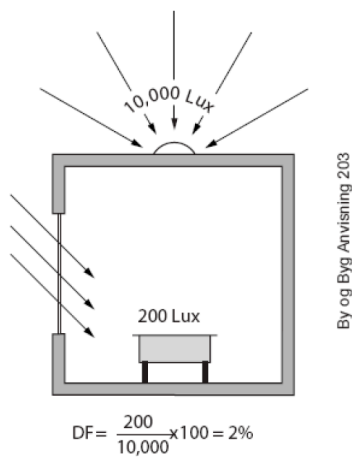


Figur 15. Elbesparelser ved on/off regulering af belysningen



Figur 16. Elbesparelser ved kontinuert regulering af belysningen

For at beregne elbesparelsen ved anvendelse af en af de to reguleringsformer kan ovenstående figurer anvendes. Forholdet mellem kravet til middelbelysningsstyrken og dagslysfaktoren skal kendes. Dagslysfaktoren er et mål for, hvor meget dagslys, der er indendørs i forhold til udendørs under fri himmel og uden sol. Dagsfaktoren beregnes som vist med nedenstående figur.



By og Byg Anvisning 203

Figur 17. Måling og beregning af dagslysfaktor

Endvidere skal der foretages beregninger i forhold til enten sydvendte eller nordvendte vinduer. Elbesparelsen i procent i forhold til et belysningsanlæg uden dagslysstyring findes på y-aksen.

### Eksempel 6

En kontorbygning med nord- og sydvendte vinduer har installeret et ældre belysningsanlæg i kontorlokalerne. Anlægget består af 30 stk. armaturer med 4 x 18 W T8-lysstofrør. Armaturerne er uden reflektorer og med gitre (som "stjæler" en stor del af lyset). Effektoptaget for de 30 stk. armaturer er ca. 3,3 kW. Anlægget er uden dagslysstyring.

Anlægget udskiftes til et belysningsanlæg som består af 30 stk. armaturer med indbyggede LED-moduler. Effektoptaget for de 30 stk. armaturer er ca. 0,8 kW.

Anlægget er med kontinuerlig regulering, dvs. regulering af belysningen efter dagslysniveauet. Kravet til middelbelysningsstyrke er 300 lux og dagslysfaktoren er beregnet til 0,75 % (0,0075). Forholdet mellem disse to størrelser er således 40.000.

Driftstiden er fra kl. 6.00 – 18.00 i fem dage pr. uge. Dette svarer til en driftstid på 3.100 timer pr. år.

Det årlige elforbrug til det eksisterende belysningsanlæg kan beregnes til:

$$E_{\text{eksisterende}} = 3,3 \text{ kW} \cdot 3.100 \text{ h/år} = 10.200 \text{ kWh}$$

Det årlige elforbrug til det nye belysningsanlæg kan beregnes til:

$$E_{\text{ny}} = 0,8 \text{ kW} \cdot 3.100 \text{ h/år} = 2.500 \text{ kWh.}$$

Den årlige elbesparelse ved dagslysstyring er ca. 40 % jf. figur 16, hvilket svarer til:

$$0,4 \cdot 2.500 = 1.000 \text{ kWh.}$$

Den samlede årlige elbesparelse er derfor:

$$10.200 \text{ kWh} - 2.500 \text{ kWh} + 1000 \text{ kWh} = 8.700 \text{ kWh.}$$

Bygningsautomatik skal projekteres, så den sørger for, at anlæggene lever op til kravene i Bygningsreglementet (BR18) og tilknyttede normer og standarder for varme og køl, ventilation, brugsvand og belysning.

For ventilationsanlæg skal automatikken sikre, at der altid ventileres således, at der opnås en energibesparelse samtidig med, at et sundt indeklima kan opretholdes, og at ventilationsraten kan reguleres i forhold til belastningen af rummet eller bygningen.

For varmeanlæg skal automatikken sikre, at ydelsen i én eller flere zoner kan tilpasses efter det aktuelle behov for at opnå en energieffektiv drift.

For belysningsanlæg skal automatikken sikre, at anlæggets lysudsendelse kan styres automatisk efter dagslysindfaldet, hvis der er tilstrækkeligt dagslys. Automatikken skal endvidere sikre at anlægget afbrydes i arbejdsrum og fælles adgangsveje, der kun benyttes lejlighedsvis. Endelig skal automatikken sikre, at belysningen kan reduceres i zoner med højt dagslysniveau eller zoner, der ikke er i brug.

#### Funktionsbeskrivelser

Inden etablering af bygningsautomatik udføres en funktionsbeskrivelse hvor der med ord beskrives hvordan det enkelte anlæg skal reagere i forskellige situationer. Funktionsbeskrivelsen kan ses som et værktøj til at kommunikere funktionerne til den person der skal programmere automatikken. Et eksempel kan være hvad der skal ske når et ventilationsanlæg starter:

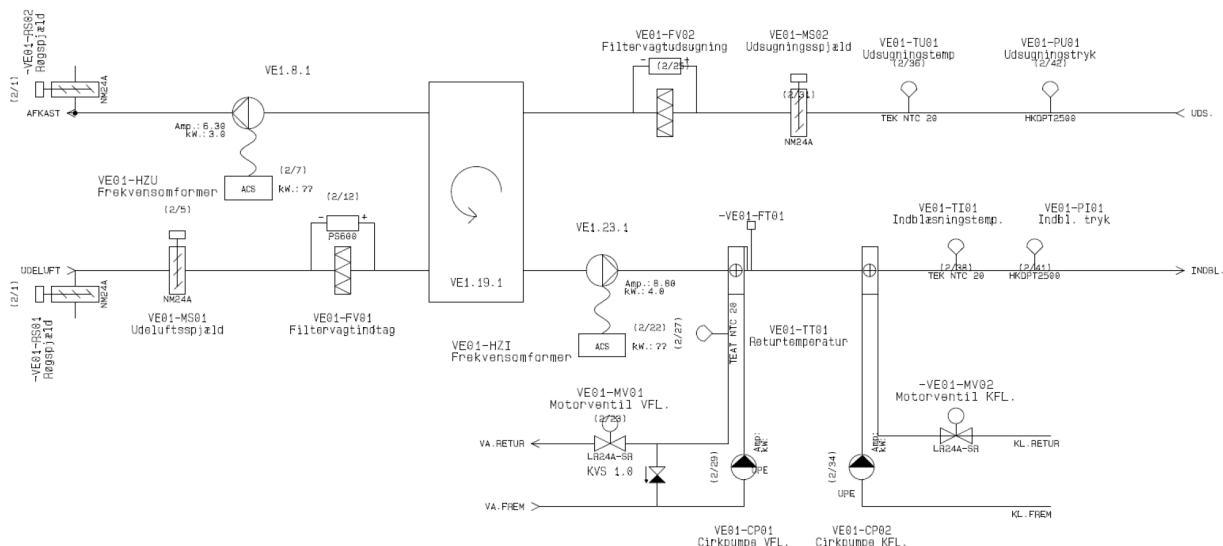
Opstartsprocedure:

- Spjældmotorer åbner friskluft- og afkastspjæld
- Reguleringer frigives
- Pumper til varme- og køleflade starter efter behov
- Ventilatorer starter tidsforsinket
- Under opstart undertrykkes relevante alarmer

Tilsvarende beskrives hvad der skal ske når anlægget stopper, hvordan temperaturen reguleres, hvordan luftmængden reguleres, eventuelle sikkerhedsfunktioner f.eks. frost og brand etc.

#### PI-diagrammer

PI-diagrammer anvendes til at beskrive opbygningen af de tekniske anlæg, f.eks. et ventilationsanlæg og komponenter der indgår i det. Derudover kan ID nummerering af komponenter fremgå af diagrammet ligesom der i nogle tilfælde også angives hvilken type forbindelser de enkelte komponenter er tilsluttet med (analoge, digitale eller BUS forbindelser).



Figur 18. Eksempel på PI diagram for et ventilationsanlæg

## Automatik opbygning

Undercentraler opbygges med et antal IO moduler med de nødvendige ind og udgange (også kaldet CTS-punkter) til de tilsluttede anlæg. Der skelnes mellem analoge og digitale ind og udgange. Analoge og udgange er til komponenter med variable indstillinger for eksempel en motorventil der skal kunne regulere mellem 0 og 100%. Der reguleres typisk med et udgangssignal fra 0-10V eller 2-10V afhængigt af applikationen. Digitale udgange er kort fortalt tænd/sluk funktioner og kan f.eks. anvendes til at aktivere et relæ der starter en motor.

Analoge indgange anvendes til variable input f.eks. fra temperatur sensorer hvor min. og maks. temperaturen for sensoren defineres som hhv. 0V og 10V. Digitale indgange anvendes til tænd/sluk funktioner f.eks. aktivering af en funktion med en kontakt eller en PIR føler.

IO modulerne har typisk et fast antal ind- og udgange så der kan i nogle tilfælde være nødvendigt med et ekstra IO modul for at få en ekstra ind- eller udgang.

Det nødvendige antal ind- og udgang afhænger af antallet af funktioner. F.eks. kræver en regulerbar spjældmotor en analog udgang til at regulere motoren, men hvis der også ønskes en tilbagemelding om spjældstillingen kræver det også en analog indgang.

Der kan i den enkelte byggesag være krav om at der er afsat en mængde ekstra ind- og udgange til fremtidige udvidelser hvilket må tages i betragtning i forbindelse med planlægningen af undercentralerne. Pga. spændingstab i signalkablerne bør undercentralen placeres i umiddelbar nærhed af de tilsluttede komponenter på IO modulerne.

Forbindelsen mellem undercentraler, BUS routere, gateways, IBI controllere og hovedcentralen sker typisk via BUS forbindelser. BUS-forbindelserne kan være dedikerede BUS systemer, men det er i dag mere almindeligt at det foregår via TCP/IP netværk med Ethernet kabling hvor der benyttes en bestemt kommunikationsprotokol til kommunikationen.

Fra undercentraler, BUS routere, og gateways og ud til de enkelte komponenter og systemer vil kommunikationen typisk ske via dedikerede BUS systemer med bestemte kommunikationsprotokoller.

Der findes mange forskellige kommunikationsprotokoller til brug i bygningsautomatikanlæg og anvendelse afhænger bl.a. af hvilket niveau i systemet de anvendes til, hvor store datamængder der

skal overføres og hvad de enkelte produkter understøtter. Nedenfor er kort forklaret en række af de mest anvendte kommunikationsprotokoller til bygningsautomatik.

### **BACnet**

BACnet er en international standardiseret protokol udviklet specifikt til bygningsautomatik og kan anvendes på flere niveauer i BMS-systemer. BACnet/IP anvendes i høj grad som kommunikationsprotokol i det øverste lag mellem BMS-hovedcentralen og undercentraler, IBI controllere, BUS routere, gateways mm hvor kommunikationen sker på et TCP/IP-netværk med Ethernet kabling. BACnet/MSTP anvender dedikeret kabling og kan anvendes f.eks. mellem IBI controllere der understøtter denne protokol eller mellem undercentraler og enheder der understøtter den.

BACnet er meget udbredt og anvendes af mange producenter i både Europa og Nordamerika.

### **LON**

LON eller LonWorks er en amerikansk udviklet protokol der er åben for alle interesserede automatikproducenter, men det er muligt for den enkelte producent at lave proprietære løsninger som ikke kan kommunikere med andre produkter med LON. LON kommunikerer via en BUS forbindelse med 2 leder kabel. LON anvendes f.eks. mellem IBI controllere eller til kommunikation mellem undercentraler og undersystemer med integreret automatik.

### **KNX**

KNX er en europæisk udviklet standard til bygningsautomatik der ligesom LON er en åben BUS baseret protokol. I et KNX-netværk er der ikke en central controller idet de enkelte enheder kommunikerer med hinanden i forhold til de i de enkelte komponenter programmerede funktioner. KNX anvendes hovedsageligt til IBI controllere.

### **Modbus**

Modbus er en seriel (RS-232 og RS -485) kommunikationsprotokol der anvendes som de facto standard til kommunikation mellem PLC og anlægssensorer. Modbus kan også anvendes på TCP/IP netværk. Modbus arbejder med en master/slave model hvor kommunikationen sker fra/til master enheden. Standarden er åben og tilgængelig for alle.

### **M-bus**

M-bus (Meter-bus) er en europæisk standard der er udviklet til brug for fjernaflæsning af forbrugsmålere til f.eks. vand, varme og el. M-bus anvender toleder kabel der også kan anvendes til strømforsyning af målerne. M-bus findes også i en trådløs udgave (wireless M-bus). Her kræves det at målerne har egen strømforsyning eller batteri. Overførsel af data via M-bus sker kun periodisk i et defineret interval og kræver derfor ikke de store datamængder.

### **Dali**

Dali er en standard der er udviklet af belysningsbranchen for at gøre reguleringen af belysningsanlæg enkel. Belysningsarmaturer med Dali forkoblinger kan indgå i et Dali netværk og styres individuelt med to ledere der kan føres i samme kabel som strømforsyningen til belysningsarmaturerne. Dali styringen kan enten kobles direkte til bygningens BMS-system f.eks. via BACnet/IP eller via IBI undercentralerne hvorved sensorerne i IBI centralerne også kan anvendes til belysningsanlægget.

## Gas og oliefyrede kedler

### Kedler med stort vandindhold

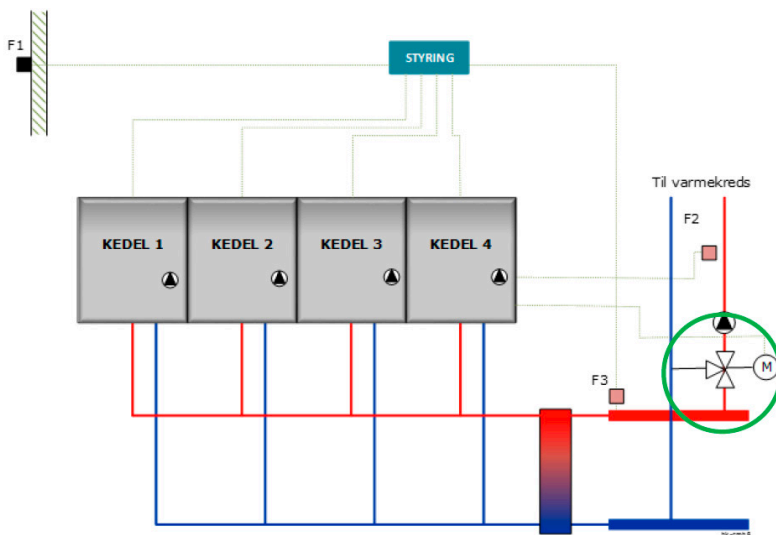
I anlæg med gas- og oliefyrede kedler med stort vandindhold påbygges en shunt og en motorstyret trevejsventil, som styres af vejrkompeniseringsanlægget. På de fleste anlæg er shunt, trevejsventil og vejrkompeniseringsanlægget dog allerede installeret.

### Kaskadekoblede/seriekoblede gaskedler med lille vandindhold

I anlæg med kaskadekoblede/seriekoblede gaskedler med lille vandindhold (1 – 5 liter) må der ikke påbygges en shunt og en motorstyret trevejsventil lige efter kedlerne. I denne type kedel kan der benyttes en glidende kedeltemperatur efter udetemperaturen. Det vil sige, at kedelfremløbstemperaturen er lig med anlæggets fremløbstemperatur, og at den varierer efter udetemperaturen.

Efter kedlerne monteres en blandepotte eller blanderør. Blandepotter eller blanderør installeres i kaskadekoblede kedelanlæg for at sikre, at temperaturforskellen mellem frem- og returløbstemperatur (delta T) på anlægssiden ikke bliver højere, end kedlerne termisk kan klare.

Kedelleverandørerne kan levere denne type reguleringsudstyr sammen med deres kedler.



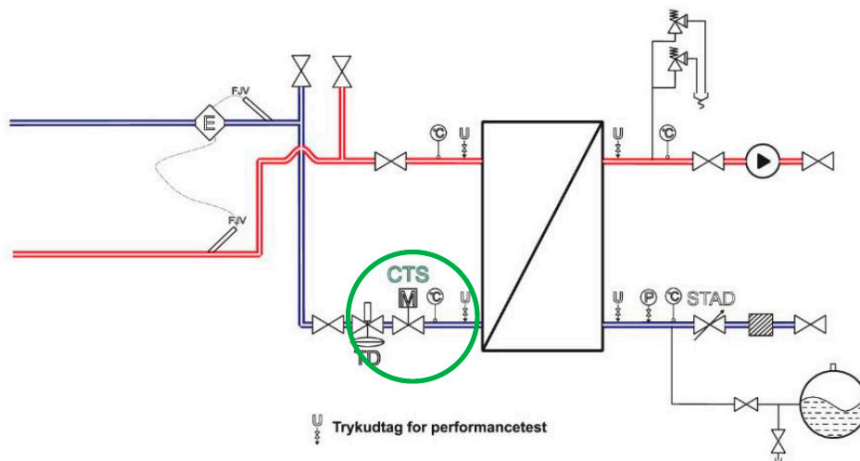
Figur 19. Kaskadekoblede gaskedler med lille vandindhold

### Fjernvarmeanlæg

I både direkte og indirekte fjernvarmeanlæg påbygges en motorstyret tovejsventil i fjernvarmereturledningen, som styres af vejrkompeniseringsanlægget.

Ved svingende differenstryk kan det være nødvendigt at montere en trykdifferensregulator over reguleringsventilen.

I fjernvarmeanlæg med direkte tilslutning anvendes som regel en kontraventil, så anlægget ikke kortslutter, fx hvis pumpen stoppes.



Figur 20. Indirekte fjernvarmeanlæg

### Vejrkompenseringsanlægget

Vejrkompenseringsanlægget (regulatoren) placeres i nærheden af varmeanlægget. Udeføleren skal monteres på bygningens nordside og placeres så den ikke påvirkes af solstråler.

Andre temperaturfølere samt el-tilslutninger monteres som beskrevet i vejledningen til vejrkompen-seringsanlægget. Det er vigtigt, at fremløbsføleren anbringes tæt på blandepunktet eller veksleren efter leverandørens anvisninger.



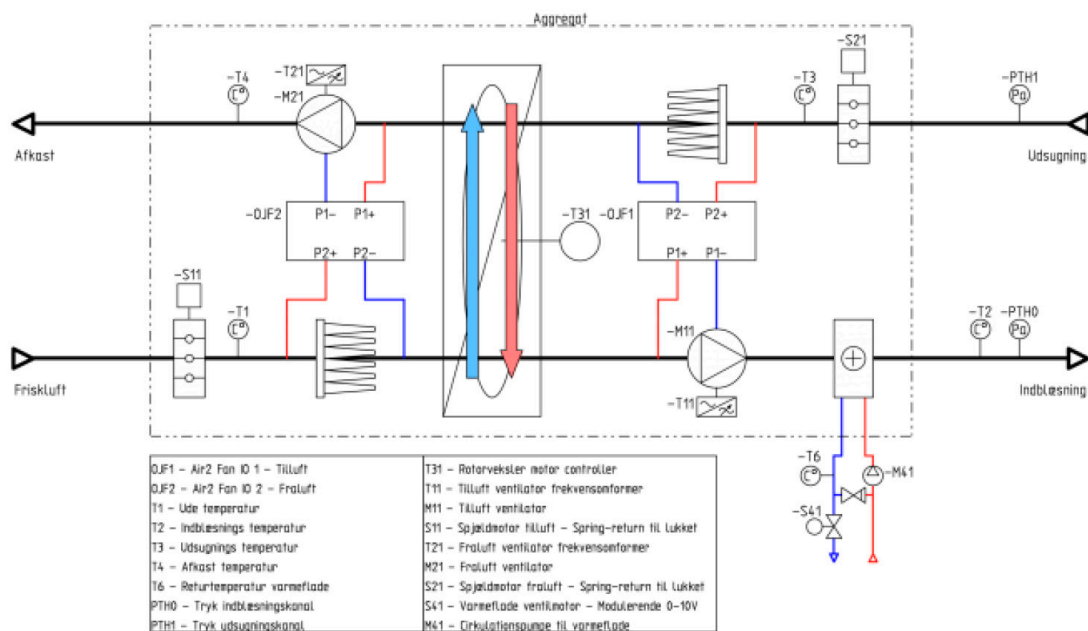
Ventilationsautomatikken består af en række komponenter som anvendes til at regulere temperatur og luftmængde.

Spjældmotorerne S11 og S21 åbner når anlægget er i drift og lukker når anlægget slukkes så der ikke sker cirkulation af luft pga. f.eks. vindpåvirkninger.

Temperaturfølerne T1, T2, T3 og T4 anvendes til at styre indblæsningstemperaturen ved hhv. regulering af varmegenvinderens motor T31 og efterfølgende regulering af varmebladens ventilmotor S41 og pumpe M41. Indblæsningstemperaturen kan f.eks. styres på baggrund af temperaturen på den udsugede luft målt p føler T3 eller i forhold til en rumføler.

Luftmængden styres efter trykfølerne PTH0 og PTH1 som anvendes til at regulere ventilatormotorenes frekvensomformere T11 og T21 op og ned i hastighed i forhold til trykændringer i kanalsystemet som følge af spjæld i de enkelte rum der ændre stilling.

Diffrenstryksfølerne 0JF1 og 0JF2 kan anvendes til at måle trykfaldet over filtrene så der kan afgives alarm ved tilstoppede filtre. Målingerne over ventilatormotorene kan anvendes til at foretage en beregnet luftmængde der kan vises på automatikkens display.



Figur 21

Lysstyringsanlæg kan være mere eller mindre avancerede eller komplekse. Meget simple anlæg er baseret på en kontakt, en forkoblingsenhed eller LED-driver samt en lyskilde mens meget store og komplekse anlæg er baseret på mange typer af sensorer, farveønsker, lysprofiler, tidsindstillinger og meget mere, der kræver specialistviden at projektere og planlægge. Nedenfor beskrives de grundlæggende komponenter, som kan indgå i et lysstyringsanlæg.

### Opbygning

De grundlæggende komponenter i et lysstyringsanlæg er betjening, belysning og sensorer. Hvordan, disse rent teknisk er sat sammen og evt. programmeret, afhænger af hvilken lysstyringsprotokol, der er basis for systemet. Valget af lysstyringsprotokol beror på de overordnede krav, man har til lysstyringsanlægget. De mest anvendte lysstyringsprotokoller er:

- 1-10 V (analog)
- DALI (digital)
- DMX512 (digital)

For helt simple lysstyringsanlæg kan 1-10 V-styring være en mulighed at benytte, men når man ønsker at integrere sensorer, opdele lys i grupper og/eller opstille scenarier, vil en digital løsning være at foretrække. De enkelte protokoller gennemgås mere detaljeret i afsnittet "Protokoller" nedenfor.

- **Kontakter og dæmpere**

Ved manuel styring af belysningsanlæg benyttes kontakter og eventuelt dæmpere der er koblet til anlægget. Kontakterne benyttes til at tænde og slukke anlægget mens dæmpere benyttes til justere lysudsendelsen fra lyskilderne. I nogle tilfælde er kontakten og dæmperen indbygget i samme enhed.

- **Sensorer**

Et lysstyringsanlæg kan benytte forskellige typer af sensorer. Sensorerne kan opdeles i to typer. Den ene type registrerer tilstedeværelsen af personer mens den anden registrerer behovet for lys.

De mest almindeligt anvendte typer der registrerer tilstedeværelsen af personer er PIR-sensorer (passiv infrarød) akustiske-sensorer og ultralyds-sensorer. Med den akustiske-sensor og ultralyds sensor behøver personen ikke at være indenfor sensorens synsfelt. Den er derfor velegnet i eksempelvis storrumskontorer med rumdelere eller parkeringskældre.

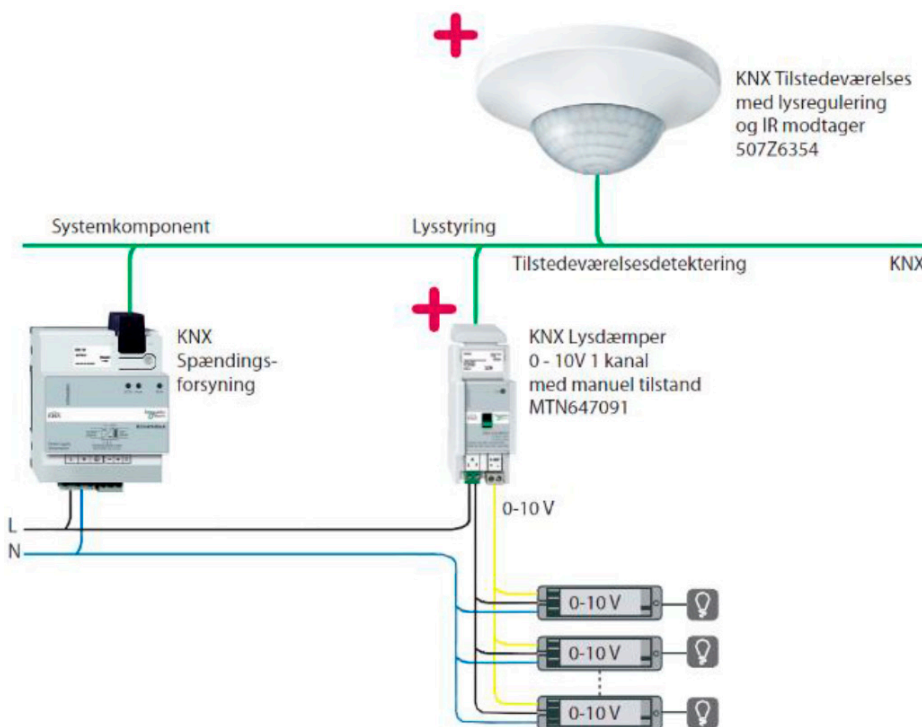
En speciel variant inden for akustiske sensorer er ultralydssensoren, der i stedet udløses på baggrund af reflekteret lyd. Den sender en højfrekvent lyd ud og analyserer den reflekterede lyd for ændringer, der indikerer persontilstedeværelse.



Figur 22. Bevægelsesmelder

Lyssensorer benyttes til at registrere behovet for lys. Lyssensoren måler lysniveauet på et givet sted og sender informationen videre til en regulator der herefter indstiller lysudsendelsen fra lyskilden. Lyssensoren kan også være bygget sammen med regulatoren til en enhed, så den nemt kan integreres i lysstyringsystemer.

Lyssensorer kan enten måle på det naturlige dagslys, eksempelvis ved et vindue eller på en blanding af elektrisk og naturligt lys. Placeringen af sensoren har stor betydning, da den måler det reflekterede lys fra det område den peger på. Derfor har det stor betydning om man måler tæt på eller langt fra et vindue. Endvidere har det stor betydning om man måler det reflekterede lys fra en mørk eller lys overflade.



Figur 23. Eksempel på udstyr i dagslysstyring

- **Regulatorer**

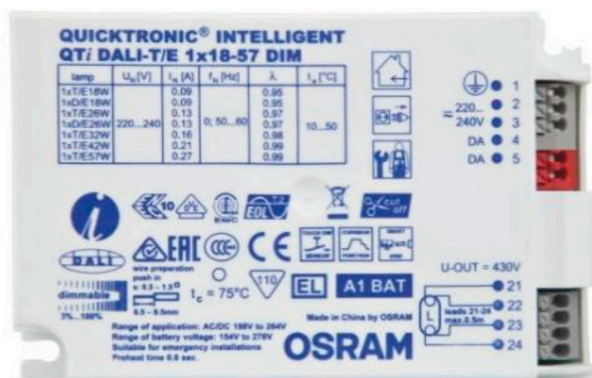
Regulatoren eller controlleren er sammen med en lyssensor en af hovedkomponenterne i et lysstyringsanlæg. Regulatorens opgave er at oversætte lyssensorens måling til et fornuftigt eller ønsket lysniveau i lokalet.

Mange moderne regulatorer kan integreres i større lysstyringssystemer baseret på eksempelvis DALI-protokollen (se senere).

- **Strømforsyning**

### HF-forkobling

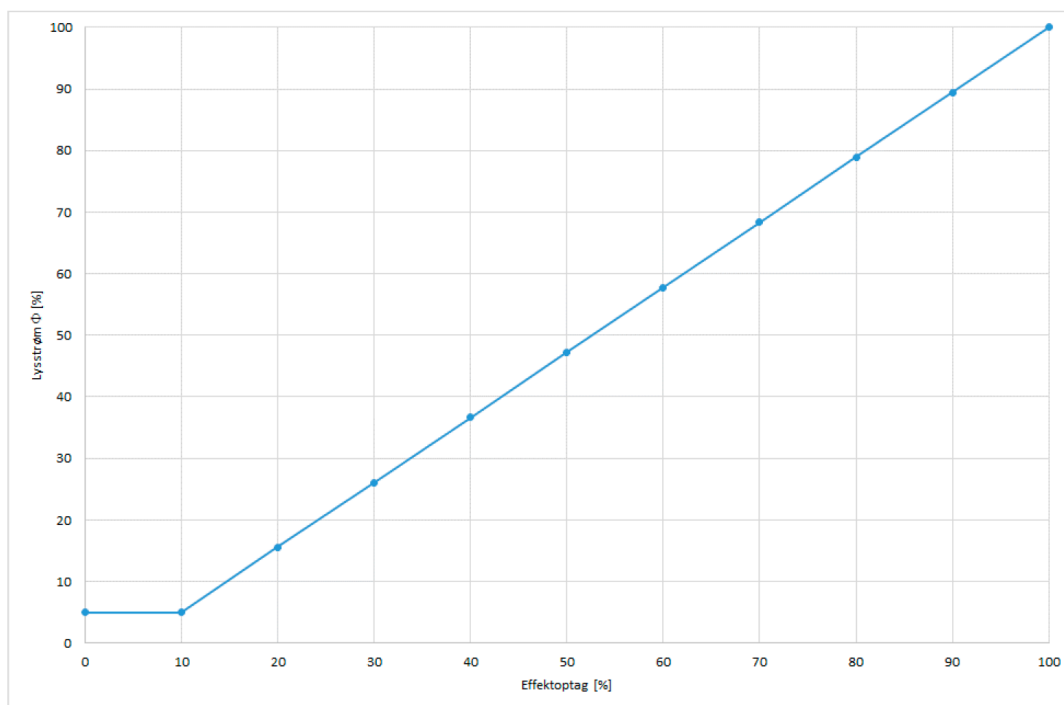
HF-forkoblingen står for at sende for at sende den korrekte energi til lysstofrøret ved en frekvens på 25 – 50 kHz.



Figur 24. Eksempel på HF-forkobling (Kilde: <https://www.osram.com>)

Dæmpning med HF-forkoblingen sker ved at regulere på den frekvens, som lysstofrøret får tilført.

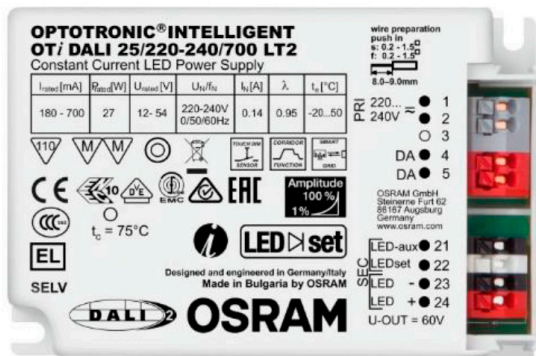
I figur 14 ses lysstrømmen som funktion af effektoptaget for et T5-lystofrør der drives af en HF-forkobling.



Figur 25. Lysstrøm som funktion af effektoptag

## LED-driver

Som tidligere nævnt står LED-driveren for at sende den korrekte energi til LED-lyskilden, så der opnås den ønskede lysudsendelse.

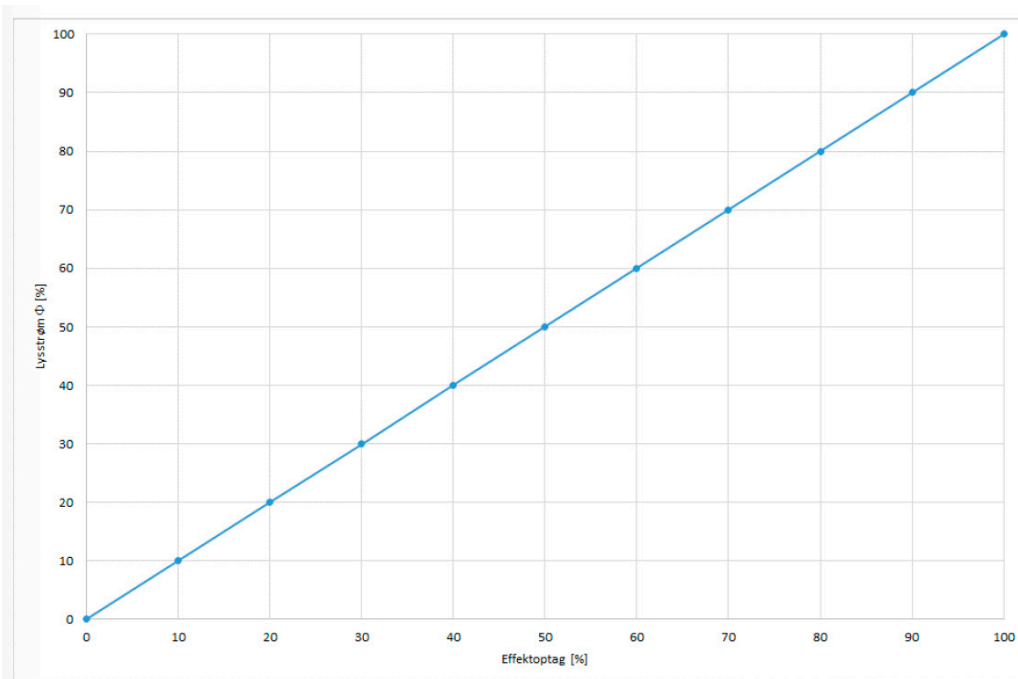


Figur 26. Eksempel på LED-driver (Kilde: <https://www.osram.com>)

LED drivere kan udføre dæmpning af LED-strømmen, så en lavere strøm sendes til LED-lyskilden og dermed opnås en svagere belysningsstyrke. I disse tilfælde skal LED-driveren også forsynes med et dæmningsniveau. Selve dæmpningen opnås sædvanligvis enten ved:

- LED-driveren reducerer strømmen til LED'erne (typisk kaldet konstantstrømdæmpning 'Constant Current Dimming')
  - LED-driveren tænder og slukker for strømmen til LED'erne mange gange i sekundet, så den opfattede mængde lys vil se 'dæmpet' ud (typisk kaldet puls-bredde-dæmpning, 'Pulse-Width-Modulation' eller 'PWM-dimming')
- Endelig kan LED-driveren også dæmpes via en kombination/hybrid af de to metoder. Styringsformen har stor betydning for elforbruget til både det eksisterende og det nye belysningsanlæg.

I figur 16 ses lysstrømmen som funktion af effektoptaget for et LED lysstofrør der drives af en driver.



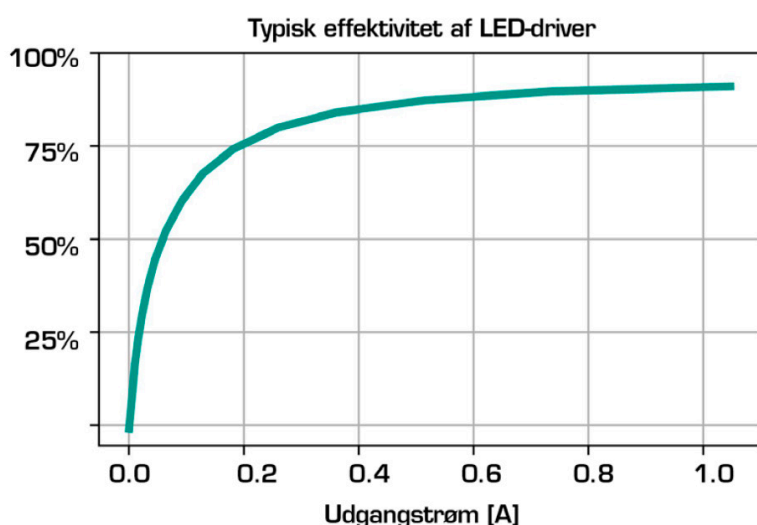
Figur 27. Lysstrøm som funktion af effektoptag

## LED-drivere og effektivitet

LED-driverens energieffektivitet findes ved at måle effekten, der kommer ind og ud af LED-driveren og herefter dividere udgangseffekten med indgangseffekten. Effektiviteten er derfor forholdet mellem ud- og indgangseffekt udtrykt i procent. Da LED-driveren kan fungere ved mange dæmpningsniveauer, giver det mening at måle effektiviteten for flere dæmpningsniveauer for at få et helhedsbillede af LED-driverens effektivitet.

Bemærk at mange LED-driverfabrikanter opgiver et enkelt tal for LED-driverens effektivitet – typisk ved dens maksimale effekt. Som det ses af figuren, kan et enkelt tal ikke fuldt ud repræsentere effektiviteten, da den er afhængig af dæmpningsgraden. Det anbefales derfor at vælge LED-drivere, hvor fabrikanterne opgiver disse data, især hvis der er specifikke krav til energiforbruget til belysningen.

Ved puls-bredde-dæmpning skal der kun benyttes en effektivitet. Det vil typisk være effektiviteten ved maksimal udgangsstrøm, med mindre LED-driveren er meget overdimensioneret.



Figur 28. Typisk effektivitet af LED-driver

- **Protokoller**

For forkoblingsenheder eller LED-drivere, der kan dæmpe lyset, skal den ønskede lysstyrke som regel kommunikeres til forkoblingsenheden eller LED-driveren. Der findes forskellige metoder, der bliver anvendt til at opnå dette.

### 1-10 V

1-10 V-dæmpning er en af de mest simple måder at dæmpe lyset på. Den går ud på, at der på forkoblingsenhedens eller LED-driverens 1-10 V indgang sætter en spænding mellem 1 og 10 V, som så anvendes som reference til at sætte lysstyrken i forhold til maksimalstrømmen.

1 V giver således 0 % lysstrøm (eller forkoblingsenhedens eller LED-driverens minimale lysstrøm) og 10 V giver 100 % lysstrøm.

### DALI og DALI-2

DALI er en forkortelse for Digital Addressable Lighting Interface. Bag DALI står Digital Illumination Interface Alliance (DiiA), som er et åbent globalt konsortium af belysningsvirksomheder. Hovedformålet er at øge markedet for belysningsstyringsløsninger baseret på IEC 62386, den internationale standard for standardiseret digital protokol til lysstyring (DALI). DiiA står for certifice-ringer og giver retten for et produkt at bære DALI-certificeringslogoet.

Med DALI er det muligt at foretage digital styring af individuelle forkoblingsenheder eller LEDdrivere i større belysningsystemer. Der er store fordele ved det, såsom muligheden for opdeling af belysningsanlægget i grupper og muligheden for ændringer af lysprofiler efter opsætning af belysningsanlægget. Det er således kun nødvendigt at omprogrammere indstillingerne, hvis lokalets udformning ændres, eller hvis det skal bruges på en anden måde.

For større individuelt styrede belysningsanlæg er DALI at foretrække frem for 1-10 V, da mængden og kompleksiteten af kabler til styring nedsættes. DALI er således baseret på et enkelt kabel, gennem hvilket der føres et dobbeltrettet digitalt signal mellem samtlige enheder i systemet.

Med DALI er der mulighed for dobbeltrettet kommunikation via styrelederne. Status- og eventuel fejlindikering fra komponenterne i systemet kan indhentes til eventuelt tilsluttet software.

En såkaldt 'DALI bus' kan håndtere op til 64 enheder som eksempelvis kan være forkoblingsenheder eller LED-drivere, trykknapper og sensorer. Disse kobles ofte sammen med en 'DALI rou-ter', der står for at kommunikere på tværs af busserne og til at kommunikere med DALI-software på en PC. Hele styringsystemet er således forbundet i et Ethernet-netværk.

DALI kan også integreres med et BMS-system (eksempelvis KNX).

DALI 2 er en udvidelse af DALI-standarden og tager udgangspunkt i den oprindelige standard, Grunden til udvidelsen er, at der længe har været et stigende ønske og krav til en del forbedringer af standarden, bl.a. en fælles standard på input-siden, PIR-sensorer, dagslyssensorer, trykknapper m.m. Med den oprindelige Dali standard har det kun været muligt at benytte fælles out-put, forkoblinger, LED drivere, lysdæmpere, relæmoduler m.m.

## **DMX-512**

DMX-512-standarden er en anden digital styringsmetode, der oprindeligt er udviklet til teater- og koncertbelysning samt sceneteknik. I de senere år har styringsmetoden vundet indpas i arkitektonisk belysning og andre steder med høje krav til hurtig og præcis styring. Hver enhed i DMX systemet har sin egen adresse og kan derved styres individuelt (tænde, slukke, dæmpe og far-veskift). DMX systemet kan håndtere 512 enheder (adresser) pr. streng i modsætning til 64 i DALI systemet. DMX-512 er meget centraliseret, idet der kræves en kontrolstation, der samler styringen. Som udgangspunkt kan DMX-512-udstyr ikke kommunikere tilbage fra lysudstyret til kontrolstationen, men systemet kan udvides med RDM (Remote Device Management), der kan tilføje denne funktionalitet.

DALI eller DMX512?

De to mest fremherskende standarder for digital lysstyring er DALI og DMX512. Deres forskelligheder kan kort opsummeres til:

DALI-systemer ses typisk som protokol til områder såsom kontorbygninger, fabrikker og klasselokaler, hvor DMX-512-styringer typisk ses til applikationer, hvor hurtig og præcis lysstyring er nødvendig, f.eks. koncerter, tv-produktioner, teater og arkitektonisk belysning.



## • Brugerflade

Brugerfladen er den del af lysstyringssystemet, hvor brugerne har mulighed for at styre belysningsanlægget.

Der er to brugere af brugerfladen. Den ene bruger et belysningsteknikeren der skal indstille og programmere de ønskede indstillinger af belysningsanlægget mens den anden er personen eller de personer der skal styre lyset til daglig.

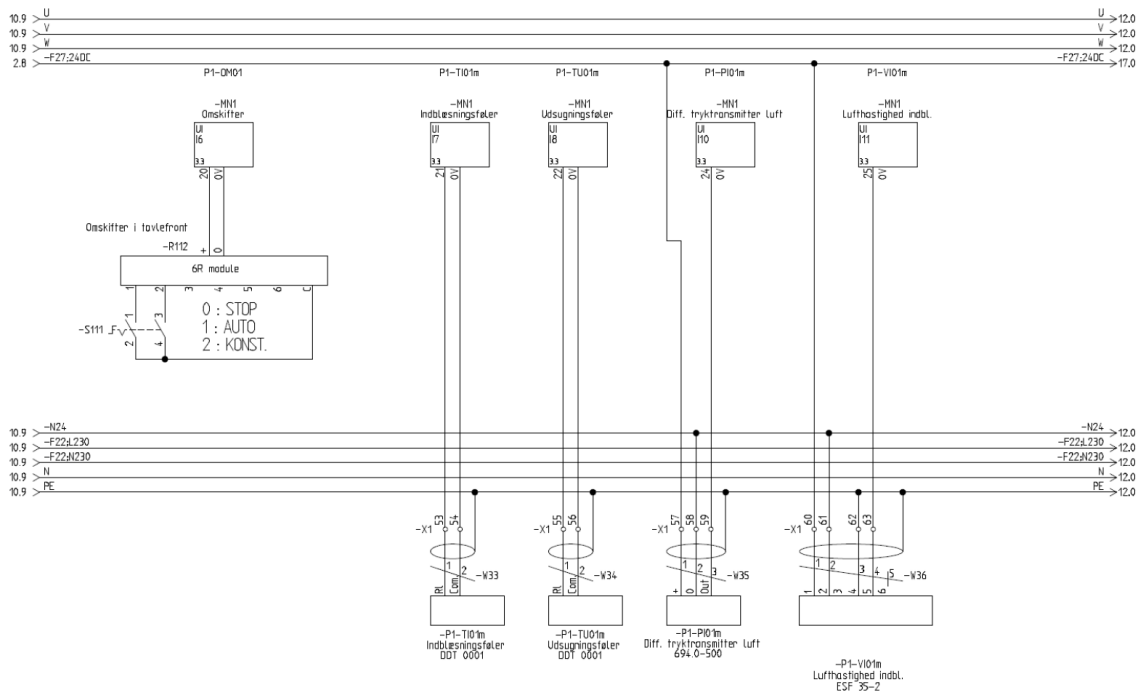
Brugerfladen kan være alt fra simple tænd/sluk knapper der udelukkende kan tænde og slukke belysningsanlægget til avancerede applikationer på tablets eller mobiltelefoner, hvor der kan vælges mellem forskellige forprogrammerede belysningsscenarier eller hvor brugeren selv kan indstillet sit ønskede scenarie (lysfarve, farvetemperatur, belysningsstyrke, driftstid m.m.).

Brugerfladen har stor betydning for hvorledes lysstyringen anvendes. Det er vigtigt at brugerfladen er overskuelig og ukompliceret at anvende da brugerne ellers ikke vil anvende lysstyringen og indstillingen altid være den samme.

Undercentraler monteres på DIN skinner i pladekapslede tavler hvor der også kan monteret IO m-duler, strømforsyninger til komponenter, eventuelle stærkstrømsrelæer mm. Der er i mange tilfælde tale om tavler der produceres af en tavlebygger, og er klar til fortrådning når den monteres i bygningen.

Alle kabler og automatik komponenter mærkes med ID numre som angiver unikke anlægsnavne og korresponderer med kabeltegninger og PI diagrammer således der er sammenhæng mellem dokumentationen og det udførte.

Signalkabler til automatiksystemer føres i separate spor i kabelbakker og på kabelstiger så de er adskilt fra stærkstrømskabler.



Figur 29. Eksempel på tavletegning

IBI controllere monteres oftest direkte på etagedæk over det nedhængte loft i de rum funktionerne er tilknyttet. Kabling føres enten i fælles føringsveje eller i separate føringsrør eller lignende mellem de enkelte Ibi controllere.

## Eksisterende installation

I en eksisterende automatikinstallation der er defekt, kan der som alternativ til en total udskiftning foretages en udskiftning af selve undercentralen og tilhørende IO moduler hvis de øvrige automatikkomponenter er funktionelle. Der vil i så fald være behov for at foretage programmering af de funktioner der var i den tidligere undercentral i den nye undercentral.

## Idriftsætning

Når automatikinstallationen er monteret, udføres kontrol af at alle komponenter har forbindelse til undercentraler og IBI controllere og reagerer. I forbindelse med f.eks. ventilationsanlæg kan en del af idriftsætningen bestå i at sikre at anlægget regulerer korrekt i forbindelse med indregulering af luftmængder der foretages af en ventilationstekniker.

## Funktionsafprøvning

I henhold til Bygningsreglementet kap 19 § 391 skal der gennemføres en funktionsafprøvning af varme- og køleanlæg før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise, at varme- og køleanlæggene overholder bygningsreglementets krav til indregulering og styring.

I henhold til Bygningsreglementet kap 22 § 450 skal der gennemføres en funktionsafprøvning af ventilationsanlæg før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise om ventilationsanlægget overholder Bygningsreglementets krav til luftmængder (nominel luftstrøm), specifikt elforbrug til lufttransport (SEL-værdi) samt at eventuel behovsstyring fungerer efter hensigten.

I henhold til Bygningsreglementet kap 18 § 384 skal der gennemføres en funktionsafprøvning af belysningsanlæg før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal påvise om belysningsanlægget overholder Bygningsreglementets krav til belysningsstyrke samt at dagslysstyring, bevægelsesmeldere og zoneopdeling fungerer efter hensigten.

Funktionsafprøvninger kan for en stor dels vedkommende foretages via bygningens BMS-system hvis styringen er verificeret med eksterne kalibrerede måleinstrumenter forinden. I forbindelse med nogle afprøvninger, f.eks. eftervisning af funktionaliteten af behovsstyring er der dog krav om brug af eksterne måleinstrumenter til måling af de parametre der påvirker behovsstyringen.

## CE-mærkning

I henhold til maskindirektivet er der krav om at når maskiner der indgår som en del af et større anlæg med en samlet styring skal der foretages en CE- mærkning af det samlede anlæg, f.eks. et ventilations- eller varmeanlæg. CE-mærkningen består af et såkaldt teknisk dossier som samles af maskinfabrikanten. Da leverancen af bygningstekniske anlæg ofte kommer fra flere leverandører og der således ikke bare er en maskinfabrikant, vil der normalt blive udpeget en leverandør der står for den samlede CE-mærkning, og det vil ofte være leverandøren af CTS/BMS- systemet der i forvejen står for at forbinde alle de tekniske anlæg. De enkelte leverandører afleverer således dokumentation på deres delmaskiner til leverandøren af CTS/BMS- systemet der udarbejder den samlede CE-mærkning.

Er der tale om enkeltstående anlæg med integreret automatik uden tilslutning af andre komponenter, f.eks. et ventilationsanlæg vil den dokumentation der foreligger fra producenten ofte være tilstrækkelig.

## Eftersyn

Bygningsautomatik skal passes og vedligeholdes for at fungere korrekt. Når denne type anlæg ikke vedligeholdes efter forskrifterne fra leverandøren, medfører det ofte ringe komfort for bygningens brugere og et væsentligt højere energiforbrug end nødvendigt.

Det er derfor vigtigt, at automatikken løbende bliver tjekket, dvs. om der er defekte komponenter og om styringerne fungerer i praksis.

Der er ingen lovgivning omkring eftersyn af bygningsautomatik.

### Varmeautomatik

I forbindelse med service/eftersyn på fjernvarmeanlægget eller kedlen bør der foretages et tjek af vejrkompenseringsanlægget.

Tjekket skal vise, om der er den ønskede og indstillede sammenhæng mellem ude- og fremløbstemperaturen.

Hvis fremløbstemperaturen er for høj, kan det skyldes, at vejrkompenseringsanlægget er indstillet forkert eller er defekt.

Det kan også skyldes defekte temperaturfølere.

## **Ventilationsautomatik**

I forbindelse med service/eftersyn på ventilationsanlægget bør der foretages et tjek af indblæsningstemperaturen.

Tjekket skal vise, om der er overensstemmelse mellem den ønskede og målte indblæsningstemperatur.

Hvis indblæsningstemperaturen er for høj, kan det skyldes, at regulatoren er indstillet forkert eller er defekt.

Det kan også skyldes en defekt temperaturføler.

Driftstider for anlægget bør også tjekkes i forbindelse med eftersynet, så det sikres at der er overensstemmelse mellem ønskede og reelle driftstider.

Samtidig opvarmning og køling i samme anlæg eller rum skyldes fejl i automatikken. Samtidig opvarmning og køling ses fx i ventilationsanlæg, hvor der varmegenvindes og køles på samme tid.

## **Belysningsautomatik**

I forbindelse med service/eftersyn på belysningsanlægget bør der foretages et tjek af lysstyringen. Det gælder både tilstedeværelsestyringen, dagslystyringen og zonestylingen.

Driftstider for anlægget bør også tjekkes i forbindelse med eftersynet, så det sikres at der er overensstemmelse mellem ønskede og reelle driftstider.

# ENERGIHÅNDBOGEN

## 2019



## SOLCELLEANLÆG



*Energihåndbogen er udgivet med støtte fra Grundejernes Investeringsfond*



# SOLCELLEANLÆG

## Indhold

<b>Solcelleanlæg til husstande</b>	<b>271</b>
Solcelleteknologier	271
Energiproduktion (energibesparelse)	273
Dimensionering	273
Hældning – orientering	274
Skygge	275
Udførelse	276
Eltilslutning m.m.	276
EI tavle – RCD(fejlstrømsafbryder)	277
Kabler	277
Adgangsforhold til moduler	278
Temperatur	278
Montering på eksisterende tag	278
Funktionsafprøvning	278
Eftersyn	278
<b>Batterianlæg til husstande</b>	<b>279</b>
Batteri-teknologier	279
Energilagring	282
Dimensionering	282
Udførelse	283
Myndighedskrav	283
Sikkerhed	284
Eltilslutning mm	284
Kabler	284
Adgangsforhold til batterilager	285
Temperatur	285
Funktionsafprøvning	286
Eftersyn	286



## Solcelleanlæg til husstande

Solcelleanlæg er velegnede til bygninger, der har en facade eller tagflade, som vender tilnærmelsesvist mod syd – særligt hvis de ikke er udsat for nævneværdig skygge fra midt formiddag til sen eftermiddag i sommerhalvåret. Det er især oplagt at etablere solcelleanlægget i sammenhæng med reparation eller udskiftning af tagbelægningen eller ved nybyggeri. Solceller placeret på taget eller facaden af et hus kan bidrage til at nedbringe det årlige netto-elforbrug fra elnettet. Desuden kan solceller for nyere huse være en fornuftig løsning til at forbedre husets energiklasse.

Anlægget er koblet til det offentlige elnet via en elektronisk vekselretter, som automatisk sørger for at tilpasse elproduktionen fra solcellerne til elnettets spænding og frekvens. Når solcellerne producerer elektricitet, benyttes det i husets elforbrugende apparater. Hvis elproduktionen fra solcellerne overstiger husets elforbrug, eksporterer solcelleanlægget til nettet.

## Solcelleteknologier

En solcelle er en halvleder, der omsætter lys til elektricitet ved hjælp af den såkaldte fotoelektriske effekt. Et solcelleanlæg producerer derfor elektricitet, når det belyses; mest når solen skinner kraftigt og i mindre grad, når det er overskyet. Det sker uden bevægelige dele og lydløst.

Solcelleanlæg er karakteriseret ved deres modulære opbygning af enkelte celler på  $\frac{1}{2}$  volt, som sættes sammen i moduler, som igen kobles sammen til at give anlægget den ønskede strømstyrke og spænding. Kobles de sammen i serie, stiger spændingen – større strømstyrke opnås ved at koble modulerne parallelt.

Solceller er robuste og har forventede levetider i størrelsesordenen 25 år. De er følsomme over for skygger, og markant skygge på selv mindre arealer kan få betydelig negativ effekt på elproduktionen.

De to mest almindelige kategorier af solcelleteknologier er krystallinsk og tyndfilmsceller.



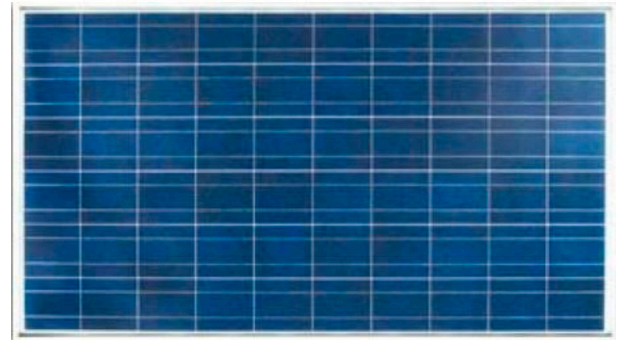
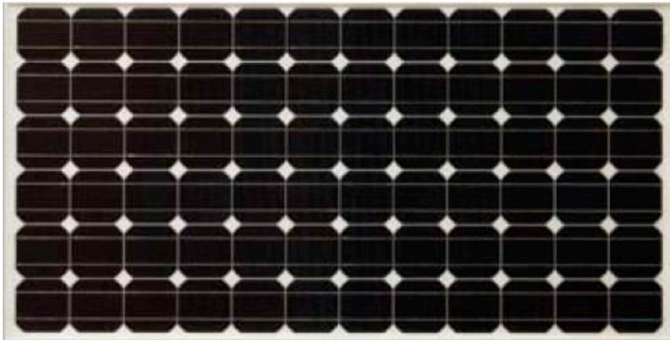
Figur 1. Solceller på tagflade. Foto: Teknologisk Institut



Solceller af krystallinsk silicium er de ældste, mest udbredte og mest effektive. De kendes på den typiske inddeling i et antal firkantede celler på størrelse med en stor håndflade.

Krystallinske solceller kan inddeles i mono- og polykrystallinske celler, hvor monokrystallinske er skåret af én krystal, og polykrystallinske af mange krystaller, og derfor har et mere nistret udseende. Ydelsen pr. kvadratmeter ses på tabel 1.

Tyndfilmsmoduler kendes på et mere homogent og som oftest ret mørkt udseende, hvor de enkelte, langsgående celler vanskeligt kan skelnes. De mest almindelige typer er CIS (Cobber-indium\_selerid) og CdTe (Cadmium-tellurid) som begge fremtræder med en ensartet sort flade. Tyndfilm af silicium er på vej ud af markedet grundet en ringere effektivitet.



Figur 2. Monokrystallinske solceller (Foto: Teknologisk Institut)    Figur 3. Polykrystallinske solceller (Foto: Teknologisk Institut)



Figur 4. tyndfilmsceller af typen CIS ((Foto: Teknologisk Institut)

## Energiproduktion (energibesparelse)

Solcelleanlæggets elektriske ydeevne angives i Wattpeak (Wp), som er den effekt, det kan levere i kraftigt solskin og køligt vejr. Et sydvendt anlæg på 1 kWp producerer under danske forhold ca. 950 kWh årligt. Et typisk husstands-solcelleanlæg på 3 – 6 kW – vil altså kunne producere 2850 – 5700 kWh årligt.

I tabel 1 ses hvor meget de almindeligste solcelletyper kan producere pr. kvadratmeter, og hvor mange kvadratmeter, der skal til at installere 1 kWp.

	Mærkeeffekt [Wp/m <sup>2</sup> ]	Vejl. arealbehov pr kWp [m <sup>2</sup> /kWp]	Vejl. elproduktion [kWh/m <sup>2</sup> /år]
Mono-krystallinsk silicium	170-200(220 for de dyreste)	6	170
Poly-krystallinsk silicium	140-180	7	140
Tyndfilm CI(G)S	120-150	8	120
Tyndfilm CdTe	110-130	9	110

Tabel 1. Produktion fra de almindeligste solcelletyper pr. kvadratmeter og hvor mange kvadratmeter, der skal til at installere 1 kWp

## Dimensionering

Anlægsdimensionering er vigtig. Med de aktuelle regler i Danmark anbefales at vælge en størrelse på solcelleanlægget, hvor produktionen ikke er alt for høj i forhold til ens forbrug. Man kan bruge tabel 3 til at få en fornemmelse af, hvor meget el en typisk husstand selv kan bruge direkte fra en given anlægsstørrelse. For en mere nøjagtig beregning skal man have fat i timeværdier for forbrug og produktion.

Parametre for vurdering af anlægsstørrelse:

- Estimeret egenproduktion bør ligge tæt på det vurderede dagstime forbrug i sommerhalvåret
- Tilpas antallet af paneler, så det arkitektonisk kommer til at se ordentligt ud. Her kan men måske med fordel bruge mindre effektive moduler for at udfylde en hel tagflade

	140 m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>
1 voksen	3.300 kWh	3.700 kWh
2 voksne	4.200 kWh	4.700 kWh
2 voksne og 2 mindre børn	4.900 kWh	5.300 kWh
2 voksne og 2 større børn	5.300 kWh	5.800 kWh

Tabel 2. Vejledende årligt elforbrug i parcelhuse uden elvarme

Solcellestrøm ift. hele bygningens årlige elforbrug	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,00	1,10	1,20	1,50	2,00	3,00	4,00	5,00
Udnyttelses-% u. elopvarmning	0,69	0,67	0,60	0,53	0,47	0,42	0,38	0,35	0,32	0,30	0,28	0,26	0,22	0,18	0,13	0,10	0,08
Udnyttelses-% m. elopvarmning	0,50	0,44	0,40	0,36	0,33	0,30	0,28	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20	0,17	0,13	0,10	0,08	0,06

Tabel 3. Udnyttelsesprocent af solcellestrøm i husholdningen (egetforbrug), afhængigt af årlig solcelleproduktion i forhold til hele bygningens årlige elforbrug (med og uden elvarme). Tabellen tager ikke hensyn til anlæggets orientering og hældning. Se tabel 4.

Forudsætning: Elproduktionen i tabel 1 og 3 forudsætter, at solcellemodulerne orienteres mod syd med en hældning på 30-40°, at de ikke udsættes for meget høje driftstemperaturer, og at der ikke forekommer skygger af betydning. Der er under disse forhold antaget en årlig elproduktion på 950 kWh pr. installeret kWp. Dette tal er nogenlunde uafhængigt af solcelleteknologi, men svinger med geografisk placering og fra år til år. Ved anden hældning/orientering se tabel 4. Det forudsættes desuden i tabel 3, at elmåleren er sat op så egetforbruget ikke afhænger af fordelingen på nettets tre faser, og at der ikke er indbygget batterilager i solcelleanlægget.

### Eksempel 1

En familie på 2 voksne og 1 mindre barn bruger årligt 4500 kWh (Se tabel 2.) Der etableres et 2 kW anlæg på et tag, som vender mod sydvest og hælder 40 grader.

Anlægget producerer så  $950 \text{ kWh} \times 2 \times 0,91 = \text{ca. } 1740 \text{ kWh}$  årligt (Se tabel 4)

Solcellestrøm i forhold til hele bygningens årlige forbrug =  $1740/4500 = 0,39$ .

Egetforbrug = 53 % (Se tabel 3) dvs.  $1740 \times 0,53 = 922 \text{ kWh}$ .

## Hældning – orientering

En af de første ting man skal gøre sig klart, er verdenshjørnerne, hvilken orientering har husets tag. Dernæst spiller tagets hældning også en rolle. Som det fremgår af tabel 4, kan disse to parametre være af stor betydning i forhold til anlæggets mulige ydeevne.

Et solcelleanlæg virker optimalt ved en placering på en sydvendt 30-40° tagflade. Er der ikke mulighed for dette, vil samme ydeevne kunne opnås ved at øge solcellemodulernes samlede areal, afhængig af retning og taghældning.

I tabel 4 ses hvorledes placering og ydeevne hænger sammen.

Hældning	Tagets retning										
	Vest		Sydvst			Syd			Sydpst		Øst
	90°	60°	45°	30°	15°	0°	15°	30°	45°	60°	90°
0°	86 %	86 %	86 %	86 %	86 %	86 %	86 %	86 %	86 %	86 %	86 %
5°	86 %	88 %	89 %	89 %	90 %	90 %	90 %	89 %	89 %	88 %	86 %
10°	86 %	89 %	91 %	92 %	93 %	93 %	93 %	92 %	91 %	89 %	86 %
15°	85 %	90 %	92 %	94 %	95 %	95 %	95 %	94 %	92 %	90 %	85 %
20°	84 %	91 %	93 %	95 %	97 %	97 %	97 %	95 %	93 %	91 %	84 %
25°	83 %	91 %	94 %	97 %	98 %	99 %	98 %	95 %	94 %	91 %	83 %
30°	81 %	91 %	94 %	98 %	99 %	100 %	99 %	97 %	94 %	91 %	81 %
35°	80 %	90 %	94 %	97 %	99 %	100 %	99 %	97 %	94 %	91 %	80 %
40°	78 %	89 %	91 %	97 %	99 %	100 %	99 %	97 %	94 %	89 %	78 %
45°	77 %	88 %	93 %	96 %	99 %	99 %	99 %	96 %	93 %	88 %	77 %
60°	70 %	83 %	88 %	93 %	94 %	94 %	94 %	92 %	88 %	83 %	70 %
70°	66 %	78 %	82 %	86 %	88 %	88 %	87 %	86 %	88 %	83 %	70 %
90°	44 %	64 %	68 %	70 %	72 %	72 %	72 %	70 %	68 %	64 %	44 %

Tabel 4. Sammenhæng mellem placering og ydeevne

## Eksempel 2

Eksempel på anvendelse af tabel 4: Et solcelleanlæg på 4,5 kWp, placeret sydvendt med en hældning på 35°, frit ventileret og ikke udsat for skygger kan producere ca. 4.050 kWh/år (svarende til de 100 % i tabel 4).

Hvis taghældningen er 60° fra vandret, og orienteringen er sydvest, yder anlægget kun 88 % svarende til ca. 3.564 kWh/år. Hvis en årlig elproduktion på 4.050 kWh ønskes, kan man øge den installerede solcelleeffekt (og dermed arealet) med en faktor  $1/0,88 = 1,14$ . Dermed kommer den installerede effekt op på 5,1 kWp.

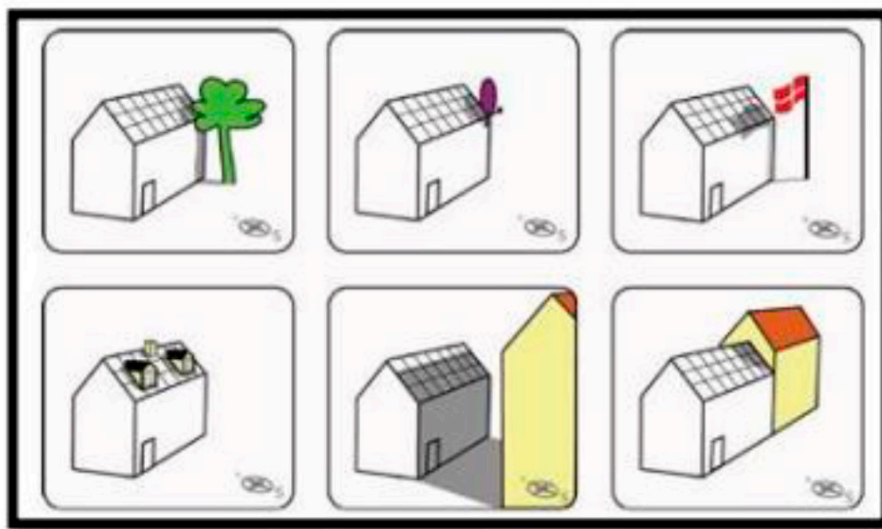
## Skygge

Solcellernes energiproduktion er følsom overfor skygger. Det påtænkte sted for opsætning af solcellerne bør fra og med april til og med september ikke være udsat for skygger i tidsrummet fra midt formiddag til sen eftermiddag. Desuden bør hele solcelleanlæggets areal have ensartede lys/skyggeforhold. Hvis dele af anlægget udsættes for betydelige forskelle i lys/skygge, bør det deles op i mindre anlæg.

Skyggegivere kan fx være taghætter, master, træer, bygninger og antenner, skorsten, karnap, vinduer og andre ting der bryder tagfladen. Dette har indflydelse ikke bare på skygger, men også i forhold til hvordan panelerne kan placeres. På skitsen er vist nogle forhold der kan medvirke til skygger på taget, det er meget vigtigt at være opmærksom på disse forhold inden anlægget sættes op, da det kan have en stærk indflydelse på anlæggets ydeevne og levetid.

Hvis der er skygge på taget om sommeren, kan der vælges en anden placering af solcellemodulerne: På carport, udhus eller fritstående på stativ. Vær opmærksom på, at hvis der vælges en placering, der er lavere, mere lodret eller mere afvigende fra syd, så øges risikoen for skyggepåvirkning.

De fleste skyggeforhold ændrer sig ikke gennem årene, men mht. træer, skal man prøve at forudse deres vækst og det kan derfor være fornuftigt at få dem fjernet inden de giver problemer.



Figur 5. Skygger på solceller (Illustration: Teknologisk Institut)

## Udførelse

Bygningens tag, hvorpå solcellemodulerne skal monteres, skal grundigt gennemgås. Både med hensyn til, at anlæggets ydeevne bedre kan beregnes, men også at der ikke pludseligt er uventede udfordringer/besværigheder ved monteringsarbejdet.

Inden selve udførelsen bør det sikres, at lokalplanen tillader opsætning af solceller på bygningen. Dette er især relevant i områder med mange fredede bygninger.

## Eltilslutning m.m.

### Måler

Den eksisterende måler anvendes, eller den udskiftes til ny af forsyningsselskabet, hvis den ikke har de fornødne muligheder for time opgørelse i begge retninger. Alle nyopsatte solcellemålere skal kunne måle nettoenergi, hvilket vil sige med summation af de tre faser.

### Vekselretter

Generelt bør det tilstræbes, at inverteren (vekselretter) placeres tørt, køligt og velventileret, helst et støvfrit sted af hensyn til levetid og maksimal ydeevne.

Når anlægget planlægges, er det vigtigt at have fokus på at reducere støjgener fra anlæggets inverter. Den bør derfor ikke opsættes i opholdsrum, og heller ikke placeres på en væg op til fx et soveværelse.

Inverteren må ikke monteres direkte på brændbart materiale. Der vil dog altid være en anvisning fra producenten om dennes krav til placeringen. Der skal sørges for, at inverteren kan komme af med overskudsvarmen, og derfor placeres den med så lav omgivelsestemperatur som mulig.

En placering udendørs, tørt og skyggefaldt, vil derfor ofte være en optimal løsning (hvis IP tæthedsklasse tillader det).



Figur 6. Inverter (Foto: Teknologisk Institut)



Det bør tilstræbes at minimere afstanden mellem vekselretter og eltavle samt solcellemodulerne for at mindske de elektriske tab. Nogle solcellemoduler er udstyret med hver sin vekselretter, som sidder på bagsiden, og i så fald er der ingen DC kabler.



Figur 7. Eksempel på udendørs monteret inverter (Foto: Sikkerhedsstyrelsen)

### El tavle – RCD(fejlstrømsafbryder)

Der skal i almindelige husinstallationer (TT1 net) monteres en separat RCD på inverterens vekselstrømsside, der alene dækker solcelleinstallationen. Valget af inverter har betydning for om det er RCD Type A eller B der skal anvendes.

Der findes en- og trefasede invertorer, og disse kan være med eller uden transformer. Type og konstruktion af inverteren afgør, hvilken type fejlstrømsafbryder, der skal anvendes.

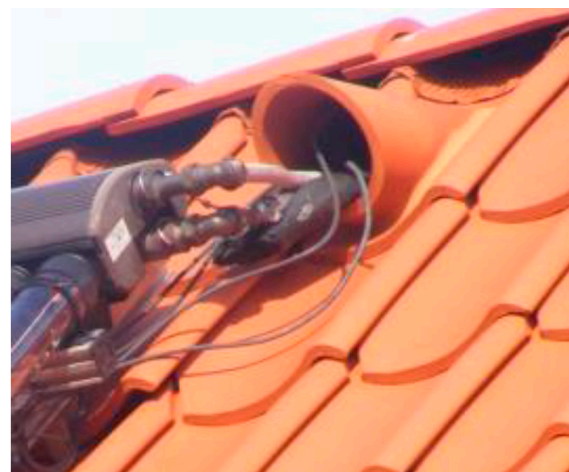
### Kabler

Kablerne må ikke ligge direkte i solen.

Man skal overveje mulighederne for, hvordan man kan få ført kablerne fra modulerne og frem til inverteren. Typisk skal kablerne føres ind gennem taget (eller udvendigt), og så fra loft til kælder.



Figur 8. Kabler gennem tegl (Foto: Teknologisk Institut)



Figur 9. Kabler gennem tudsten (Foto: Teknologisk Institut)

Det frarådes at bore i tegl, som vist på billedet til venstre. En mulighed er eksempelvis taghætter, skorsten, tudsten eller lignende, som man kan bruge, uden at man skal lave destruktive indgreb på taget.

## Adgangsforhold til moduler

Ved planlægning af montagen af solcellemodulerne bør adgangsforholdene til det enkelte modul overvejes, hvis det skulle blive nødvendigt med fejlsøgning og evt. udskiftning af et modul.

## Temperatur

Solcelleanlæg skal udføres, så de ikke giver anledning til temperaturforårsagede skader på bygningen. Solcellemodulerne kan opnå driftstemperaturer, der ligger 20 til 40°C over omgivelsernes, mest hvis bagsiden er isoleret, som det fx ofte vil være tilfældet ved nedfældning i klimaskærmen.

Solceller bør have god ventilation på bagsiden af hensyn til elproduktionen. Det kan dog være svært at opnå, når de nedfældes i fx en tagflade. Den forhøjede driftstemperatur kan reducere den årlige elproduktion samt give lavere levetid.

## Montering på eksisterende tag

Solcellemodulerne monteres på skinner på taget, på et stativ eller på ballastkasser. Anlægget kan normalt leveres med beslag til forskellige tagtyper.

Hvis der er fladt tag, monteres solcellemodulerne på et stativ eller ballastkasser, gerne så de vender stik syd med en hældning på 30-40°. Ved valg af ballastkasser, tjek at taget kan bære den forøgede vægt. Solcellemoduler vejer typisk 12 kg/m<sup>2</sup> (1 lag glas med ramme) til 18 kg/m<sup>2</sup> (2 lag glas rammeløs). Alternativt kan solcellemodulerne placeres på stativ på jorden.

## Funktionsafprøvning

Der stilles ingen formelle krav til funktionsafprøvning. Som minimum bør der foretages en kontrol af hver enkelt DC solcelleindgang til inverteren.

Anlægget skal sluttes til elnettet af en autoriseret elinstallatør.

Der er ingen specifikke krav i bygningsreglementet til anlæggets ydeevne.

Installationer, som kan medføre en særlig risiko for brand, skal placeres og udføres i bygningen, så risikoen for, at en brand opstår og spreder sig, minimeres.

## Eftersyn

Der er ikke krav til eftersyn af solcelleanlæg. Ved større anlæg anbefales det at installere automatisk overvågning samt inspicere en gang årligt. Ved mindre anlæg anbefales det, at ejeren selv følger med i produktionen og dermed registrere større afvigelser.

Kilder:

- Videncenter for energibesparelser i bygninger: "Solcelleanlæg til elproduktion"
- "Vejledning og tjekliste" Teknologisk Institut og KSO-Ordningen
- "Solceller" Energistyrelsen
- Bekendtgørelse om Håndbog for Energikonsulenter (HB 2016)
- [www.bis.teknologisk.dk](http://www.bis.teknologisk.dk)
- Teknologisk Institut



Det bliver mere og mere økonomisk interessant for mange ejere af solcelleanlæg at forøge den del af produktionen de kan bruge selv, og energilagring er i den forbindelse et oplagt virkemiddel. Batterier kan, sammen med en passende styring, prioritere hvad overskuds-strømmen skal bruges til, for eksempel i rækkefølgen: Start af vaskemaskine – varmepumpe – batteriopladning – dyppekoger osv.

### Eksisterende solcelleanlæg

Alle boliger på den "gamle" årsbaserede nettoafregning vil senest i 2020 blive tvunget over på flexafregning. Disse solcelleanlæg er ofte dimensioneret efter den da gældende 6 kW grænse, og vil derfor i reglen have en alt for høj produktion i forhold til det aktuelle elforbrug i bygningen. For at nyttiggøre den overskydende el time for time, kan ejerne med fordel installere batterier og varmelagre.

### Nye solcelleanlæg

I modsætning hertil bliver der i dag ofte installeret ganske små solcelleanlæg for at minimere overskudsproduktion til nettet. Ved at tilpasse forbruget samt installere energilagring, vil man økonomisk set kunne forsvare et større solcelleanlæg. Dette vil ofte være arkitektonisk fordelagtigt.

I fremtiden, med flere varmepumper og elbiler i villakvartererne, vil større solcelleanlæg desuden kunne give et bidrag til varme- og transportsektoren, enten i Vehicle-to-Grid (V2G) løsninger eller blot som ekstra mulighed for PV(solcelle) egetforbrug.

## Batteri-teknologier

Stationære batterier til solcelleanlæg har traditionelt været af bly/syre typen, men i dag er Li-Ion batterier dominerende, især på grund af deres energitæthed, lange levetid og energieffektivitet. I modsætning til elbilbatterier, er lav vægt og høj effekt ikke så vigtig for stationære batterier. Her er prisen pr lagret kWh set over hele levetiden den afgørende faktor.

Blybatterier kræver dog ikke så meget styring og avancerede sikkerhedssystemer som Li-Ion batterier gør. Den største ulempe ved blybatterier er ringe tolerance overfor langvarig dybdeafledning og dermed kortere levetid. Blybatterier er forholdsvis billige i indkøb og er stadig det mest almindelige genopladelige batteri på verdensplan. Bly er et almindeligt forekommende materiale, men det er sundhedsfarligt og miljøskadeligt.

Li-Ion teknologien er under kraftig udvikling og findes i mange varianter. Høj energi- og effekttæthed samt en højere celledækningsgrad er nogle af de positive egenskaber for disse. Litium er brændbart og kan ikke slukkes med vand. Der er derfor store krav til sikkerhed ved konstruktion og brug af disse batterier. Litium-jernfosfat er en af de sikreste cellyper og derfor meget anvendt til stationære batterier.

Der er andre batterityper på vej til markedet, så som natrium-ion batterier og redox flow batterier, som ikke vil blive nærmere gennemgået her.

### Vigtige tekniske begreber:

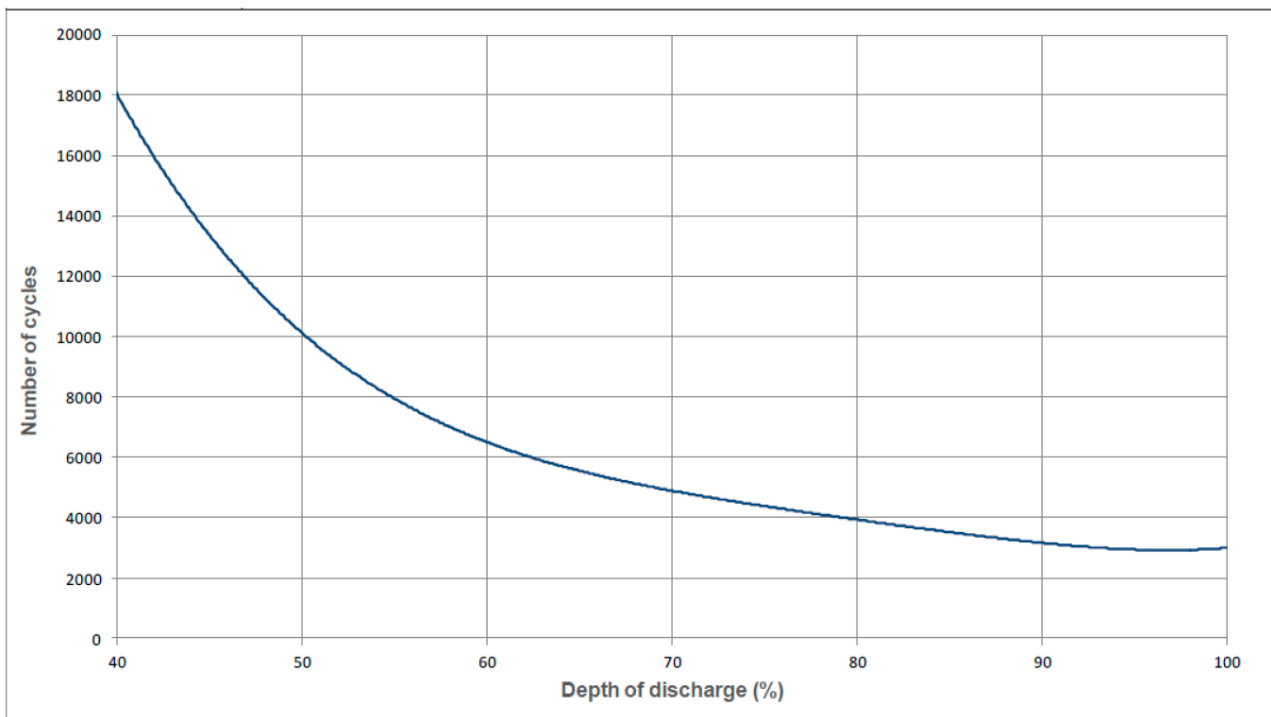
- Energikapacitet (udnyttbar og nominel) er det antal kWh man kan lagre i et nyt batteri uden at gå på kompromis med den ønskede levetid. Over tid falder energikapaciteten alt efter batteritype og anvendelse.
- BMS = Battery Management System. Elektronik der overvåger og regulerer de enkelte battericellers tilstand
- DoD= Depth of Discharge er den andel af batteriets kapacitet som i praksis bliver udnyttet for at få en fornuftig levetid, typisk op til 80% for Li-Ion batterier

- **Energieffektivitet.** Den andel af den "påfyldte" energi der kan hentes ud igen. Typisk ligger det på 80-95 % for selve batteriet og 65-80% for det samlede system med lader og vekselretter.
- **Standbyforbrug.** Den effekt som BMS (Battery Management System) og effektelektronikken bruger, selv om der ikke tappes energi fra systemet.
- **Energitab.** Der sker tab både under op- og afladning samt ved længere tids henstand af et opladet batteri. Det har alt sammen betydning for årsvirkningsgraden.
- **Årsvirkningsgrad (beregnet)** Den samlede systemvirkningsgrad for en konkret installation set over et års drift. Den er typisk ikke over 80% selv om producenterne tit lover noget andet.
- **Batterilevetid (vurderet).** Levetiden er defineret som den tid batteriet fungerer med mindst 80% af den oprindelige energikapacitet i behold.

Batteriers effektivitet og levetid afhænger i praksis af brugsmønstret, men generelt er forskellen på de almindeligste markedsførte typer:

Stationære batterityper	Anskaffelse	Energieffektivitet	Levetid ved korrekt brug
Bly/syre	Billigst	Cirka 80%	5-10 år
Li-Ion	Dyrest	>90%	>10 år

Foruden tabene i selve batteriet, sker der også tab i den elektronik der oplader og aflader batteriet. Det samlede årlige virkningsgrad for et nettilsluttet batteri kan derfor sagtens være under 70%.

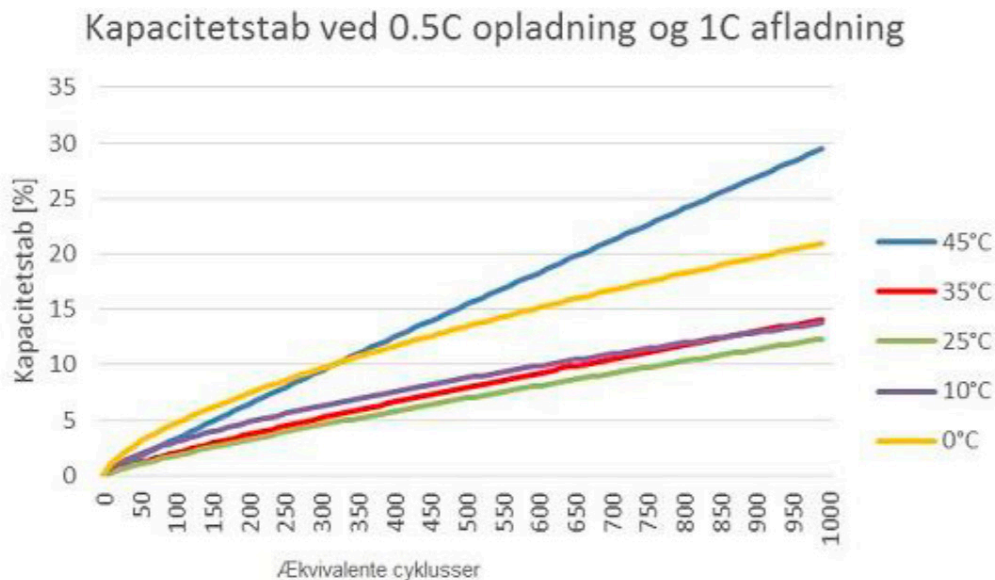


Figur 10 Eksempel på levetidens afhængighed af afladningsdybden. [EasyLi]

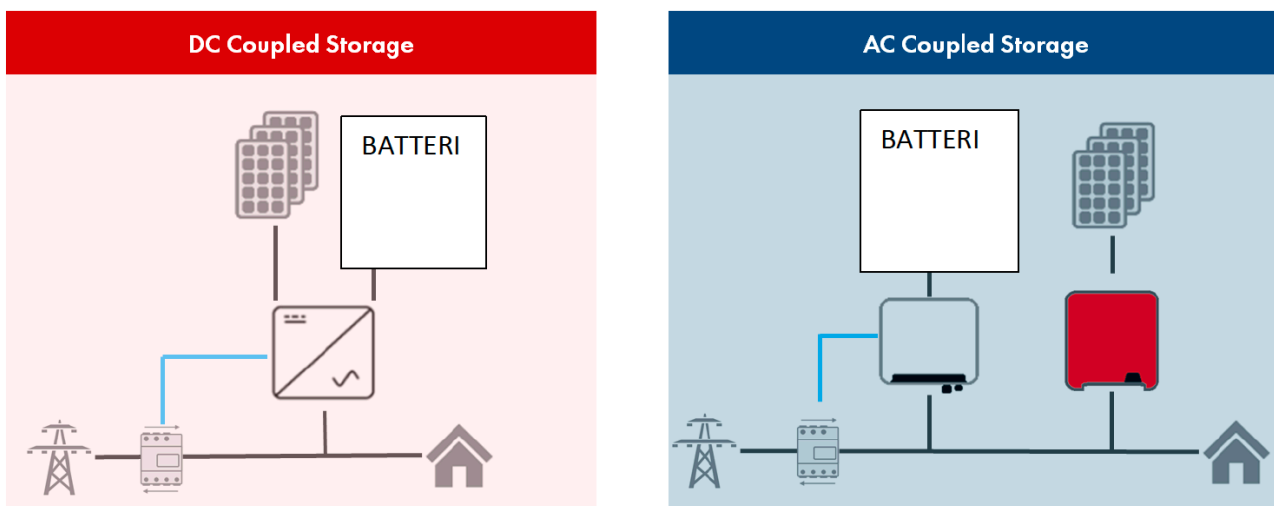
## AC eller DC batteri?

Alle batterier er lagre for jævnstrøm, men for at bruge dem på nettet skal der tilkobles en vekselretter(inverter) og ladeensretter. Som regel er det bygget sammen til én enhed.

Batterilagres kapacitet måles som regel i kWh, og det er her vigtigt at se på om det er den nominelle værdi der er angivet, eller den anbefalede udnyttelsesgrad, for eksempel 60 % eller 80% af den nominelle. Især for blybatterier bør men ikke regne med en alt for høj afladning (DOD=Depth of Discharge). Det er også vigtigt at vide om lade/ afladeelektronikken er medregnet i systemets virkningsgrad.



Figur 11 Typisk kapacitetstab som funktion af tid ved cyklisk drift og forskellige temperaturer for Li-Ion batteri. Man kan typisk regne med 250 cyklusser pr år, så på 4 år vil dette batteri være degraderet med mindst 12%. [Teknologisk Institut]



Figur 12. To principper for batteritilslutning. I det DC koblede system sidder batteriet på solcelleanlæggets egen inverter. I det AC koblede system er batteriet koblet til husets eltavle via en særlig tovejs inverter. Elmåleren styrer batteriets op/afladning i forhold til det aktuelle forbrug. [SMA]

- AC koblet batteri
  - Kan tilsluttes alle installationer (med eller uden eksisterende solceller)
  - Uafhængig inverterdimensionering
  - Ekstra inverter/lader
- DC koblet batteri
  - Enklere installation, men kræver særlig solcelleinverter forberedt for batteri
  - Fylder mindre
  - Passer ikke altid effektmæssigt



Figur 13 Eksempel på et 5 kWh Batterilager bestående af 15 celler. Til højre en 10 kWh væghængt batteripakke fra Tesla [Teknologisk Institut]

## Energilagring

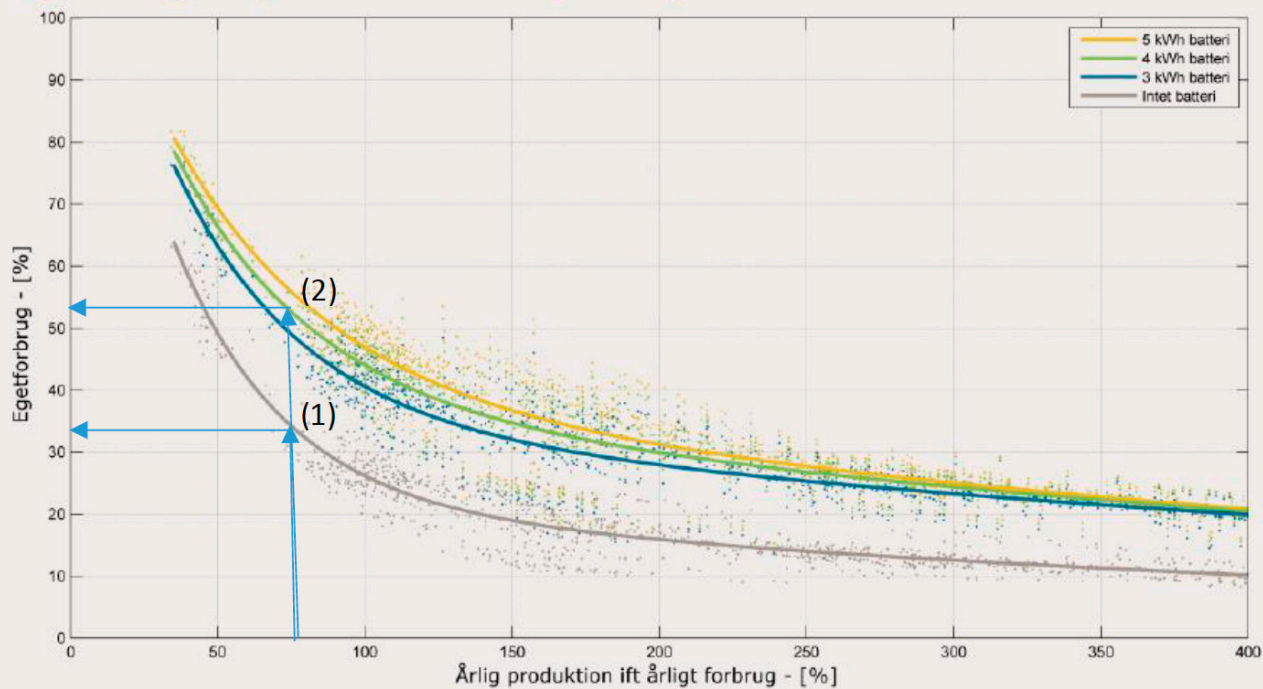
Batterier producerer ikke energi, som en vindmølle eller solceller – eller sparer energi, som isolering eller nye vinduer, så batterierne giver ikke en energibesparelse. Men i og med man med batterierne gemmer solcelle-strøm, til man selv kan bruge det, i stedet for at købe el fra nettet, så giver batterierne en økonomisk gevinst. Hvor meget man sparer, kommer an på forskellen på købs- og salgspris på elektricitet.

## Dimensionering

Det vil typisk være økonomien der bestemmer hvor store batterier der skal investeres i. Det skal være stort nok til at samle så meget overskudsstrøm som muligt på en solskinsdag, men det skal heller ikke stå tomt en stor del af året. En tommelfingerregel er at kunne gemme 1 times fuld elproduktion eller det natlige elforbrug.

Et typisk 6 kWp solcelleanlæg kan som eksempel producere omkring 30 kWh på en god solskinsdag.

## Egetforbrug for ejere af solcelleanlæg med og uden batterier



Figur 14 Selv et beskedent batteri giver en betydelig forøgelse af den egetforbrugte andel sol-el ved timeafregning. [Energinet.dk]

Hvis der bruges en separat batteriinverter, kan denne med fordel dimensioneres til cirka halvdelen af solcelleinverterens effekt for at undgå for mange driftstimer med lav belastning og dermed dårlig virkningsgrad.

### Eksempel 1: (se grafik)

Årligt elforbrug: 4000 kWh. Elproduktion fra solceller: 3000 kWh svarende til 75% af elforbrug.

Egetforbrugt andel solcelle-el uden batteri: ca. 33% (1)  
Egetforbrugt andel solcelle-el med 4 kWh batteri: ca. 53% (2)

Forskel i kWh: 20% af 3000 kWh = 600 kWh som altså ikke længere skal sendes ud og købes tilbage fra nettet men kan bruges direkte fra solcelleanlægget.

### Udførelse

Ved installation af batterisystemer med opladede celler er der tale om arbejde under spænding og de dertil gældende regler for personbeskyttelse skal følges.

### Myndighedskrav

Der er registrerings- og tilslutningskrav fra Energinet for batterianlæg siden juni 2017, omfattende alle anlæg/ elbiler der kan aflades ind i installationen. (Teknisk Forskrift 3.3.1) Anlæg skal fx:

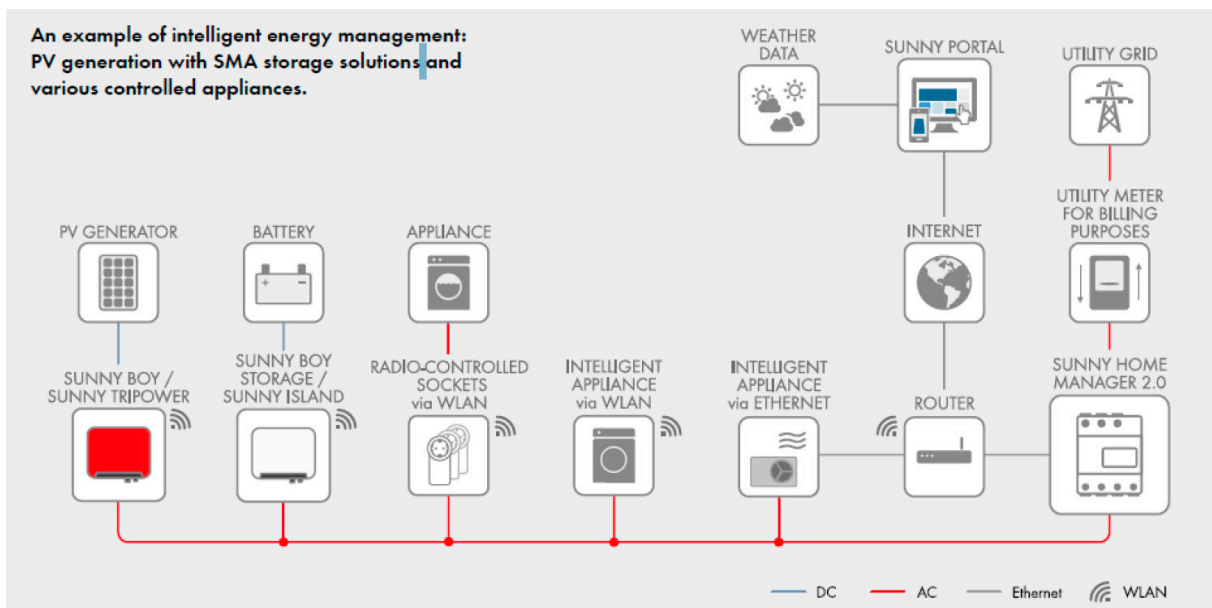
- Overholde krav til spændingskvalitet, flicker, harmoniske mv.
- Agere korrekt ved høj og lav netspænding og netfrekvens
- Kunne styres eksternt (afhængig af effektstørrelse)

Energiindholdet i batterierne er steget betragteligt med litium-ion teknologien. Dette giver helt nye udfordringer med hensyn til sikkerhed og størrelsen på laderne. Med litium-ion-teknologien fulgte også nye risici for brand i batteriet, hvis spændingen kommer uden for det mulige driftsområde. Sikkerheden er afhængig af en nøje overvågning af hver battericelle, så batteriet afbrydes inden der opstår fare. Selv små Li-ion batterier har normalt et elektronisk Battery Management System (BMS).

## Eltilslutning mm

### Måler

Batterier til solcelleanlæg tilsluttes til elnettet på forbrugssiden af elmåleren. Tilslutning sker enten via solcelleanlæggets inverter, eller en særskilt batteriinverter på en eller flere faser. De fleste markedsførte "egetforbrugssystemer" kræver at der installeres en ekstra elmåler, som kan registrere ind- og udgående el, og herudfra fortælle om batteriet skal oplades eller aflades.



Figur 15 Eksempel på intelligent energistyring i forbindelse med solceller og batterilager [SMA]. Sunny Home Manager er en ekstra elmåler som er indsat i eltavlen.

### Vekselretter

#### Placering

Generelt bør det tilstræbes, at batterilageret placeres et tørt, tempereret og støvfrit sted af hensyn til levetid og maksimal ydeevne. Med hensyn til batterilader/inverter skal man være opmærksom på, at den ikke placeres, så den generer støjmæssigt.

## Kabler

Ved batterier med lav spænding (typisk 50 V) bør der ikke være for stor afstand mellem inverter/lader og batteripakken. Nogle batteripakker har spændinger omkring 500V og her er afstanden ikke så afgørende. Det er vigtigt at vælge kabler til DC med tydelig mærkning af polaritet.



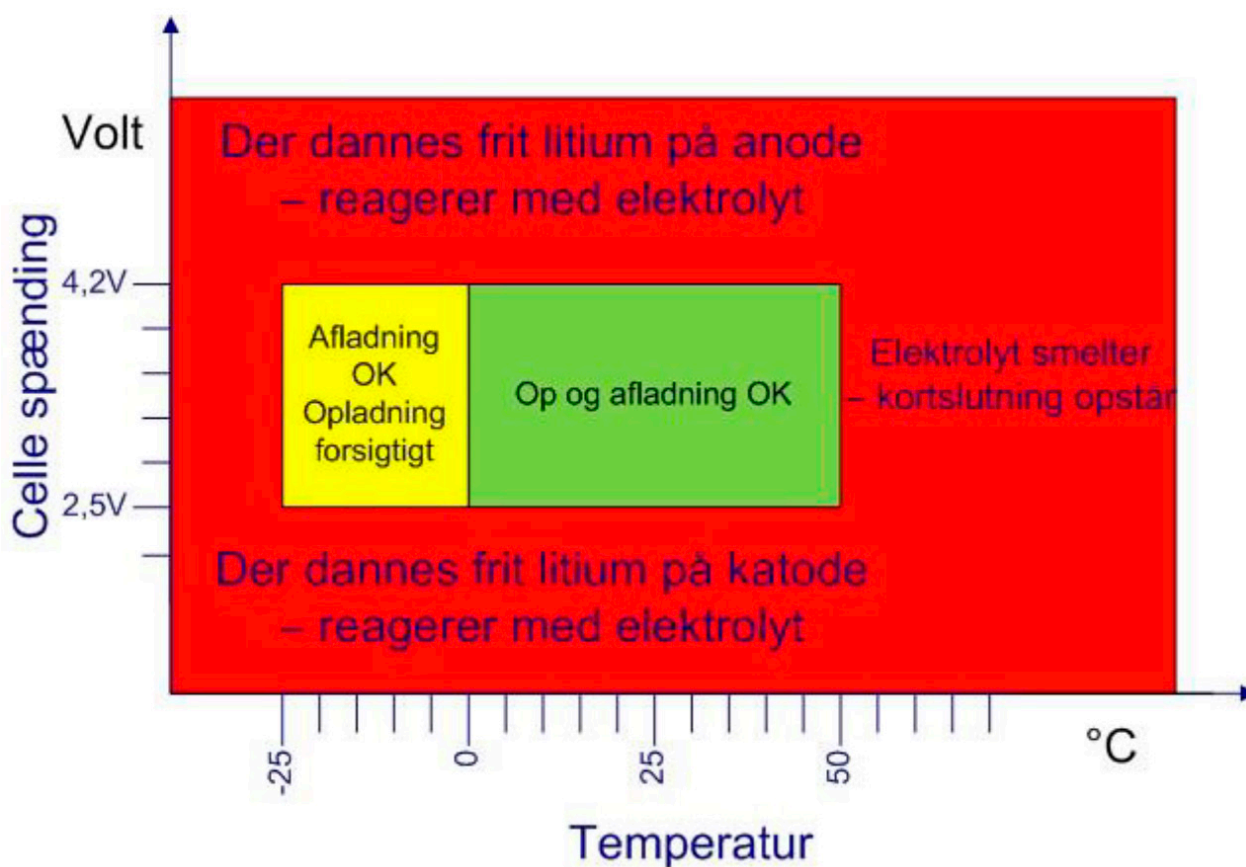
## Adgangsforhold til batterilager

Batterilageret bør anbringes så det er lettilgængeligt for service og eftersyn. Alt efter batteritype kan der være forskellige krav om ventilation og brandsikring.

## Temperatur

Batterier til solcelleanlæg bør installeres i et tempereret rum. Kapacitetstab afhænger i høj grad af, hvordan batteriers bruges og ikke mindst ved hvilken temperatur, de anvendes. De fleste batterier opnår den bedste kapacitet og længste levetid, hvis de bruges ved stuetemperatur, mens især høj temperatur afkorter levetiden væsentligt. Ved en batteritemperatur på 50 °C og derover kan batteriet ældes mere end fire gange så hurtigt som ved 20 °C.

Li-Ion batterier må af sikkerhedsgrunde kun bruges indenfor et begrænset interval:



Figur 16 Li-ion batterier arbejder sikkert inden for et snævert spændings- og temperaturområde. Uden for det sikre område kan batteriet under uheldige omstændigheder bryde i brand. [Teknologisk Institut]



## Funktionsafprøvning

Der stilles ingen krav til funktionsafprøvning, men der er omfattende krav om teknisk dokumentation.

Anlægget skal sluttes til elnettet af en autoriseret elinstallatør.

Der er ingen specifikke krav i bygningsreglementet til batteriets effektivitet eller kapacitet.

Installationer, som kan medføre en særlig risiko for brand, skal placeres og udføres i bygningen, så risikoen for, at en brand opstår og spreder sig, minimeres.

## Eftersyn

Batterianlæg bør kontrolleres visuelt med for eksempel nogle måneders mellemrum for at se eventuelle tegn på korrosion, temperaturskader eller andet der kan indikere et begyndende nedbrud. I systemer med BMS på celleniveau vil celler med unormal spænding eller temperatur blive registreret automanisk og en alarm afsendt.

### Kilder

- TF 3.3.1 Batterianlæg. Teknisk Forskrift for batterianlæg tilsluttet transmissions- og distributionsnettet. Energinet 2017
- Solceller og batterier i Danmark, version 2. Energinet 2016
- Safe BESS project: <https://www.teknologisk.dk/ydelser/anbefalinger-til-husstands-batterier/40140>
- Anbefalinger ved installation af batterianlæg. Teknik
- Teknologisk Institut

# ENERGIHÅNDBOGEN 2019



## GRADDAGE



*Energihåndbogen er udgivet med støtte fra Grundejernes Investeringsfond*



# GRADDAGE

## Indhold

<b>Hvad er graddage</b>	<b>287</b>
Definitioner	287
Anvendelse	288
Kølegraddage	288
Graddagesignatur	288
Energisignaturen	289
Anvendelse	290
Andre graddagesystemer	292

## Hvad er graddage

Graddage er et udtryk for, hvor koldt det har været udendørs. Det udtrykkes ved, at det for det første er et mål for den kuldepåvirkning en bygning udsættes for i en given periode og for det andet ved, at det er et mål for, hvor meget energi, der bruges til rumopvarmning.

Anvendelse af graddage gør det nemt at tage hensyn til denne kuldepåvirkning og korrigere en bygnings varme- og energiforbrug. Det vil sige, at graddagekorrigeret varme- og energiforbrug er et sandt eller mere rigtigt udtryk for et faktisk merforbrug eller et faktisk mindre forbrug (besparelse).

Graddagetallet anvendes således specifikt til at sammenligne energiforbruget pr. måned med en normal-måned og/eller pr. år med et normal år.

Energibrugere, hvad enten det er i privatboligen eller i store etageejendomme, kontorbygningen etc. kan ofte ikke huske hvor koldt/varmt det reelt har været i en varmesæson eller i det forløbne varmeregnskabsår. Det giver ofte anledning til overraskelser - af positiv eller negativ karakter – i form af tilbagebetaling eller efterbetaling. Her kan graddage sikre, at der kommer et reelt og sandt billede af det faktiske varmeforbrug gennem graddagekorrigering.

## Definitioner

- I eksempelvis Teknologisk Instituts graddagesystem påbegyndes graddageberegningen om efter-året, når døgnmiddeltemperaturen ude kommer ned på  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$  og derunder i mindst 3 sammenhængende døgn og ophører om foråret, når døgnmiddeltemperaturen når op på mindst  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  eller derover i mindst 3 sammenhængende døgn.
- Normalåret for Teknologisk Instituts graddage er 2906
- En graddag eller graddøgn er et udtryk for en forskel på  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  mellem den "indvendige" døgnmiddeltemperatur på  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$  og den "udvendige" døgnmiddeltemperatur i et døgn.
- Døgnets graddagetallet udregnes som forskellen mellem  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$  (indendørs) og den udvendige døgnmiddeltemperatur.

Er døgnmiddeltemperaturen ude fx  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , bliver graddagetallet for døgnet 22 graddage (22 °dage) i det pågældende døgn.

Er døgnmiddeltemperaturen ude fx  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , bliver graddagetallet for døgnet 15 graddage.

Bemærk:

Er der tale om minusgrader (fx  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) skal det aktuelle tal lægges til  $+17\text{ }^{\circ}\text{C} = 22$  graddage

Er der tale om plusgrader (fx  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) skal det aktuelle tal fratrækkes  $+17\text{ }^{\circ}\text{C} = 15$  graddage

- Det enkelte døgnets graddagetallet summeres til uge-, måneds-, sæson og årsværdier

Teknologisk Institut registrerer og udregner også de såkaldte EMO-graddage, som udarbejdes hele året. Normalåret for EMO graddage er 3112

### Graddage benyttes til så forskellige formål som:

- Varme- eller energiforbrugskontrol
- Varmebudgettering
- Fordeling af varme- og energibidrag
- Styrings- og kontrolredskab via graddagesignatur
- Kontrol og dokumentation af gennemført energibesparende foranstaltninger
- Beregning og planlægning af energileverancer
- Statistik, benchmarking og nøgletal
- Vurdering af aktuelt eller "passende" varmeforbrug
- Dimensionering af varmeanlæg
- Identificering af måle-, styrings- og reguleringsfejl i varmeanlæg

## Kølegraddage

Anvendelse af kølegraddage er ikke sat i et fast system som varmegraddage. Men hvis der er et kølebehov, beregnes kølegraddage ud fra en individuel fastsat basistemperatur, som er fastsat efter hvornår behovet for køling indtræder. Dette behovsniveau varierer ved komfortkøling i forskellige bygningstyper og i forbindelse med fx industri, handel og serviceområderne.

## Graddagesignatur

Graddagesignaturen er en slags fingeraftryk af en bygnings varmeisolerende evne i forhold til, hvor koldt det har været udendørs.

En graddagesignatur i et koordinatsystem er en grafisk afbildning af flere sammenhængende værdier af varme-/ energiforbruget og graddaget.

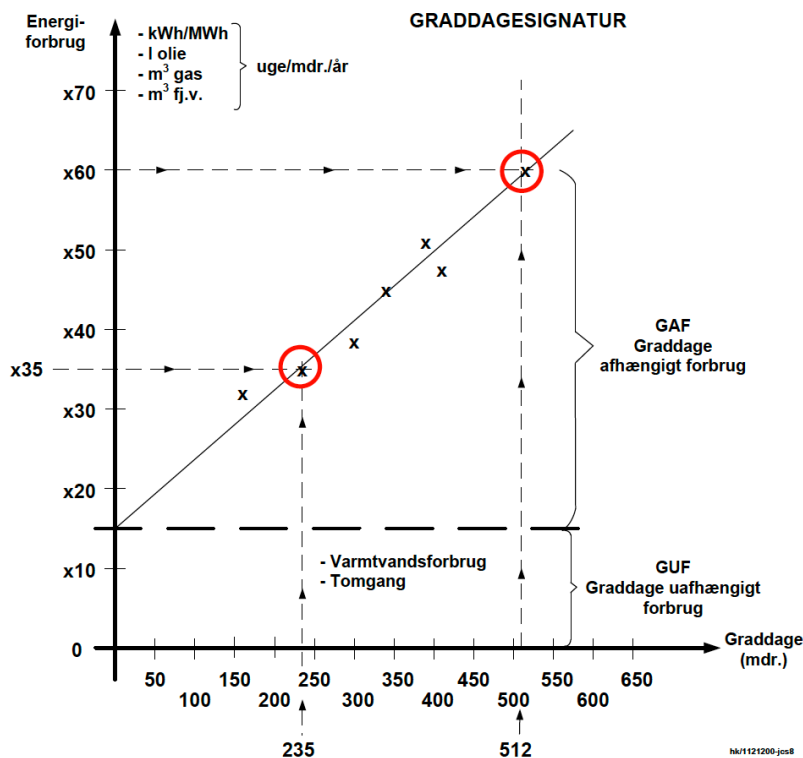
Graddagesignaturen er karakteristisk for en bygnings varme- eller energiforbrug, og kan også anvendes som budgetlinje for det forventet forbrug de kommende år.

Graddagesignaturen præsenteres typisk i et koordinatsystem.

I det viste koordinatsystem er graddagesignaturen dannet ved at aflæse det registrerede antal graddage for f.eks. en måned (235 graddage) og for samme måned aflæse hvor stort et energiforbrug der har været (35 kWh/MWh/m<sup>3</sup>). Pkt. A.

Herefter aflæses antal graddage for f.eks. en anden måned (512 graddage). For den samme måned aflæses hvor stort energiforbruget har været (60 kWh/MWh/m<sup>3</sup>). Pkt. B.

Den rette linje gennem de to punkter er nu graddagesignaturen.



Figur 1.

Ved hjælp af graddagesignaturen er det muligt fx for hvert døgn, uge eller måned at aflæse eller få et overblik over, hvorvidt det aktuelle energiforbrug ligger på eller afviger fra bygningens graddagesignatur.

Af graddagesignaturen er det også muligt at aflæse GAF-andelen (graddageafhængigt energiforbrug) og GUF-andelen (graddageuafhængigt energiforbrug).

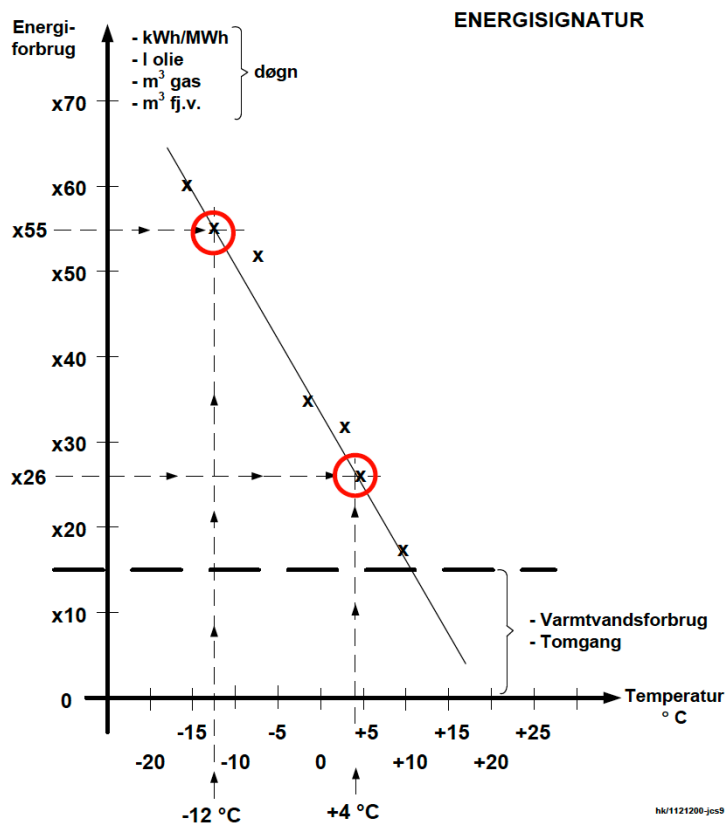
Værdien aflæses (fx kWh/m<sup>2</sup>) på y-aksen (lodrette akse), hvor graddagesignaturlinjen (skrå linje) skærer akse. Det graddageuafhængigt energiforbrug (vandrette linje) er varmtvandsforbruget, tomgangsenergiforbrugte til fyr-/kedelanlæg, varmetab i rørinstallationer o. lign.

## Energisignaturen

Energisignaturen er som graddagesignaturen en slags fingeraftryk af en bygnings varmeisolerende egenskaber i forhold til hvor koldt det har været udendørs. Energisignaturens skrå linje angiver det temperaturafhængige forbrug i varmesæsonen og den vandrette linje angiver det temperaturuafhængige forbrug (basisforbruget).

Det temperaturafhængige forbrug afhænger af bygningens isoleringsevne, tæthed, ventilation og brugervaner samt udnyttelse af interne varmetilskud og solindstråling. I basisforbruget indgår varmeforbrug til opvarmning af varmt brugsvand og varmetab fra kedelanlæg og varmtvandsanlæg.

Energisignaturen kan enten bestemmes ved registrering eller ved beregning. I begge tilfælde er der tale om sammenhørende værdier af energiforbrug og middeltemperaturen udendørs for en given periode. Ligesom ved graddagesignaturen kan værdierne indsættes i et koordinatsystem.



Figur 2.

## Anvendelse

Analyse af energiforbrugets udvikling sker ved at sammenholde det registrerede eller den faktiske energisignatur med den beregnede eller forventede energisignatur på døgn-, uge eller månedsbasis i forhold til energisignaturen.

I energisignaturen – fx via et monitorerings- og visualiseringsværktøj (CTS-anlæg) - er der en fordel, at der kan indlægges alarmgrænser for afvigelser. Det vil således være muligt allerede efter et døgn's registreringer at aflæse evt. afvigelser og ved større afvigelser straks at analysere og vurdere årsagen hertil.

Både graddagesignaturen og energisignaturen er særdeles nyttige redskaber med henblik på at holde styr på bygningens energiforbrug. Det gælder ikke mindst hvis der foretages energibesparende tiltag i klimaskærmen eller i de energiforbrugende installationer. Her vil graddage- og energisignaturen kunne medvirke til at dokumentere effekten af besparestiltagene.



## Eksempel 1

Energiforbruget til rumopvarmning i en bygning har i februar 2017 været på 1.250 m<sup>3</sup> gas og i februar 2018 et energiforbrug på 1.420 m<sup>3</sup>. Det skal nu undersøges, hvor mange procent, gasforbruget har ændret sig.

Februar måned 2017 har 407 graddage og februar 2018 har 483 graddage. Se figur 3.

### Korrigerig 1 - månedsforbrug

Man kan korrigerere energiforbruget i februar måned 2018 til februar måned 2017. Det gøres ved at dividere forbruget for februar 2018 med 483 graddage. Så får man forbruget pr. graddage. Herefter ganges med 407 graddage for februar 2017. Herved fås forbruget for februar 2018, hvis denne måned havde været lige så kold som februar 2017.

$$(1420 \text{ m}^3 \text{ gas}/483 \text{ graddage}) \cdot 407 \text{ graddage} = 1.196 \text{ m}^3 \text{ gas.}$$

Der fremgår umiddelbart af det ovenfor beregnede. Men det sande billede er, at der reelt er tale om en besparelse på:

$$1.250 \text{ m}^3 - 1.196 \text{ m}^3 = 54 \text{ m}^3 \text{ gas} = (54/1.250) \cdot 100 \% = 4,3 \%$$

### Korrigerig 2 – årsforbrug

Man kan korrigerere et energiforbrug til bygningsopvarmning, så det vil svare til et normalårsforbrug som vist i det følgende eksempel:

Energiforbruget til bygningsopvarmning har 2018 samlet været på 25.000 kWh.

Årsforbrug 2018	= 25.000 kWh
Energiforbruget til varmt brugsvand og andet forbrug er (GUF)	= 5.000 kWh
Det graddage afhængigt forbrug (GAF)	= 20.000 kWh
Antal graddage i 2018	= 2468 graddage
Normalårets graddage (TI)	= 2906 graddage
Det vejrafhængige forbrug omregnes til normalårets forbrug:	
$20.000 \text{ kWh} \cdot 2906/2468$	= 23.549 kWh
Forbruget til varmt brugsvand og andet forbrug (GUF)	= 5.000 kWh
Det samlede korrigerede normalårsforbrug	= 28.549 kWh

Se udsnit af oversigt af TI's skyggegraddagetabel i figur 3.

**DMI** (Danmarks Meteorologisk Institut) udarbejder også graddage. DMI har rundt omkring i Danmark en række vejr målestationer. DMI's normalår er på 3037 graddage.

**DRY** året (Design Reference Year) og også baseret på DMI's datagrundlag og indgår som klimagrundlaget i Be18 beregningsprogrammet for bygningers årlige energibehov, hvor også medregnes solindfald og vindpåvirkning af bygninger.

**TRY** (Test Reference Year) indeholder en række detaljerede klimatiske parametre. Normalåret i TRY er på 3322 graddage.

[Degreedays.net](http://Degreedays.net) - er en webtjeneste. Fra denne tjeneste kan hentes oplysninger om klimadata fra lokaliteter over hele verden – også Danmark.

1960	532	512	445	318	67	0	33	248	321	425	2901
1961	493	378	343	227	16	0	0	128	356	507	2448
1962	460	435	514	295	223	15	73	214	360	539	3128
1963	656	585	536	344	83	0	32	236	291	521	3284
1964	497	488	524	245	25	0	40	251	328	450	2848
1965	466	491	471	315	185	0	0	211	433	486	3058
1966	582	501	429	384	40	0	48	188	366	447	2985
1967	520	402	353	313	66	0	0	168	323	474	2619
1968	536	488	391	195	137	0	0	220	335	502	2804
1969	510	509	520	322	103	0	25	171	357	560	3077
1970	582	552	505	375	41	0	62	236	347	441	3141
1971	493	411	489	309	84	0	26	180	356	370	2718
1972	552	460	403	288	0	0	91	241	331	391	2757
1973	483	392	352	329	63	0	41	257	396	486	2799
1974	436	383	388	166	33	0	36	289	332	371	2434
1975	374	406	415	321	72	32	0	213	355	400	2588
1976	502	463	499	308	80	0	7	201	336	504	2900
1977	507	456	396	350	15	0	75	174	325	422	2720
1978	481	506	433	327	101	0	73	172	266	518	2877
1979	617	541	473	336	122	0	50	214	362	437	3152
<b>Normal</b>	<b>525</b>	<b>480</b>	<b>460</b>	<b>302</b>	<b>79</b>	<b>1</b>	<b>36</b>	<b>219</b>	<b>349</b>	<b>455</b>	<b>2906</b>
1980	568	517	492	281	68	0	0	242	379	449	2996
1981	535	435	428	254	70	0	0	243	345	583	2893
1982	605	485	388	272	115	0	0	145	293	432	2735
1983	375	470	400	292	49	0	13	194	366	474	2633
1984	472	472	467	231	59	0	69	137	311	433	2651
1985	671	599	489	336	72	0	16	179	412	425	3199
1986	536	593	465	353	8	0	120	205	284	428	2992
1987	675	486	562	275	112	0	50	202	325	412	3099
1988	401	411	456	304	0	0	12	240	401	404	2629
1989	372	324	330	268	0	0	0	122	355	426	2197
1990	378	290	272	171	0	0	47	108	347	432	2045
1991	435	473	366	257	73	0	0	149	334	415	2502
1992	431	385	370	249	43	0	7	305	347	419	2556
1993	436	430	406	231	24	0	90	276	410	436	2739
1994	431	491	396	210	43	0	22	259	296	383	2531
1995	501	353	408	272	132	0	38	103	388	566	2761
1996	573	564	520	250	170	0	46	193	352	538	3206
1997	555	393	405	325	145	0	68	256	367	443	2957
1998	450	331	420	250	33	0	24	252	443	477	2680
1999	460	449	414	222	134	0	0	210	336	449	2674
2000	443	383	400	189	0	0	0	136	275	396	2222
2001	461	450	469	317	33	0	37	95	357	506	2725
2002	457	360	378	248	0	0	0	285	372	524	2624
2003	509	518	412	253	33	0	32	319	292	394	2762
2004	532	431	403	159	0	0	12	182	347	400	2466
2005	415	458	467	231	77	0	54	125	313	441	2581
2006	543	459	525	309	29	0	0	54	267	302	2488
2007	368	412	313	147	0	0	0	231	333	394	2198
2008	394	344	398	236	0	0	24	194	315	421	2326
2009	488	447	397	129	0	0	7	266	280	466	2480
2010	603	551	423	281	140	0	20	235	382	626	3261
2011	512	472	421	136	49	0	0	198	287	379	2454
2012	446	482	327	263	26	0	21	222	307	497	2591
2013	502	471	525	281	26	0	40	107	314	360	2626
2014	467	357	322	164	40	0	0	82	246	422	2100
2015	430	414	367	228	46	0	0	204	275	314	2278
2016	506	406	388	275	0	0	0	221	359	371	2526
2017	481	407	353	281	78	0	0	137	326	394	2457
2018	429	483	505	149	0	0	42	164	312	384	2468
2019	460										460

Figur 3. TI's skyggegraddagetabel for kalenderåret

# ENERGIHÅNDBOGEN

## 2019



## FUNKTIONSAFPRØVNING AF BYGNINGSINSTALLATIONER



*Energihåndbogen er udgivet med støtte fra Grundejernes Investeringsfond*



# FUNKTIONSAFPRØVNING AF BYGNINGSINSTALLATION

## Indhold

<b>Funktionsafprøvning af bygningsinstallationer</b>	<b>293</b>
<b>Hvad står der i bygningsreglementet</b>	<b>293</b>
Ventilationsanlæg	293
Varme- og køleanlæg	293
Belysningsanlæg	293
Elevatorer	293
<b>Kravene</b>	<b>293</b>
<b>Bygninger med centrale styringssystemer</b>	<b>294</b>
<b>Vejledninger for funktionsafprøvnings</b>	<b>294</b>
Trafik-, Bygge- og boligstyrelsen	294
Videncenter for Energibesparelser i Bygninger	294
<b>Hvem kan udføre funktionsafprøvning?</b>	<b>294</b>
<b>Funktionsafprøvning i praksis</b>	<b>296</b>
<b>Byggeriets værdikæde – 1</b>	<b>296</b>
Idè-fasen:	296
Projektfasen:	296
Udbudsfasen:	296
Udførelsesfasen:	296
<b>Byggeriets værdikæde – 2</b>	<b>297</b>
Afleveringsfasen:	297
Funktionsafprøvning:	297
<b>Eksempel på funktionsafprøvning af varmeanlæg</b>	<b>298</b>
<b>Eksempel på funktionsafprøvning af ventilationsanlæg</b>	<b>300</b>
<b>Måleprocessen og beregning</b>	<b>302</b>
<b>Eksempel på funktionsafprøvning af belysningsanlæg</b>	<b>303</b>
<b>Eksempel på funktionsafprøvning af hybridanlæg</b>	<b>305</b>

## Funktionsafprøvning af bygningsinstallationer

Den 1. juli 2017 blev der indført krav i bygningsreglementet BR15 om funktionsafprøvning af en række bygningsinstallationer inden ibrugtagning af bygningen. Disse krav er videreført i bygnings-reglementet BR18. De bygningsinstallationer, som funktionsafprøvningskerne omfatter er.

- Ventilationsanlæg
- Varme- og køleanlæg
- Belysningsanlæg
- Elevatorer

De nye krav er en styrkelse af de allerede eksisterende krav til eftervisning af installationers ydeevne i de til enhver tid gældende standarder for ventilationsanlæg, varme- og køleanlæg, belysning og elevatorer.

Funktionsafprøvning skal medvirke til at sikre en effektiv byggeproces med fokus på, at det forventede energiforbrug opnås.

## Hvad står der i bygningsreglementet

### Ventilationsanlæg

- Der skal gennemføres funktionsafprøvning af ventilationsanlæg før ibrugtagning.
- Funktionsafprøvningen skal dokumentere at ventilationsanlægget overholder Bygningsreglementets krav til specifikt elforbrug til lufttransport af luftmængder, samt at evt. behovsstyring fungerer efter hensigten.

### Varme- og køleanlæg

- Der skal gennemføres en funktionsafprøvning af varme- og køleanlæg før ibrugtagning.
- Funktionsafprøvningen skal dokumentere, at varme- og køleanlæggene overholder Bygningsreglementets krav til indregulering og styring

### Belysningsanlæg

- Der skal gennemføres en funktionsafprøvning af belysningsanlægget før ibrugtagning.
- Funktionsafprøvningen skal dokumentere, at belysningsanlægget overholder Bygningsreglementets krav til belysningsstyrke, samt at dagslysstyring, bevægelsesmeldere og zoneopdeling fungerer efter hensigten.

### Elevatorer

- Der skal gennemføres en funktionsafprøvning af elevatorers energiforbrug før ibrugtagning.

## Kravene

Bygningsreglementets krav gælder ved nybyggeri og for eksisterende byggeri, hvor der udføres ændringer, der har betydning for Bygningsreglementets bestemmelser. Fx når der installeres en ny bygningsinstallation, der ikke tidligere har været i bygningen. Eksempelvis, hvis et byggeri, der har været ventileret med naturlig ventilation og som ændres til at få installeret et mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding. Ligeledes gælder kravene om funktionsafprøvning også ved udskiftning af eksisterende installationer med nye tilsvarende installationer.

Dokumentation for resultatet af funktionsafprøvningen skal indsendes til kommunen og opfyldelse af kravene er en forudsætning for, at bygningen må tages i brug.

## Bygninger med centrale styringssystemer

I bygninger med et centralt styringssystem – f.eks. CTS-anlæg – for de energitekniske installationer, vil det normalt være nødvendigt at gennemføre en afprøvning af det centrale system for at sikre, at den overordnede styring af bygningens tekniske anlæg fungerer i samarbejde med hinanden – systemintegration.

### Hvornår kravet gælder – eksempel

Tiltag	Funktionsafprøvning	
	Ja	Nej
Installation af nyt ventilationsanlæg hvor der før kun var naturlig ventilation	x	
Ombygning af ventilationsanlæg fra udsugning-sanlæg til anlæg med varmegenvinding	x	
Udskiftning af ventilator i ventilationsanlæg		x
Ombygning af varmeanlæg med ny varmecentral	x	
Udskiftning af cirkulationspumpe på varmeanlæg		x

Figur 1. Hvornår kravet gælder i bygninger med centrale styringssystemer

## Vejledninger for funktionsafprøvninger

### Trafik-, Bygge- og boligstyrelsen

- Vejledning om funktionsafprøvning – uddybning af de gældende krav i bygningsreglementet

## Videncenter for Energibesparelser i Bygninger

Funktionsafprøvning for:

- Fjernvarmeanlæg
- Naturgasanlæg
- Ventilationsanlæg
- Belysningsanlæg
- Gashybridanlæg

## Hvem kan udføre funktionsafprøvning?

- Ingen krav til hvem der udfører en funktionsafprøvning. I princippet kan den udførende entreprenør selv stå for funktionsafprøvningen.
- Det anbefales, at der anvendes en uvildig tredjepart uden tilknytning til bygherre eller udførende.
- Det anbefales, at udførelsen af funktionsafprøvningen foretages af en uddannet fagperson med relevant måleteknisk viden.



## Funktionsafprøvning – Videncenter for Energibesparelser i Bygninger

Test	Indeholder kontrol af
Fjernvarmeanlæg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indregulering</li> <li>• Bygningsautomatik</li> <li>• Fjernvarmeveksler</li> <li>• Blandeventil i blandekreds</li> </ul>
Naturgasanlæg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indregulering</li> <li>• Bygningsautomatik</li> <li>• Virkningsgrad for kondenserende naturgaskedel</li> <li>• Virkningsgrad for ikke kondenserende naturgaskedel</li> <li>• Ydelse for naturgaskedel</li> <li>• Styring og regulering for naturgaskedler i kaskadeinstallationer</li> </ul>

Figur 2. Funktionsafprøvning – Videncenter for Energibesparelser i Bygninger

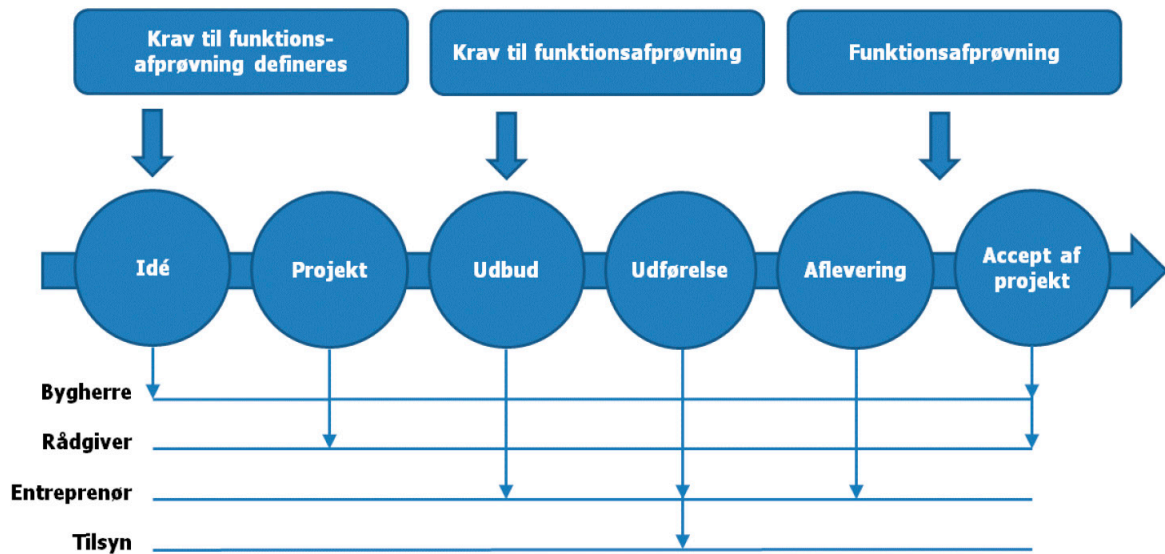
Test	Indeholder kontrol af
Ventilationsanlæg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SFP-faktor</li> <li>• Temperaturvirkningsgrad</li> <li>• Automatik</li> <li>• Luftfordeling</li> </ul>
Belysningsanlæg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Belysningsstyrke</li> <li>• Regelmæssighed</li> <li>• Dagslysstyring</li> <li>• Bevægelsesmeldere</li> <li>• Zoneopdeling</li> </ul>
Hybridanlæg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Udetemperaturføler</li> <li>• Fremløbstemperaturstyring (vejrkompensering) af radiatoranlæg</li> <li>• Fremløbstemperaturstyring (vejrkompensering) af gulvvarmeanlæg</li> <li>• Hybridstyring (fast bivalentpunkt)</li> <li>• Radiatortermostatventiler</li> <li>• Reguleringsventiler til gulvvarme</li> <li>• Varmtvandsprioritering</li> <li>• Afrimningsfunktion for luftvandvarmepumpe</li> </ul>

Figur 3. Funktionsafprøvning – Videncenter for Energibesparelser i Bygninger



## Funktionsafprøvning i praksis

- Normalt udfører entreprenøren ved projektets afslutning sin egenkontrol og indregulering. Herefter udføres funktionsafprøvningserne som beskrevet i udbudsmaterialet.
- Funktionsafprøvningen gennemgås og resultatet fører enten til en accept af afleveringen eller til iværksættelse af fejlfinding og udbedring.
- Funktionsafprøvningen med test og målinger skal altså udføres efter at entreprenøren har udført sin egenkontrol og indregulering af f.eks. luft- og vandmængder, men inden selve projektet er accepteret og overdraget.



Figur 4. Funktionsafprøvning i praksis

## Byggeriets værdikæde – 1

### Idè-fasen:

- Bygherren forholder sig til, hvilke krav Bygningsreglementet stiller til at projektet skal leve op til og hvordan kravene skal dokumenteres samt konsekvenser, hvis kravene ikke er overholdt.

### Projektfasen:

- Bygherre, arkitekter, rådgivere eller leverandør beskriver projektet.

### Udbudsfasen:

- Funktionskravene skal være detaljeret beskrevet i udbudsmaterialet, så entreprenøren kan tilrettelægge,
- hvad der skal dokumenteres og på hvilket tidspunkt.

### Udførelsesfasen:

- Entreprenøren skal løbende have fokus på, at forudsætningerne for funktionsafprøvning er opfyldt og målepunkter er monteret.

### Afleveringsfasen:


Inden funktionsafprøvningen skal entreprenøren have indreguleret og testet anlæggene.

### Funktionsafprøvning:

- Funktionsafprøvningen skal ske efter færdigmeldingen af projektet, men før selve overleveringen.
- Det er vigtigt, at konklusioner og dokumentation for den udførte funktionsafprøvning indskrives i det endelige dokument
- Såfremt kravene i testen ikke opfyldes skal entreprenøren udbedre årsagen til fejlen og gennemføre ny test.

## Eksempel på funktionsafprøvning af varmeanlæg

I det efterfølgende afsnit vises et eksempel på fremgangsmåden for gennemførelse af en funktionstest af varmeanlæg.

Test nr. 1	Kontrol af indregulering af varmeanlæg	
Anlægs nr.:	Udført af:	Dato:
Formål	Formålet med testen er at vise, om indreguleringen af varmeanlægget i praksis lever op til de krav, der er stillet i udbudsmaterialet.	
Lovkrav	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bygningsreglement 2018 kap. 19 § 387 stk. 2: "Varme- og køleanlæg skal projekteres og udføres som anvist i DS 469 Varme- og køleanlæg i bygninger".</li> <li>I henhold til DS 469:2013 "Varme- og køleanlæg i bygninger" har bygherren ansvaret for, at standardens krav vedr. indregulering inkl. kontrol og dokumentation er overholdt.</li> </ul>	
Definition	<p>Formålet med indregulering er at få vandet fordelt på en sådan måde, at de enkelte forbrugssteder netop tilføres de beregnede mængder. Kontrol af indregulering af varmeanlægget er baseret på:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Beregninger af vandmængder efter rumvarmebehov eller radiatorstørrelser</li> <li>Beregninger af alle forindstillinger på radiatorer og strengreguleringsventiler (evt. ved hjælp af it-program)</li> <li>Indstilling af alle ventiler</li> <li>Kontrol målinger</li> </ul>	
Målepunkter	<p>Ved vurdering af indreguleringen af varmeanlægget indgår følgende målepunkter:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Flowene måles via delstrengreguleringsventiler der er monteret i anlægget. Der benyttes et instrument til måling af trykdifferensen over ventilen. Denne trykdifferens omsættes i apparatet til et flow.</li> </ul>	
Principskitse		

Figur 5. Eksempel på funktionsafprøvning af varmeanlæg (Kilde: Videncenter for energibesparelser i bygninger)

Test nr. 1	Kontrol af indregulering af varmeanlæg
<b>Forudsætninger for test</b>	<p>Alle vandkredse til varme skal være indreguleret af de respektive entreprenører i henhold til</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• DS 469:2013</li> <li>- Kap. 14.7 om indregulering</li> <li>- Kap. 16 om kontrol og afprøvning</li> <li>- Kap. 16.1 om indregulering</li> <li>- Samt øvrige skærpende krav i udbudsmaterialet</li> <li>• Vejledningstekst til fagtilsyn:</li> </ul> <p>Bemærk særligt kravet i kap. 16.1: "Indregulering af vand- og luftstrømme samt automatik skal kontrolleres..."</p> <p>Entreprenørens dokumentation for egenkontrol og indregulering af vandkredsene skal være godkendt af bygherren eller dennes repræsentanter (fagtilsyn) – inkl. en evt. krævet mangeludbedring.</p>
<b>Omfang af test</b>	<p>Stikprøveomfanget vil som minimum være 25 % af vandkredsene (returledningerne). Hvis der observeres fejl og mangler i ovenstående stikprøvekontrol, øges omfanget af kontrol øges til det dobbelte.</p>
<b>Tidspunkt for testens gennemførelse</b>	<p>Testen gennemføres inden AB18 aflevering af anlægget. AB18 er "<u>Almindelige Betingelser for arbejder og leverancer i bygge- og anlægsvirksomhed</u>".</p>
<b>Testens varighed</b>	<p>Testens varighed skønnes at udgøre 1 – 2 arbejdsdage.</p>
<b>Metode for måling og dokumentation</b>	<p>Alle termostatventiler skal være fuldt åbne (føler elementer taget af ventilerne) Det tjekkes at termostatventilerne er forindstillede til de beregnede værdier Grundlaget for de beregnede værdier vurderes Flowet i de enkelte strenge/vandkredse måles på strengereguleringsventilerne, som typisk er placeret på varmekredsens blandesøjfer</p>
<b>Forventet resultat</b>	<p>De enkelte strenge/varmekredse tilføres de beregnede vandmængder.</p>
<b>Acceptkriterium</b>	<p>Testens resultat accepteres, hvis vandmængderne i de enkelte strenge/vandkredse afviger <math>\pm 15</math> % fra de beregnede.</p>
<b>Testens resultat</b>	<p>Er testens acceptkriterium opfyldt? Ja/nej</p>
<b>Årsager til afvigelser</b>	<p>For høje returtemperaturer på de strenge, som er tættest ved varmecentralen For høj fremløbstemperatur i forhold til det projekterede Cirkulationspumpen er for stor For lille afkøling</p>

Figur 6. Eksempel på funktionsafprøvning af varmeanlæg (Kilde: Videncenter for energibesparelser i bygninger)

## Eksempel på funktionsafprøvning af ventilationsanlæg

I det efterfølgende afsnit vises et eksempel på fremgangsmåden for gennemførelse af en funktionstest af ventilationsanlæg.

Test nr. 1	Kontrol af SFP-faktor for centrale ventilationsanlæg		
Anlægs nr.:	Udført af:	Version:	Dato:
Lovkrav	I Bygningsreglement 2018 kap. 22 § 436 står der: "Det specifikke elforbrug til lufttransport må ikke overstige 1.500 J/m <sup>3</sup> udeluft ved grundluftsskiftet for ventilationsanlæg til etageboliger"		
Definition	<p>Beregning af SFP-faktoren for ventilationsanlægget er baseret på målinger af:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Optagne effekter for motorer til indblæsnings- og udsugningsventilatoren (P<sub>i</sub> og P<sub>u</sub>)</li> <li>• Den indblæste og udsugede luftmængde, der svarer til et grundluftskifte på 0,3 l/s pr. m<sup>2</sup> (q<sub>grund</sub>)</li> </ul> <p>Beregnen foretages ved at benytte nedenstående formel:</p> $SFP = \frac{P_i + P_u}{q_{grund}} \left[ \frac{W}{m^3/s} \right]$		

Figur 7. Eksempel på funktionsafprøvning af ventilationsanlæg (Kilde: Videncenter for energibesparelser i bygninger)

Målepunkter	<p>Ved eftervisning af anlæggets SFP-faktor indgår følgende målepunkter:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Luftmængder opgjort via traversmålinger i kanaler eller målinger på trykkudtag monteret på ventilatorerne</li> <li>• Effektoptag foretaget på motorernes hovedrelæer i styreskabet eller på motorernes klemkasser</li> </ul>
Principskitse	<p>Principskitse af et centralt ventilationsanlæg. Diagrammet viser luftstrømmen mellem Friskluft, Afkast, Fraluft og Tilluft. To motorer (M) er vist, en for indblæsning (P<sub>u</sub>) og en for udsugning (P<sub>i</sub>). Målepunkter for tryk (P) og luftmængde (q<sub>grund</sub>) er markeret med røde cirkler.</p>

Figur 8. Eksempel på funktionsafprøvning af ventilationsanlæg (Kilde: Videncenter for energibesparelser i bygninger)

Test nr. 1 fortsat	Kontrol af SFP-faktor for centrale ventilationsanlæg
<b>Forudsætninger for test</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>I henhold til DS 447:2013, kapitel 6.3, 7.3 og 8.3 "Indregulering og aflevering" skal et ventilationsanlæg være indreguleret af ventilationsentreprenøren. I afsnit 6.3.3 er det væsentligt at bemærke kravet vedr. funktionstest, idet der skrives, at der skal udføres en funktionstest, der efterviser, at automatiksystemet fungerer som forudsat. Der leveres dokumentation for alle de væsentlige parametre, som er: <ul style="list-style-type: none"> <li>Indblæst og udsuget luftmængde</li> <li>Trykdifferenser over anlæg (suge- og trykside) samt komponenter</li> <li>Effektoptag og omdrejningstal for ventilatormotorer</li> <li>Temperaturvirkningsgrad for varmegenvindingsenhed</li> </ul> </li> </ul>
<b>Omfang af test</b>	SFP-faktoren eftervises for alle nye ventilationsanlæg med varmegenvinding.
<b>Tidspunkt for testens gennemførelse</b>	Testen gennemføres inden AB18 aflevering af anlægget. AB18 er " <u>Almindelige Betingelser for arbejder og leverancer i bygge- og anlægs-virksomhed</u> ".
<b>Testens varighed</b>	Testens varighed skønnes at udgøre 2 – 3 timer.
<b>Metode for måling og dokumentation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Målingen af SFP-faktoren foretages med fuld varmegenvinding, dvs. eventuelle bypass spjæld skal være lukkede eller rotoren (roterende veksler) køre med 100 % omdrejningstal.</li> <li>Målingen foretages ved de armaturtryktab, som brandnormen (DS 428) kræver.</li> </ul>

Figur 9. Eksempel på funktionsafprøvning af ventilationsanlæg (Kilde: Videncenter for energibesparelser i bygninger)

<b>Acceptkriterium</b>	Testen er acceptabel, hvis den målte SFP-faktor maksimalt overstiger kravet i BR18 med 5 %.
<b>Testens resultat</b>	Er testens acceptkriterium opfyldt? Ja/nej
<b>Årsager til afvigelser</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tryktabene i kanalsystemet inkl. komponenter (kanaler, bøjninger, lyddæmpere, indtags- og afkasthætter m.v.) er højere end forudsat ved dimensioneringen. Tryktabene måles og analyseres, herunder sammenholdes med forudsatte værdier.</li> <li>Tryktabene i ventilationsaggregatets komponenter (filtre, varmegenvindingsenhed, varmeplade m.v.) er højere end forudsat ved dimensioneringen. Virkningsgrader for ventilator og motor er lavere end forudsat. Tryktabene samt virkningsgrader for ventilator og motor måles og analyseres.</li> <li>Luftmængderne afviger fra dem der var forudsat ved den oprindelig opgørelse af SFP-faktoren.</li> <li>Manglende eller fejlagtig indregulering af ventilationsanlæg.</li> <li>Unøjagtige målinger af luftmængder og effektoptag.</li> <li>Defekte komponenter.</li> </ul>

Figur 10. Eksempel på funktionsafprøvning af ventilationsanlæg (Kilde: Videncenter for energibesparelser i bygninger)

	Målingen foretages ved	Krav til SFP-værdi [J/m <sup>3</sup> ]	
		BR18	BK 2020
<b>Ventilationsanlæg til andre bygninger end boliger</b>			
Med konstant luftydelse		1.800	1.500
Med variabel luftydelse		2.100	1.800
<b>Ventilationsanlæg med varmegenvinding til én bolig</b>			
Med konstant luftydelse		1.000	800
Med variabel luftydelse		1.000	800
<b>Ventilationsanlæg der forsyner etageboliger</b>			
		1.500	1.200
<b>Udsugningsanlæg der forsyner etageboliger</b>			
		800	-

Figur 11. Krav til SFP-værdier for ventilationsanlæg

## Måleprocessen og beregning

- Effekten på indblæsnings- og udsugningsventilatorerne måles.
- Luftmængden måles ved grundluftskifte og ved maksimalt luftskifte.
- Den samlede effekt (indblæsning + udsugning) divideres med det målte luftskifte = SFP-faktoren (SEL-faktor).

### Eksempel 1

I en etageejendom er opsat et ventilationsanlæg med varmegenvinding.

- |  |                        |
|--|------------------------|
| • Luftmængde målt til 7.225 m <sup>3</sup> /h svarende til | 2.01 m <sup>3</sup> /s |
| • Effekten på indblæsningsventilatoren målt til            | 1.500 W                |
| • Effekten på udsugningsventilatoren målt til              | 1.250 W                |
| • Den samlede effekt er                                    | 2.750 W                |

SFP-faktoren udregnes til:

- $2.750 \text{ W} \text{ delt med } 2.01 \text{ m}^3/\text{s} = 1.368 \text{ W/s/m}^3$   
Kravet er  $1.500 \text{ W/s/m}^3$  (se figur 11).

Testen er godkendt




## Eksempel på funktionsafprøvning af belysningsanlæg

I det efterfølgende afsnit vises et eksempel på fremgangsmåden for gennemførelse af en funktionstest af belysningsanlæg.

Test nr. 1	Belysningsstyrke	
Anlægs nr.:	Udført af:	Dato:
<b>Formål</b>	<p>Formålet med testen er at eftervise, at det elektriske belysningsanlæg opfylder bygningsreglementets krav for belysningsstyrke, jf. DS/EN 12464-1, Lys og Belysning - Belysning ved arbejdspladser – Del 1: Indendørs arbejdspladser.</p> <p>For nogle arbejdspladser er kravene til belysningsstyrke yderligere specificeret i det nationale annek DS/EN 12464-1 DK NA.</p>	
<b>Lovkrav</b>	<p>Bygningsreglement 2018 kap. 18 § 382 stk. 1:            ”Arbejdsrum mv. og fælles adgangsveje skal have elektrisk belysning i fornødent omfang. Arbejdspladsbelysning skal udføres i overensstemmelse med DS/EN 12464-1 Lys og belysning – Belysning ved arbejdspladser – Del 1: Indendørs arbejdspladser sammen med DS/EN 12464-1 DK NA”</p>	
<b>Definition</b>	<p>Belysningsanlægget skal være i stand til at levere den belysningsstyrke, der kræves i henhold til bygningsreglementet 2018.</p> <p>Belysningsstyrken er et mål for, hvor meget lys der pr. arealenhed rammer en belyst flade. Belysningsstyrken måles i lux.</p>	
<b>Målepunkter</b>	<p>Som målepunkter udvælges et grid, der dækker mindst 25 % repræsentative arbejdspladser (dog mindst svarende til en arbejdsplads) og enkelte typiske målesteder i områder med normal færdsel, fx gange og trapper. Antallet af målepunkter i et grid kan bestemmes ved brug af tabel A.1 i DS/EN 12464-1. Hvis afprøvningen påviser fejl, øges omfanget af repræsentative arbejdspladser til 100 %.</p> <p>Hvis arbejdspladserne endnu ikke er indrettet inden funktionsafprøvningen, må der antages arbejdspladszoner mm. Antagelserne skal beskrives i dokumentationen for funktionsafprøvningen.</p> <p>Måling af belysningsstyrken kan for eksempel foretages med et kalibreret lux-meter og udføres jf. DS/EN 12464-1, kap. 6.</p>	

Figur 12. Eksempel på funktionsafprøvning af belysningsanlæg (Kilde: Videncenter for energibesparelser i bygninger)

Test nr. 1 fortsat	Belysningsstyrke
Principskitse	
<b>Forudsætninger for test</b>	<p>For at kunne udføre funktionsafprøvning af belysningsstyrken skal følgende være opfyldt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Belysningsinstallationen er afsluttet og installeret med de projekterede lyskilder, armaturer og lysstyring. Nye lyskilder skal have overstået indebrændingstid (mindst 100 timer)</li> <li>• Midlertidig arbejdspladsbelysning anvendt under byggeriet er nedtaget eller slukket</li> <li>• Alle indvendige bygningsdele, fx skillevægge, nedsænkede lofter, indvendige døre, er færdige, og overfladerne er færdigbehandlede. Der er ikke dagslysindfald under måleperioden fra vinduer, yderdøre med glas, ovenlysvinduer eller ovenlyskupler m.m. Målingen kan derfor med fordel udføres om natten</li> <li>• Evt. opsatte PC-skærme er slukkede under måling på kontorarbejdspladser o.l.</li> <li>• For at sikre en konstant lysudsendelse fra lyskilderne, bør belysningen være tændt mindst 1 time, før belysningsstyrkemålingerne påbegyndes</li> </ul>
<b>Omfang af test</b>	Omfanget af testen er beskrevet i afsnittet "Målepunkter".
<b>Tidspunkt for testens gennemførelse</b>	Testen gennemføres inden AB18 aflevering af anlægget. AB18 er " <u>Almindelige Betingelser for arbejder og leverancer i bygge- og anlægsvirksomhed</u> ".
<b>Testens varighed</b>	Testens varighed skønnes at være 1–2 timer.
<b>Metode for måling og dokumentation</b>	<p>Der udarbejdes en funktionsafprøvningsrapport, der beskriver:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hvilke forudsætninger og forhold, målingen er udført under</li> <li>• Målepunkter</li> <li>• Måleudstyr, der er anvendt, samt hvor og hvornår dette sidst blev kalibreret</li> <li>• De opnåede måleresultater</li> <li>• Det samlede resultat</li> <li>• Oplysninger om hvem, der har udført funktionsafprøvningen</li> </ul>
<b>Forventet resultat</b>	Alle beregnede regelmæssigheder opfylder mindstekravet til regelmæssigheder i DS/EN 12464-1 eller DS/EN 12464-1 DK NA.
<b>Acceptkriterium</b>	Der kan accepteres en afvigelse på 10 % grundet usikkerhed ved måling af belysningsstyrken.

Figur 13. Eksempel på funktionsafprøvning af belysningsanlæg (Kilde: Videncenter for energibesparelser i bygninger)

Test nr. 1 fortsat	Belysningsstyrke
<b>Testens resultat</b>	Er testens acceptkriterium opfyldt? Ja/nej
<b>Typiske årsager til afvigelser</b>	Typiske årsager til afvigelser er beskrevet i afsnittet "Forudsætninger for test".

Figur 14. Eksempel på funktionsafprøvning af belysningsanlæg (Kilde: Videncenter for energibesparelser i bygninger)

## Eksempel på funktionsafprøvning af hybridanlæg

I det efterfølgende afsnit vises et eksempel på fremgangsmåden for gennemførelse af en funktionstest af belysningsanlæg.

Test nr. 4	Kontrol af hybridstyring (fast bivalentpunkt)	
Anlægs nr.:	Udført af:	Dato:
<b>Formål</b>	<p>En gashybridvarmepumpe kombinerer enten en moderne kondenserende gaskedel eller en eksisterende kedel med en luftvandvarmepumpe. Den sidste kombination kaldes en add-on løsning.</p> <p>Når udetemperaturen er høj, er varmepumpens varmeydelse stor nok til at dække varmebehovet. Når temperaturen kommer under et bestemt niveau – typisk et sted mellem 0 og -5 °C – dækkes varmebehovet af gaskedlen alene.</p> <p>Hybridvarmeanlægget er forsynet med en automatik, der skal sørge for, at kun kedlen er i drift ved de lave temperaturer. Skiftet (bivalentpunktet) mellem varmepumpe- og kedeldrift afhænger af den aktuelle dimensionering. Denne funktionsafprøvning omhandler ikke følgende styringer:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• anlæg, hvor varmepumpens og kedlens drift styres efter priserne på gas og el (økonomisk styring)</li> <li>• anlæg, hvor varmepumpens og kedlens drift styres efter ønsket om bedst mulige effektivitet (miljøstyring)</li> <li>• anlæg, hvor varmepumpen og kedlen kan køre samtidig</li> </ul>	
<b>Forudsætninger</b>	<p>For at kunne udføre funktionsafprøvning af hybridstyringen skal følgende normalt være opfyldt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Der er indhentet dokumentation for projekteringen af varmeanlægget</li> <li>• Dokumentationen skal indeholde en anvisning af en metode til afprøvning af hybridstyringen fra leverandøren, herunder hvorledes bivalentpunktet kan indstilles og aflæses</li> </ul>	
<b>Målepunkter</b>	<p>For at vurdere om hybridstyringen fungerer, skal der foretages samhörrende målinger af følgende:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fremløbstemperatur (fra kedel)</li> <li>• Udetemperatur</li> </ul> <p>Til måling af fremløbstemperaturen fra varmeanlægget benyttes en kalibreret temperaturføler, som monteres i en dyrørslomme i fremløbsledningen. Hvis der ikke er monteret en dyrørslomme i fremløbsledningen, kan temperaturen måles på overfladen af ledningen med en termoføler, som forsynes med kontaktpasta og isoleres.</p> <p>Målingen af udetemperaturen foretages med en temperaturføler, der placeres et egnet sted. Uønskede påvirkninger af temperaturføleren fra omgivelserne såsom direkte solskin skal undgås.</p>	

Figur 15. Eksempel på funktionsafprøvning af hybridanlæg (Kilde: Videncenter for energibesparelser i bygninger)

<b>Test nr. 4 fortsat</b>	<b>Kontrol af hybridstyring (fast bivalentpunkt)</b>
<b>Principskitse</b>	
<b>Acceptkriterium</b>	Funktionsafprøvningsens resultat med hensyn til hybridstyringen kan accepteres hvis: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bivalentpunktet afviger mindre end 2 °C fra den indstillede værdi.</li> <li>• Bivalentpunktet er den udetemperatur, hvor der skiftes fra varmepumpedrift til kedeldrift</li> </ul>
<b>Dokumentation</b>	Der udarbejdes en funktionsafprøvningsrapport, der beskriver: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hvilke forudsætninger og forhold, målingen er udført under</li> <li>• Målepunkter</li> <li>• Det måleudstyr, der er anvendt, samt hvor og hvornår dette sidst blev kalibreret</li> <li>• De opnåede måleresultater</li> <li>• Det samlede resultat</li> <li>• Hvem, der har udført funktionsafprøvnningen</li> <li>• Årsager til</li> </ul>
<b>Årsager til afvigelser</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forkert indstilling af bivalentpunktet</li> <li>• Fejl i anlæggets instrumentering (primært temperaturfølere)</li> </ul>

Figur 16. Eksempel på funktionsafprøvning af hybridanlæg (Kilde: Videncenter for energibesparelser i bygninger)

# ENERGIHÅNDBOGEN

## 2019



## KILDEHENVISNINGER



*Energihåndbogen er udgivet med støtte fra Grundejernes Investeringsfond*



# KILDEHENVISNINGER

## Indhold

<b>Varmeproducerende anlæg</b>	<b>307</b>
Fjernvarmeanlæg	307
Naturgaskedler	307
Oliekedler	307
Solvarme	307
Biomassekedler	307
Elvarme	307
Kombinerede anlæg	307
Varmepumper	308
Væske-vandvarmepumpe	308
Luft-vandvarmepumpe	308
Luft-luftvarmepumpe	308
Brugsvandsvarmepumpe	308
Varmepumper – kombinerede med andre anlæg	308
Gashybridvarmepumpe og add-on varmepumpe	308
<b>Varmesystemer</b>	<b>309</b>
Radiatoranlæg	309
Gulvvarme	309
Kaloriferer	309
Indregulering af centralvarmeanlæg	309
Regulering af større varmeanlæg	309
Udetemperaturkompensering	309
Nat- og weekendsænkning	309
Radiatortermostatventiler	310
Reguleringsventiler til gulvvarme	310
<b>Teknisk isolering</b>	<b>310</b>
<b>Ventilation</b>	<b>310</b>

<b>Køleanlæg</b>	<b>310</b>
Ventilationskøling	310
Serverrum	310
Butikskøling	311
<b>Belysningsanlæg</b>	<b>311</b>
Armaturer inkl. lyskilder og forkoblinger	311
<b>El producerende VE anlæg</b>	<b>311</b>
Solcelleanlæg (husstand)	311
Batterilagring af egen elproduktion	311
Bygningsautomatik	311
Varmt brugsvand	312
Graddage	312
Funktionsafprøvning	312



## Varmeproducerende anlæg

### Fjernvarmeanlæg

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet

### Naturgaskedler

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet  
Viessmann

### Oliekedler

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet  
HS Tarm A/S

### Solvarme

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet

### Biomassekedler

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet  
HS Tarm A/S

### Elvarme

Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Electrorad

### Kombinerede anlæg

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet

## Varmepumper

### Væske-vandvarmepumpe

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet  
Dansk Energi

### Luft-vandvarmepumpe

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet  
Dansk Energi

### Luft-luftvarmepumpe

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet  
Dansk Energi

### Brugsvandsvarmepumpe

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet  
Dansk Energi

### Varmepumper – kombinerede med andre anlæg

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet  
Dansk Energi

### Gashybridvarmepumpe og add-on varmepumpe

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet  
Dansk Energi  
HS Tarm A/S

## Varmesystemer

### Radiatoranlæg

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet

### Gulvvarme

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet  
Dansk Energi

### Kaloriferer

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet  
KJ Auktion

### Indregulering af centralvarmeanlæg

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet  
BROEN Ventilteknologi  
IMI Hydronic Engineering A/S

### Regulering af større varmeanlæg

### Udetemperaturkompensering

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet  
IMI Hydronic Engineering A/S

### Nat- og weekendsænkning

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet

## Radiatortermostatventiler

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet  
Danfoss

## Reguleringsventiler til gulvvarme

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet  
Danfoss

## Teknisk isolering

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet

## Ventilation

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet  
Nyt Teknisk Forlag  
Novenco Building & Industry A/S  
ebmpabst  
Ziehl Abegg  
Buhl & Bønsøe

## Køleanlæg

### Ventilationskøling

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet  
TEKNIQ

### Serverrum

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet  
TEKNIQ

## Butikskøling

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet  
TEKNIQ

## Belysningsanlæg

### Armaturer inkl. lyskilder og forkoblinger

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet  
Sikkerhedsstyrelsen  
Dansk Energi

## El producerende VE anlæg

### Solcelleanlæg (husstand)

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet  
Sikkerhedsstyrelsen  
TEKNIQ

### Batterilagring af egen elproduktion

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet  
Sikkerhedsstyrelsen  
TEKNIQ

## Bygningsautomatik

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet

## Varmt brugsvand

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet

## Graddage

Teknologisk Institut

## Funktionsafprøvning

Teknologisk Institut  
Videncenter for energibesparelser i Bygninger  
Dansk Standard  
Bygningsreglementet

# ENERGIHÅNDBOGEN 2019

