

# ENERGIBESPARELSER I ERHVERVSLIVET



Februar 2010  
Dansk Energi Analyse A/S  
og Viegand & Maagøe ApS

# Energibesparelser i erhvervslivet

Udarbejdet af: Mogens Johanson, Dansk Energi Analyse A/S  
Peter Maagøe Petersen, Viegand & Maagøe ApS

Februar 2010

Dansk Energi Analyse A/S  
Viegand & Maagøe ApS

## Indhold

<b>Sammenfatning .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Indledning .....</b>	<b>9</b>
1.1 Baggrund.....	9
1.2 Opgavedisponering .....	9
1.3 Analysemetode .....	11
1.4 Referencer .....	13
<b>2 Kedel- og nettab.....</b>	<b>14</b>
2.1 Indledning.....	14
2.2 Teknologiens anvendelse .....	14
2.3 Teknologiu udvikling .....	14
2.4 Energiforbrug .....	15
2.5 Tekniske energibesparelsermuligheder .....	16
2.6 Adfærdsmæssige energibesparelsermuligheder og vedligehold .....	21
2.7 Besparelserpotentialer .....	21
2.8 Sammenligning med 1995-potentialet.....	23
2.9 Referencer .....	24
<b>3 Opvarmning/kogning .....</b>	<b>25</b>
3.1 Indledning.....	25
3.2 Teknologiens anvendelse .....	25
3.3 Teknologiu udvikling .....	26
3.4 Energiforbrug .....	27
3.5 Tekniske energibesparelsermuligheder .....	28
3.6 Adfærdsmæssige energibesparelsermuligheder .....	31
3.7 Besparelserpotentialer .....	32
3.8 Sammenligning med 1995-potentialet.....	33
3.9 Referencer .....	34
<b>4 Tørring.....</b>	<b>35</b>
4.1 Indledning.....	35
4.2 Teknologiens anvendelse .....	35
4.3 Teknologiu udvikling .....	36
4.4 Energiforbrug .....	37
4.5 Tekniske energibesparelsermuligheder .....	37
4.6 Adfærdsmæssige energibesparelsermuligheder og vedligehold .....	42
4.7 Besparelserpotentialer .....	43
4.8 Sammenligning med 1995-potentialet.....	44
4.9 Referencer .....	45
<b>5 Inddampning.....</b>	<b>47</b>
5.1 Indledning.....	47
5.2 Teknologiens anvendelse .....	47
5.3 Teknologiu udvikling .....	48
5.4 Energiforbrug .....	48
5.5 Tekniske energibesparelsermuligheder .....	49
5.6 Adfærdsmæssige energibesparelsermuligheder .....	52
5.7 Besparelserpotentialer .....	53
5.8 Sammenligning med 1995-potentialet.....	54
5.9 Referencer .....	55
<b>6 Brænding .....</b>	<b>56</b>
6.1 Indledning.....	56

6.2	Teknologiens anvendelse .....	56
6.3	Teknologiudvikling .....	57
6.4	Energiforbrug .....	58
6.5	Tekniske energibesparelsemuligheder .....	58
6.6	Adfærdsmæssige energibesparelsemuligheder .....	61
6.7	Besparelspotentialer .....	61
6.8	Sammenligning med 1995-potentialet .....	64
6.9	Referencer .....	64
<b>7</b>	<b>Overskudsvarme, procesintegration .....</b>	<b>65</b>
7.1	Indledning .....	65
7.2	Teknologiens anvendelse .....	65
7.3	Teknologiudvikling .....	65
7.4	Energiforbrug .....	66
7.5	Tekniske energibesparelsemuligheder .....	67
7.6	Adfærdsmæssige energibesparelsemuligheder og vedligehold .....	71
7.7	Besparelspotentiale .....	71
7.8	Sammenligning med 1995-potentialet .....	73
7.9	Referencer .....	73
<b>8</b>	<b>Konvertering til biomasse og fjernvarme .....</b>	<b>74</b>
8.1	Indledning .....	74
8.2	Teknologiens anvendelse .....	74
8.3	Teknologiudvikling .....	76
8.4	Energiforbrug .....	77
8.5	Tekniske energibesparelsemuligheder .....	78
8.6	Adfærdsmæssige energibesparelsemuligheder og vedligehold .....	82
8.7	Besparelspotentiale .....	82
8.8	Sammenligning med 1995-potentialet .....	84
8.9	Referencer .....	84
<b>9</b>	<b>Belysning .....</b>	<b>85</b>
9.1	Indledning .....	85
9.2	Teknologiens anvendelse .....	85
9.3	Teknologiudviklingen .....	86
9.4	Elforbrug .....	87
9.5	Tekniske energibesparelsemuligheder .....	88
9.6	Adfærdsmæssige energibesparelsemuligheder .....	92
9.7	Besparelspotentialer .....	92
9.8	Sammenligning med 1995 -potentialerne fra Teknologikataloget .....	98
9.9	Referencer .....	99
<b>10</b>	<b>Pumpning .....</b>	<b>100</b>
10.1	Indledning .....	100
10.2	Teknologiens anvendelse .....	100
10.3	Teknologiudviklingen .....	100
10.4	Energiforbrug .....	100
10.5	Tekniske energibesparelsemuligheder .....	101
10.6	Adfærd .....	104
10.7	Besparelsemuligheder .....	104
10.8	Sammenligning med 1995-potentialet .....	107
10.9	Referencer .....	108
<b>11</b>	<b>Køl/frys .....</b>	<b>109</b>
11.1	Indledning .....	109

11.2	Teknologiens anvendelse .....	109
11.3	Teknologiudvikling .....	109
11.4	Energiforbrug .....	110
11.5	Tekniske energibesparelsmuligheder .....	111
11.6	Adfærdsmæssige energibesparelsmuligheder.....	117
11.7	Besparelspotentiale.....	117
11.8	Sammenligning med 1995-potentialet.....	119
11.9	Referencer .....	120
<b>12</b>	<b>Ventilation.....</b>	<b>121</b>
12.1	Indledning.....	121
12.2	Teknologiens anvendelse .....	121
12.3	Teknologiudviklingen .....	121
12.4	Energiforbrug .....	121
12.5	Tekniske energibesparelsmuligheder .....	122
12.6	Adfærdsmæssige energibesparelsmuligheder.....	126
12.7	Besparelspotentialer.....	126
12.8	Sammenligning med 1995-potentialet.....	132
12.9	Referencer .....	132
<b>13</b>	<b>Trykluft.....</b>	<b>133</b>
13.1	Indledning.....	133
13.2	Teknologiens anvendelse .....	133
13.3	Teknologiudviklingen .....	133
13.4	Energiforbrug .....	133
13.5	Tekniske besparelsmuligheder.....	134
13.6	Adfærdsmæssige energibesparelsmuligheder.....	136
13.7	Besparelspotentialer.....	137
13.8	Sammenligning med 1995-potentialet.....	139
13.9	Referencer .....	140
<b>14</b>	<b>Øvrige elmotordrift.....</b>	<b>141</b>
14.1	Indledning.....	141
14.2	Teknologiens anvendelse .....	141
14.3	Teknologiudviklingen .....	141
14.4	Energiforbrug .....	141
14.5	Tekniske energibesparelsmuligheder .....	142
14.6	Adfærdsmæssige energibesparelsmuligheder.....	146
14.7	Besparelspotentialer.....	146
14.8	Sammenligning med 1995-potentialet.....	151
14.9	Referencer .....	151
<b>15</b>	<b>Elmotorer og transmissioner .....</b>	<b>152</b>
15.1	Indledning.....	152
15.2	Teknologiens anvendelse .....	152
15.3	Teknologiudviklingen .....	152
15.4	Energiforbrug .....	153
15.5	Tekniske energibesparelsmuligheder .....	155
15.6	Adfærdsmæssige energisparemuligheder.....	159
15.7	Besparelspotentialer.....	159
15.8	Sammenligning med 1995-potentialet.....	163
15.9	Referencer .....	164
<b>Bilag 1. Anvendte energipriser for 2008.....</b>		<b>165</b>
<b>Bilag 2. Investeringer i energibesparende foranstaltninger .....</b>		<b>167</b>

## Sammenfatning

Energistyrelsen, Dansk Energi og Dansk Gasteknisk Center har i forbindelse med deres arbejde med politikker og virkemidler til energieffektivisering behov for en aktuel vurdering af erhvervslivets energisparemuligheder og besparelspotentialer. Parterne har derfor igangsat et projekt med ajourføring af "Kortlægning af erhvervslivets energiforbrug" fra 2000 og nyvurdering af besparelsemuligheder og potentialer.

Denne rapport sammenfatter projektet. Rapporten beskriver den gennemførte ajourføring af kortlægningen og den metode, der er anvendt til analyse af besparelsemuligheder og besparelspotentialer. Rapporten omfatter desuden i alt fjorten teknologibeskrivelser, hvoraf elleve vedrører slutanvendelser af energi, mens tre beskrivelser er tværgående. Teknologibeskrivelserne gennemgår alle væsentlige besparelsemuligheder inden for de pågældende teknologier og opgør potentialerne ved "her og nu" besparelser, forudsat 2, 4 og 10 års tilbagebetalingstid. Opgørelsen gør det muligt at prioritere virkemidlerne ud fra, hvor de korteste tilbagebetalingstider findes.

### *Besparelspotentialer for de elleve slutanvendelser*

Vurderingen af besparelspotentialerne for de elleve slutanvendelser er vist i nedenstående tabel 0.1.

Slutanvendelse	Energiforbr. TJ/år	Heraf		Besparelspot. i %		
		br + fj. varme	el	2 år	4 år	10 år
Kedel- og nettab	11.212	11.212	0	3	5	10
Opv./kogning	27.208	25.552	1.656	8	12	28
Tørring	17.995	17.233	762	7	13	26
Inddampning	5.759	5.759	0	16	30	57
Brænding	12.491	12.467	24	6	8	20
<i>Delsum (mest brændsel)</i>	<i>74.665</i>	<i>72.223</i>	<i>2.442</i>	<i>7</i>	<i>12</i>	<i>26</i>
Belysning	13.716	0	13.716	12	17	68
Pumpning	5.364	0	5.364	14	22	34
Køl/frys	7.604	0	7.604	12	18	39
Ventilation	10.648	0	10.648	19	27	36
Trykluft	4.580	0	4.580	23	28	43
Øvrige elmotordrift	12.676	0	12.676	8	12	19
<i>Delsum (el)</i>	<i>54.588</i>	<i>0</i>	<i>54.588</i>	<i>14</i>	<i>19</i>	<i>41</i>
Sum	129.253	72.223	57.030	10	15	32

*Tabel 0.1. Besparelspotentialer for elleve slutanvendelser ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag.*

Det samlede besparelspotentiale for de elleve slutanvendelser er opgjort til 10 % ved 2 års tilbagebetalingstid, til 15 % ved 4 års tilbagebetalingstid og til 32 % ved 10 års tilbagebetalingstid. Det procentvise potentiale er noget større for slutanvendelserne på elområdet end for de slutanvendelser, der hovedsageligt dækkes med brændsel. At potentialet er mindre for de brændselsbaserede slutanvendelser kan forklares med, at der er tale om centrale processer, som jævnlige forbedres for at øge produktkvaliteten, reducere produktionstiden og spildet osv. Sådanne forbedringer medvirker også til at spare energi og betyder, at yderligere forbedringer bliver relativt dyre.

Besparelspotentialerne i tabel 0.1 er opgjort ud fra 2008-priser inkl. afgifter som anført i bilag 1. I 2010 er der indført begrænsninger i erhvervslivets refusion af energiafgifter. Alligevel er netto-priserne for energi til proces i starten af 2010 lavere end de for 2008 benyttede priser, da både brændselspriser og elpriser er faldet. Opgjort ved de helt aktuelle priser i starten af 2010 ville potentialet derfor være lidt mindre end angivet i tabel 0.1.

Det skal understreges, at potentialerne er opgjort med nogen usikkerhed, bl. a. fordi udskiftninger af udstyr kan medføre en del følgeomkostninger, der vanskeligt kan vurderes på forhånd, og fordi et udstyrs benyttelsestid og belastningsgrad kan variere fra år til år – især i krisetider.

Rapporten sammenligner de opgjorte potentialer med de potentialer, der blev opgjort i "Teknologikatalog – energibesparelser i erhvervslivet" fra 1995. For de fleste slutanvendelser er der tale om noget større besparelspotentialer nu. Det skyldes en række forhold, hvoraf de væsentligste er:

- energipriserne er væsentligt højere i dag end i 1995. Regnet i faste priser er den benyttede elpris ca. 50 % højere, mens brændselsprisen er 200-300 % højere (afhængigt af brændselsmixet)
- mange væsentlige besparelsemuligheder er blevet billigere og nemmere tilgængelige. Det gælder bl. a. varmegenvindingsteknologier (herunder MVR-anlæg), lysstyringer, frekvensomformere og energieffektive motorer
- i de senere år har erhvervslivet brugt mange kræfter på at ekspandere igennem produktudvikling, markedsudvikling, dygtiggørelse af medarbejdere m.v. Det har fjernet noget af fokus fra energieffektiviteten i produktionen og ved nyanlæg. Energistyrelsens "dekomponering" af udviklingen i fremstillingsvirksomhedernes energiforbrug (Energistatistik 2008, forudsat konstant struktur) viser således, at energiintensiteten kun er faldet 6 % fra 1995 til 2007, hvor man ville have forventet et større fald som resultat af den teknologiske udvikling. Den mindre fokus på energieffektivitet kan også ses af, at der er færre hænder til drifts- og vedligeholdsfunktionerne med deraf følgende ringere vedligehold og lavere energieffektivitet (eksempelvis er "kedelpasserfunktionen" blevet nedlagt i mange virksomheder).

### ***Besparelspotentialer for hele procesenergiforbruget***

Nogle mindre slutanvendelser er ikke blevet analyseret eksplicit i indeværende rapport. Disse slutanvendelser, der er vist i nedenstående tabel, står for 10 % af erhvervslivets elforbrug og 18 % af brændsels- plus fjernvarmeforbruget eller 15 % af erhvervslivets samlede energiforbrug (energiforbruget er eksklusive 40.679 TJ/år til rumvarme og 26.836 TJ/år til arbejdskørsel, som ikke er medtaget i denne undersøgelse). Omkring halvdelen af brændsels- og fjernvarmeforbruget i de ikke-undersøgte slutanvendelser er "Anden varme op til 150 °C", hovedsageligt opvarmning af drivhuse, mens "Smeltning" samt "Edb og elektronik" hver står for ca. 40 % af elforbruget i de ikke-vurderede slutanvendelser.

Slutanvendelse	Energiforbrug TJ/år	Heraf	
		br + fj. varme	el
Destillation	3.755	3.755	
Smeltning	5.285	2.827	2.458
Anden varme op til 150 °C	8.873	7.993	880
Anden varme over 150 °C	1.281	1.187	94
EDB og elektronik	2.437		2.437
Anden elanvendelse	367		367
Sum af ikke-vurderet	21.998	15.762	6.236

Tabel 0.2. Ikke-vurderede slutanvendelser og disses energiforbrug.

Tre tværgående teknologier er medtaget i rapporten. De to belyser besparelspotentialet inden for elmotorer og transmissioner og inden for overskudsvarme/PI (PI: procesintegration, dvs. udnyttelse af overskudsvarme mellem apparater eller processer samt – og ikke mindst - fra apparater/processer til rumvarme), mens den tredje omfatter konvertering fra konventionelle brændsler til biomasse eller fjernvarme.

Teknologi	Energiforbrug TJ/år	Heraf		Potentiale i %		
		br + fj. varme	el	2 år	4 år	10 år
Overskudsvarme/PI	67.885/75.000	67.885/75.000	0	5	10	23
Konvertering til biomasse/fj. varme	153.497	153.497	0	1	9	30
Elmotorer og transmissioner	6.440	0	6.440	3	6	16

Tabel 0.3. Tværgående teknologier, der er vurderet i rapporten ("potentiale" er besparelspotentiale, for konverteringen dog potentiale for CO<sub>2</sub>-reduktion).

Besparelspotentialet i de ikke-vurderede slutanvendelser er skønnet i nedenstående tabel, hvor potentialet for procesintegration mellem apparater/processer også er medtaget (men potentialet for udnyttelse af overskudsvarme til rumvarme er udeladt, da undersøgelsen ikke inkluderer rumvarme). I alt vurderes besparelspotentialet i erhvervslivets energiforbrug (ekskl. rumvarme og arbejdskørsel) til 10 % ved 2 års tilbagebetalingstid, 16 % ved 4 års tilbagebetalingstid og 33 % ved 10 års tilbagebetalingstid.

	Energiforbrug TJ/år	Heraf		Besparelspot. i %		
		br + fj. varme	el	2 år	4 år	10 år
Sum elve slutanv.	129.253	72.223	57.030	10	15	32
Ikke-vurderede slutanv.	21.998	15.762	6.236	6	10	25
Procesintegration	ca. 75.000	ca. 75.000		2	3	6
Samlet potentiale	151.251	87.985	63.266	10	16	33

Tabel 0.4. Besparelspotentialer for erhvervslivets energiforbrug (minus rumvarme og arbejdskørsel) ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag.

#### **Besparelspotentialer for kvotevirkomheder og for ikke-kvotevirkomheder**

Besparelspotentialerne er i de enkelte teknologibeskrivelser fordelt på virksomheder, der er omfattet af CO<sub>2</sub>-kvoteloven, og på virksomheder, der ikke er. Opgørelserne er sammenstillet i nedenstående tabeller. Opgjort i procenter vurderes potentialet for brændsels- og fjernvarmeforbruget at være stort set det samme i kvotevirkomheder som i ikke-kvotevirkomheder, mens det i energimængder (TJ/år) er tre til fem gange større. For



elforbruget er potentialet, opgjort i procenter, omkring en halv gang større i ikke-kvotevirksomheder end i kvotevirksomheder. Opgjort i energimængder er forskellen større, idet potentialet i ikke-kvotevirksomheder er omkring seks gange større end potentialet i kvotevirksomheder.

Teknologi	Kvotevirksomheder				Ikke-kvotevirksomheder			
	Energi	Besparelsespotentiale			Energi	Besparelsespotentiale		
		2 år	4 år	10 år		2 år	4 år	10 år
Kedel- og nettab	5.606	112	168	392	5.606	224	393	729
Opv./kogning	21.768	1.523	2.611	6.095	5.440	653	653	1.523
Tørring	14.396	900	1.799	3.599	3.599	360	540	1.080
Inddampning	5.183	801	1.567	3.100	576	120	161	183
Brænding	12.491	749	943	2.463				
<i>Delsum (mest brændsel)</i>	<i>59.444</i>	<i>4.085</i>	<i>7.088</i>	<i>15.649</i>	<i>15.221</i>	<i>1.357</i>	<i>1.747</i>	<i>3.515</i>
Belysning	700	0	0	476	13.016	1.646	2.332	8.851
Pumpning	2.000	200	340	500	3.364	556	851	1.334
Køl/frys	380	46	69	148	7.225	867	1.300	2.818
Ventilation	1.810	250	360	510	8.838	1.810	2.510	3.360
Trykluft	1.700	330	390	630	2.880	720	890	1.340
Øvrige elmotordrift	3.515	280	410	680	9.161	700	1.060	1.780
<i>Delsum (el)</i>	<i>10.105</i>	<i>1.106</i>	<i>1.569</i>	<i>2.944</i>	<i>44.484</i>	<i>6.299</i>	<i>8.943</i>	<i>19.483</i>
Sum	69.549	5.191	8.657	18.593	59.705	7.656	10.690	22.998

Tabel 0.5. Energiforbrug og besparelsespotentialer i TJ/år (stadie 2006), opdelt på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder.

Teknologi	Kvotevirksomheder				Ikke-kvotevirksomheder			
	Energi	Besparelsespotentiale			Energi	Besparelsespotentiale		
		2 år	4 år	10 år		2 år	4 år	10 år
Kedel- og nettab	5.606	2	3	7	5.606	4	7	13
Opv./kogning	21.768	7	12	28	5.440	12	12	28
Tørring	14.396	6	12	25	3.599	10	15	30
Inddampning	5.183	15	30	60	576	21	28	32
Brænding	12.491	6	8	20				
<i>Delsum (mest brændsel)</i>	<i>59.444</i>	<i>7</i>	<i>12</i>	<i>26</i>	<i>15.221</i>	<i>9</i>	<i>11</i>	<i>23</i>
Belysning	700	0	0	68	13.016	13	18	68
Pumpning	2.000	10	17	25	3.364	17	25	40
Køl/frys	380	12	18	39	7.225	12	18	39
Ventilation	1.810	14	20	28	8.838	20	28	38
Trykluft	1.700	19	23	37	2.880	25	31	47
Øvrige elmotordrift	3.515	8	12	19	9.161	8	12	19
<i>Delsum (el)</i>	<i>10.105</i>	<i>11</i>	<i>16</i>	<i>29</i>	<i>44.484</i>	<i>14</i>	<i>20</i>	<i>44</i>
Sum	69.549	7	12	27	59.705	13	18	39

Tabel 0.6. Energiforbrug i TJ/år (stadie 2006) og besparelsespotentialer i procent heraf, opdelt på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder.

# 1 Indledning

## 1.1 Baggrund

Energistyrelsen og Dansk Energi har bestilt en analyse af besparelsesmuligheder og besparelsepotentialer i erhvervslivet med henblik på at kunne fremskrive energiforbruget og udarbejde politikker og virkemidler til energieffektivisering.

Den udførte analyse bygger på en tidligere analyse fra 1995, som er beskrevet i "Teknologikatalog – energibesparelser i erhvervslivet" (ref. 1) samt på en detaljeret kortlægning af energiforbrugets fordeling på brancher og slutanvendelser i "Kortlægning af erhvervslivets energiforbrug" (ref. 2) fra 2000.

Analysen omfatter en opdatering af kortlægningen til år 2008 (ref. 3) og en nyvurdering af erhvervslivets besparelsesmuligheder og –potentialer, opdelt på slutanvendelser (teknologier). Rapporten beskriver arbejdet med kortlægningen samt analysen af 14 teknologier.

## 1.2 Opgavedisponering

Kortlægningen af erhvervslivets energiforbrug er baseret på Danmarks Statistiks Nationalregnskabsstatistik NR130 for 2006. Af danske energistatistikker er NR130 den mest detaljerede hvad angår energiforbrugets fordeling på energiarter og på brancher. NR130 opdeler Danmarks energiforbrug på 40 energiarter og på 130 brancher, hvoraf 91 indgår i kortlægningen.

I NR130 er virksomhedernes brændselsforbrug til egen produktion af el og fjernvarme medregnet under virksomhederne, mens elforbruget ikke inkluderer den el, der er produceret til eget brug. Til brug for kortlægningen er der derfor af Energistyrelsen og projektet udarbejdet en Energimatrix, hvor NR130 er korrigeret for disse forhold. Tabel 1.1 viser energiforbrugene i erhvervslivet, sådan som de er opgjort i NR130, i Energimatricen og i Energistyrelsens egen energistatistik (som er på et højt aggregeringsniveau hvad angår brancher).

	Statistik	Brændsel				El	Fj. varme	I alt	Enhed
		Fast	Flyd.	Gas	I alt				
Land- brug og fiskeri	NR130	4.764	28.185	2.351	35.300	6.467	1.985	43.752	TJ
	Energimatrix	4.619	28.075	2.016	34.710	7.300	1.985	43.995	TJ
	Energistyrelsen	4.039	22.369	2.342	28.750	7.506	1.985	38.239	TJ
	ENS:E.matrix	87	80	116	83	103	100	87	%
Industri	NR130	13.878	22.054	55.433	91.476	34.341	7.097	132.803	TJ
	Energimatrix	13.949	21.427	48.843	84.219	35.814	7.149	127.182	TJ
	Energistyrelsen	14.349	28.499	43.951	86.799	38.420	6.992	132.229	TJ
	ENS:E.matrix	103	133	90	103	107	98	104	%
Privat H&S <sup>1)</sup>	NR130	0	2.012	6.803	8.815	22.126	16.660	47.600	TJ
	Energimatrix	0	2.012	6.764	8.776	22.158	16.660	47.593	TJ
	Energistyrelsen	1.570	1.756	7.973	11.299	29.080	19.453	59.847	TJ
	ENS:E.matrix	-	87	118	129	131	117	126	%
I alt	NR130	18.642	52.251	64.587	135.591	62.934	25.742	224.155	TJ
	Energimatrix	18.568	51.514	57.623	127.705	65.272	25.794	218.769	TJ
	Energistyrelsen	19.958	52.624	54.266	126.848	75.006	28.430	230.315	TJ
	ENS:E.matrix	107	102	94	99	115	110	105	%

Tabel 1.1. Erhvervslivets energiforbrug 2006 som det opgøres i NR130, i Energimatrixen (NR130 korrigeret for egen produktion af el og fjernvarme) samt i Energistyrelsen energistatistik. <sup>(1)</sup>: eksklusive energiforbrug i transportvirksomheder, brancherne 60.00.00 – 64.20.00).

Kortlægningen ajourfører energiforbruget i de 91 brancher (samlet i 71 erhvervsgrupperinger) til år 2006 (mod 1997 i den tidligere udgave). Desuden er egentlige anakronismer i teksten blevet opdateret, mens teksten i øvrigt ikke er ændret. Energiforbrugets fordeling på slutanvendelser er ændret i nogle få grupperinger i forbindelse med, at enkelte større energiforbrugere har ændret branchekode (det gælder bl. a. Cheminova og Novozymes), men ellers er den procentvise fordeling fra 2000-kortlægningen bibeholdt, da det vurderes, at der generelt kun er sket mindre ændringer fra 2000 til 2008, og da en egentlig opdatering ville være meget tidskrævende.

Kortlægningen opgør energiforbrugets fordeling på 21 slutanvendelser/teknologier som vist i tabel 1.2. I indeværende rapport beskrives 11 af de store slutanvendelser (øvrige elmotorer inkluderer findeling og omrøring) samt den tværgående teknologi Elmotorer og transmissioner. Desuden beskrives besparelsesmulighederne ved udnyttelse af overskudsvarme til opvarmningsformål i erhvervslivet samt mulighederne for CO<sub>2</sub>-reduktion ved konvertering til biomasse og fjernvarme. Beskrivelserne følger en fast disposition:

Indledning

Teknologiens anvendelse

Teknologiudviklingen (udviklingen de seneste 10 år og trends for den kommende udvikling)

Energiforbrug (opgjort for de vigtigste brancher)

Tekniske energibesparelsesmuligheder

Adfærdsmæssige energibesparelsesmuligheder

Besparelsespotentialer (der opgøres som beskrevet i afsnit 3 nedenfor)

Fordeling på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder

Sammenligning med 1995-potentialet fra Teknologikataloget

Referencer

Slutanvendelser	Brændsel og fjernvarme		El		Beskrives i rapporten
	TJ	%	TJ	%	
Kedel- og nettab	11.212	7			X
Opvarmning/kogning	25.552	17	1.656	2	X
Tørring	17.233	11	762	1	X
Inddampning	5.759	4			X
Destillation	3.755	2			
Brænding/sintring	12.467	8	24	0	X
Smeltning/støbning	2.827	2	2.458	5	
Anden varme op til 150°C	7.993	5	880	1	
Anden varme over 150°C	1.187	1	94	0	
Arbejdskørsel	26.836	17			
Belysning			13.716	19	X
Pumpning			5.364	9	X
Køl/frys			7.604	11	X
Ventilation og blæsere			10.648	16	X
Trykluft og procesluft			4.580	8	X
Findeling			1.720	3	X
Omrøring			709	1	X
Øvrige elmotorer			10.247	16	X
Edb og elektronik			2.437	3	
Anden elanvendelse			367	1	
Rumvarme	38.674	25	2.005	3	
I alt	153.497	100	65.272	100	

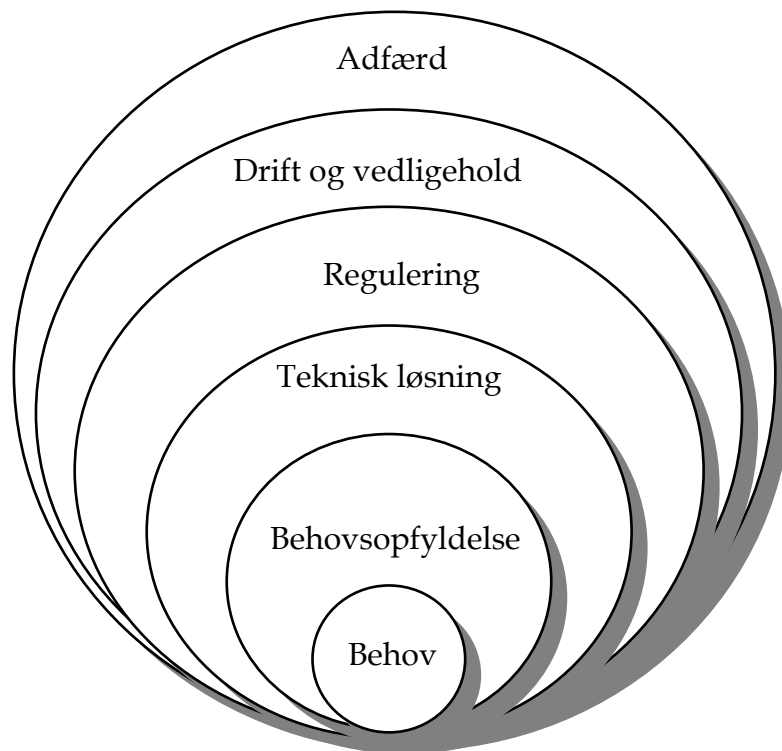
Tabel 1.2. Erhvervslivets energiforbrug 2006 og beskrevne teknologier. (Findeling, omrøring og øvrige elmotorer er samlet i én beskrivelse).

## 1.3 Analysemetode

### 1.3.1 Besparelsmuligheder

Energibesparelsmulighederne er analyseret efter en ret fast struktur, der ofte kaldes "løgdiagrammet", se fig. 1.1 Analysen starter med det mest grundlæggende – behovet for energitjenesten – og vurderer derefter besparelsmulighederne ved at tilpasse ydelsen til behovet (ved at undgå at overopfylde behovet), ved de tekniske løsninger (systemer og komponenter), ved energieffektiv styring og regulering, ved bedre drift og vedligehold og endelig ved energibevidst adfærd.

Denne vurderingsmåde indebærer, at de mest perspektivrige og holdbare besparelser indregnes før besparelser med kortere varighed. Specielt for de adfærdsmæssige besparelser betyder det, at potentialet opgøres som beskedent, fordi bl. a. styring og regulering reducerer mulighederne i adfærdsmæssige tiltag.



Figur 1.1. Løgdiagrammet for analyse af energibesparelser.

### 1.3.2 Besparelspotentialer

Besparelspotentialerne er opgjort som "her og nu" potentialer ved 2, 4 og 10 års tilbagebetalingstid, hvor 2 og 4 år repræsenterer tilbagebetalingstider, som ofte accepteres af erhvervslivet for energibesparende investeringer, mens de 10 år ligger over og snarere svarer til en samfundsøkonomisk acceptabel tilbagebetalingstid. Ud over tilbagebetalingstiden gives der også er skøn for levetiden, opgjort som den teknisk-økonomiske levetid, som ikke blot tager hensyn til, hvor længe udstyret kan holde, men også til, hvor mange år de pågældende energitjenester typisk udnyttes, og hvornår udstyret eventuelt afløses af endnu mere energieffektive løsninger.

Potentialet opgøres (skønnes) på baggrund af konkrete eksempler, faglitteratur, samtaler med fagspecialister, nøglepersoner i erhvervslivet og på baggrund af konsulenternes egne erfaringer, kombineret med oplysninger og skøn over fordelingen i erhvervslivet med hensyn til typer af systemer og udstyr (oplysningerne kan bl. a. findes i kortlægningen), udstyrets størrelse (effekter), driftstider, udnyttelsesgrader, aldersfordeling, styringer, vedligeholdsstand osv. Ved opgørelsen benyttes de i bilag 1 viste energipriser.

Skønnet baseres således på en opgørelse af:

- energiforbruget til den pågældende slutanvendelse (fås fra kortlægningen)
- for hver energisparemulighed den andel af energiforbruget, for hvilken sparemuligheden er relevant
- ud af denne andel hvor stor en andel, hvor besparelsen kan opfylde kravet til tilbagebetalingstid (i tabellerne anført som "% af energien, hvor det er muligt")
- hvor stor besparelsen i gennemsnit vil være for dette udstyr (i tabellerne anført som "% besparelse i omfattet udstyr")
- besparelsen i slutanvendelsens energiforbrug beregnes herefter som produktet af %-andelen og den gennemsnitlige besparelse

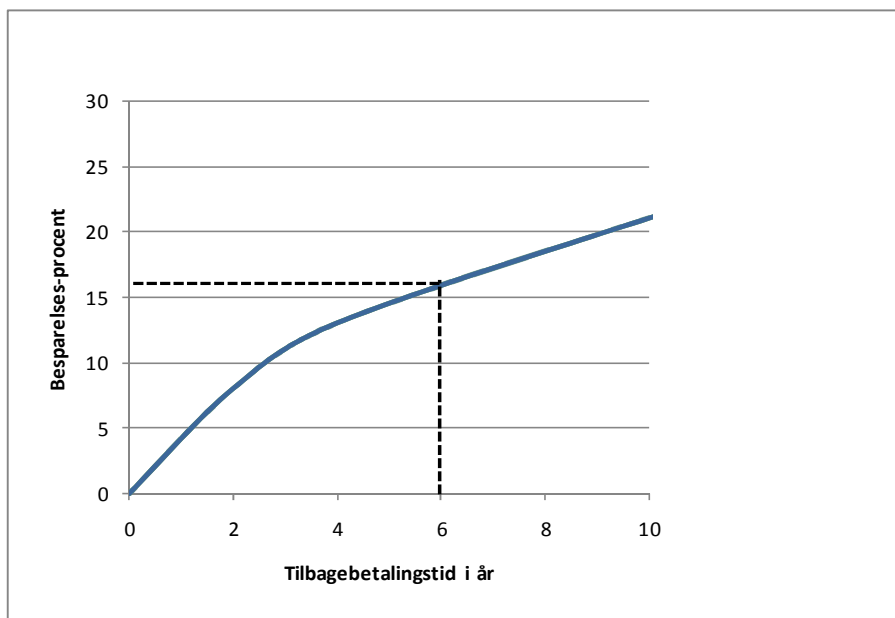
Den samlede besparelse som resultat af de forskellige muligheder beregnes som summen af de enkelte besparelser i de tilfælde, hvor besparelserne vedrører forskellige udstyr. Er der derimod tale om flere besparelsetiltag over for den samme gruppe af udstyr, beregnes besparelsen som  $1 - (1-a) \cdot (1-b) \cdot (1-c)$ , hvor a, b og c er potentialerne pr. tiltag (idet der her er regnet med tre typer af tiltag). For det adfærdsmæssige besparelspotentiale vurderes, i hvilket omfang det øger det samlede potentiale og i hvilket omfang, det er et alternativ til de tekniske tiltag.

Det skal understreges, at besparelspotentialerne er opgjort ud fra en række skøn og derfor er behæftet med en ikke ubetydelig usikkerhed.

Inden for de enkelte teknologier/slutanvendelser er der en meget stor variation i alder, opbygning, størrelse, udnyttelse og drift af erhvervslivets udstyr, hvorfor det ikke er muligt "at regne sig frem" til besparelspotentialet, men kun at skønne over det, baseret på eksempler og erfaringer. Af denne grund har det ikke været muligt at lave et regneark med forudsætninger og beregninger, således som det var ønsket af opdragsgiverne. I stedet kan man omtrentligt vurdere følgerne af ændrede forudsætninger ved at vurdere, hvad de betyder for tilbagebetalingstiden og derefter gå ind i en kurve over besparelspotentialet som funktion af tilbagebetalingstiden, se eksemplet fig. 1.2. I de fleste tilfælde opgøres tilbagebetalingstiden simpelt som

$$\text{tilbagebetalingstid} = \text{investering} : (\text{energibesparelse} \cdot \text{energipris})$$

Stiger energiprisen eksempelvis 50 %, svarer det til, at tilbagebetalingstiden falder fra f.eks. 6 til 4 år, således at potentialet kan findes ved at gå ind i kurven med 6 års tilbagebetalingstid.



Figur 1.2. Eksempel på vurdering af besparelspotentialet ved ændrede forudsætninger.

## 1.4 Referencer

1. Teknologikatalog – energibesparelser i erhvervslivet. Energistyrelsen 1995
2. Kortlægning af erhvervslivets energiforbrug. Dansk Energi Analyse. September 2000
3. Kortlægning af erhvervslivets energiforbrug. Dansk Energi Analyse og Viegand & Maagøe. November 2008

## 2 Kedel- og nettab

### 2.1 Indledning

Dette afsnit omhandler energibesparelspotentialer for kedel- og distributionsanlæg i erhvervslivet. Besparelspotentialet angår alene muligheder for effektivisering af anlæggene ved at mindske tabene i disse. Varmegenvinding internt i fabrikken til reduktion af varmebehovet samt CO<sub>2</sub>-besparelser ved omlægning af brændsler eller konvertering til fjernvarme er altså ikke omfattet af analyserne, men er beskrevet i afsnit 7 og 8. Brændselsomlægninger er dog medtaget i dette afsnit i det omfang, de vil medføre en mere effektiv udnyttelse af primærenergien.

### 2.2 Teknologiens anvendelse

Kedel og distributionsanlæg anvendes til opvarmning af processer, brugsvand og lokaler i erhvervslivet og kan hvad angår tab groft rubriceres efter følgende forhold:

Brændsler:

- Olie (tung olie, gasolie)
- Naturgas og LPG
- Kul
- Andet (biomasse m.m.)

Kedeltyper:

- Kedler med/uden economizer
- Kondenserende vs. ikke-kondenserende kedler
- Efterbrændere i forbindelse med industrielle kraftvarmeanlæg

Distributionsnet:

- Vandbaserede systemer
- Dampbaserede systemer
- Hedtolie-/hedtvandsbaserede systemer
- Fjernvarmebaserede systemer

Desuden findes der mindre elbaserede kedler ("damptrøle") – typisk til fjerntliggende, decentrale opvarmningsformål eller enkeltstående processer med ekstraordinære temperatur-/trykkrav.

### 2.3 Teknologiuudvikling

Der har op gennem 90'erne og i starten af 2000-tallet været en stigende anvendelse af kondenserende, naturgasfyrede kedler i erhvervslivet, både til proces- og rumvarmeformål. Mange virksomheder har dog ikke i tilstrækkeligt omfang lavtemperatur-systemer, hvilket er en forudsætning for at kunne afkøle røggassen tilstrækkeligt således at kondensationsvarmen kan udnyttes.

Desuden har der i erhvervslivet været en stigende tendens til anvendelse af biomasse, specielt i forbindelse med rumvarmeformål, hvor det afgiftsmæssigt er fordelagtigt. Kondenserende drift af oliekedler anses for en fremtidig mulighed mange steder – anvendelse af lav-svovlholdig (og noget dyrere) olie er dog en forudsætning for, at disse løsninger ikke medfører korrosionsproblemer.

Konvertering fra oliebaseerede brændsler til naturgas er også sket i større omfang, men vurderes fortsat at rumme væsentlige muligheder. Flere distributionsselskaber har de seneste år reduceret tilslutnings-omkostningen betydeligt, hvilket gør en konvertering mere rentabel end tidligere og en række virksomheder overvejer aktuelt sådanne muligheder.

Hvad angår varmemeforbrugende procesanlæg må man forvente at bedre varmevekslerteknologi i fremtiden giver mulighed for lavere forsyningstemperaturer, hvilket reducerer tab fra både kedler og distributions-systemerne. Herunder kan man forvente at også bedre projekterings-praksis kan reducere tabene – den udbredte designpraksis med at anvende en fælles høj forsyningstemperatur til alle opvarmningsformål (herunder damp til bygningsopvarmning) vil kunne forbedres ved i højere grad at planlægge både varmtvandssystemer og dampanlæg i en virksomheds varmforsyning – førstnævnte med langt færre tab og forøgede muligheder for også at udnytte spildvarme til for eksempel rumvarmeformål.

## 2.4 Energiforbrug

Erhvervslivets brændselsforbrug til kedel- og distributionstab er opgjort til 11.212 TJ (3.144 GWh) i 2006. Det er 7 % af erhvervslivets samlede brændselsforbrug. Forbruget er som sådan ikke et direkte forbrug men dækker over tab i forbindelse med forbrænding af brændsel og tab ved distribution af varme i rør m.m.

Tabel 2.1 viser brændselsforbruget til kedel- og distributionstab i de væsentligste brancher. Størrelsen af tabene skal ses i forhold til erhvervslivets primære brændselsforbrug, der 2006 er fordelt således:

- Ca. 10.000 TJ er kul (heraf udgør cement-/roterovne ca. halvdelen)
- Ca. 50.000 TJ er olieprodukter (heraf 19.000 TJ til markredskaber og fiskefartøjer)
- Ca. 60.000 TJ er gasbaseret (heraf knap 15.000 TJ raffinaderigas anvendt i mineralolieindustrien)

Desuden anvendes i erhvervslivet ca. 7.000 TJ biomasse og affald (primært træflis og halm). Men olieprodukter udgør fremdeles ca. en tredjedel af brændselsforbruget i industri.



Branche	Brændselsforbrug (2006) Kedel- og nettab	
	TJ	%
<b>Landbrug og fiskeri</b>	<b>2212</b>	<b>20</b>
<i>Heraf</i>		
- Landbrug	1315	12
- Gartneri	803	7
- Andet	94	1
<b>Industri</b>	<b>7867</b>	<b>70</b>
<i>Heraf</i>		
- Udvinning af grus, ler m.v.	356	3
- Slagterier m.v.	451	4
- Forarbejdning og konservering af fisk m.v.	297	3
- Fremstilling af vegetabiliske og animalske olier m.v.	228	2
- Mejerier og isfabrikker	776	7
- Fremstilling af stivelsesprodukter	439	4
- Sukkerfabrikker og raffinaderier	441	4
- Drikkevarerindustri	298	3
- Træindustri	414	4
- Papirindustri	264	2
- Mineralolieindustri	786	7
- Medicinalindustri	185	2
- Fremstilling af rengøringsmidler	284	3
- Fremstilling af gummiprodukter m.v.	242	2
- Fremstilling af produkter af beton m.v.	215	2
- Fremstilling af byggematerialer af metal	199	2
- Fremstilling af skibsmotorer m.v.	183	2
- Møbelindustri	336	3
- Andet	1473	13
<b>Privat handel og service</b>	<b>1223</b>	<b>10</b>
<i>Heraf</i>		
- Engros- og agenturhandel	327	3
- Detailhandel	121	1
- Hotel- og restaurationsvirksomhed	134	1
- Rådgivningsvirksomhed m.v. rengøringsvirksomhed	259	2
- Forlystelse, kultur og sport	119	1
- Andet	263	2
<b>I alt</b>	<b>11.212</b>	<b>100</b>

Tabel 2.1. Brændselsforbrug til kedel- og distributionstab 2006.

## 2.5 Tekniske energibesparelsemuligheder

Det er en generel holdning hos kedelleverandører og servicefirmaer (ref. 1 – ref. 5), at der er et betydeligt potentiale for at forbedre effektiviteten af industrielle kedelanlæg. Op mod 75 % af større kedelanlæg vil kunne optimeres med tilbagebetalingstider der ligger inden for 10 år og selv med tilbagebetalingstider under 5 år vurderes der at være væsentlige potentialer på ca. halvdelen af kedelanlæggene.

En medvirkende årsag til disse potentialer anføres fra flere sider at være, at vedligehold af kedelcentraler i dag er nedprioriteret i mange virksomheder og at vedligeholdsstanden derfor er faldende – den gamle ”kedelpasserfunktion” er bortrationaliseret, hvilket øger besparelspotentialet ved alm. overvågning, rensning og vedligehold af kedel- og distributionsanlæg.

Nedenfor gennemgås energibesparelspotentialer for kedel- og distributionsanlæg opdelt på en række tiltag, idet der for hvert enkelt af disse så vidt muligt beskrives tekniske besparelspotentialer og tilbagebetalingstider. Det skal bemærkes, at besparelspotentialerne angives i % af primært brændselsforbrug, hvor tabel 2.1 ovenfor angiver specifikke tabstørrelser.

### 2.5.1 Economizere

Det væsentligste potentiale for at forbedre energiudnyttelsen i industrielle kedelanlæg består i at udnytte restvarme i røggassen via economisere. Economisere kan anvendes til forvarmning af forbrændingsluft eller forvarmning af fødevand og/eller kondensat til kedlen. Udnyttelse af economisere til øvrige opvarmnings-formål i virksomheden regnes i nærværende rapport som hørende under emneområdet ”varmegenvinding”.

Economisere kan primært anvendes på damp- og hedtolie/hedtvandsanlæg, hvor røggas-temperaturen er høj og primært på naturgasfyrede kedler, da røggassen kan køles betydeligt uden korrosionsproblemer. I bedste tilfælde (nedkøling til under 50 °C) opnås kondenserende drift af kedlen med meget store besparelser til følge (op til 10-12 % virkningsgradforbedring). Dette kræver dog at kondenseringsvarmen udnyttes til rumopvarmning eller andre lavtemperaturbehov og ikke lokalt på kedlen. Kondenserende drift kan også opnås på oliekedler, men det kræver fyring med olier med lavt svovlindhold, hvilket er dyrere at indkøbe og derfor medfører lang tilbagebetalingstid. Man kan dog anføre, at der er et betydeligt potentiale for kondenserende drift af oliekedler, hvis tilbagebetalingstider op til for eksempel 10 år kan accepteres. Dog er kondenseringsvarme noget mindre end på naturgaskedler.

En samlet vurdering af potentialet for anvendelse af economisere til fødevandsforvarmning og forvarmning af forbrændingsluft giver følgende potentialer:

- Ca. 50 % af industrielle kedelanlæg (indfyret effekt) har idag ikke installeret economisere og det vurderes, at der for disse kan opnås mellem 3 og 10 % energibesparelser ved at installere economisere til fødevandsforvarmning og forvarmning af forbrændingsluft.

Tilbagebetalingstiden vurderes for større kedler at ligge i intervallet 1-10 år således at:

- 10 % af anlæggene kan etablere economisere med en tilbagebetalingstid kortere end 2 år – og her opnå 4 % besparelse svarende til et bruttobesparelspotentiale på 0,4 %.
- I alt 25 % af anlæggene kan etablere economisere med en tilbagebetalingstid mellem 2 og 4 år – og her opnå besparelser på 6 % svarende til et bruttobesparelspotentiale på 1,5 %.

- alle anlæggene (50 %) kan etablere economisere med en tilbagebetalingstid kortere end 10 år – og opnå en besparelse på 8 % svarende til et bruttobesparelspotentiale på 4 %.

Under dette sidste punkt er det skønnet at alle kedler (50 %) kan etablere economisere i og med economisere på visse oliefyrede kedler også vil være en mulighed såfremt lange tilbagebetalingstider kan accepteres.

Det skal desuden bemærkes, at kedelanlæg med bestående economisere til fødevandsforvarmning kan optimeres ved sikre at der er et tilstrækkeligt og stabilt flow af fødevand – det observeres ofte, at kedler i perioder kører med lav totalvirkningsgrad på grund af ustabil vandflow eller at kondensat er for varmt.

### **2.5.2 Nye brændere/iltstyring**

Etablering af iltstyring vil for mange kedler kunne reducere luftoverskuddet og dermed tabet i røggas som følge af lavere røggasmængde. Ofte er dette ikke umiddelbart rentabelt på mindre kedler (< 1 MW), men det vurderes at kunne etableres på op mod 50 % af erhvervslivets kedelanlæg såfremt man accepterer tilbagebetalingstider så lange som 10 år. Besparelspotentialet vurderes at være 1 % ved korte tilbagebetalingstider og op til 2 % ved længere tilbagebetalingstider.

Også udskiftning af brændere på ældre oliekedler vurderes at rumme besparelspotentialer – skønsmæssigt halvdelen af de bestående oliekedler vurderes at kunne opnå besparelser med nye og bedre brændere. Besparelspotentialet vurderes at være noget større end ved etablering af iltstyring med mindre der samtidigt skiftes til naturgas eller LPG, se nedenfor.

Endelig skal det nævnes, at mange kedler i standby-drift har relativt stor røggastab pga. manglende spjæld til reduktion af luftflowet i aftræk – en eftermontering af sådanne spjæld vil kunne opnå af størrelsesordenen 1 % energibesparelse i 50 % af virksomhederne med relativt korte tilbagebetalingstider (< 4 år).

Samlet vurderes iltstyring, udskiftning af brændere samt etablering af spjæld at rumme følgende potentialer:

- 10 % af anlæggene kan opnå 1 % energibesparelse med en tilbagebetalingstid kortere end 2 år svarende til et bruttobesparelspotentiale på 0,1 %.
- 25 % af anlæggene kan opnå 2 % energibesparelse med en tilbagebetalingstid kortere end 4 år svarende til et bruttobesparelspotentiale på 0,5 %.
- 50 % kedelanlæggene kan opnå 3 % energibesparelse med en tilbagebetalingstid kortere end 10 år til et bruttobesparelspotentiale på 1,5 %.

Såfremt det samtidigt etableres nye kedler eller omlægges fra olie til naturgas kan der opnås betydeligt større besparelser, se nedenfor.

### **2.5.3 Konvertering til naturgas/LPG**

Ca. 25 % af alle kedler (indfyret effekt) vurderes at anvende olie som brændsel og der kan opnås betydelige energibesparelser ved at konvertere disse til naturgas eller LPG i tilfælde hvor naturgas ligger for langt væk.

Energibesparelspotentialet ved konvertering fra olie til naturgas/LPG vurderes at være af op til 10 % af brændselsforbruget via bedre røggaskøling (economisere), bedre brænderstyring (modulerende drift samt iltstyring) samt mindre energiforbrug til forvarmning af olie.

Tilbagebetalingstiden ved konvertering varierer betydeligt med de aktuelle brændselspriser, afstand til naturgasnettet, kontraktforhold omkring levering af gas m.m., men der vurderes overordnet set at være følgende potentialer:

- 10 % af de oliefyrede kedler kan konverteres med tilbagebetalingstider kortere end 2 år – svarende til et bruttobesparelspotentiale på 0,25 %
- I alt 33 % af de oliefyrede kedler kan konverteres med tilbagebetalingstider kortere end 4 år – svarende til et bruttobesparelspotentiale på 0,8 %
- I alt 66 % af de oliefyrede kedler kan konverteres med tilbagebetalingstider kortere end 10 år – svarende til et bruttobesparelspotentiale på 1,6 %.

Det skal bemærkes, at LPG forventes at få større udbredelse i fremtiden som følge af de aktuelt store udbygninger af anlæg til modtagelse af LPG flere steder i Europa. Som brændsel er LPG i dag dog relativt dyrt.

#### **2.5.4 Lavere forsyningstryk/temperatur – omlægning til varmt vand og/eller fjernvarme**

Det er udbredt praksis at samtlige varmemeforbrugere i en virksomhed forsynes med et fælles varmemedium (damp). Dette medfører relativt større tab, dels i kedelcentral (røggas har højere temperatur), dels i de dele af distributionsnettet der evt. kunne erstattes af varmtvands-systemer.

I flere brancher (fødevarer, pharma, plast m.m.) kan op mod 80 % af varmemeforbruget teoretisk set dækkes via varmt vand og/eller fjernvarme, og en omlægning til sådant vil ideelt set kunne spare 10-15 % af det samlede brændselsforbrug via lavere tab – specielt hvis der samtidigt kan opnås kondenserende drift af en kedel.

Det vil imidlertid også været meget bekostelig at foretage en sådan omlægning og det vil i de fleste tilfælde have tilbagebetalingstider af størrelsesordenen 10 år eller mere.

Det mest realistiske potentiale vil her bestå i:

- Omlægning af enkelte varmemeforbrugere (eks. bygningsopvarmning) i tilfælde hvor economisere kan etableres og forsyne disse (dette potentiale skal i nærværende rapport medregnes under emneområdet ”varmegenvinding”).
- Omlægning af rumvarme til biomassefyrede kedler, hvorved der grundet afgiftsmæssige forhold kan opnås god rentabilitet trods større kedeltab.

Potentialet for omlægning til varmtvandsanlæg og/eller fjernvarme under ombygning af eksisterende virksomheder er vanskeligt at anslå, men inden for en tilbagebetalingstid af 10 år skønnes der følgende potentialer:

- 5 % af virksomhederne kan med fordel etablere en varmtvandskedel/fjernvarme som delvist alternativ til damp med tilbagebetalingstider under 2 år – og her vil der for ca. 10 % af energiforbruget kunne opnås en besparelse på 10 % - svarende til en samlet bruttobesparelse på 0,05 %

- 10 % af virksomhederne kan med fordel etablere en varmtvandskedel/fjernvarme som delvist alternativ til damp med tilbagebetalingstider under 4 år – og her vil der for ca. 20 % af energiforbruget kunne opnås en besparelse på 10 % - svarende til en samlet bruttobesparelse på 0,2 %
- 25 % af virksomhederne kan med fordel etablere en varmtvandskedel/fjernvarme som delvist alternativ til damp med tilbagebetalingstider under 2 år – og her vil der for ca. 30 % af energiforbruget opnås en besparelse på 10 % - svarende til en samlet besparelse på 0,75 %.

Såfremt udnyttelse af spildvarme fra industrielle processer/andre forsyningsanlæg via varmtvandssystemer medregnes vil ovenstående potentialer være langt større. Ligeledes vil konvertering til fjernvarme medføre en betydelig reduktion af primært brændselsforbrug, hvilket udgør et langt større potentiale end reducerede tab som opgjort ovenfor. Dette bør i nærværende rapport opgøres i et selvstændigt teknologifsnit.

### **2.5.5 Ny kedel/”sommerkedel”**

Det anføres blandt leverandører og servicefirmaer, at mange kedler er overdimensionerede og dermed har relativt store tab. Det gælder specielt ældre kedler i virksomheder hvor omlægninger af produktion, større energispareprojekter m.m. har medført væsentligt ændrede driftsbetingelser.

Etablering af ny kedel eller en mindre kedel til ”sommerdrift” vil i disse tilfælde kunne realisere energibesparelser af størrelsesordenen 10 % (inkl. luftforvarmning/fødevandsforvarmning, ilstyring m.m.).

Det vurderes, at det er af størrelsesordenen 5 % af erhvervslivets kedler det vil kunne betale sig at udskifte eller supplere med mindre kedler såfremt tilbagebetalingstider mellem 4 og 10 år kan accepteres.

### **2.5.6 Efterisolering**

Efterisolering i kedelcentral og distributionsnet (teknisk standard DS452) udgør fremdeles et væsentligt potentiale for energibesparelser i erhvervslivet – typisk forventes der at kunne opnås 1 % energibesparelser i både kedelcentral og distributionsnet og typisk vil tilbagebetalingstiden være under 4 år for dette potentiale.

Ved tilbagebetalingstider op til 10 år vil omisolering kunne realisere noget større potentialer skønnet til af størrelsesordenen 4 % i 75 % af virksomhederne.

### **2.5.7 Rensning og vedligehold af kedler**

Virkningsgraden for kedler kan forbedres ved løbende at holde disse rene (bundblæsning, rensning af rør/hedeflader) og løbende sikre at brændere fungerer optimalt osv.

Det angives af flere at besparelspotentialet ved bedre vedligehold af kedelanlæg er betydeligt, da ”kedelpassefunktionen” i mange tilfælde er bortrationaliseret og kun de mest nødvendige (sikkerhedsrelaterede) eftersyn gennemføres.

Det vurderes, at der for 50 % af kedlerne kan opnås 2 % besparelse alene ved bedre rensning og vedligehold af kedler.

### **2.5.8 Vedligehold af dampudladere**

Dampudladere i dampsystemer kan svigte og der ses stadig ofte større udsivninger af damp i erhvervslivet. Det vurderes at der i halvdelen af erhvervslivet kan opnås i gennemsnit 2 % energibesparelse ved systematisk at vedligeholde dampudladere bedre end det sker i dag.

### **2.5.9 Enkelt-shuntede distributionssystemer**

I vandbårne distributionssystemer kan returtemperaturen i dobbelt-shuntede systemer reduceres ved at ombygge disse til enkeltshuntede systemer. Herved spares energi ved en bedre afkøling af røggassen i kedelcentralen samt via lavere tab i distributionssystemet. Det vurderes at ca. 1/3 af distributionssystemerne i erhvervslivet (indfyret effekt) er vandbårne.

Besparelsen overlapper de besparelser der kan opnås ved etablering af economisere (afsnit 2.5.1 ovenfor) og vurderes at kunne realisere besparelser på op til 4 % af energiforbruget i de pågældende anlæg (ref. 7) såfremt der accepteres tilbagebetalingstider så lange som 10 år. Såfremt der opereres med kortere tilbagebetalingstider anses potentialet for begrænset da ombygningerne typisk er relativt dyre/omfattende.

### **2.5.10 Genfordampningsanlæg**

I dampsystemer er der ofte betydelige tab i forbindelse med at kondensat ”flasher” når det returneres til kedelcentralen til afiltrering osv. Tabene i et 8 bar-system kan være så høje som 10 % i henhold til ref. 8, hvilket kan reduceres ved at opsamle flash-dampen i genfordampningsanlæg eller ved at etablere et lukket tryksat kondensatsystem, hvor kondensatet ikke flasher når det returneres.

Udnyttelse af genfordampningsvarmen skal i nærværende rapport behandles under ”varmegenvinding” medens reduktion af tab ved at tryksætte kondensatsystemet må anses for relativt kompliceret og dyrt at realisere.

## **2.6 Adfærdsmæssige energibesparelsemuligheder og vedligehold**

Blandt ovenstående besparelspotentialer må flere muligheder rubriceres som energi-besparelspotentialer der kan realiseres via bedre vedligehold:

- 2.5.1 Bedre brug af economisere
- 2.5.7 Rensning og vedligehold af kedler
- 2.5.8 Vedligehold af dampudladere

Det vurderes samlet, at op mod 75 % af industriens kedelanlæg kan vedligeholdes bedre end det sker i dag og at besparelspotentialet ved dette vil være ca. 2 % - afhængigt af hvilke øvrige besparelsetiltag der er gennemført, da flere af disse automatisk sikre en bedre drift af kedlerne.

Egentlige adfærdsmæssige besparelspotentialer for kedel- og distributionsanlæg anses for at være meget begrænsede.

## **2.7 Besparelspotentiale**

Nedenstående tabeller sammenfatter energibesparelspotentialerne med hhv. 2, 4 og 10 års tilbagebetalingstid i henhold til opgørelserne i kapitel 2.5. Det skal bemærkes, at besparelspotentialerne listet ovenfor i vid udstrækning overlapper hinanden – for eksempel

vil "economisere" (afsnit 2.5.1) ikke kunne ses som et potentiale parallelt med "ny kedel" (afsnit 2.5.5) osv.

Besparelspotentialerne rubriceres med denne baggrund i følgende hovedgrupper:

1. Etablering af ny kedel/economisere
2. Etablering af ilstyring/udskiftning af brændere
3. Konvertering til naturgas/LPG
4. Varmedistribution
5. Isolering

Nedenfor at besparelspotentialerne gennemgået ovenfor sammenfattet, idet der er foretaget en vis tilpasning af tallene (tal i afsnittene ovenfor angivet i parentes) for at undgå overlap i potentialerne.

	2 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Ny kedel/economisere	10	4	0,4	10
Iltstyring/brændere	10	1	0,1	10
Konvertering til gas/LPG	2,5	10	0,25	10
Varmtvandsdistribution	0,5	10	0,05	10
Isolering	75	0,5	0,4	10
Vedligehold	75	2	1,5	1
Tekniske muligheder i alt			3	
Adfærd	-	-	-	
Totalt			3	

*Tabel 2.2. Energibesparelspotentialer for kedel- og distributionstab med tilbagebetalingstid på 2 år.*

	4 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Ny kedel/economisere	25	6	1,5	10
Iltstyring/brændere	25	2	0,5	10
Konvertering til gas/LPG	8	10	0,80	10
Varmtvandsdistribution	2	10	0,20	10
Isolering	75	2	1,5	10
Vedligehold	50 (75)	2	1	1
Tekniske muligheder i alt			5	
Adfærd	-	-	-	
Totalt			5	

*Tabel 2.3. Energibesparelspotentialer for kedel- og distributionstab med tilbagebetalingstid på 4 år.*

	10 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Ny kedel/economisere	50 (50)	8	4	20
Iltstyring/brændere	25 (50)	3	0,75	10
Konvertering til gas/LPG	10 (17)	10	1,0	20
Varmtvandsdistribution	8	10	0,8	20
Isolering	50 (75)	4	2,0	10
Vedligehold	25 (75)	2	0,5	1
Tekniske muligheder i alt			10	
Adfærd	-	-	-	
Totalt			10	

Tabel 2.4. Energibesparelspotentialer for kedel- og distributionstab med tilbagebetalingstid på 10 år.

### 2.7.1 Fordeling på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder

Det vurderes, at størstedelen af tab i kedel- og distributionsanlæg findes i kvotevirksomheder i og med, at langt den største energiomsætning findes i disse (store forbrug, lange driftstider).

Kvotevirksomheder omfatter også en række gartnerier (i alt 9 gartnerier er kvotevirksomheder), hvorfor det vurderes at ca. 65 % af tabene i tabel 2.1 svarende til ca. 7.300 TJ/år findes i kvotevirksomheder.

Hvad angår besparelspotentialer vurderes dette at være relativt større i mindre virksomheder som følge af, at kvotevirksomhederne i et vist omfang har fokus på energisparepotentialer via certificerede energiledelsessystemer, tradition for at fokusere på energibesparelsemuligheder osv.

Besparelspotentialerne for henholdsvis kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder vurderes på dette grundlag som angivet i tabel 2.5 nedenfor.

Teknologi	Energi- forbrug TJ/år	2 års tilbage- betalingstid		4 års tilbage- betalingstid		10 års tilbage- betalingstid	
		%	TJ/år	%	TJ/år	%	TJ/år
Kvotevirksomheder	5.606	2	112	3	168	7	392
Ikke-kvotevirks.	5.606	4	224	7	393	13	729
Kedel-/dist.-tab i alt	11.212	3	336	5	561	10	1121

Tabel 2.5. Besparelspotentialer for teknologiområdet kedler og varmedistribution opdelt på kvotevirksomheder og øvrige virksomheder.

## 2.8 Sammenligning med 1995-potentialer

I Teknologikataloget fra 1995 blev der fundet følgende energibesparelspotentialer for kedel- og distributionstab:



Brændselsbesparelse %	Investering kr./GJ årlig besparelse	Gennemsnitlig tilbagebetalingstid År
0-2	60	3,33
2-7	170	9,44
7-12	280	15,5

*Tabel 2.6. Besparelspotentialer år 1995 ifølge ref. 6.*

Opgørelsen i tabel 2.6 er beregnet med en gennemsnitlig varmepris på 18 kr. per GJ. Antages det, at besparelserne inden for de enkelte intervaller i tabel 2.6 er fordelt lineært over intervallet, og at de tilsammen udgør en kontinuert kurve, fås besparelspotentialer år 1995 som vist i tabel 2.7. Det i denne undersøgelse fundne potentiale for 2008 er også vist i tabel 2.7.

Tilbagebetalingstid År	Potentiale 1995 %	Potentiale 2008 %
2	1	3
4	3	5
10	7	10

*Tabel 2.7. Sammenligning af besparelspotentialer år 1995 og 2008.*

Det ses, at besparelspotentialet i 2008 er vurderet at være noget højere end i 1995, hvilket blandt andet kan henføres til:

1. Det er blevet billigere at konvertere fra olie til naturgas i og med tilslutningsomkostningerne mange steder er faldet betydeligt.
2. Besparelser ved bedre drift- og vedligehold er vurderet at være relativt højere i 2008 end i 1995.

Desuden er brændselsprisen højere i 2008 end i 1995.

## 2.9 Referencer

1. Telefonsamtaler med Palle Jensen, Dansk Energi Service A/S
2. Telefonsamtaler med Dansk Energi Montage A/S
3. Telefonsamtaler Lars Rune Ellehaven, Schiller energi A/S
4. Telefonsamtaler med Jan Hansen, Vagn Hansen A/S
5. Telefonsamtaler med Lasse Preben Østergaard, Weishaupt – Danmark
6. Telefonsamtaler med Jens Sørensen, Industrivarmer
7. Teknologikatalog – energibesparelser i erhvervslivet. Energistyrelsen 1995
8. Vejledning i energibevidst projektering af varmeanlæg, F.R.I, 2000

## 3 Opvarmning/kogning

### 3.1 Indledning

”Opvarmning/kogning” er i nærværende sammenhæng defineret som varmemeforbrug anvendt til opvarmning eller kogning af produkter eller processtrømme, når dette ikke falder ind under andre kategorier i rapporten (tørring, inddampning, destillation og brænding/sintring m.m.) eller anses som rumvarme.

I modsætning til disse veldefinerede teknologier dækker energi til opvarmning/kogning et meget bredt spektrum af anvendelser i industrien, og vurderingen af energisparepotentialer skal derfor tage talrige anvendelsesområder i betragtning. Potentialeopgørelsen skal også ses i forhold til vurdering af muligheder for at udnytte overskudsvarme (afsnit 7), da der kan være overlap – se uddybninger nedenfor.

### 3.2 Teknologiens anvendelse

Opvarmning/kogning anvendes inden for stort set alle industrisektorer. Nedenstående giver et billede på forskellige branchers anvendelse af opvarmning:

- Mejerier – Pasteurisering af produkt og sterilisering af udstyr (autoklaver)
- Bryggerier – Urtkogning, mæskning og pasteurisering af produkter, flaskevask
- Kemikalier og rengøringsmidler – Reaktorer, opvarmning mellem produktionstrin
- Madvarer – Ovne, kogning, blanchering og opvarmning
- Konfekturer – Varmebehandling og kogning
- Fødevarer generelt - Pasteurisering af produkt og sterilisering af udstyr (autoklaver)
- Fødevaringredienser – Varmebehandling, pasteurisering, opvarmning af vand
- Slagterier – Skoldning af grise, vask og rengøring
- Pharmaceutisk industri – Reaktorer, sterilisering af udstyr (autoklaver)
- Sukkerfabrikker – Varmebehandling under udtrækning af sukker fra roer, saftrensning
- Foderstof – Opvarmning af råvarer
- Drikkevarer – Pasteurisering af most, juice og sodavand
- Maling, lak og pigment – Opvarmning af råmaterialer og opløsningsmidler
- Elektronik og kabler - Overfladebehandling og coating
- Vegetabiliske og animalske olier – Varmebehandling
- Ben- og fiskemel – Varmebehandling, kogning, varmt vand og sterilisering
- Tekstil – Varmebehandling ifm forbehandling, farvning, vask og trykning
- Bioethanol – Reaktorer
- Mineralolier – Opvarmning ifm katalytiske processer
- Jern og stålindustri – direkte gasfyring i slabs- og knippelovne

Også inde for privat handel og service er der nogen anvendelse af ”procesvarme”, først og fremmest til madlavning, opvask i forbindelse med storkøkkener.

Hvis man ser på tværs af brancherne er de væsentligste opvarmningsformål, som anvendes i et bredt udsnit af dansk erhverv:

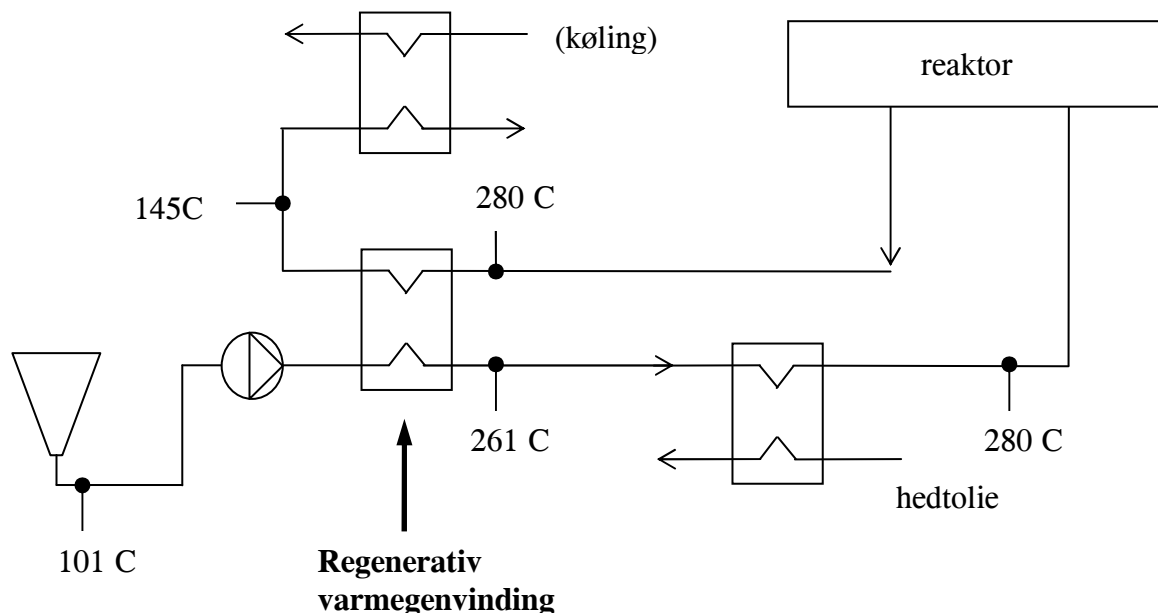
- Pasteurisering eller varmebehandling af produkter
- Generel opvarmning af produkter, vand og andre råvarer
- Rengøring og intern spuling (CIP) samt sterilisering (SIP) i procesindustri
- Varmeholdelse af tanke til råvarer, mellemlagre og færdigvarer
- Optøning/smeltning

Størstedelen af procesvarmen leveres via damp- eller vandbårne systemer, men til en række formål anvendes direkte indsprøjtning af damp, f.eks. i ben- og fiskemelsindustrien og mange steder til opvarmning af vand til rengøring og CIP. Ligeledes anvendes direkte afbrænding af gas til for eksempel slabsovne.

Endelig anvendes der el til procesvarme i en række sammenhænge, deriblandt plastindustrien (plastificering af granulat i sprøjttestøbemaskiner) samt jern og stålindustrien (elektrobuer til smeltning af skrot).

### 3.3 Teknologiuudvikling

Den generelle teknologiske udvikling har gjort, at industriens enhedsoperationer er blevet mere og mere effektive – både hvad angår energi og kapacitet. Mange steder anvendes således regenerativ varmeveksling, hvilket betyder at de udgående processtrømmestruer forvarmer de indgående indgående processtrømme som illustreret i figur 3.1 nedenfor:



Figur 3.1. Eksempel på regenerativ varmeveksling i fødevarer ingrediensfabrik ref. 2.

På denne måde spares energi til både opvarmning i reaktoren og den efterfølgende produktkøling. Metoden anvendes i en lang række teknologier og er primært anvendeligt når produktionen foregår kontinuert:

- Flaskevaskere på bryggerier, mosterier og sodavandsfabrikker
- Reaktorer i kemisk og pharmaceutisk industri
- Pasteuriseringsanlæg i mejerier
- Varmebehandling af fødevareingredienser

På komponentniveau er der inden for procesindustrien sket en udvikling af varmevekslere, hvor flowmønstre er optimeret så der sikres den bedste varmeovergang samtidig med at varmetabet til omgivelserne minimeres. Mere præcise styringer giver samtidig mulighed for at minimere energispild i form af unødvendigt høje temperaturniveauer i procesindustrien og automatiske CIP programmer har afløst manuelle systemer.

### **3.4 Energiforbrug**

Erhvervslivets totale energiforbrug til opvarmning/kogning er opgjort til 27.208 TJ (7.558 GWh) i 2006. Det er 11 % af erhvervslivets samlede energiforbrug og 20 % af industriens samlede energiforbrug. Elforbruget til opvarmning/kogning var 496 TJ, hvilket svarede til 2 % af energiforbruget til samme formål.

Tabel 3.1 viser energiforbruget i de væsentligste brancher. Det kan i henhold til slutanvendelserne beskrevet i afsnit 3.3 opgøres, at over halvdelen af energiforbruget til procesvarme ligger ved temperaturer under 100 °C – i ref. 1 er det anslået til 65 %.

Den store andel af el i privat handel og service skyldes, at madlavning og vask udgør en stor del af forbruget.

Branche	Energiforbrug (2006) Opvarmning/kogning	
	Total [TJ]	Heraf el [TJ]
<b>Landbrug</b>	<b>11</b>	<b>11</b>
<b>Industri</b>	<b>25.088</b>	<b>496</b>
<i>Heraf</i>		
- Slagterier m.v.	864	0
- Forarbejdning og konservering af fisk m.v.	702	0
- Forarbejdning og konservering af frugt m.v.	380	0
- Fremst. af vegetabiliske og animalske olier m.v.	685	0
- Mejerier og isfabrikker	1.113	0
- Fremst. af stivelsesprodukter m.v.	754	168
- Sukkerfabrikker og -raffinaderier	1.115	0
- Drikkevareindustri	1.124	28
- Tekstilindustri	415	0
- Papirindustri	199	4
- Fremst. af farvestoffer m.v.	513	65
- Medicinalindustri	431	31
- Fremst. af rengøringsmidling m.v.	756	178
- Mineralolieindustrien	11.788	0
- Jern og stålværker	1.339	0
<b>Privat handel og service</b>	<b>2.111</b>	<b>1.150</b>
<i>Heraf</i>		
- Engros- og agenturhandel	261	94
- Detailhandel	233	197
- Hotel- og restaurationsvirksomhed	924	605
- Forlystelse, kultur og sport	289	70
<b>I alt</b>	<b>27.208</b>	<b>1.656</b>

Tabel 3.1. Erhvervslivets energiforbrug til opvarmning/kogning i 2006.

### 3.5 Tekniske energibesparelsemuligheder

Nedenfor gennemgås energibesparelspotentialer for procesopvarmning opdelt på en række tiltag, idet det for hvert enkelt af disse skal beskrives tekniske besparelspotentialer og tilbagebetalingstider såvel som inden for hvilket brancher besparelserne forventes at kunne opnås.

#### 3.5.1 Reduktion af behov for procesopvarmning

Energibesparelser kan opnås ved at revurdere procesvarmebehovet i produktionen. Eksempler på sådanne muligheder er:

- Revurdering af temperaturniveau og opholdstid i autoklaver
- Revurdering af procedurer for rengøring og CIP. Ændringer kan ske i et bredt udsnit af procesindustrien. Det handler både om at sænke vand- og ludtemperaturen og at minimere tids- og vandforbruget generelt. Enkelte virksomheder er i dag lykkedes med at anvende ”kold” CIP for et bredt udsnit af anlæg ref. 3.
- Færre steriliseringer af tanke og procesanlæg i farmaceutisk industri. Revurdering af procedurer m.m. for drift af farmaceutisk udstyr har således givet store store

energibesparelser i Novo Nordisk klimaprojekt ref. 5 - tilsvarende kan i et vist omfang gøres i andre virksomhedstyper.

- Vaskning af bakker og udstyr i slagteribranchen m.m. kan i en vis udstrækning mindskes såfremt veterinærer kan acceptere dette (flere rengøringsprocesser influerer ikke fødevarerikkerhed, men gøres til dels af "tradition")
- Brug af enzymer kan øge effekten af procesanlæg og dermed mindske det relative energiforbrug. Enzymer kan anvendes indenfor fødevarerbrancherne, mejerier, bryggerier, foderstoffer og lignende til at øge kapaciteten af gæring og andre biologiske processer.

Det vurderes, at der ligger relativt "billige" energibesparelser på dette område iogmed ændring af set-punkter og procedurer ofte kan gennemføres uden større investeringer (dog kan "re-validering" af anlæg i farmaceutisk industri være meget omkostningskrævende).

Besparelspotentialer hvad angår sådanne "billige" besparelser er dog relativt begrænset, hvilket skyldes:

- At CIP-anlæg udgør en begrænset andel af energiforbruget
- At ændringer af set-punkter (tider) ofte kun vil reducere varmetab
- At mineralolieindustri udgør op mod halvdelen af energiforbruget indenfor "opvarmning/kogning" – det er begrænset hvad der er af nemme og billige besparelspotentialer i denne sektor

Procesændringer med brug af enzymer rummer større potentialer (for eksempel kan kogning i bryggeriindustrien reduceres betydeligt), men det har også indflydelse på produktkvalitet m.m. hvorfor sådanne muligheder ikke er medregnet i energisparepotentialerne.

Det vurderes på denne baggrund at ovennævnte besparelser er relevante for ca. 30 % af energiforbruget, og at der i bedste fald (10 års tilbagebetalingstid) kan opnås op til 10 % besparelser. Med lange tilbagebetalingstider vil det blandt andet kunne betale sig at re-validere procedurer m.m. inden for farmaceutisk industri.

### 3.5.2 Anlægsoptimeringer

Virkningsgrad af anlæg og processer kategoriseret under "opvarmning/kogning" vurderes at kunne optimeres på en række områder:

- Bedre intern varmegenvinding ved opvarmning:
  - bedre regenerativer som illustreret i afsnit 3.3 ovenfor:
    - eksempelvis udnytte spildvarme i udløb fra reaktorer i kemisk industri til forvarmning af indløb til reaktor
    - eksempelvis udnyttelse af varmt spildevand fra CIP-anlæg til forvarmning af nyt CIP-vand.
  - brug af autoklaver og batch-pasteuriseringsenheder baseret på varmt vand med varmegenvinding (tank med opsamling af spildvarme)

- generelt optimering af temperaturdifferenser – det observeres ofte, at varmevekslere opereres med temperaturdifferenser der er forskellige fra oprindelige designtemperaturer, enten pga. fejlbetjening eller fordi at driftstilstanden (flow, temperaturer m.m.) har flyttet sig fra oprindelige data ref. 9.
- Anvendelse af nyt udstyr med bedre virkningsgrad:
  - Stegeovne i færdigret-produktion (fisk, pizza, kylling m.m.) har bedre styring af udsugninger og lavere energiforbrug
- Brug af varmepumper til specielt lavtemperaturprocesser:
  - MVR-anlæg vil kunne erstatte dampopvarmning af kogeprocesser i for eksempel bryggeriindustrien og i enkelte andre brancher (fiskemel, kød/benmel) og vurderes i dag mere attraktive end tidligere på grund af det ændrede forhold mellem elpris og varmepris
  - Almindelige væskebaserede varmepumper kan dække en lang række opvarmningsbehov grundet at en stor del af procesvarmebehovet ligger ved temperaturer under 70 °C
- Bedre isolering af rør, tanke og procesanlæg – der er stadig betydelige muligheder for bedre isolering i den ”ældre del” af procesindustrien ref. 4. Termografering har således et betydeligt potentiale inden for industrien.
- Genbrug af (varmt vand) vand til vask af lastbiler m.m. – der opvarmes ofte frisk, koldt vand med damp til spuling af grisetansporter og tankbiler (mælk), hvor det vil være mere energieffektivt at filtrere og sterilisere (regenerativt) ”rent” spildevand fra processer (f.eks. produktkondensat)
- Udskiftning af gammelt udstyr i storkøkkener, for eksempel med anvendelse af induktionskomfurer

Det vurderes at mange af disse besparelser vil kunne anvendes i en stor del af industrien (70 %) og at potentialerne er betydelige: 5 % inden for en 2 års horisont, 10 % inden for en 4 års horisont og op mod 30 % såfremt væsentlige ændringer i anlæg og udstyr gennemføres (10 års tilbagebetalingstid).

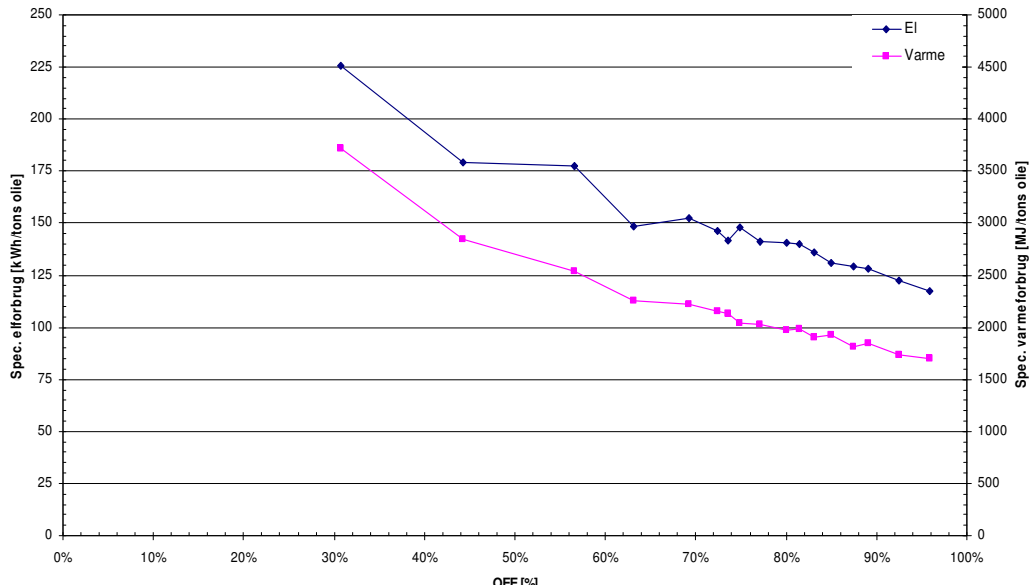
### 3.5.3 Bedre styring/driftoptimering

Besparelser ved bedre styring og optimering af drift på procesvarmeområdet er som for de øvrige tiltag af mangeartet og meget forskellig karakter:

- Processer kan overvåges bedre – manglende instrumentering gør det vanskeligt at følge energiforbruget i en given proces og der er erfaringsmæssigt altid besparelser at hente ved at måle energiforbrug direkte
- Således har brug af ”COP-lignende” metoder til overvågning af procesanlæg (on-line måling af energiforbrug i forhold til produktionsrate) vist sig at kunne give nye informationer om processers drift og dermed mulighed for at optimere disse.

- Drift af procesanlæg med minimum af tomgangsforbrug – det vil sige måling og optimering af OEE (Overall Equipment Efficiency) som udtryk for hvor stor del af tiden en proces reel leverer produkt i forhold til den tid hvor den er i drift.

Nedenstående figur 3.2 viser således det specifikke energiforbrug i et procesanlæg dag for dag sammenholdt med hvilken OEE anlægget har kørt med den pågældende dag



Figur 3.2. Specifikt energiforbrug i procesanlæg i forhold til OEE.

Figuren viser, at det specifikke energiforbrug (el- hhv. varmerforbrug per ton olie) falder betydeligt de dage hvor anlægget kører med høj OEE. Det skyldes, at standbyforbrug og tab har relativt mindre betydning når der produceres meget produkt ref. 12.

- Overvågning af virkningsgrader på regenerative varmegenvindingsanlæg, så det kan identificeres hvorvidt der er behov for vedligehold eller systemændringer. Det er således observeret at større varmegenvindingsanlæg skal overvåges nøje for hele tids at sikre at der genvindes mest mulig varme ref. 13.

Det vurderes at der i en stor del af industrien (30 %) kan opnås besparelser ved bedre instrumentering og styring af anlæg relateret til området ”procesvarme” – i kort tidshorisont 2 % energibesparelser, med lang tidshorisont (10 års tilbagebetalingstid muliggør bedre instrumentering) op til 5 % besparelse.

### 3.5.4 Drift og vedligehold

Der er for ”procesvarme” de samme foulingproblemer som omtalt for andre afsnit – tabene vurderes at være op til af størrelsesordenen 5 % og omhyggelig rensning og rengøring vil kunne spare 2 % af energiforbruget i 50 % af erhvervslivet.

## 3.6 Adfærdsmæssige energibesparelsmuligheder

Generelt er de adfærdsmæssige energibesparelser tilknyttet operatørernes daglige rutiner og drift af anlæggene.

Derfor ligger der et potentiale i at træne og uddanne operatører:



- Manuelle CIP-rutiner kan optimeres, så de udføres ens hver gang og med mindst mulig vandforbrug og på kortest tid – og gerne efter standardiserede ”opskrifter” eller Standard Operational Procedures (SOP).

Samtidig skal der naturligvis holdes for øje, at udstyret bliver rent så det ikke bliver nødvendigt for operatørerne at foretage ekstra CIP rutiner ref. 10.

- Ved at træne operatører vil mængden af fejlproduktion mindskes. Dette giver en højere produktionskapacitet, men også energibesparelser da mindre skal reprocesseres. Der er i visse brancher erfaret at strammere styring af produktion reducerer fejlprocessering og af denne vej reduceres energiforbruget ref. 11
- Adfærd i storkøkkener er et område der vurderes at rumme besparelspotentialer – ofte holdes udstyr tændt over lange perioder for at man undgår at skulle vente på at for eksempel en oven skal varme op når man pludselig skal bruge den.

Endelig kan operatører inddrages i energisparearbejdet via opfølgning på og forbedring af energinøgletal. Set over en bred kam, vil dette skabe et større engagement og indlevelse fra medarbejdere med indflydelse på energiforbruget.

### 3.7 Besparelspotentiale

Nedenstående tabeller sammenfatter energibesparelspotentialerne med hhv. 2, 4 og 10 års tilbagebetalingstid i henhold til opgørelserne i kapitel 5.

	2 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Reduktion af behov	30	2	1	5
Anlægsoptimeringer	70	5	4	15
Styring/driftoptimering	30	2	1	2
Drift & vedligehold	50	2	1	2
Tekniske muligheder i alt			7	
Adfærd	70	2	1	
Totalt			8	

Tabel 3.2. Energibesparelspotentialer for opvarmning/kogning med tilbagebetalingstid på 2 år.

	4 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Reduktion af behov	30	5	2	5
Anlægsoptimeringer	70	10	7	15
Styring/driftoptimering	30	3	1	2
Drift & vedligehold	50	2	1	2
Tekniske muligheder i alt			11	
Adfærd	70	2	1	
Totalt			12	

Tabel 3.3. Energibesparelspotentialer for opvarmning/kogning med tilbagebetalingstid på 4 år.

	10 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Reduktion af behov	30	10	3	5
Anlægsoptimeringer	70	30	21	15
Styring/driftsoptimering	30	5	2	2
Drift & vedligehold	50	2	1	2
Tekniske muligheder i alt			27	
Adfærd	70	2	1	
Totalt			28	

Tabel 3.4. *Energibesparelspotentialer for opvarmning/kogning med tilbagebetalingstid på 10 år.*

### 3.7.1 Fordeling på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder

Det vurderes, at 80 % af energiforbruget til opvarmning/kogning findes i kvotevirksomheder. Således udgør mineralolieindustrien alene 43 % af forbruget medens store enheder i øvrige brancher så som mejerier, fremstilling af stivelsesprodukter m.m. ligeledes er kvotevirksomheder. Besparelspotentialet vurderes at være relativt større i mindre virksomheder hvad angår de ”billige” besparelser (ændring af procedurer, driftsoptimering m.m.), således at der fås en potentialefordeling som vist i tabel 3.5.

Teknologi	Energi- forbrug TJ/år	2 års tilbage- betalingstid		4 års tilbage- betalingstid		10 års tilbage- betalingstid	
		%	TJ/år	%	TJ/år	%	TJ/år
Kvotevirksomheder	21.768	7	1.523	12	2.611	28	6.095
Ikke-kvotevirks.	5.440	12	653	12	653	28	1.523
Procesvarme i alt	27.208	8	2.176	12	3.264	28	7.618

Tabel 3.5. *Besparelspotentiale for teknologiområdet opvarmning/kogning opdelt på kvotevirksomheder og øvrige virksomheder.*

### 3.8 Sammenligning med 1995-potentialet

I Teknologikataloget fra 1995 blev der fundet følgende energibesparelspotentialer for opvarmning/kogning procesopvarmning

Elbesparelse %	Investering kr./GJ årlig besparelse	Gennemsnitlig tilbagebetalingstid År
0-10	60	3,33
10-25	200	11,1

Tabel 3.6. *Besparelspotentialer ved procesopvarmning år 1995 ref. 1.*

Opgørelsen i tabel 3.6 er beregnet med en gennemsnitlig varmepris på 18 kr. per GJ. Antages det, at besparelserne inden for de enkelte intervaller i tabel 3.6 er fordelt lineært over intervallet, og at de tilsammen udgør en kontinuert kurve, fås besparelspotentialer år 1995 som vist i tabel 3.5. Det i denne undersøgelse fundne potentiale for 2008 er også vist i tabel 3.7.

Tilbagebetalingstid År	Potentiale 1995 %	Potentiale 2008 %
2	6	8
4	11	12
10	24	28

Tabel 3.7. Sammenligning af besparelspotentialer år 1995 og 2008.

At besparelspotentiale for de længere tilbagebetalingstider vurderes højere i 2008 skyldes først og fremmest at potentialet for at anvende varmepumper er bedre i dag end tidligere pga. at forholdet mellem el- og varmepris har ændret sig.

### 3.9 Referencer

1. Teknologikatalog – energibesparelser i erhvervslivet, Energistyrelsen 1995
2. Optimering af procesanlæg hos Palsgaard, energisyn, Viegand & Maagøe, 2009.
3. Samtaler med Novozymes om optimering af CIP-anlæg, herunder anvendelse af kold CIP, Viegand & Maagøe, 2008.
4. Energiscreening hos Aarhus Karlshamn inkl. potentielt stort tankisoleringprojekt, Viegand & Maagøe, 2009
5. cLEAN hos Novo Nordisk, artikel i Ingeniøren, december 2009
6. Samtaler med Meincke om optimering af nye bageovne, Viegand & Maagøe, 2009.
7. Energibevidst projektering hos Danish Crown, COWI, 2002
8. Rapporten ”Industrien som varmekunde”, dk-Teknik, 1988
9. Eksamenprojekt på DTU-projekt v./Fridolin Müller Holm om varmeveksling i CIP-anlæg hos Arla Foods, 2008
10. Erfaringer med drift af CIP-anlæg hos Arla Foods, 2008
11. Erfaringer med operatørinvolvering og reprocessering af produkt hos Lactosan, interview udført af Viegand & Maagøe, 2008
12. Produktionsoptimering og energibesparelser, rapport udgivet af Energistyrelsen, 2002
13. Energibevidst projektering hos Danpo – opfølgning på projektets resultater, COWI, 2000

## 4 Tørring

### 4.1 Indledning

Dette afsnit omhandler energiforbruget til tørreanlæg i erhvervslivet og de besparelsepotentialer der er ved at optimere tørreanlæg og tørreprocesser.

Analysen angår mulighederne for at optimere selve tørreanlæggenes effektivitet og således ikke muligheder for at udnytte overskudsvarme fra tørreanlæggene til øvrige opvarmningsformål på en virksomhed – dette skal behandles under emneområdet ”varmegenvinding”.

### 4.2 Teknologiens anvendelse

Tørreprocesser anvendes til at afvande et produkt, som regel frem til et relativt lavt vandindhold. Tørreprocesser anvendes typisk i serie med en række andre energiforbrugende enhedsoperationer som for eksempel inddampning og filtrering (for eksempel fødevarerindustrien) eller brænding (for eksempel i cement- og teglværksindustrien). Men tørreprocesser kan også være enkeltstående processer, for eksempel batchprocesser til tørring af træ, bageovne m.m.

Samlet set er teknologiområdet tørring særdeles bredt og tørreanlæg finder således anvendelse i en lang række brancher:

- Udvinning af grus og ler
- Fremstilling af byggematerialer, gipsplader m.m.
- Fremstilling af mælkepulver, kartoffelmel, sukker, salt m.m.
- Fremstilling kød og benmel samt fiskemel
- Fremstilling af vegetabiliske olier, juice og frugtsaft
- Fremstilling af farvestoffer
- Diverse opgaver i farmaceutisk og kemisk industri
- Møbelindustri, træindustri
- M.m.

Der anvendes til tørring en lang række forskellige teknologier som for eksempel:

- Spraytørring – typisk inden for fødevarer- og ingrediensindustri
- Fluidbedtørring – typisk inden for fødevarer- og ingrediensindustri
- Tromletørring – typisk inden for sukker, græs, grus og lerindustri
- Skivetørrere – typisk inden for fiskemel og benmelsindustrien
- Tunneltørringsanlæg – typisk inden for gipspladeproduktion og i bageriindustri
- IR-tørring – for eksempel inden for papirindustri
- Frysetørring – typisk inden for fødevarer- og ingrediensindustri
- Kammertørring – typisk inden for træindustri og konfekturfremstilling

De største energiforbrugende processer (for eksempel spraytørre- og tromletørringsanlæg) er kontinuerte, medens der i en række brancher som for eksempel træindustrien anvendes batchprocesser.

### 4.3 Teknologiuudvikling

Der pågår en løbende udvikling af tørreknologier og der er gennem de seneste 10 år lanceret en række løsninger med betydelige muligheder for reduktion af energiforbruget.

Disse muligheder omfatter først og fremmest damptørring/tørring i overhedet damp, hvilket specielt har haft succes inden for sukkerindustrien internationalt (ref. 1), men vurderes at have potentialer i en lang række andre sektorer (træ, landbrug, papirindustri m.m.) – dels pga. energibesparelsespotentialer, dels pga. forøget tørrekapacitet.

Inden for nærings- og nydelsesmiddelindustrien vurderes teknologien også at have betydelige potentialer (ref. 11). I bedste tilfælde kan tørreanlæg baseret på overhedet damp integreres i virksomhedernes procesanlæg således at stort set al varme kan genbruges og damptørreren derved fremstår som stort set ”energinetral”.

En anden væsentlig udvikling inden for tørreanlæg er at luftrenseteknologi inden for de seneste år er blevet betydeligt bedre og at fugtig afkastvarme fra spraytørringsanlæg i dag kan genvindes (evt. med kondensation) - med stærkt reducerede risici for tilstopning af varmevekslere. Derved kan spraytørreanlæg udformes med intern varmegenvinding, hvorved der opnås en betydelig forbedring af virkningsgraden.

Også MVR-anlæg (se afsnit om inddampning) er i fremmarch og vurderes at have et potentiale på tørreområdet, for eksempel ved tørring af slam (der dog ikke udgør et væsentligt energiforbrug i dag – flere virksomheder ser dog på det med det formål at fremstille biomasse til kedler ud af slam). Tørring af slam kan med fordel også ske ved brug af overhedet damp, evt. i kombination med MVR-anlæg.

Af andre teknologiske udviklinger skal nævnes en række områder:

- Varmepumpeteknologi er i løbende udvikling og fremkomsten af ”transkritiske” varmepumper med høje temperaturer vurderes at have visse potentialer i forbindelse med tørreanlæg
- Instrumenteringsteknik og overvågnings-/styringsprincipper forbedres betydeligt og har stor betydning for hvor effektivt tørreprocesser kan kontrolleres
- Anvendelse af højfrekvens- og mikrobølgeteknologi vurderes at have potentialer i en række brancher, for eksempel inden for bagerier og trættørring – i begge tilfælde med den fordel at vand bundet i ”kernen” af produktet kan opvarmes/fordampes langt hurtigere end ved traditionel konvektionstørring
- Direkte anvendelse af naturgas til tørring af for eksempel fødevarer/fødevaringredienser kan med renere forbrænding opnå udbredelse i disse brancher m.m.
- Vakuamtørring er i løbende udvikling, evt. i kombination med mikrobølge-/højfrekvens-teknologi, dog typisk til mindre anvendelser.

Endelig skal det nævnes, at varmevekslerteknologi løbende forbedres og at muligheder for effektivisering af processer såvel som intern varmegenvinding i tørreprocesser derved forbedres.

#### 4.4 Energiforbrug

Erhvervslivets brændselsforbrug til tørring er opgjort til 17.233 TJ (4.830 GWh) i 2006. Det er 11 % af erhvervslivets samlede brændselsforbrug. Herudover er der et mindre elforbrug til tørring (762 TJ), for eksempel til IR-anlæg og varmepumper. Tabel 4.1 viser brændselsforbruget til tørring i de væsentligste brancher, hvor teknologien anvendes.

Branche	Brændselsforbrug (2006) Tørring	
	TJ	%
<b>Landbrug og fiskeri</b>	<b>903</b>	<b>5</b>
<i>Heraf</i>		
- Landbrug	877	5
<b>Industri i alt</b>	<b>15.551</b>	<b>90</b>
<i>Heraf</i>		
- udvinding af grus, ler m.v.	1079	6
- slagterier m.v.	798	5
- forarbejdning og konservering af fisk mv.	457	3
- fremst. af vege./animalske olier mv.	277	2
- mejerier og isfabrikker	938	5
- fremst. af stivelsesprodukter mv.	1491	9
- fremstilling af brød mv.	438	3
- bagerforretninger	218	1
- sukkerfabrikker og raffinaderier	556	3
- drikkevareindustri	545	3
- tekstilindustri	184	1
- træindustri	1336	8
- papirindustri	1918	11
- fremstilling af farvestoffer	154	1
- fremstilling af pesticider mv.	225	1
- medicinalindustri	327	2
- fremstilling af rengøringsmidler mv.	484	3
- fremstilling af cement, mursten mv.	732	4
- fremstilling af produkter af beton mv.	2.188	13
- fremstilling af byggematerialer mv.	219	1
- fremstilling af håndværktøj mv.	227	1
- møbelindustri	280	2
- øvrig industri	480	3
<b>Privat handel og service</b>	<b>779</b>	<b>5</b>
<i>Heraf</i>		
- Engros- og agenturhandel	620	4
<b>I alt</b>	<b>17.233</b>	<b>100</b>

Tabel 4.1. Brændselsforbrug til tørreanlæg i 2006.

#### 4.5 Tekniske energibesparelsemuligheder

”Tørreområdet” er særdeles bredt og omfatter vidt forskellige produkter, sektorer og teknologier. Derfor er det i nærværende sammenhæng vanskeligt at give en fyldestgørende opstilling af energisparepotentialerne – disse må beskrives i hovedgrupper med skelen til de principielle muligheder i de væsentligste sektorer.

#### **4.5.1 Reduceret behov for tørring**

Et reduceret behov for tørring kan opnås på flere måder som beskrevet i det følgende.

##### Mekanisk afvanding

Bedre afvanding af produkter inden disse tørres udgør et helt basalt energisparepotentiale ved at behovet for tørring reduceres.

Bedre afvanding kan finde sted i flere sektorer og processer. Det kan bestå i bedre presning af produkter, for eksempel i vaskerisektoren, eller ved etablering af bedre pressteknologi (eks. ”koge-presser”) eller ved bedre centrifugering eller decantering af et produkt (fiske- og benmelsindustrien) før dette går i tørreanlægget. Energiforbruget til at fordampe vand i tørreanlægget er i alle tilfælde langt større end det eventuelle mekaniske ekstra-arbejde der skal til for at opnå en bedre afvanding.

Bedre afvanding kan også bestå i at køre inddampere med højere tørstofprocent i afgang-produktet (før tørreprocessen) – for eksempel kan man i visse sektorer køre med en tørstofindhold på op til 40 % medens man i praksis kan ligge et par procentpoint lavere såfremt processen ikke overvåges nøje. En sådan type optimering kan finde sted i nærings- og nydelsesmiddelindustri, fiske- og benmelsindustri, sukker og saltindustri, cementindustri (våd proces), papirindustrien m.m.

Det kan ligeledes være muligt at tilsætte enzymer så inddampere kan køre med højere tørstofprocent grundet ændret viskositet af produktet – dette kan ske i for eksempel fiske- og benmelsindustri med den fordel at varme så bruges i de mere effektive fler-trins inddampere drevet af spildvarme.

Energibesparelspotentialerne ved at afvande mekanisk/øge tørstofindhold i produktet til tørreren er ganske betydeligt – 2 % procentpoint lavere vandindhold vil i mange tilfælde resultere i en energi-besparelse i tørreprocessen på 5 % eller mere.

En del af potentialet må rubriceres som adfærdsbetinget, se afsnit 4.6 nedenfor.

##### ”Naturlig” tørring

Anvendelse af udeluft/sol til tørring er i et vist omfang muligt inden for landbrugssektoren (ref. 16) mod visse ulemper i form af længere tørretid m.m. – men med betydelige energibesparelspotentialer ved reduceret behovet for anvendelse af en energiforbrugende tørreproces.

##### ”Flydende” produkter

Der er i ref.13 identificeret en række produkter hvor den afsluttende tørring principielt kan udelades, da produktet kan leveres på flydende form til større aftagerne af dette, og der er de senere år set en række eksempler på at dette kan lade sig gøre i praksis:

- Det har vist sig muligt at bruge en vandig opløsning af salt som ”vejsalt” om vinteren – hvorved en del af produktet i saltproduktionen kan tages direkte fra inddamperen og spare tørringen.
- Større aftagere af sukker til industriel brug har vist sig at kunne anvende en vandig opløsning af sukker frem for tørret sukker – hvorved den afsluttende tørring kan undgås

Indenfor dyrefoder (fiskemel og græs) kan man tilsvarende ”ensilere” produkter i stedet for at tørre disse og derved opnå betydelige energibesparelser mod ekstra omkostninger til ensileringen (syrer), beholdere/logistik m.m.

Det vurderes, at der samlet set kan opnås op mod 10 % reduktion af energiforbruget til tørring i halvdelen af de sektorer hvor tørreanlæg anvendes såfremt der accepteres tilbagebetalingstider på op mod 10 år.

En del af potentialet kan realiseres med korte tilbagebetalingstider (< 2 år) og vil kunne opnås ved at sikre at vandindholdet i tilgangen til tørreanlægget er så lavt som muligt gennem overvågning af processen, evt. med mindre forbedring af overvågningsudstyr. Det vurderes at dette kan gøres for ca. 50 % af tørreanlæggene og i gennemsnit vil kunne realisere en energibesparelse på 2 %.

Med op til 4 års tilbagebetalingstid vil det i visse tilfælde kunne betale sig at etablere bedre presser (eks. kogepresser med højere afvanding), nye og mere effektive decanterer m.m. og herved opnå noget højere besparelser. Det vurderes at op mod 25 % af erhvervslivets tørreprocesser kan opnå 5 % besparelser ved at acceptere tilbagebetalingstider på op til 4 år.

#### **4.5.2 Bedre styring og betjening**

Forbedret styring af tørreprocesser vurderes at rumme betydelige potentialer for energibesparelser:

- Tilpasning af driftsparametre, spjældstillinger m.m. i spraytørringsanlæg til specifikke produktparametre såvel som aktuelle omgivelsesforhold giver store besparelser (ref. 6)
- Tilpasning af cyklostiden, spjældstillinger m.m. i batchtørringsprocesser, tromletørrere m.m. til specifikke produktparametre og aktuelle omgivelsesforhold (ref. 15)
- M.m.

Det er i mange brancher således erfaringen at produkter med mellemrum ”overtørres” pga. at processen indstilles til noget nær ”worst-case”-drift eller at processen på grund af ustabilitet må køre med faste driftsparametre på ”den sikre side” af hvad man skal levere til aftagerne.

En bedre styring og regulering kan ofte opnås ved at afvige fra standardindstillinger, men vil også kræve en bedre/mere omfattende instrumentering hvis det maksimale potentiale skal udnyttes. En online fugtighedmåler (NIR-måling) i afgang fra tørreren kan for eksempel opnå store energi-besparelser, men er en relativ bekostelig installation. Genvinsten kan dog typisk også bestå i at der opnås større tørrekapacitet og/eller bedre/mere ensartet produktkvalitet, hvilket skal indregnes i tilbagebetalingstiden.

Erfaringer ref. 6 – ref. 8 viser at der med bedre styring af tørreprocesser kan opnås op til 10 % energibesparelse såfremt processerne instrumenteres optimalt m.m. og der dermed accepteres tilbagebetalingstider på op mod 10 år. Det vurderes, at denne besparelse kan opnås i 50 % af erhvervslivets tørreprocesser.



Af det samlede potentiale på 10 % vurderes 2 % at kunne opnås med tilbagebetalingstider kortere end 2 år medens af størrelsesordenen 5 % kan opnås med tilbagebetalingstider på 4 år.

#### **4.5.3 Varmegenvinding og redesign af tørreprocesser**

De senere års teknologiske udvikling af luftfiltreringsanlæg betyder, at det i dag er langt sikrere at udnytte overskudsvarme fra pulvertørreprocesser/støvede processer til enten forvarmning af tørreluft eller til øvrige opvarmningsformål på virksomheden. Sidstnævnte udgør et meget betydeligt potentiale (op mod 50 % af varmekonsumet til tørringen kan genvindes ref. 2 & 5), men hører i nærværende sammenhæng ind under afsnittet ”procesintegration/varmegenvinding”.

Der vurderes ved intern varmegenvinding i tørreprocesser at være op til 20-25 % besparelspotentiale, men det vil typisk kræve større ombygninger af processen, hvilket er dyrt og desuden ofte kræver et egentlig redesign af tørreanlægget for at kunne lade sig gøre (ref. 2, 5, 8).

Endnu større besparelse kan opnås ved at bruge varmepumper til at forvarme tørreluft via spildvarme i afkastet, men også her vil der være tale om betydelige investeringer. Men besparelspotentialet kan være så højt som 50 % af energiforbruget i en tørreproces.

Udover disse ”store muligheder” kan der ved mindre anlægsoptimeringer opnås en del mindre besparelser, bl. a. ved etablering af bedre luftfordelere i spraytørringsanlæg og ved etablering af recirkulation på tromletørrere.

Det vurderes, at det er en begrænset del af erhvervslivets tørreprocesser hvor der med en tilbagebetalingstid på under 2 år kan opnås væsentlige besparelser ved varmegenvinding og/eller ombygning af anlæggene. Det vil maksimalt være 10 % af anlæggene og i disse vil der maksimalt kunne opnås besparelser af størrelsesordenen 10 %.

Såfremt der accepteres tilbagebetalingstider op til 4 år vurderes mange ældre tørreanlæg at kunne ombygges, skønsmæssigt 30 % med en forventet energibesparelse af størrelsesordenen 15 %.

Med tilbagebetalingstider op til 10 år forventes en langt større andel af anlæggene at kunne ombygges – af størrelsesordenen 50 % af anlæggene vil kunne ombygges med gennemsnitlige energibesparelser af størrelsesordenen 30 % (medregnet muligheder for varmepumpedrift).

#### **4.5.4 Nye/alternative processer /udskiftning af gamle tørreanlæg**

##### Overhedet damp

Specielt etablering af tørreprocesser baseret på damptørring/tørring med overhedet damp er vurderet at have store potentialer. Således er der i ref. 11 vurderet at op mod 20 % af det samlede energiforbrug til tørring kan spares såfremt denne teknologi tages i brug (potentiale-vurderingen forudsætter også anvendelse af damptørring til tørring af fødevaringredienser)

Fakta er imidlertid at processen er dyr at etablere og som primær dampkilde normalt kræver et damptryk over 10 bar, hvilket mange virksomheder ikke har i dag med mindre der haves dampproduktion baseret på dampturbiner. Etablering af damptørring kræver således ofte

installering af en ny kedelcentral/dampsystem, hvorved tilbagebetalingstiden bevæger sig op over 10 år med mindre der er tale om en helt ny virksomhed der designs fra bunden af.

Potentialet for anvendelse af damptørring/overhedet damp må derfor vurderes noget lavere end i ref. 11 – det vurderes at af størrelsesordenen 10 % af industriens tørreprocesser med fordel kunne erstattes med overhedet damp såfremt tilbagebetalingstider op til 10 år kan accepteres. Besparelspotentialet vil være op mod 70 % af det nuværende forbrug – det vurderes ikke at der kan opnås besparelser ved sådanne ombygninger med tilbagebetalingstider kortere end 4 år. Det skal bemærkes at damp-rekompression (MVR) er en teknologi der kan anvendes til visse formål og hér kan udgøre en økonomisk mere attraktiv løsning – der dog kun er set anvendt i få tilfælde i dag.

#### Mikrobølger/HF

Af andre teknologier skal nævnes anvendelse af mikrobølger/højfrekvenstørring inden for for eksempel træindustrien (MDF-plader), bagerier og farmaindustri – i sidstnævnte ofte i kombination med vacuumtørring ved lave temperaturer. Potentialet for denne teknologi angår mest mindre anvendelser (MDF-plader kan dog tørres i stor skala med mikrobølger) og rent volumentmæssigt vil teknologierne fylde relativt lidt i en samlet potentialeopgørelse (i forhold til det meget store energiforbrug på tromletørrere, spraytørrings- og fluidbedtørringsanlæg).

Selvom disse teknologier på sigt er meget interessante vurderes potentialet inden for en 10 årig tilbagebetalingstid maksimalt at angå 5 % af industriens tørreprocesser, hvor besparelspotentialet til gengæld er relativt højt – af størrelsesordenen 30 % af de nuværende anlægs energiforbrug.

#### Direkte naturgastørring

Der er flere steder eksperimenteret med tørreprocesser hvor direkte afbrænding af naturgas i tørrekammeret vil sikre en del højere virkningsgrad af tørreprocessen som følge af lavere tab i røggassen. Det er hos Dansk Gasteknisk Center vurderet at direkte tørring kan være relevant i flere brancher:

- Fiskemelsfabrikker
- Fremstilling af færdige foderblandinger / korntørring
- Resten af næringsmidler i øvrigt
- Træindustrien
- Fremstilling af byggematerialer af beton
- Metalvare- og maskinindustri
- Transportmiddelindustri

Der er dog stadig en række forbehold omkring produktkvalitet ved direkte tørring, specielt i fødevarer/ingrediensindustrien og potentialet vurderes derfor maksimalt at angå 10 % af erhvervslivets tørreprocesser. Besparelspotentialet vil udgøre af størrelsesordenen 20 % af energiforbruget, men da der er tale om gennemgribende ombygninger af processerne vil tilbagebetalingstiden ligge i den høje ende (mellem 4 og 10 år).

### MVR-tørring (damp-rekompression)

MVR-anlæg ses mange steder anvendt i forbindelse med inddamperanlæg og anvendes på tørreområdet flere steder i udlandet i forbindelse med tørring af slam. Der er dog typisk tale om specialanvendelser og processen kræver stor koncentration af vanddamp i afkast fra tørreprocessen for at virke (princippet består i at kondensationsvarmen genvindes via en begrænset komprimering).

MVR-anlæg ventes at have et potentiale i forbindelse med damptørring/overhedet damp som beskrevet ovenfor, men potentialet for en bred anvendelse på tørreområdet er nok begrænset.

Det er samlet vurderingen af ovenstående forhold indenfor en 10-årige tilbagebetalingstid vil kunne realisere besparelser af størrelsesordenen 50 % i 20 % af industriens tørreprocesser. Inden for hhv. 2 og 4 år vil potentialet være betydeligt lavere – det vurderes at hhv. 5 og 10 % af anlæggene vil kunne ombygges/udskiftes med besparelspotentialer af størrelsesordenen 30 %.

Dette potentiale overlapper i meget høj grad med de potentialer der kan opnås med bedre varmegenvinding m.m. som beskrevet i afsnit 4.5.3 ovenfor.

Det skal bemærkes, at det fra flere sider fremhæves at der findes rigtig mange ”gamle” tørreanlæg i erhvervslivet og at der for mange af disse kan opnås store besparelser ved udskiftning.

#### **4.5.5 Drifts- og vedligeholdsoptimering**

Udover potentialer ved en mere præcis drift af tørreanlæg vurderes der at være besparelspotentialer ved bedre vedligehold af tørreprocesser:

- Utætheder fører til tab i processerne ved at ”falsk luft” kan trænge ind og ødelægge tørreprocessens effektivitet eller ved at varm tørreluft siver ud af tørreanlægget. Tab vil typisk findes omkring fødesystemer til af fra tørreanlægget.
- Manglende isolering af kanaler, spjæld m.m.
- Regelmæssig rengøring af hedeplader, filtre m.m. (CIP) er en forudsætning for at opnå en god varmeoverførsel til processerne og det ses at kapacitet såvel som virkningsgrad af tørreprocesser flader med ufuldstændig rengøring.

Det vurderes at af størrelsesordenen 50 % af industriens tørreanlæg vil kunne spare af størrelsesordenen 3 % af tørreanlæggenes energiforbrug ved bedre tætning, isolering og rengøring af anlæggene.

#### **4.6 Adfærdsmæssige energibesparelsemuligheder og vedligehold**

Blandt ovenstående besparelspotentialer må flere muligheder rubriceres som adfærdsbetingede energibesparelspotentialer for tørreanlæg:

- 4.5.1 Reduceret behov for tørring
- 4.5.2 Styring og regulering

Herudover skal en del af potentialet rubriceres under bedre vedligehold som opgjort i afsnittet:

- 4.5.5 Drift og vedligehold

Det vurderes at der kan opnås en energibesparelse af størrelsesordenen 3 % for størstedelen af tørreanlæggene i dansk erhvervsliv (70 %) alene ved bedre daglig overvågning og drift af disse som beskrevet i afsnittene ovenfor.

Dette potentiale vil være noget lavere såfremt mere avancerede og moderne teknologier (afsnit 4.5.2 og 4.5.4) tages i brug i og med instrumenteringen på sådanne anlæg vil realisere en del af dette potentiale.

## 4.7 Besparelspotentiale

Nedenstående tabeller sammenfatter energibesparelspotentialerne med hhv. 2, 4 og 10 års tilbagebetalingstid i henhold til opgørelserne i kapitel 4.5.

Som allerede angivet kan flere af besparelspotentialerne gennemgået ovenfor ikke umiddelbart summeres – for eksempel vil potentialet for at varmegenvinding ikke kunne realiseres for en række nye processer.

Derfor er flere talstørrelser i nedenstående tabeller korrigeret i forhold til tallene angivet i afsnit 4.5.

	2 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Reduceret tørrebehov	50	2	1,0	10
Styring/regulering	50	5	2,5	10
Varmegenvinding/ombygning	5	10	0,5	10
Nye processer	5	30	1,5	20
Vedligehold	50	2	1	1
Tekniske muligheder i alt			6	
Adfærd	50	1	0,5	1
Totalt			7	

*Tabel 4.2. Energibesparelspotentialer for tørreanlæg med tilbagebetalingstid på 2 år.*

	4 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Reduceret tørrebehov	40 (50)	5	2	10
Styring/regulering	40 (50)	7,5	3	10
Varmegenvinding/ombygning	20 (30)	15	3	10
Nye processer	10	30	3,3	20
Vedligehold	50	2	1	1
Tekniske muligheder i alt			12	
Adfærd	50	1	1,5	1
Totalt			13	

*Tabel 4.3. Energibesparelspotentialer for tørreanlæg med tilbagebetalingstid på 4 år.*

	10 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Reduceret tørrebehov	30 (50)	10	3	10
Styring/regulering	30 (50)	10	3	10
Varmegenvinding/ombygning	30 (50)	30	9	10
Nye processer	20	50	10	20
Vedligehold	30	1	0,3	1
Tekniske muligheder i alt			25	
Adfærd	30	1	0,6	1
Totalt			26	

Tabel 4.4. Energibesparelspotentialer for tørreanlæg med tilbagebetalingstid på 10 år.

I tabel 4.3 og tabel 4.4 er potentiale vurderingerne korrigeret for at der vil være væsentlige overlap i tekniske løsningsmuligheder såfremt der arbejdes med tilbagebetalingstider så lange som 10 år (tal i parentes er tal nævnte i besparelsesafsnittene ovenfor).

#### 4.7.1 Fordeling på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder

Det vurderes, at langt størstedelen af energiforbruget til tørring findes i kvotevirksomheder, da langt den største energiomsætning også findes i disse (store forbrug, lange driftstider).

Det vurderes således, at ca. 80 % af energiforbruget (på 17.233 TJ + 762 TJ) svarende til 14.396 TJ for år 2006 findes i tørreanlæg i kvotevirksomheder.

Hvad angår besparelspotentialet vurderes dette at være relativt større i mindre virksomheder som følge af at kvotevirksomhederne i et vist omfang har fokus på energisparepotentialet via certificerede energiledelsessystemer, tradition for at fokusere på energibesparelsemuligheder osv.

Der vurderes med denne baggrund energipotentialerne angivet i tabel 4.5 nedenfor for henholdsvis kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder.

Teknologi	Energi- forbrug TJ/år	2 års tilbage- betalingstid		4 års tilbage- betalingstid		10 års tilbage- betalingstid	
		%	TJ/år	%	TJ/år	%	TJ/år
Kvotevirksomheder	14.396	6	900	12	1.799	25	3.599
Ikke-kvotevirks.	3.599	10	360	15	540	30	1.080
Tørring i alt	17.995	7	1260	13	2.339	26	4.679

Tabel 4.5. Besparelspotentiale for teknologiområdet tørring opdelt på kvotevirksomheder og øvrige virksomheder.

#### 4.8 Sammenligning med 1995-potentialet

I Teknologikataloget fra 1995 blev der fundet følgende energibesparelspotentialer for tørreanlæg:

Brændselsbesparelse %	Investering kr./GJ årlig besparelse	Gennemsnitlig tilbagebetalingstid År
0-10	80	4,4
10-20	200	11,1
20-40	700	38,9

Tabel 4.6. *Besparelspotentialer ved tørring år 1995 ifølge ref. 17.*

Opgørelsen i tabel 4.6 er beregnet med en gennemsnitlig varmepris på 18 kr. per GJ. Antages det, at besparelserne inden for de enkelte intervaller i tabel 4.6 er fordelt lineært over intervallet, og at de tilsammen udgør en kontinuert kurve, fås besparelspotentialer år 1995 som vist i tabel 4.7. Det i denne undersøgelse fundne potentiale for 2008 er også vist i tabel 4.7.

Tilbagebetalingstid År	Potentiale 1995 %	Potentiale 2008 %
2	4,5	7
4	9,1	13
10	15,0	26

Tabel 4.7. *Sammenligning af besparelspotentialer år 1995 og 2008.*

Det ses besparelspotentialerne generelt er vurderet noget højere i 2008, hvilket primært kan henføres til:

1. At varmegenvindingsmulighederne rent teknisk er forbedret betydeligt på større tørreanlæg og at større varmegenvindingsprojekter i dag som realistiske på en lang række tørreanlæg og kan realiseres med tilbagebetalingstider under 10 år.
2. At tilbagebetalingstiderne for større besparelserprojekter i 1995 er vurderet ekstremt høj (op mod 40 år) – det forekommer at dette er meget højt sat og under alle omstændigheder vil være lavere i dag grundet fremkomst af nye tekniske løsninger.

Desuden skal det bemærkes, at energipriser er langt højere i 2008 end i 1995, hvilket øger potentialet betydeligt.

## 4.9 Referencer

1. Samtaler Arne Slot Jensen, Enerdry
2. Samtaler med Michael Wahlberg, GEA Niro
3. Samtaler Peder Fosbøll, Atlas Stord
4. Samtaler Vagn Jensen, Palsgaard
5. Samtaler Ole Thorkildsen, Anhydro
6. Samtaler med Poul Erik Madsen, Arla Foods
7. Samtaler Bo Høeg Olesen, Danisco Ingredients
8. Samtaler Søren Draborg, Haldor Topsøe
9. Samtaler Ebbe Nørgaard, Teknologisk Institut
10. Samtaler Jørgen Hindborg, DAKA
11. Tørring i overhedet damp, Dansk Energi Analyse og COWI, 1999
12. Markedsundersøgelse for overhedet damp (præsentation) v./ Ebbe Nørgaard, Teknologisk Institut
13. Energirigtige produkter, rapport udarbejdet af COWI for Energistyrelsen, 2001

14. Energieffektivisering af tromletørringsanlæg, William Hansen, 2000
15. COP-overvågning af industrielle processer, rapport udarbejdet af COWI for Energistyrelsen, 1999
16. Energibevidst projektering tørreanlæg – markafgrøder, Energistyrelsen/FRI, december 2000.
17. Teknologikatalog – energibesparelser i erhvervslivet, Energistyrelsen 1995

## 5 Inddampning

### 5.1 Indledning

Dette afsnit omhandler brændselsforbrug til inddampning og de besparelspotentialer der er ved at optimere sådanne anlæg. Desuden berøres kort besparelspotentialer relateret til drift af hjælpudstyr til inddampningsanlæg, specielt pumper og vakuumpumper.

### 5.2 Teknologiens anvendelse

Inddampningsanlæg anvendes til opkoncentrering/fjernelse af vand eller andre flydende medier fra et produkt og hænger typisk sammen med en efterfølgende tørreproces, hvor det resterende vandindhold i opkoncentrerede produkt fjernes så vidt at der fremstilles pulver.

Inddampningsanlæg består normalt af en række trin hvor afdampet medie successivt anvendes til fordampning af medie ved lavere temperaturer og tryk. Der anvendes typisk 3-6 trin og afdampningen sker her ved temperaturer mellem 50 og 150 °C, hvilket betyder, at visse trin arbejder under tryk medens andre trin arbejder under vakuum. Inddampere anvendes ofte til opkoncentrering af temperaturfølsomme produkter som enzymer, æggepulver m.m. ved temperaturer under for eksempel 70 °C.

Inddampere anvendes først og fremmest i følgende brancher:

- fremstilling af mælkepulver
- fremstilling af kartoffelmel
- fremstilling af sukker
- fremstilling kød og benmel
- fremstilling af fiskemel
- fremstilling af salt
- fremstilling af vegetabiliske olier
- fremstilling af juice og frugtsaft
- fremstilling af farvestoffer
- diverse opgaver i farmaceutisk og kemisk industri

Inddampere drives normalt med damp fra en virksomheds kedel- eller kraftvarmeanlæg, dog drives inddampere i kød- og benmelsbranchen samt fiskemelsbranchen for en stor dels vedkommende med spildvarme fra fabrikkernes tørreprocesser, således at nettoforbruget af energi til inddampning er betydeligt lavere end ellers.

Udover dampforbruget bruger inddampningsanlæg elektricitet til drift af pumper (produkt, kondensat m.m.) og vakuumpumper, der holder de enkelte trin under lavt tryk. På ældre inddampere er det almindeligt at vakuumpumper er vandringspumper med højt el- og vandforbrug.

Energiforbruget til inddampningsanlæg findes i forhold til mange andre energiforbrugende teknologier på relativt få større enheder med lang driftstid. Inden for fremstilling af mælkepulver og ingredienser er det almindeligt at se driftstider på op over 8.000 timer per år,



medens der i visse brancher (kartoffelmel, sukker) er tale om kampagneproduktion (produktionstid 3-5 måneder per år). I fiskemelsindustrien kan driftstid afhænge meget af de mængder fisk der landes og enkelte produktionslinier kan stå stille gennem længere perioder.

### **5.3 Teknologiuudvikling**

Gennem de seneste 10 år er MVR-anlæg (MVR: Mechanical Vapour Recompression, mekanisk damp rekompresion) blevet meget udbredt og må i dag anses for den meste udbredte teknologi ved etablering af større inddampere med lang driftstid. MVR-anlæg består af et (eller flere) inddampningstrin, hvor en kompressor komprimerer det afdampede medie op til et temperaturniveau således at mediet kan tilføre fordampningsvarme til selve afdampningen. Da inddamperanlæg typisk har lang levetid (lav mekanisk slitage) er der i Danmark stadig mange inddampere baseret på konventionel teknologi.

Filtreringsteknologi anses også for et energirigtigt alternativ til inddampning, men anvendelsesområderne er relativt få og en række forhold omkring bakteriologi, tabt driftstid på grund af hyppig rengøring, øgede omkostninger til filtre og rengøringskemikalier m.m. vil ofte udhule den rent energimæssige gevinst. Det er desuden meget produktspecifikt hvor vidt det overhovedet kan lade sig gøre at erstatte inddampning med filtrering, da sidstnævnte teknologi ud over vand oftest også vil fjerne mineraler i produktet osv. På trods af at filtrering i gennem en årrække har været anset for en kommende teknologi er inddamperanlæg ikke for alvor truet.

Der pågår fortsat arbejde med at optimere virkningsgraden af inddamperanlæg, for eksempel ved at sikre mindre temperaturdifferenser med brug af pladevarmevekslere (ikke muligt for visse produkter med faststofrester). Herved kan der opnås ”plads” til flere inddampertrin og derved højere effektivitet.

Desuden eksperimenteres i visse brancher med tilsætning af enzymer, hvorved der kan opnås større faststofindhold i produktet der forlader inddamperen således at der opnås energibesparelser i den efterfølgende tørreproces.

Endeligt anses frysetørring, flokulering m.m. som mulige procesalternativer, men disse teknologier er næppe anvendelige i større industriel skala/masseproduktion.

### **5.4 Energiforbrug**

Erhvervslivets brændselsforbrug til inddampning er opgjort til 5.759 TJ (1600 GWh) i 2006. Det er 6 % af erhvervslivets samlede brændselsforbrug.

Tabel 5.1 viser brændselsforbruget til inddampning i de væsentligste brancher hvor teknologien anvendes.

Branche	Brændselsforbrug (2006) Inddampning	
	TJ	%
<b>Landbrug og fiskeri</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Industri i alt</b>	<b>5759</b>	<b>100</b>
<i>Heraf</i>		
- udvinding af grus, ler m.v.	1092	20
- slagterier m.v.	115	2
- forarbejdning og konservering af fisk mv.	206	4
- mejerier og isfabrikker	748	13
- fremst. af stivelsesprodukter mv.	990	17
- sukkerfabrikker og raffinaderier	1182	21
- drikkevareindustri	159	3
- medicinalindustri	177	3
- øvrig industri	0	0
<b>Privat handel og service</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>I alt</b>	<b>5759</b>	<b>100</b>

Tabel 5.1. Brændselsforbrug til inddampning i 2006.

## 5.5 Tekniske energibesparelsemuligheder

Nedenfor gennemgås energibesparelspotentialer for inddampeanlæg opdelt på en række tiltag, idet det for hvert enkelt af disse skal beskrives tekniske besparelspotentialer og tilbagebetalingstider såvel som inden for hvilke brancher besparelserne forventes at kunne opnås.

### 5.5.1 Reduceret behov for inddampning

Det er teoretisk set muligt at reducere behovet for inddampning ved enten at anvende alternative metoder til at afvande et medie eller helt undgå at opkoncentrere mediet.

Sidstnævnte (eliminering af procesbehovet) har man blandt andet set inden for tørring af salt og sukker, hvor visse produkter (vejsalt samt sukker til visse industrielle storbrugere) i dag leveres på flydende form i stedet for i tørret form.

For inddampningsprocesser har det mest åbenlyse alternativ gennem en årrække været ”filtrering”, hvor man via membranen opkoncentrerer mediet ved at fjerne vand, for eksempel ved fremstilling af ferskvand af saltvand (hvor man traditionelt anvender et inddamperprincip i afsaltningsanlæg).

På trods af en betydelig udvikling i membranteknologi de seneste år er der stadig delte meninger om hvorvidt dette kan bruges i kommercielt drift:

- Arla Foods har erstattet inddampning med membranfiltrering på visse processer inden for de seneste år – men hævder at ”mineraltab” i filtrene gør at det kun kan anvendes på ganske få produkter.
- Leverandører af Inddampningsanlæg fremhæver at filtreringsanlæg i sidste ende har mange ekstra omkostninger til membraner, tabt produktionstid til hyppigere rengøring

Andre metoder til substitution af inddampere kan være frysetørring, centrifugering eller flokulering, men det vurderes, at maksimalt 10 % af inddamperanlæggene i dansk erhvervsliv kan erstattes af membraner m.m..

Energibesparelspotentialer vurderes at være 50 % af det "konventionelle" energiforbrug – tilbagebetalingstiden alt iberegnet skønnes at være 4 år hhv. 10 år.

Det skal nævnes, at optimering af tørstofindhold i fødestrømmen til en inddamper er væsentlig og værd at følge op på, da procestrinnene inden en inddamper ikke nødvendigvis fungerer optimalt. Der vurderes at være energibesparelspotentialer at hente her.

### **5.5.2 Alternative processer - MVR-anlæg**

Anlæg for mekanisk damp-rekompression, MVR-anlæg, må anses som et meget væsentligt og realistisk energisparepotentiale for inddamperanlæg – for en vis dels vedkommende med kort tilbagebetalingstid på 2-3 år, for en anden dels vedkommende nok med noget højere tilbagebetalingstid på 4-7 år eller mere.

Erstatning af konventionelle fler-trins inddamperanlæg med MVR-anlæg er næppe relevant i kød- og benmelsindustrien samt i fiskemelsindustrien i Danmark, da inddampere i disse brancher hovedsageligt er drevet af spildvarme fra tørreprocesser – dog med et vist mindre forbrug af "primær" damp i en eventuel "finisher"-del.

MVR-anlæg kan drives med en meget høj "COP", hvilket betyder at anlægget leverer en meget høj varmeeffekt i forhold til elforbruget. Typisk kan MVR-anlæg bruge elektricitet svarende til 17 kWh per afdampet ton vand, hvor konventionelle, dampdrevne fler-trins inddamper anlæg vil bruge damp af størrelsesordenen 130-170 kWh/ton afdampet vand. Det vurderes at omlægning til MVR-anlæg er relevant for 60 % af det nuværende energiforbrug til inddamperanlæg i Danmark grundet følgende forhold:

- Fiskemelsindustrien og kød- og benmelsindustrien er ikke relevant
- Anlæg med kort driftstid vil ikke kunne betale sig at omlægge
- Et vist antal MVR-anlæg eksisterer allerede

Besparselsen ved at omlægge til MVR-anlæg vurderes at være af størrelsesordenen 80 % af energiforbruget i et konventionelt fler-trins inddamperanlæg:

- af dette potentiale kan 20 % realiseres med 2 års tilbagebetalingstid
- af dette potentiale kan 40 % realiseres med 4 års tilbagebetalingstid
- af dette potentiale kan 100 % realiseres med 10 års tilbagebetalingstid

### **5.5.3 Ekstra trin/bedre procesintegration**

Der er et teoretisk set betydeligt energibesparelspotentiale ved at anvende inddamperanlæg med minimale temperaturdifferencer ( $\Delta T$ ), da inddamperanlæg kan udformes med flere trin for øget genvinding af varme fra trin til trin.

Dertil kan der opnås en bedre forvarmning af mediet der inddampes, såfremt spildstrømme fra inddampningen (dampkondensat og produktkondensat) udnyttes bedst muligt,

Der er dog flere forhold ang. dette energibesparelspotentiale:

- generelt har større inddamperanlæg med lang driftstid mange trin og omfattende varmevekslersystemer til forvarmning.
- Flere forbehold skal tages i forhold til de rent teoretiske betragtninger, først og fremmest skal inddamperanlæg med mange trin og små delta-T drives og vedligeholdes med stor akkuratess for at opnå en maksimal virkningsgrad.

Det vurderes overordnet set at 75 % af det nuværende energiforbrug til inddampning kan optimeres med et samlet besparelspotentiale på 10 %:

- 2 % kan spares med en tilbagebetalingstid på 2 år
- 5 % kan spares med en tilbagebetalingstid på 4 år
- 10 % kan spares med en tilbagebetalingstid på 10 år

Ved stor indtrængning af MVR-anlæg vil potentialet dog være væsentligt mindre, skønnet 5 % besparelse set i forhold til det nuværende energiforbrug til inddamperanlæg.

Det skal bemærkes at der arbejdes indgående med øget anvendelse af for eksempel pladevarmevekslere til inddampningsanlæg, hvilket kan reducere delta-T i disse.

#### **5.5.4 Fouling**

Tilsmudsning af varmevekslere nedsætter virkningsgraden for inddamperanlæg og forhindres med jævnlig rengøring. Tilsmudsningen sker ofte som følge af at mediet påbrændes hedepladerne under fordampning, typisk som følge af varme temperaturer af primærdampen. Rengøring skal alt efter medier og produktionsart ske regelmæssigt, hvilket typisk er mindst én gang per døgn. Det er indtrykket fra flere brancher, at rengøringen kan ske væsentligt sjældnere og at virkningsgraden af flertrins-inddampning derved reduceres betydeligt som følge af at disse drives med væsentligt større temperaturdifferenser. Det er i ”mel”-industrien således observeret at ydelsen af en inddamper kan falde helt op til 30 % i løbet af en kampagne.

Det vurderes at 75 % af energiforbruget til inddampning er påvirket af fouling og at der i gennemsnit tabes 5 % af inddamperens effektivitet som følge af fouling.

Tilbagebetalingstiden ved at udbedre foulingen (ved at gøre rent) sættes umiddelbart til at være under 2 år og generelt må energibesparelsen rubriceres til at høre under ”adfærbetingede” energibesparelser.

Det skal bemærkes at nye undersøgelser viser at der også på forsyningsiden af varmevekslerne i inddamperanlæg kan være betydelige problemer med tilsmudsning (”biofilm”) og at denne del af anlæggene ikke rengøres. Potentialet er endnu ukendt men skal nævnes i denne sammenhæng.

#### **5.5.5 Tætning**

Det vurderes fra flere sider at størstedelen af inddamperne i drift har større eller mindre lækager og at virkningsgraden herved falder som følge af at der opstår dårligere varmeovergang i varmevekslerne osv.

Inddampere bør tæthedstestes jævnligt, hvilket der ofte ikke levnes tid til grundet travlhed med produktionen, hvilket som ang. foulingen kan henføres til at være en adfærdsbetinget energibesparelse.

Det vurderes af flere uafhængige parter at 75 % af alle inddampere ikke vakuumtestes regelmæssigt og at der typisk vil kunne opnås af størrelsesordenen 5 % energibesparelse ved at udbedre utætheder.

Tilbagebetalingstiden vurderes at være under 2 år.

### **5.5.6 Driftsoptimering**

Inddampere betjenes ofte af operatører ud fra faste forskrifter fra anlæggets ibrugtagning og uden udnyttelse af de muligheder der løbende er for at tilpasse procesparametre, optimere styringer og scheduling af rengøring osv.

Det fremhæves fra flere sider at erfarne inddampningsspecialister i stort set alle anlæg kan finde betydelige muligheder for at ”fintune” driften:

- Så kapacitet øges
- Så rengøringstid minimeres
- Så rør varmholdes efter rengøring
- Osv.

Det vurderes at ”driftsoptimering” kan føre til en 5 % energibesparelse såfremt det gennemføres systematisk og at dette kan lade sig gøre på 75 % af det eksisterende energiforbrug på inddampere. Besparelspotentialet vurderes at kunne realiseres med 2 års tilbagebetalingstid.

### **5.5.7 Elbesparelser til pumper (feed og vakuum)**

Det skal nævnes at gamle inddamperanlæg har et betydeligt elforbrug til produkt- og kondensatpumper såvel som til vakuumpumper. Sidstnævnte er ofte af vandrings-typen, hvilket også medfører et betydeligt vandforbrug.

Der er et stort elsparepotentiale ved at anvende frekvensomformere til disse anlæg såvel som ved at anvende lamelpumper i stedet for vandringspumper hvad angår vakuum.

Disse besparelspotentialer er opgjort i andre teknologibeskrivelser.

### **5.5.8 Øvrige forhold**

Flere nævner at brug af enzymer medfører at inddamperanlæg kan køres med større tørstofindhold i produktet, hvilket betyder at en efterfølgende tørreproces sparer energi. Energiforbruget i selve inddamperen vil dog stige som følge af at der skal afdampes mere vand, men netto er der en gevinst.

## **5.6 Adfærdsmæssige energibesparelsemuligheder**

Blandt ovenstående besparelspotentialer må flere muligheder rubriceres som adfærdsbetingede energibesparelspotentialer for inddamperanlæg:

- 5.5.4 Fouling

- 5.5.5 Tætning
- 5.5.6 Driftsoptimering

Alle vurderes at udgøre et besparelspotentiale af størrelsesordenen 5 %, sammenlagt dog 10 %, da mulighederne til dels overlapper hinanden. Såfremt der er tale om MVR-anlæg, er potentialet væsentligt mindre, skønnet 2 % af det nuværende forbrug ved 10 års tilbagebetalingstid og 5 % ved 4 og 2 års tilbagebetalingstid.

## 5.7 Besparelspotentiale

Nedenstående tabeller sammenfatter energibesparelspotentialerne med hhv. 2, 4 og 10 års tilbagebetalingstid i henhold til opgørelserne i afsnit 5.5.

Det skal bemærkes, at flere af besparelspotentialerne i afsnit 5.5 ikke umiddelbart kan summeres. For eksempel vil potentialet for at forbedre procesintegration være betydeligt mindre, såfremt der regnes med en stor indtrængning af MVR-anlæg. Det skyldes dels, at det rent tekniske potentiale vil være mindre, dels at energiforbruget til inddamperanlæg vil være reduceret betydeligt ved etablering af MVR-anlæg. Derfor er flere talstørrelser i afsnit 5.5 korrigeret i nedenstående tabeller.

	2 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Filtrering	0	50	0	20
MVR-anlæg	12	80	10	20
Procesintegration	15	10	2	20
Tekniske muligheder i alt			12	20
Adfærd	75	5	4	2
Totalt			16	

Tabel 5.2. Energibesparelspotentialer for inddamperanlæg med tilbagebetalingstid på 2 år.

	4 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Filtrering	5	50	3	20
MVR-anlæg	24	80	20	20
Procesintegration	30	10	3	20
Tekniske muligheder i alt			26	20
Adfærd	75	5	4	2
Totalt			30	

Tabel 5.3. Energibesparelspotentialer for inddamperanlæg med tilbagebetalingstid på 4 år.

	10 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Filtrering	5	50	3	20
MVR-anlæg	60	80	48	20
Procesintegration	40	10	4	20
Tekniske muligheder i alt			55	20
Adfærd	75	2	2	2
Totalt			57	

Tabel 5.4. Energibesparelspotentialer for inddamperanlæg med tilbagebetalingstid på 10 år.

### 5.7.1 Fordeling på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder

Det vurderes at langt størstedelen af besparelspotentialet på inddamperanlæg findes i kvotevirksomheder, da energiforbruget på disse anlæg som nævnt i indledningen først og fremmest findes på større enheder med lange driftstider inden for følgende brancher:

- fremstilling af mælkepulver
- fremstilling af salt
- fremstilling af sukker (kort driftstid)
- fremstilling af kartoffelmel (kort driftstid)
- fremstilling af vegetabiliske olier

Energiforbruget til inddampning vurderes derfor for 90 % vedkommende at findes i kvotevirksomheder og for 10 % vedkommende at findes i ikke-kvotevirksomheder.

Besparelspotentialet vurderes hvad angår de adfærdsmæssige besparelser at være størst i ikke-kvotevirksomhederne som følge af, at de større virksomheder typisk har mere fokus på effektiv drift og vedligehold af sådanne anlæg. Hvad angår besparelser med længere tilbagebetalingstider vurderes det, at den langt overvejende del af besparelspotentialet ved anvendelse af MVR-anlæg finde på større enheder (kvotevirksomheder) med lang driftstid.

Besparelspotentialet vurderes derfor som vist i tabel 5.5.

Teknologi	Energi- forbrug TJ/år	2 års tilbage- betalingstid		4 års tilbage- betalingstid		10 års tilbage- betalingstid	
		%	TJ/år	%	TJ/år	%	TJ/år
Kvotevirksomheder	5183	15	801	30	1567	60	3100
Ikke-kvotevirks.	576	21	120	28	161	32	183
Inddampning i alt	5759	16	921	30	1728	57	3283

Tabel 5.5. Besparelspotentiale for teknologiområdet Inddampning, opdelt på kvotevirksomheder og øvrige virksomheder.

### 5.8 Sammenligning med 1995-potentialet

I Teknologikataloget fra 1995 blev der fundet følgende energibesparelspotentialer for inddamperanlæg:

Brændselsbesparelse %	Investering kr./GJ årlig besparelse	Gennemsnitlig tilbagebetalingstid År
0-10	110	6,1
10-50	220	12,2
50-57	415	23,0

*Tabel 5.6. Besparelspotentialer ved inddampning år 1995 ifølge ref. 6*

Opgørelsen i tabel 5.6 er beregnet med en gennemsnitlig varmepris på 18 kr. per GJ. Antages det, at besparelserne inden for de enkelte intervaller i tabel 5.6 er fordelt lineært over intervallet, og at de tilsammen udgør en kontinuert kurve, fås besparelspotentialer år 1995 som vist i tabel 5.7. Det i denne undersøgelse fundne potentiale for 2008 er også vist i tabel 5.7.

Tilbagebetalingstid År	Potentiale 1995 %	Potentiale 2008 %
2	3	16
4	6	30
10	41	57

*Tabel 5.7. Sammenligning af besparelspotentialer år 1995 og 2008.*

Det ses, at besparelspotentialet i 2008 er vurderet at være betydeligt højere end i 1995, hvilket først og fremmest skyldes følgende 2 forhold:

1. Energiprisen er i 2008 betydeligt højere end i 1995. Besparelspotentialerne er opgjort ud fra en energipris på 102 kr. per GJ (naturgas til større virksomheder) i 2008 mod for 1995 18 kr. per GJ.
2. MVR-anlægs merforbrug af elektricitet til fordel for lavere varmekonsum er med det nuværende el/varmeprisforhold betydeligt mere attraktivt i 2008 end i 1995 – i 1995 var el/varmeprisforhold ca. 5, medens forholdet i 2008 er ca. 2.

## 5.9 Referencer

1. Dk-Teknik 1988. Industrien som varmekunde. Hansen, M.W. et al., 1988
2. Telefonsamtale med Poul Erik Madsen, Arla Foods, oktober 2008
3. Telefonsamtale med Søren Falk Hansen, GEA Niro, oktober 2008
4. Telefonsamtale med Peder Fosbøll, Atlas Stord, oktober 2008
5. Telefonsamtale med Jørgen Ilkjær, Alfa Laval, oktober 2008
6. Telefonsamtale med Vagn Jensen, Palsgaard A/S, oktober 2008



## 6 Brænding

### 6.1 Indledning

Ved brænding sker der en fysisk og kemisk omdannelse af materialerne (som ved cementfremstilling typisk er kalksten, ler og sand og ved de andre produktioner mest er ler eller moler), hvorved der dannes nye materialer og eventuelt også sker en sintring (smeltning) af materialerne, så partiklerne sammenkittes. Brændingen foregår ved temperaturer op til 1400-1500 °C for cement og 1100 °C for ler.

### 6.2 Teknologiens anvendelse

Brænding og den forudgående tørring af materialer er de centrale processer ved fremstilling af cement, tegl, kalk, leca-klinker og molergranulat. De to processer er tæt integrerede, idet varme fra brændings-røggassen og fra de brændte produkter udnyttes i tørringen af materialerne.

Brændingsprocessen er en kontinuert proces, der typisk er i drift året rundt. Der er i Danmark omkring 30-40 produktionssteder, hvor brænding indgår som en væsentlig proces. Ud over cementfabrikken Aalborg Portland er det teglværker, kalkværker og fabrikker, der producerer isoleringsmaterialer og fugtabsorberende materialer ud fra ler og moler. På teglværker foregår brændingen i tunnelovne, mens den på de øvrige virksomheder foregår i roterovne.

#### 6.2.1 Cementproduktion (ref. 1)

Der er én producent, Aalborg Portland. På fabrikken i Rørdal, Aalborg, fremstilles både hvid og grå cement. Produktionen udgjorde i 2008 2,5 millioner tons. Fordelingen mellem hvid og grå cement er ca. 1 til 3.

En hovedingrediens til både grå og hvid cement er kridt, der udvindes fra en kridtgrav tæt på fabrikken. Kridtet udgraves både over og under vandspejlet, og indeholder derfor ca. 25 % vand. Neddelingen, også kaldet formalingen, af kridt sker i slemmetromler under tilsætning af yderligere lidt vand. En anden ingrediens er sand, der formales vådt i kuglemøller. Det opslemmede kridt og det fint formalede sand blandes i det rigtige forhold, hvorved der fremkommer en slam med ca. 31 % vand. Anvendelse af dispergeringsmidler muliggør, at slammen er flydende og pumpbar.

Klinker til den grå cement brændes i et semi-tørt ovnsystem. I dette tilføres den våde slam og tørre ingredienser, især flyveaske, til en hammermølle (også kaldet tørreknuser). Her tørres og pulveriseres sammenblandingen ved hjælp af den varme røggas, hvorved der fremkommer et pulver (råmel), der derefter opvarmes og gennemløber en række kemiske processer i cyklonforvarmer og kalcinator (suspensionsreaktorer), og sluttelig brændes til klinker i roterovnen ved høj temperatur. (Klinker er noder af sammensintrede cementminerale). Klinkerne afkøles i en ristekøler ved gennemblæsning af atmosfærisk luft. Den opvarmede luft udnyttes som forbrændingsluft i ovnsystemet.

I cementmøller formales klinkerne sammen med andre ingredienser, herunder bl.a. gips, til det færdige cementprodukt.

Klinker til den hvide cement brændes i lange roterovne. Råmaterialerne tilføres som en slam med et betydeligt vandindhold i den øvre ende og bevæger sig mod den nedre ende i modstrøm med røggasserne mens de tørres, opvarmes og undergår kemiske processer for sluttelig at blive omdannet til klinker i brændezonen under flammen. Røggassen fra roterovnene tilgår et integreret skrubber- og varmegenvindingsanlæg, som renser røgen for SO<sub>2</sub> og omsætter en stor del af den brugte energi til fjernvarme.

### 6.3 Teknologiuudvikling

Der er ikke sket nogen markant udvikling inden for brændings-teknologien i de senere år. Udviklingen er i stedet foregået på områderne brændsler og slutanvendelser. Alternative brændsler, som er billigere end traditionelle brændsler som kul og petrokoks mv. og som eventuelt også udsender mindre CO<sub>2</sub>, anvendes i stort omfang. Vedrørende slutanvendelse, så arbejdes der med tiltag som substitution af råmaterialerne og/eller de færdige cementklinker med materialer, der kan forarbejdes med et lavere energiforbrug. Der arbejdes også med at fremstille cementklinker med forfinede styrke egenskaber. Derved kan der enten spares cement i den færdige beton eller det kan udnyttes til lettere beton konstruktioner.

#### 6.3.1 Brændsler til cementproduktion (ref. 1)

Ifølge Aalborg Portlands grønne regnskab var forbruget af brændsler i 2008 som anført i tabel 6.1.

Kul	140.928
Petrokoks	214.391
Fuelolie	12.681
Alternative brændsler	100.468
I alt tons (våd)	468.468

Tabel 6.1. Aalborg Portlands brændselsforbrug 2008 i tons.

De alternative brændsler omfatter bl.a. Cemmiljø brændsel, kød- og benmel og tørret spildevandsslam. Cemmiljø brændslet omfatter bl.a. en stor andel biobrændsler og plastaffald, som ikke kan genanvendes.

Det anses for muligt at øge substitutionsgraden med alternative brændsler, navnlig ved produktion af grå cement. Det nuværende niveau er lavere end i f.eks. Tyskland. En forøgelse forudsætter formodentlig en udbygning af opberedningsanlægget. Til alternative brændsler stilles der krav til askeindhold, kemisk sammensætning samt grad af findeling, og endelig skal brændslet have en forudsigelig brændværdi.

Der er tekniske muligheder for at omsætte groft snittet brændbart materiale eller f.eks. hele bildæk i et brændkammer, der bygges på en kalcinator. I dette kammer kan sådant stort brændsel få en længere opholdstid til udbrænding i varm luft, udtrukket fra klinkerkøleren. Visse former for biomasse, som vanskeligt kan findeles, kan også benyttes, når blot det har en acceptabel kemisk sammensætning.

Der er betydelige miljømæssige fordele ved brugen af alternative brændsler i cementfabrikken, f.eks. høj udnyttelsesgrad, indbinding af svovl, nyttiggørelse af askeindhold, samt ikke mindst det forhold, at en større andel af energien kommer fra vedvarende energikilder.

Et moderne ovnanlæg til hvid cement ville kunne aftage visse alternative brændsler, som imidlertid ikke må indeholde jern og andre forbindelser, der giver uønsket misfarvning af cementen.

## 6.4 Energiforbrug

Energiforbruget til brænding er opgjort til 12.491 TJ i 2006. 99,8 % af energien er brændsel, hovedsageligt kul og petrokoks, men også naturgas. 0,2 % er el, der anvendes til brænding i jern- og metalindustrien. Brændselsforbruget til brænding udgør 8 % af erhvervslivets brændselsforbrug, og energiforbruget til brænding udgør 6 % af erhvervslivets samlede energiforbrug.

Energiforbruget er fordelt på ganske få brancher, tabel 6.2. Fremstilling af cement, mursten mv. tegner sig for 92 % af energiforbruget til brænding, og cementfremstilling alene står for ca. 82 % af det samlede energiforbrug til brænding. Omkring 92 % af energiforbruget omsættes i roterovne, mens de sidste 8 % hovedsageligt forbruges i teglværkernes tunnelovne.

Brænding og den forudgående tørring af produkterne er integrerede processer med udstrakt varmegenvinding, hvorfor der ikke er en streng objektiv måde at fordele energiforbruget på. I ref. 7, der udgør grundlaget for tabel 6.2, er energiforbruget til tørring og brænding i bl.a. teglværker fordelt ligeligt på de to slutanvendelser, mens det for cementfremstilling er henført udelukkende til brændingen.

Branche	Energiforbrug	
	TJ	%
<b>Industri i alt</b>	<b>12.468</b>	<b>100</b>
<i>Heraf</i>		
- udvinding af grus og ler mv.	505	4
- fremst. af cement, mursten mv.	11.458	92
- fremst. af produkter af beton mv.	472	4
<b>Privat handel og service</b>	<b>23</b>	<b>0</b>
<b>I alt</b>	<b>12.491</b>	<b>100</b>

Tabel 6.2. Energiforbrug til brænding/sintring i 2006, udspecificeret på de vigtigste brancher.

## 6.5 Tekniske energibesparelsemuligheder

### 6.5.1 Cementproduktion (ref. 1)

#### 6.5.1.1 Behov for brænding (fillercementer og klinkerfaktor)

En klassisk Portland cement produceres ved at neddele (formale) en blanding af cementklinker og gips i det rigtige forhold. I dag tillader europæiske normer en række blandede cementtyper, hvor man ved tilsætning af andre materialer under formalingen har opnået bestemte egenskaber med hensyn til styrkeudvikling, bearbejdelighed og holdbarhed af en beton, hvori cementen indgår. Pozzolaner er sådanne andre materialer. De er kendetegnet ved, at de reagerer kemisk med calciumhydroxid (Portlandit, som er et af produkterne ved cementmineralernes reaktion med vand) og derved danner nye mineraler, der har binde-middel egenskaber. Der findes naturlige pozzolaner, men de er begrænset i mængde, så der

forskes i øjeblikket meget i kunstige pozzolaner såsom f.eks. højovns slagge, flyveaske, varmebehandlet ler samt amorft glas.

En anden type af andre materialer er de såkaldte funktionelle fillere, hvor der ikke er nogen kemisk reaktivitet, men hvor der arbejdes med målrettede partikelstørrelser og partikelfordelinger. Herved kan man opnå stor tæthed og holdbarhed i beton. Kridt er et typisk eksempel på et råmateriale til en funktionel filler. Aalborg Portland producerer allerede i dag filler-cementer.

Hvis ingredienserne kan fremskaffes med et lavere energiforbrug end forbruget til produktion af klinker, og de i øvrigt ikke er meget energikrævende at neddele (formale), kan man opnå en besparelse i energiforbruget per vægtenhed færdig cement. Man kan ikke sige noget generelt om ingredienserne hvad angår tørringsudgift, behov for yderligere behandling og energiforbrug til formaling. Men man kan med et regneeksempel anslå, at en substitution af 15 % af vægten af den færdige cement med et bestemt pozzolan-materiale, som kendes fra udlandet, ville spare omtrent 7 % på brændsel og 13 % på elforbruget til formaling. Hertil kommer en reduktion i CO<sub>2</sub> mængde på ca. 12 %. Det skønnes, at der her er et betydeligt potentiale for energibesparelser, der kan udvikles igennem en forskningsindsats. Aalborg Portland er aktiv i forskningsprojektet Futurecem, der retter sig mod fremtidens muligheder i pozzolaner og funktionelle fillere. Futurecem projektet hører under og støttes af Højteknologi Fonden.

En anden angrebsvinkel er at forfine cement klinkernes egenskaber, således at de giver forhøjede styrker, hvorved man kan sænke klinkerfaktoren. Denne teknik anvendes allerede i dag i stor grad hos den danske cementproducent, nemlig med de såkaldte mineraliserede klinker, som i øvrigt brændes ved en noget lavere temperatur end almindelige klinker.

#### **6.5.1.2 Besparelser på tørringsopgaver**

En umiddelbar besparelse på energiforbruget ville kunne opnås, hvis man kunne undgå tilsætning af ekstra vand i procesforløbet. En betydelig del af varmemeforbruget medgår til fordampning af vand. (I de hvide ovnes varmegenvindingsanlæg får man dog en stor del af fordampningsvarmen retur).

#### **Grå cement**

Hvis råmaterialerne til den grå cement kunne tilføres ovnsystemet med den naturlige fugtighed, kunne varmemeforbruget reduceres med omtrent 12 % fra ca. 4200 MJ/ton til 3700 MJ/ton. Der er en række praktiske udfordringer ved en omstilling. Kridtet indeholder vekslende lag af flintknolde, som i dag sigtes fra det opberedte slam. Håndtering af stykformige materialer kræver et helt andet udstyr, og også ovnsystemet vil kræve en tilpasning til det mindskede tørringsbehov. En mellemløsning, der består i afvanding af det opberedte slam i filterpresser med efterfølgende indfødning af filterkager i ovnsystemet, er kendetegnet ved et højt elforbrug og vanskelig håndtering (batch).

Et avanceret forslag er at tørre opberedt slam i en selvstændig enhed under brug af damprekompresion, førend det tilføres ovnsystemet. Hvis tørregodset var egnet til denne teknik, hvad det måske ikke er, kunne der spares en betydelig termisk effekt mod et relativt begrænset merforbrug af el-effekt.

En mindre reduktion i varmemeforbruget kunne opnås ved forvarmning af slammet. Det kunne ske ved, at vand, der var opvarmet ved hjælp af røgen fra ovnsystemet, blev benyttet til opberedning af slammet i stedet for koldt vand. Besparelsen kan andrage ca. 30 MJ/ton.

Det kan ikke udelukkes, at der kunne findes andre dispergeringsmidler til slammet, som ville indebære en mindre reduktion i det vandindhold, der kræves for pumpning.

Formaling af sand, som i dag sker vådt i kuglemøller, kan måske gennemføres i en valsepresse med betydeligt mindre vandforbrug, og denne løsning indebærer også en væsentlig reduktion i elforbruget.

Ellers er det store ovnsystem til grå klinker kendetegnet ved høj procesintegration og stor udnyttelse af spildvarme. Varm overskudsluft fra køleren bruges til tørring af gips og kul. Det skønnes ikke at være økonomisk at udnytte spildvarmen i røggassen til el-fremstilling på grund af den lave temperatur.

### **Hvid cement**

Hvis den hvide klinkerproduktion på de mange små ovne kunne flyttes over på ét stort anlæg med cyklonforvarmer og kalcinator, ville der være store besparelser på det specifikke brændselsforbrug. Besparelserne opnås ikke mindst fra et reduceret overfladetab, hvor små anlæg har relativt store overfladetab, og desuden kan de stationære dele af et ovnsystem isoleres langt bedre end roterovne, hvor porøse isoleringssten ikke har styrke til at tåle den mekaniske påvirkning fra rotationen. Røggastabene kan også reduceres væsentligt. Produktionen af fjernvarme på røggassen vil selvsagt blive lavere i et moderne ovnanlæg. Energibesparelsen vil være betydelig, men der vil også være adskillige tekniske udfordringer forbundet med en sådan omlægning, eksempelvis reduceret klinkerstørrelse, når der ikke er vand til at befordre noduldannelsen i roterovnen, og ændret kemisk sammensætning af klinkerne, som kan påvirke kvaliteten.

#### **6.5.1.3 Køling af klinker**

Ved ombygning af den eksisterende køler fra 1988 på det store ovnanlæg til grå cement til en moderne type køler kan man opnå en højere grad af varmegenvinding. Det vil kunne give en besparelse i ovnanlæggets samlede brændselsforbrug på ca. 80 MJ per ton klinker. Den højere temperatur på luften fra køleren vil give bedre antænding af alternative brændsler i kalcinatoren og kan derigennem medvirke til en højere substitutionsgrad.

#### **6.5.2 Øvrige produktioner**

Brænding er en nødvendig proces ved fremstilling af mursten, leca-klinker osv. og kan ikke erstattes af andre processer.

Ved roterovne består den bedste anlægstekniske effektiviseringsmulighed i at forbedre varmeoverførslen til materialerne ved at indbygge skovle i ovnen. Varmen i røggasserne (efter at disse først er udnyttet i tørringen) og i de brændte produkter udnyttes allerede, men kan udnyttes yderligere ved f. eks. at blande røggas med forbrændingsluft. Andre tekniske forbedringsmuligheder er meget dyre og vil eventuelt også begrænse kapaciteten af ovnene (det gælder således bedre isolering med et ekstra lag isolerende sten inde i ovnen), hvorfor de ikke kommer på tale ved eksisterende anlæg. Besparelsesmulighederne ved bedre styring og drift består bl.a. i at begrænse luftoverskuddet og holde temperaturer tæt på de optimale.

Sådanne besparelsemuligheder er i vidt omfang allerede opnået, idet der de senere år er gjort meget for at opkvalificere ovnoperatører (ref. 2).

De fleste tunnelovne fyres med naturgas, hvilket de nyere ovne er designet til, mens de ældre typisk er designet til kulfyring. Besparelsemulighederne er derfor meget forskellige fra ovn til ovn og består især i at styre luftfordelingen i ovnens forzone og luftoverskuddet bedre. Andre muligheder består i at optimere brænderbestykningen og bruge impulsbrændere samt i at benytte køleluft fra ovnens kølezone som forbrændingsluft. En god tætning af ovnene ved porte og sandrender m.m. vil også medvirke til at holde luftoverskuddet og dermed røggastabet nede. For nogle ovne kan der også være tale om en ombygning af dele af ovnen (ref. 3-6).

## 6.6 Adfærdsmæssige energibesparelsemuligheder

Styring af produktionen ligger i dag i faste rammer hvad angår driftsparametre mv. og brændingen overvåges med procesudstyr, så der løbende kan følges op på forløbet. De adfærdsmæssige muligheder består derfor især i at begrænse falskluft og dermed røggastab ved at holde luger m.m. lukkede og tætte.

## 6.7 Besparelspotentialer

### 6.7.1 Cementproduktion (ref. 1)

For cementproduktion vurderes besparelspotentialerne ved de enkelte tiltag som anført i tabel 6.3. Da ikke alle tiltag er uafhængige af hinanden, bliver det samlede potentiale som anført i de enkelte tabeller.

	2 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Fillercement og lavere klinkerfaktor	70	7	5	-
Forvarmning af slam (grå cement)	70	0,7	0,5	20
Tekniske muligheder i alt			6	
Adfærd			0	
Totalt			6	

	4 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Fillercement og lavere klinkerfaktor	70	7	5
Forvarmning af slam (grå cement)	70	0,7	0,5
Ombygning af klinkerkøler (grå cement)	50	2	1
Andre dispergeringsmidler	50	0,5	0,3
Tekniske muligheder i alt			7
Adfærd			0
Totalt			7

	10 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Fillercement og lavere klinkerfaktor	70	7	5
Forvarmning af slam (grå cement)	70	0,7	0,5
Selvstændig enhed for forbehandling af råmaterialer (grå cement)	50	5	2,5
Ombygning af klinkerkøler (grå cement)	50	2	1
Andre dispergeringsmidler	50	0,5	0,3
Råmaterialer med naturlig fugtighed (grå cement)	70	12	8
Formaling af sand i valsepresse (grå cement)	70	3	2
Produktion på ét ovnanlæg (hvid cement)	30	20	6
Tekniske muligheder i alt			21
Adfærd			0
Totalt			21

Tabel 6.3. Besparelspotentiale for brænding af cement ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag. Den forventede levetid er vist i øverste tabel.

### 6.7.2 Øvrige produktioner

Ved 2 og 4 års tilbagebetalingstid består besparelsemulighederne i en bedre styring af luftfordelingen i ovnene og en tætning af ovne samt i at udnytte overskudsvarme i ovnene selv. For roterovne er der desuden en besparelsemulighed ved forbedret varmeoverførsel fra ovnlufte til produktet, og for tunnelovne kan bedre brændere være økonomiske, set over 4 år. Ved 10 års tilbagebetalingstid er mulighederne de samme – blot er potentialerne større – og for tunnelovne kommer yderligere en besparelsemulighed ved delvis ombygning af ovne.

	2 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Udnytte overskudsvarme i ovnene selv	20	4	1	10
Bedre varmeoverførsel i roterovne	30	4	1	10
Tætning af ovne	70	2	1	2
Styring og drift	30	2	1	10
Tekniske muligheder i alt			4	
Adfærd			2	
Totalt			6	

	4 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Bedre brændere i tunnelovne	30	2	1
Udnytte overskudsvarme i ovnene selv	40	4	2
Bedre varmeoverførsel i roterovne	40	4	2
Tætning af ovne	70	2	1
Styring og drift	50	4	2
Tekniske muligheder i alt			8
Adfærd			2
Totalt			10

	10 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Delvis ombygning af tunnelovne	20	10	2
Bedre brændere i tunnelovne	40	3	1
Udnytte overskudsvarme i ovnene selv	40	4	2
Bedre varmeoverførsel i roterovne	40	4	2
Tætning af ovne	70	2	1
Styring og drift	80	5	4
Tekniske muligheder i alt			12
Adfærd			2
Totalt			14

Tabel 6.4. Besparelspotentiale for brænding af øvrige produkter ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag. Den forventede levetid er vist i øverste tabel.



### 6.7.3 Sammenfatning af besparelspotentialet

Produkter	Energiforbrug TJ/år	2 års tilbage- betalingstid		4 års tilbage- betalingstid		10 års tilbage- betalingstid	
		%	TJ/år	%	TJ/år	%	TJ/år
Cement	10.200	6	612	7	714	21	2.142
Øvrige	2.291	6	137	10	229	14	321
Brænding i alt	12.491	6	749	8	943	20	2.463

Tabel 6.5. Besparelspotentiale for teknologiområdet Brænding ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag.

### 6.7.4 Fordeling på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder

Næsten alle virksomheder med brænding er kvotevirksomheder. Kun 1-2 % af energiforbruget til brænding aftages i ikke-kvotevirksomheder. Der foretages derfor ikke nogen opdeling af energiforbrug og besparelspotentialer, men hele forbruget medtages under kvotevirksomheder.

## 6.8 Sammenligning med 1995-potentialet

I ref. 8 blev der ikke lavet en opgørelse for teknologien Brænding, men for cementfabrikker. For cementfabrikker vurderedes det tekniske sparepotentiale 1995 til, at 0-14 % af varme-forbruget ville kunne spares for 800 kr./GJ. Med en brændselspris for den periode på 18 kr./GJ svarer det til en tilbagebetalingstid på 45 år.

Besparelspotentialet vurderes væsentligt større i dag, 21 % ved 10 års tilbagebetalingstid. Forskellen skyldes især, at der i indeværende undersøgelse regnes med flere tiltag, der hver især er mindre og ikke forudsætter meget store investeringer, hvorimod der i ref. 8 regnedes med en omlægning fra våd til tør eller semitør proces, som er forbundet med meget store omkostninger.

## 6.9 Referencer

1. Afsnit 2.1, 3.1, 5.1 og 7.1 er skrevet af Søren Hundebøl og Ejnar Jessen, FLSmidth
2. Oplysninger fra Anne Mette Nielsen, Saint Gobain Weber
3. Teglværker. Hovedrapport til brancheenergisyn. Priebe rådgivende Ingeniørfirma m. fl. Februar 1999
4. Nyhedsbrev fra Dansk Gasteknisk Center. November 2003
5. Oplysninger fra Kent Christensen, EnviScan
6. Oplysninger fra Helge Hansen, TI
7. Kortlægning af erhvervslivets energiforbrug. Dansk Energi Analyse og Viegand & Maagøe. November 2008
8. Teknologikatalog – energibesparelser i erhvervslivet. Energistyrelsen 1995

## 7 Overskudsvarme, procesintegration

### 7.1 Indledning

Dette afsnit omhandler potentialer for at udnytte overskudsvarme til opvarmningsformål i erhvervslivet. Afsnittet beskriver de potentialer der tilbagestår, når de enkelte enhedsoperationer og anlæg (som beskrevet i øvrige afsnit i nærværende rapport) er optimeret hvad angår udnyttelse af overskudsvarme.

Der regnes i nærværende notat ikke med muligheder for at afsætte overskudsvarme eksternt som fjernvarme.

### 7.2 Teknologiens anvendelse

Overskudsvarme er i Energistyrelsens definitioner angivet som værende ”den varme der er til rådighed når de enkelte anlæg og processer i en virksomhed er optimeret så meget som muligt hvad angår udnyttelse af spildvarme”. Denne definition begrænser teoretisk set en potentialevurdering, da enhver proces i teorien kan optimeres så vidt, at der ingen overskudsvarme er til rådighed.

I praksis vil mulighederne for at udnytte overskudsvarme bestå af mange forskellige muligheder på tværs af anlæg og processer i en virksomhed, for eksempel:

- Udnyttelse af overskudsvarme fra trykluftanlæg i form af varm luft eller varmt vand (fra olie køling)
- Udnyttelse af overskudsvarme fra køleanlægs overhedningsfjernere, kondensatorer og smøreolie køling
- Udnyttelse af overskudsvarme fra kedlers economizere til andet end forvarmning af forbrændingsluft og evt. fødevand til kedlerne
- Udnyttelse af overskudsvarme i afkastluft fra tørreanlæg (såfremt afkastluften renses for støv)
- Udnyttelse af overskudsvarme fra brænding/sintring (bemærk at sådanne fabrikker ofte ikke har væsentlige øvrige opvarmningsformål der kan aftage overskudsvarme)
- Udnyttelse af overskudsvarme fra sterilisatorer og autoklaver
- Udnyttelse af overskudsvarme fra køletårne (via varmetpumper)

Det skal understreges, at udnyttelse af overskudsvarme i mange tilfælde også reducerer kølebehov, for eksempel hvis overskudsvarme ellers afsættes i et køletårn.

### 7.3 Teknologiuudvikling

Teknologiuudviklingen er generelt gået i retning af, at mindre og mindre overskudsvarme er til rådighed i takt med at de enkelte enhedsoperationer er optimeret mest muligt.

Denne udvikling gælder for eksempel inddampningsanlæg, hvor den overskudsvarme der er til rådighed findes ved stadigt lavere temperaturer i takt med at flere og flere trin anvendes for at effektivisere inddamperne.

Der har dog også været en udvikling i retning af at "lavværdig" varme i dag kan udnyttes ved højere temperaturniveauer:

- Køleanlæg baseret på skruekompressorer kan afsætte varme fra "varmt" olieolekredsløb ved temperaturer op til 70 °C mod tidligere kun 30-35 °C ref. 1, 2.
- Overskudsvarme fra trykluftkompressorer kan ved køling med vand direkte fra vandforsyning levere varmt vand ved temperaturer helt op til over 90 °C ref. 3 hvilket er af afgørende betydning når der skal findes steder at afsætte overskudsvarmen
- Nye varmepumpeteknologier, specielt transkritiske varmepumper baseret på CO<sub>2</sub>, kan bringe overskudsvarme op over 100 °C ref. 4.
- Små køleanlæg inden for privat handel og service (propananlæg) m.m. har bedre muligheder for at udnytte overskudsvarme til opvarmningsformål

Det skal bemærkes, at forholdet mellem elpris og brændselspriser de senere år har udviklet sig til varmepumpers fordel, for eksempel ved anvendelse af MVR-anlæg (Mekanisk Vandamp Rekompression = vanddampbaseret varmepumpe) til inddampning som beskrevet i dette teknologiafsnit.

Det skal desuden bemærkes, at aktuelle muligheder for at "sælge" energibesparelser vil gøre mange varmegenvindingsprojekter meget attraktive i forhold til tidligere. Dette vil også gøre sig gældende for energibesparelser der opnås med varmepumpeanlæg.

## 7.4 Energiforbrug

Det relevante energiforbrug ift. overskudsvarme må iht. afgrænsningen ovenfor primært angives som forbrugende til hhv. "rumvarme" og generel "opvarmning".

Forbruget til "rumvarme" var i 2006 40.679 TJ (11.300 GWh), medens forbruget til "opvarmning" var 27.206 TJ (7.557 GWh). Af forbruget til "opvarmning" er 1.656 TJ elforbrug, medens en stor del af "rumvarme" i privat handel og service dækkes af fjernvarme (godt 16.000 ud af godt 23.000 TJ). Forbrugene er vist i tabel 7.1.

I forhold til udnyttelse af overskudsvarme er det værd at bemærke, at energiforbruget til "opvarmning" i en række sektorer i stor udstrækning anvendes til opvarmning af vand, for eksempel inden for slagterier, mejerier, fødevarer- og drikkevare industri, medicinalvare-industri, fremstilling af stivelsesprodukter m.m.

Det vurderes (ref. 5, 6), at op mod 20 % af opvarmningsbehovet i flere af ovennævnte sektorer anvendes til fremstilling af varmt vand svarende til et samlet energiforbrug på op mod 4.000 TJ/år.

Branche	Energiforbrug TJ (2006) Overskudsvarme, procesintegration	
	Rumvarme	Opvarmning
<b>Landbrug og fiskeri</b>	<b>237</b>	<b>11</b>
<b>Industri</b>	<b>16.852</b>	<b>25.088</b>
<i>Heraf</i>		
- Slagterier m.v.	541	864
- Forarbejdning og konservering af fisk m.v.	210	702
- Fremstilling af vegetabiliske og animalske olier m.v.	46	685
- Mejerier og isfabrikker	209	1.113
- Fremstilling af stivelsesprodukter	672	754
- Sukkerfabrikker og raffinaderier	179	1.114
- Drikkevareindustri	229	1124
- Træindustri	860	168
- Mineralolieindustri	19	11.786
- Fremstilling af farvestoffer	188	513
- Medicinalindustri	1.133	431
- Fremstilling af rengøringsmidler m.v.	384	756
- Fremstilling af gummiprodukter	613	155
- Fremstilling af produkter af beton m.v.	696	921
- Jern og stålværker	63	1.339
- Fremstilling af byggematerialer af metal	1.081	119
- Fremstilling af håndværktøj m.v.	700	37
- Fremstilling af skibsmotorer	1.001	13
- Fremstilling af andre elektriske maskiner	674	54
- Møbelindustri	1136	0
- Andet	6.218	2.440
<b>Privat handel og service</b>	<b>23.590</b>	<b>2.111</b>
<i>Heraf</i>		
- Handel med biler, autoreparation, servicestationer	1.620	33
- Engros- og agenturhandel	5.381	167
- Detailhandel	3.862	36
- Hotel- og restaurationsvirksomhed	3.247	318
- Finansierings- og forsikringsvirksomhed	1.324	0
- Rådgivningsvirksomhed m.v. rengøringsvirksomhed	4.689	34
- Forlystelse, kultur og sport	1.983	219
- Andet	1.484	1.304
<b>I alt</b>	<b>40.679</b>	<b>27.206</b>

Tabel 7.1. Erhvervslivets energiforbrug til rumvarme og opvarmning i 2006.

## 7.5 Tekniske energibesparelsmuligheder

Potentialerne for at udnytte overskudsvarme kan deles i udnyttelse overskudsvarme til rumvarmeformål, til opvarmning af varmt vand eller ved integration af anlæg og processer på tværs af en virksomhed.

Hvad angår udnyttelse af overskudsvarme til rumvarmeformål deles potentialerne i følgende områder:

- Indenfor landbrug vurderes der ikke at være muligheder (intet rumvarmebehov)
- Inden for produktionserhverv er der potentialer inden for de fleste sektorer:
  - o Fødevareindustrien generelt bruger meget rumvarme og har overskudsvarme fra køleanlæg, trykluftanlæg såvel som fra fremstillingsprocesser
  - o Medicinalvareindustrien bruger relativt meget rumvarme (HVAC med store luftskifter og ingen recirkulation) og har ligeledes overskudsvarme fra en lang række anlæg
  - o Virksomheder indenfor fremstilling af stivelsesprodukter og i mejerier bruger meget rumvarme og har overskudsvarme fra køleanlæg, trykluftanlæg såvel som fra inddamper- og tørreanlæg m.m.
  - o Maskinindustrien/jern & metal-industri bruger meget rumvarme og har overskudsvarme fra trykluftanlæg og i mange tilfælde også fra fremstillingsprocesser (ovne) ref. 17

Det er i ref. 5 opgjort, at der i erhvervslivet er muligheder for at udnytte af størrelsesordenen 2.000 TJ/år overskudsvarme til rumvarmeformål inden for en tilbagebetalingstid på 4 år ref. 5.

Denne opgørelse inkluderede dog alene anvendelse af overskudsvarme fra trykluftanlæg og køleanlæg og medtog ikke muligheder for at udnytte overskudsvarme fra øvrige processer og anlæg.

Da rumvarmeforbruget i industrien er ganske betydeligt (godt 16.000 TJ/år), er der pga. det lave temperaturniveau også betydelige muligheder for at dække dette, når mere langsigtede potentialer medtages:

- o Mængderne af overskudsvarme fra processer er ganske betydelige i flere brancher:
  - Inden for ”fremstilling af stivelsesprodukter” er der store mængder overskudsvarme fra tørreprocesser
  - Inden for ”slagterier” er der store mængder overskudsvarme fra svideovne/flamberingsovne såvel som fra forsyningsanlæg
  - Inden for træindustrien er det betydelige tørreprocesser med store mængder spildvarme til rådighed
- o Anvendelse af varmepumper repræsenterer et meget stort teknisk potentiale, da spildvarme i for eksempel køletårne nemt kan ”løftes” til et temperaturniveau, hvor det kan bruges til rumvarmeformål. (Det skal dog nævnes, at udnyttelse af varmepumpeteknologi normalt har tilbagebetalingstider på 6-7 år eller mere). Større køletårne anvendes i vid udstrækning inden for fødevareindustrien, i ingrediens-industrien, i kemisk industri m.m.

En samlet vurdering af disse potentialer er på grund af begrænsede erfaringsdata vanskelig, men det vurderes ud fra projekter refereret i ref. 1, 2, 3 og 5, at tilbagebetalingstiden ved udnyttelse af overskudsvarme til rumvarmeformål ligger nogenlunde jævnt fordelt i intervallet 1 til 10 års tilbagebetalingstid.

Dette potentiale forventes at kunne realiseres i skønsmæssigt halvdelen af industrien (med samlet rumvarmebehov på 16.852 TJ/år), medens det for den resterende halvdel af det tekniske potentiale vurderes at være teknisk urealistisk at gøre noget. Det skyldes at eksisterende dampbaserede systemer skal suppleres med nye vandbårne distributionsanlæg for at kunne distribuere overskudsvarme til rumvarmeformål, hvilket vil have meget lang tilbagebetalingstid.

- Inden for privat handel og service er der tidligere arbejdet med udnyttelse af overskudsvarme fra køleanlæg til dækning af rumvarmebehov (ref. 7, 9), og der er aktuelt flere der interesserer sig for disse muligheder, herunder overskudsvarmeafgiftens indflydelse på tilbagebetalingstiden for sådanne anlæg.

Da rumvarmeforbruget i privat handel og service er meget betydeligt (23.590 TJ/år) vil der også være betydelige potentialer, specielt fordi en stor del af rumvarmen leveres via ventilationsanlæg, hvor luften skal opvarmes til relativt lave temperaturer. Også brug af varmepumpeanlæg vil være mulig.

Det kan opgøres at ca. 1/3 af rumvarmeforbruget i privat handel og service (ca. 8.000 TJ/år) findes i bygninger hvor der også er reelle mængder overskudsvarme til rådighed.

Dette vurderes ift. at mange virksomheder inden for privat handel og service har relativt begrænsede energiforbrug til køling, trykluft m.m. sammenlignet med rumvarmeforbruget, se tabel 7.2 nedenfor.

Branche	Rumvarmeforbrug (TJ)	El til køleanlæg (TJ)
Handel med biler, autoreparation, servicestationer	1.620	179
Engros- og agenturhandel	5.381	755
Detailhandel	3.862	2.163
Hotel- og restaurationsvirksomhed	3.247	605
Andet	8.000	373

*Tabel 7.2. Rumvarmeforbrug og kølebehov indenfor brancher i privat handel og service.*

Det ses, at kølebehovet (og dermed tilgængelige mængder spildvarme) kun er betydeligt i et par af brancherne under privat handel og service. Det vurderes derfor, at maksimalt 20 % af rumvarme-behovet (og behov for varmt brugsvand) kan dækkes i den relevante trejdedel af privat handel og service.

Der er dog i de kendte projekter på området ref. 7, 9 tale om, at typiske supermarkeder vil have tilbagebetalingstider af størrelsesordenen 6-7 år, da der typisk er tale om mindre og derfor relativt dyre anlæg.

Det er muligt, at varmegenvindingsanlæg i større indkøbscentre vil have lavere tilbagebetalingstid alene på grund af anlæggenes større størrelse, men erfaringsdata om sådanne er pt. ikke kendt. Der er dog i udlandet kendskab til større detailhandel-virksomheder ref. 18, hvor større køleanlæg er placeret i umiddelbar nærhed af centrale ventilationsanlæg og derfor umiddelbart kunne afsætte overskudsvarme til rumvarmeformål.

Hvad angår udnyttelse af overskudsvarme til fremstilling af varmt vand til proces- og rengøringsformål (proces) er der specielt inden for de i afsnit 7.4 nævnte brancher at der er muligheder (fødevarer, ingredienser, drikkevarer, m.m.).

Potentialet overlapper i en vis udstrækning med den overskudsvarme der kan udnyttes til at dække rumvarmeformål:

- fordelene ved at satse på at opvarme varmt vand er at behovet er til stede hele året (dog oftest ikke konstant over døgnet, hvilket medfører behov for lagring af varmt vand)
- Ulempen er at lagring af varmt vand oftest er nødvendigt da der ikke er tilstrækkelig samtidighed mellem spildvarmen og varmebehov (der gøres for eksempel typisk rent uden for arbejdstid).

Det vurderes, at af størrelsesordenen 2.000 TJ/år (ud over rumvarmebehovet) kan dækkes via spildvarmeudnyttelse såfremt der accepteres tilbagebetalingstider op til 10 år.

Hvad angår integration af andre processer på tværs af virksomhedens processer og anlæg er der i egentlige procesintegrationsanalyser (Pinch-analyser) identificeret teoretisk set meget store potentialer såfremt alle eksisterende former for varmegenvinding omlægges til den ideelt set bedste varmegenvinding.

I mange tilfælde har det kunnet godtgøres, at varmeforbruget i en given virksomhed kan reduceres med op til 80 % såfremt der etableres teoretiske set perfekte varmevekslernetværk (kræver meget omfattende installationer og i de fleste tilfælde også mange varmelagre m.m.)

De meget store besparelspotentialer indbefatter desuden at alle enhedsoperationer optimeres, hvor en stor del af sådanne potentialer allerede er opgjort i andre afsnit i nærværende rapport.

Egentligt opdaterede projekter og studier på dette område har dog ikke kunnet identificeres og det er meget få procesintegrationstudier der er udført i dansk erhvervsliv de seneste 10-15 år. Dog er der gennemført mere systematiske (ikke fyldestgørende) analyser i ref. 11 - 13.

Desuden er der på DTU gennemført et Ph.D.studie ref. 19, der i vid udstrækning har konkluderet, at procesintegration inden for mellemstore virksomheder (større danske virksomheder regnes typisk for mellemstore efter international skala) set fra et økonomisk synspunkt bør prioritere optimering af enhedsoperationer først og derefter anvende resterende mængder overskudsvarme til at dække rumvarmeformål og produktion af varmt vand.

Disse konklusioner vil gælde et bredt udsnit af dansk industri – dog vil større kemiske komplekser som raffinaderier falde uden for.

I ref. 8 er det vurderet, at der kan realiseres besparelser på 8 % af brændselsforbruget med en tilbagebetalingstid på 4 år – det vurderes på baggrund af nyere erfaringer ref. 19 at dette potentiale er noget mindre i dag – af størrelsesordenen 5 % af industriens samlede energiforbrug (godt 91.000 TJ/år – herfra skal dog fraregnes ”rumvarme” som omfattet i potentialevurderingerne ovenfor) såfremt tilbagebetalingstider op til 10 år accepteres.

## 7.6 Adfærdsmæssige energibesparelsmuligheder og vedligehold

Adfærdsmæssig energibesparelse relateret til udnyttelse af overskudsvarme angår først og fremmest at sikre at varmegenvindingsanlæg fungerer efter hensigten.

Der er således tale om flere mulige tabsfaktorer:

- "Fouling" – nedsat varmeoverførsel pga. belægninger i varmevekslere
- Belægninger med biofilm – der er i et igangværende F&U-projekt på Force ref. 14 erfaret, at belægninger med biofilm på varmevekslere kan reducere varmeoverførsel af samme størrelsesorden som regulær tilsmudsning af overfladerne.
- Sikring af varmegenvindingsgrad generelt overholdes – ved lagring af vand er der flere gange observeret ref. 15, 16 at det er svært for operatører at sikre at alt det producerede varme vand i sidste ende lagres til senere brug.

Nedsat virkningsgrad af varmegenvindingssystemer er således et vigtigt indsatsområde hvad angår gode rutiner og opfølgning på om anlæg drives som de skal.

Det vurderes, at af størrelsesordenen 1 % af det samlede brændselsforbrug i erhvervslivet (153.000 TJ/år) kan spares såfremt anlæg til udnyttelse af overskudsvarme håndteres energimæssigt korrekt.

## 7.7 Besparelspotentiale

Nedenfor at ovenstående potentialer sammenfattet på tabelform idet energiforbrug til hhv. "rumvarme og "opvarmning" er sat som reference hvad angår potentialer for at udnytte overskudsvarme til rumvarmeformål.

Hvad angår procesintegration skal produktionserhvervs samlede procesenergiforbrug (ca. 75.000 TJ/år) ses som reference for potentialeopførelsen.

	2 års tilbagebetalingstid			Energi- besparelse (TJ/år)	Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% energibesparel se i omfattet udstyr	% energibespa relse i alt		
Rumvarme					
- Industri	50	10	5	842	15
- Handel og service	30	0	0	0	15
Varmt vand (opvarmning)	8	20	2	544	15
Procesintegration	82	1	1	750	15
Tekniske muligheder i alt			%-tal kan ej summeres	2136	
Adfærd			1	1.530	
Totalt			%-tal kan ej summeres	3.666	

Tabel 7.3. Energisparepotentialer ved udnyttelse af overskudsvarme med tilbagebetalingstid på 2 år.



	4 års tilbagebetalingstid			Energi- besparelse (TJ/år)	Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% energibesparel- se i omfattet udstyr	% energibespa- relse i alt		
Rumvarme					
- Industri	50	30	15	2527	15
- Handel og service	30	5	1	354	15
Varmt vand (opvarmning)	8	40	3	816	15
Procesintegration	82	2	2	1500	15
Tekniske muligheder i alt			%-tal kan ej summeres	5197	
Adfærd			1	1.530	
Totalt			%-tal kan ej summeres	6.727	

Tabel 7.4. Energisparepotentialer ved udnyttelse af overskudsvarme med tilbagebetalingstid på 4 år.

	10 års tilbagebetalingstid			Energi- besparelse (TJ/år)	Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% energibesparel- se i omfattet udstyr	% energibespa- relse i alt		
Rumvarme					
- Industri	50	100	50	8.426	15
- Handel og service	30	20	6	1.415	15
Varmt vand	8	40	5	1.360	15
Procesintegration	82	5	4	3000	15
Tekniske muligheder i alt			%-tal kan ej summeres	14.201	
Adfærd			1	1.530	
Totalt			%-tal kan ej summeres	15.731	

Tabel 7.5. Energisparepotentialer ved udnyttelse af overskudsvarme med tilbagebetalingstid på 10 år.

### 7.7.1 Fordeling på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder

Det vurderes, at ca. 40 % af behovet for rumvarme og opvarmning findes i kvotevirksomheder, idet en stor del af rumvarmeforbruget findes inden for privat handel og service, hvor der ikke er kvotevirksomheder. Besparelspotentialerne vurderes at være tilsvarende fordelt. I tabel 7.6 er besparelspotentialerne fra tabel 7.3 – 7.5 opgjort i forhold til energiforbrugene i tabel 7.1 til rumvarme og opvarmning.

Teknologi	Energi- forbrug TJ/år	2 års tilbage- betalingstid		4 års tilbage- betalingstid		10 års tilbage- betalingstid	
		%	TJ/år	%	TJ/år	%	TJ/år
Kvotevirksomheder	27.154	5	1.466	10	2.690	23	6.291
Ikke-kvotevirks.	40.731	5	2.200	10	4.037	23	9.440
Rumvarme og opvarmning i alt	67.885	5	3.666	10	6.727	23	15.731

Tabel 7.6. Besparelspotentiale for teknologiområdet overskudsvarme/procesintegration opdelt på kvotevirksomheder og øvrige virksomheder.

## 7.8 Sammenligning med 1995-potentialet

I Teknologikataloget fra 1995 blev der fundet følgende energibesparelspotentialer for "procesintegration":

Brændselsbesparelse %	Investering kr./GJ årlig besparelse	Gennemsnitlig tilbagebetalingstid År
0-10	60	3,33
10-15	170	9,44
15-35	420	23,33

Tabel 7.7. Besparelspotentialer ved procesintegration år 1995 ifølge ref. 20.

Opgørelsen i tabel 7.7 er beregnet med en gennemsnitlig varmepris på 18 kr. per GJ – det ses umiddelbart at potentialerne vurderes noget anderledes nu i forhold til i 1995.

Tallene er dog ikke lige til at sammenligne da der er tale om forskellige afgrænsninger i det tidligere hhv. aktuelle arbejde.

## 7.9 Referencer

1. Energibevidst projektering hos Danpo i Farre, COWI, 1998.
2. Energibevidst projektering hos Danish Crown i Horsens, COWI, 2002
3. Samtale med Bo Johannesen, Atlas Copco, 2008 og 2009
4. Samtale med Torben Hansen, Advansor, 2008 og 2009
5. Viegand & Maagøe og SRC International: Virksomhedsrentabel udnyttelse af overskudsvarme, samt afdækning af evt. potentiale, Rapport udarbejdet for Energistyrelsen, Januar 2009.
6. DK-Teknik: Industrien som varmekunde, 1988
7. Søren Draborg: "Køl – og skip varmen", artikel i VVS-bladet nr. 15, 1998.
8. Dansk Energi Analyse, dk-Teknik og NESAs. Procesintegrationsanalyser, statusrapporten ang. opfølgning på aftaleenergisyns procesintegrationsanalyser, ca. 1995
9. Projektmateriale om varmegenvinding fra køleanlæg fra COOP Danmark
10. Artikelserie i Ingeniøren efteråret 2009 om spildvarmeudnyttelse i supermarkeder
11. Viegand & Maagøe: Procesintegrationsanalyser hos CP Kelco, 2009.
12. Viegand & Maagøe: Spildvarmeudnyttelse hos Palsgaard, 2009
13. Viegand & Maagøe: Varmegenvindingsmuligheder hos Dyrup A/S, 2009
14. F&U-projekt om betydning af biofilm for varmeoverførsel i varmevekslere, Force
15. Opsamling på erfaringer med energibevidst projektering hos Danpo, gennemført af COWI i 2001
16. Samtaler med Danish Crown ang. udbytter af energibevidst projektering i Horsens, 2008 og 2009
17. Viegand & Maagøe: Udnyttelse af overskudsvarme til rumvarme hos B.J. Haner, 2009.
18. Erfaringer hos Viegand & Maagøe fra besøg hos 3 af Tesco butikcentre i Irland
19. Ph.D.-studie udført af Henrik Dalsgård på DTU om procesintegration i mellemstore virksomheder 1999.
20. Teknologikatalog – energibesparelser i erhvervslivet, Energistyrelsen 1995

## 8 Konvertering til biomasse og fjernvarme

### 8.1 Indledning

Dette afsnit omhandler potentialer for at omlægge erhvervslivets brændselsforbrug til biomasse hhv. fjernvarme og af denne vej opnå reduktioner i erhvervslivets CO<sub>2</sub>-emissioner. Afsnittet omhandler således ikke et direkte energisparepotentiale.

Det har i kortlægning af mulighederne vist sig, at en vurdering af potentialer og tilbagebetalingstider er vanskelig. Det skyldes dels at der ikke foreligger undersøgelser af teknisk/økonomiske potentialer, dels at aktuelle undersøgelser af den fremtidige udbygning af fjernvarmenettene ikke redegør for omkostningerne og tilbagebetalingstider ved at udbrede fjernvarmedistributionen til erhvervskunder.

### 8.2 Teknologiens anvendelse

Anvendelsen af biomasse – herunder affald - i erhvervslivet er i dag relativt begrænset, men sker på følgende hovedområder:

- Virksomheder med restprodukter der kan anvendes som brændsel (for eksempel i træindustrien)
- Virksomheder der har relativt store rumvarmeformål, der for eksempel kan dækkes ved brug af træpillefyr. Også andre brændsler kan komme på tale, for eksempel anvender Danish Crown animalsk fedt i separate kedler til rumvarmeformål (rumvarme og varmt vand til rengøringsformål)
- Virksomheder med store roterovne, hvor kul kan suppleres med diverse affaldsprodukter (plast, gummi (dæk) m.m.)
- Virksomheder med spildevandsbehandling, hvor biogas fra renseanlægget udnyttes i kedler eller til elproduktion

Nedenstående tabel viser den samlede nuværende anvendelse af biomasse i erhvervslivet fordelt på landbrug og fiskeri, industri og privat handel og service.

Energikilde	PJ			
	Landbrug og fiskeri	Industri	Privat handel og service	Total
Halm	2,5	0,0	0	2,5
Træaffald	0,1	2,8	0	2,9
Biogas	0	0,01	0	0,01
Affald	0	1,6	0	1,6
Biobrændsel i alt	2,6	4,5	0	7,1
Samlet forbrug af brændsel og fjernvarme incl. til arbejdskørsel	36,7	91,4	25,4	153,4

*Tabel 8.1. Anvendelse af biomasse i erhvervslivet (2006). Indenfor landbrug og fiskeri udgør arbejdskørsel et forbrug på 25,8 PJ/år ud af det samlede forbrug på 36,7 PJ/år. I øvrige sektor udgør arbejdskørsel hhv. 0,6 PJ/år (industri) og 0,4 PJ/år.*

Indenfor landbrug og fiskeri er der næsten udelukkende tale om anvendelse af halm i landbrugssektoren, medens biomasseanvendelsen indenfor industri først og fremmest består i:

- Anvendelse af træaffald i træ- og møbelindustri (2,6 PJ)
- Anvendelse af affaldsprodukter ved fremstilling af cement (1,1 PJ)
- Anvendelse af træaffald og affald i slagterier (0,4 PJ)

Den relativt begrænsede udbredelse af biomasse som brændsel i erhvervslivet kan delvist henføres til afgiftslovgivningen vedr. rumvarme, let proces og tung proces, se priserne i tabel 8.2.

	Rumvarme	Let proces	Tung proces
<i>Biobrændsler</i>	Kr./kWh		
Halm	0,137	0,137	0,137
Træflis	0,158	0,158	0,158
Træpiller	0,272	0,272	0,272
Energiafgrøder	0,216	0,216	0,216
<i>Fossil brændsel</i>	Kr./kWh		
Fuelolie	0,444	0,252	0,233
Naturgas	0,352	0,159	0,146

Tabel 8.2. *Energipriser på brændsler 2009\**.

(\* Priserne er beregnet på baggrund af Energistyrelsens "Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet". Til grundpriserne (2009 priser an værkt) er der tillagt de enkelte afgifter for de konkrete situationer. Afgiftssatserne er fra PWC's afgiftsvejledning som er baseret på Skats punktafgiftsvejledning).

I henhold til tabel 8.2 har anvendelse af biobrændsler til især rumvarmeformål betydelige fordele. Det skal bemærkes, at afgiftslovgivningen på flere områder er ændret per 1. januar 2010.

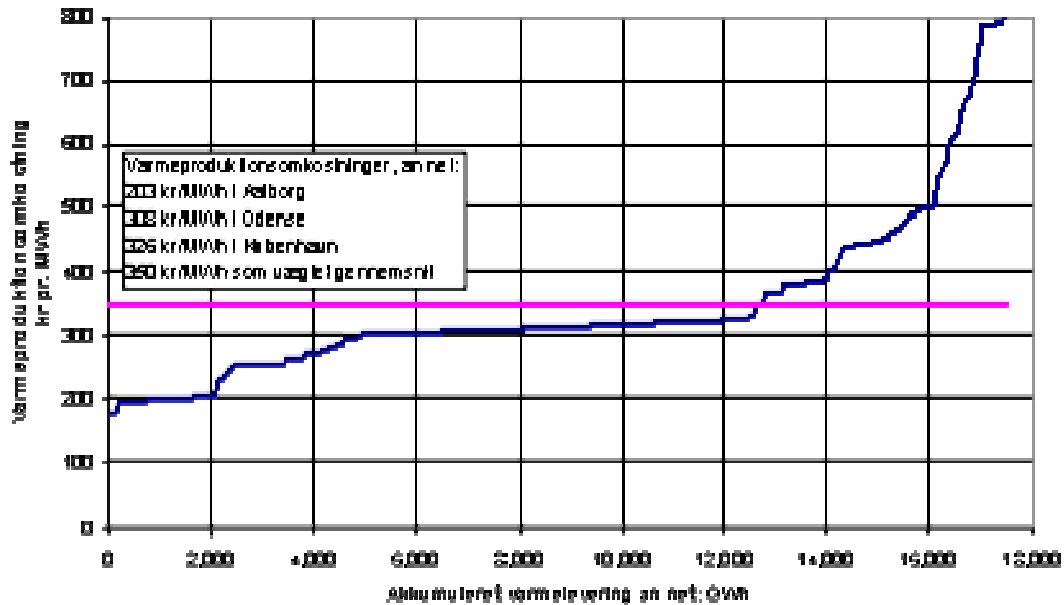
Udbredelsen af fjernvarme i hovedsektorerne er vist i tabel 8.3 nedenfor.

Slutanvendelser	Landbrug og fiskeri		Industri		Privat handel og service		I alt	
	TJ	%	TJ	%	TJ	%	TJ	%
Opvarmning / kogning	0	0	655	9	93	1	748	3
Tørring	0	0	293	4	286	2	580	2
Inddampning	0	0	674	9	0	0	674	3
Anden varme op til 150 °C	1.965	99	65	1	0	0	2.030	8
Rumvarme	19	1	5.460	76	16.279	98	21.759	84
I alt	1.985	100	7.149	100	16.660	100	25.794	100
Fjernvarmes %-andel af samlet varmemeforbrug	5,4	-	7,8	-	65,5	-	16,8	-

Tabel 8.3. *Anvendelse af fjernvarme i landbrug og fiskeri, industri og privat handel og service (2006).*

Anvendelse af fjernvarme til "anden varme op til 150 °C" indenfor landbrug og fiskeri dækker først og fremmest over varme leveret til gartnerier. For øvrige sektorer anvendes fjernvarme næsten udelukkende til rumvarmeformål.

Det skal bemærkes, at der er store forskelle på fjernvarmepriser på tværs af landet, se figur 8.1.



Figur 8.1. Fjernvarmepriser i danske fjernvarmenet sommeren 2008.

Der vil altså være store forskelle på hvor attraktivt det vil være for erhvervslivet at skifte fra brændsler til fjernvarme afhængigt af hvor i landet man befinder sig.

### 8.3 Teknologiuudvikling

Rent teknologisk pågår der i øjeblikket mange aktiviteter, der på sigt kan fremme anvendelse af biomasse i erhvervslivet:

- Forgasningsteknologi er modnet såvidt at mange faste brændsler i dag kan forgasses uden større tekniske problemer til gavn for kraftvarmedrift
- Automatiserede ("ubemandede") biomassekedler er under løbende udvikling
- Anlæg til fremstilling af biodiesel og bioethanol er etableret de senere år eller er aktuelt planlagt eller under opførelse
- Mindre Stirling-anlæg til elproduktion er kommercielt tilgængelige til gavn for eksempel elproduktion baseret på halm og andre "grove" biobrændsler

Som sådant er de rent teknologiske barrierer mod en øget anvendelse af biomasse under nedbrydning og den væsentligste barriere bunder i dag i priserne på biomasse samt pladsforhold.

Rent lovgivningsmæssigt er anvendelse af biomasse til elproduktion iflg. "Lov om fremme af vedvarende energi" og "Bekendtgørelse af lov om elforsyning" af 1. Januar 2009 søgt fremmet med tilskud på op til 40,5 øre per kWh el produceret på biomasse og 15 øre per kWh varme produceret på biomasse.

Ligeledes er en række initiativer iværksat under for eksempel regeringens "Grøn vækst" initiativ.

Hvad angår øget udnyttelse af fjernvarme arbejder mange fjernvarmeselskaber aktuelt med planer for en fremtidig udbygning af forsyningsområderne og har herunder fokus på afsætningsmuligheder i erhverv.

I Københavnsområdet ref. 1 (se [www.varmeplanhovedstaden.dk/files/otherfiles/0000/0039/VPH-hovedrapport.pdf](http://www.varmeplanhovedstaden.dk/files/otherfiles/0000/0039/VPH-hovedrapport.pdf)) forventes det således at fjernvarmeforsyningen inden for overskuelig fremtid kan udbygges med af størrelsesordenen 10 PJ/år blandet inden for større bygninger og erhverv (rumvarme).

I Odense ref. 2 har igangværende undersøgelser identificeret muligheder for at etablere nye fjernvarme-ledninger til gartnerier med en forventet fremtidig forsyning på op mod 100.000 MWh/år (360 TJ/år). Af dette potentiale er enkelte nye afsætningsmuligheder under realisering.

I Varmeplan Danmark ref. 14 opereres der samlet set ikke med nogen forventet stigning i anvendelse af fjernvarme til procesformål – dog nævnes gartneribranchen som en branche med fremtidige muligheder i takt med at gasmotorer pga. stigende gaspriser ikke er attraktive at drive længere.

Det skal endelig bemærkes, at afgiftsreglerne for nylig er ændret således at ikke-kvotebelagte virksomheder ikke skal betale CO<sub>2</sub>-afgift af fjernvarme der anvendes til let/tung proces såfremt fjernvarmen er produceret på kvotebelagte fjernvarmeværker.

## **8.4 Energiforbrug**

Erhvervslivets brændselsforbrug (inklusive biomasse og fjernvarme) er opgjort til i alt 153.497 TJ eller svarende til 42.638 GWh i 2006.

Tabel 8.4 viser brændsels- og fjernvarmeforbruget i de væsentligste brancher (inkl. arbejdskørsel).

Branche	Brændselsforbrug (2006) Konvertering til biomasse og fjernvarme	
	PJ	%
<b>Landbrug og fiskeri</b>	<b>36,7</b>	<b>24</b>
<i>Heraf</i>		
- Landbrug	19,3	13
- Gartneri	6,6	4
- Fiskeri	7,9	5
- Andet	3,8	2
<b>Industri</b>	<b>91,4</b>	<b>60</b>
<i>Heraf</i>		
- Udvinning af grus, ler m.v.	3,4	2
- Slagterier m.v.	3,3	2
- Forarbejdning og konservering af fisk m.v.	1,9	1
- Mejerier og isfabrikker	3,9	2
- Fremstilling af stivelsesprodukter	5,3	3
- Sukkerfabrikker og raffinaderier	3,5	2
- Drikkevareindustri	2,6	2
- Træindustri	2,9	2
- Papirindustri	2,6	2
- Mineralolieindustri	16,1	10
- Fremstilling af farvestoffer	1,5	1
- Medicinalindustri	2,2	1
- Fremstilling af rengøringsmidler m.v.	1,7	1
- Fremstilling af cement, mursten m.v.	12,4	8
- Fremstilling af produkter af beton m.v.	5,6	4
- Jern og stålværker	1,5	1
- Fremstilling af byggematerialer af metal	1,8	1
- Fremstilling af skibsmotorer m.v.	1,5	1
- Møbelindustri	1,7	1
- Andet	16,0	10
<b>Privat handel og service</b>	<b>25,4</b>	<b>17</b>
<i>Heraf</i>		
- Engros- og agenturhandel	7,0	5
- Detailhandel	3,8	2
- Hotel- og restaurationsvirksomhed	3,6	2
- Rådgivningsvirksomhed m.v. rengøringsvirksomhed	4,7	3
- Forlystelse, kultur og sport	2,2	1
- Andet	4,1	3
<b>I alt</b>	<b>153,5</b>	<b>100</b>

Tabel 8.4. Erhvervslivets brændsels- og fjernvarmeforbrug 2006 (inkl. arbejdskørsel).

Samlet set udgør fjernvarme og biobrændsler jævnfør tabel 8.1 og 8.3 knap 33 PJ ud af det samlede brændsels- og fjernvarmeforbrug i 2006 på 153,5 PJ.

## 8.5 Tekniske energibesparelsmuligheder

Set fra et økonomisk synspunkt er der med den nuværende afgiftslovgivning følgende muligheder for øget anvendelse af biomasse:

1. Anvendelse af biomasse til rumvarmeformål
2. Anvendelse af biomasse til procesvarmeformål
3. Udnyttelse af biogas fra spildevandsbehandling
4. Udnyttelse af biomasse i rotérovne

Nedenfor gives potentiale vurdering for hvert af disse områder medens potentialer for at udbrede fjernvarme behandles sidst i afsnittet:

### 8.5.1 Biomasse til rumvarmeformål

Det samlede rumvarme forbrug i 2006 er vist i tabel 8.5 nedenfor:

Sektor	Rumvarme forbrug PJ	Biomasse PJ	Fjernvarme PJ
Landbrug og fiskeri	0,24	2,6	1,98
Industri	16,85	4,5	7,15
Privat handel og service	23,58	0	16,66
Total	40,68	7,1	25,79

Tabel 8.5. Rumvarme forbrug, biomasse- og fjernvarmeanvendelse i hovedsektorer (2006).

Det ses, at det specielt er i industrisektoren at der fortsat er et rumvarme forbrug, der rent teknisk kan dækkes med biomasse – et potentiale på op mod 5 PJ/år.

Det vurderes, at en relativt stor del af industrien (80 % af energiforbrug) ligger i umiddelbar tilknytning til fjernvarmenet og at halvdelen af den resterende del svarende til 10 % af energiforbruget (til rumvarme) mht. udformning af varmedistributionssystemer m.m. vil kunne anvende separate biomassekedler til rumvarmeformål. Tilbagebetalingstiden vil ligge fra 2 år og op til 10 år (ref. 5-7).

Indenfor privat handel og service er der et samlet potentiale for at udnytte biomasse til rumvarmeformål af størrelsesordenen 5 PJ per år, hvilket kan realiseres med de samme afgiftsfordele som i industrisektoren.

Af dette potentiale vurderes af størrelsesordenen 20 % at ligge uden for fjernvarmeområder – det vurderes at dette potentiale kan realiseres med tilbagebetalingstider mellem 2 år og 10 år.

Det skal bemærkes at en del af rumvarmepotentialet måske mere attraktivt vil kunne dækkes med intern udnyttelse af overskudsvarme – se afsnit om dette.

### 8.5.2 Biomasse til procesvarmeformål

Anvendelse af biomasse og affald til procesenergiformål rummer teknisk set store potentialer i mange sektorer:

- Biomassekedler forventes at få stigende potentiale i specielt større kvotebelagte virksomheder. Enkelt virksomheder (Akzo Nobel i Mariager og Dalum Papirfabrik i Odense) har etableret store biobrændselskedler og aktuelt undersøger flere større virksomheder inden for eksempel fødevarerindustrien tilsvarende muligheder (ref. 3, 4) - herunder med samtidig eksport af fjernvarme til nærtliggende fjernvarmenet.



- Udnyttelse af mask fra bryggerier til biogasproduktion eller direkte afbrænding i kedler (efter presning/for-tørring) forventes ligeledes at kunne udgøre et potentiale.
- Organisk affald fra farma- og biotekproduktion udgør et potentiale, eksempelvis har virksomheder som Novo Nordisk og Novozymes store mængder organisk affald (slam) med anvendelsespotentialer
- Råvarerester og ”reminens” i fødevarer ingrediensvirksomheder som CP Kelco og Palsgaard indeholder også store potentialer for afbrænding eller forgasning.
- Udnyttelse af animalsk fedt fra slagterier udgør et potentiale (Danish Crown anvender som anført ovenfor allerede animalsk fedt til rumvarmeformål).

Der er dog i stort set alle tilfælde tale om at biobrændselsanlæg har tilbagebetalingstider på 5-6 år eller derover som følge af at der udover kedelombygninger også skal etableres lagerbygninger, transportsystemer m.m.

Samme vurdering gives af kedelleverandører ref. 5, 6, 7 - der er mange muligheder for at etablere biomassebaserede kedelanlæg til procesformål, men tilbagebetalingstiderne vil oftest være op mod 10 år, hvilket ligger over erhvervslivets normale krav til rentabilitet.

Hvad angår de organiske affaldsprodukter er der i mange tilfælde tale om, at disse i forvejen anvendes til foder- og/eller til gødningsformål. Da afgiftslovgivningen ikke er til fordel for anvendelse af affald til procesenergiformål er også sådanne muligheder forbundet med lange tilbagebetalingstider.

Det vurderes, at af størrelsesordenen 50 % af procesenergiforbruget (dvs. 50 % af ca. 75 PJ/år) mht. pladskrav, temperaturkrav m.m. kan omlægges til biomasse med tilbagebetalingstider mellem 4 og 10 år. Vurderingen bunder blandt andet i at anlæg beliggende i byområder næppe er realistiske, samt at en del af procesenergiforbrug ligger ved temperaturniveauer hvor biomasseanlæg ikke er teknisk/økonomisk attraktive.

Forhold omkring et ”grønt image”, CO<sub>2</sub>-neutrale produkter m.m. kan måske ændre på potentialerne i fremtiden og ansporer allerede en række virksomheder til at vurdere større biomasseløsninger ref. 3, 4.

### **8.5.3 Udnyttelse af biogas fra spildevandsbehandling**

Elproduktionstilskuddet medfører, at rentabiliteten ved at producere el af biogas fra spildevandsbehandling er bedre end tidligere.

Der er potentiale for dette i en række fødevarer virksomheder (kartoffelmel, mælkepulverfabrikker, sukker, bryggerier m.m.), hvor spildevand indeholde organisk materiale der forrådnese.

Iflg. ref. 8 er der forsat potentialer for sådan udnyttelse af biogas på en række fabrikker, men potentialet vurderes at være relativt begrænset.

Det vurderes at 15-20 PJ af procesenergiforbrug findes i sektorer med organisk affald i spildvandet – heraf kan udvindes 10 % biogas med 2-10 år tilbagebetalingstid. Af dette kan der opnås en varmeproduktion af størrelsesordenen 1 PJ/år

Hvis varme fra motor samtidigt udnyttes til rumvarmeformål kan der opnås lav tilbagebetalingstid på ned under 2 år ref. 4.

#### **8.5.4 Roterovne**

Virksomheder som Aalborg Portland ref. 9 har i vid udstrækning gjort brug af biomasse og affaldsprodukter i cementovne (roterovne) og der vurderes at der er en række muligheder for at gøre tilsvarende i andre ovne.

Aalborg Portland ref. 9 anvender i dag op mod 28-30 % alternative brændsler på ovne, der producerer ”grå” cement, og forventer at kunne øge op til 40 % i disse ovne, såfremt tilstrækkeligt med alternative brændsler kan tilvejebringes til acceptable priser. Pt. søger man pga. forbrændingsafgiften efter brændsler i Irland og Tyskland, men det forventes at selskaber der oparbejder industrielt affald til brændsler (”fluff”) vil opstå i Danmark, såfremt forbrændingsafgiften fjernes (behandles i EU).

Der er hos virksomheder som Saint-Gobain Weber (ref. 10) og Damolin (ref. 11) tilsvarende planer om at øge mængden af biomasse og affald i rotérovnene.

Samlet bruges op mod 12 PJ/år brændsel i roterovne. Det vurderes, at af størrelsesordenen 10 % yderligere brændsel kan substitueres med biomasse/affald.

Også i teglværksbranchen er der planer om at undersøge mulighederne for at bruge biomasse, hvilket markedsmessigt kan være nødvendigt i fremtiden, da mursten og tegl i livscyklusanalyser angives at have meget stor CO<sub>2</sub>-belastning.

Hvad angår potentialet for øget udnyttelse af fjernvarme må potentialet opgøres ift.:

5. Øget anvendelse af fjernvarme til rumvarmeformål
6. Øget anvendelse af fjernvarme til procesformål

#### **8.5.5 Rumvarmeforbruget**

For rumvarmeforbruget er det ovenfor vurderet, at langt størstedelen (80 %) af rumvarmeforbruget i industrivirksomheder ligger på indenfor fjernvarmenettene.

Det vurderes at op i mod 2 PJ/år rent teknisk vil kunne dækkes via fjernvarme. Analyser af fjernvarmepriserne ref. 17 viser dog, at det kun er af størrelsesordenen 27 % af fjernvarmeværkerne der rent prismæssigt er konkurrencedygtige med olie- og naturgasprisen med de gældende afgifter. Det vurderes i ref. 17 at det specielt er i de store centrale byer baseret på kulkraft, at fjernvarmeprisen vil kunne konkurrere.

Et igangværende projekt i københavnsområdet ref. 15 har vist, at konvertering af rumvarme fra naturgas til fjernvarme på en mindre virksomhed med umiddelbar adgang til fjernvarme har en tilbagebetalingstid af størrelsesordenen 4-5 år (dog betinget af ”et forventet godt tilbud” fra fjernvarmeselskabet).

Et andet igangværende projekt ref. 16 i københavnsområdet forventes at afsætte op mod 0,4 TJ fjernvarme med en investering der har en forrentning på 11 % - svarende til en tilbagebetalingstid af størrelsesordenen 9 år.

I privat handel og service er det af størrelsesordenen 4 PJ/år der i dag ikke forsynes med fjernvarme trods beliggenhed i fjernvarmeområder.

Det er i ref. 17 vurderet, at fjernvarme med de gældende afgifter i langt de fleste tilfælde (78 % af fjernvarmeværkerne) vil være et prismæssigt konkurrencedygtigt alternativ til olie/naturgas. Det vurderes, at halvdelen af dette potentiale kan konverteres til fjernvarme med rimelige tilbagebetalingstider.

Det vurderes samlet set at ca. 4 PJ/år af energiforbruget til rumvarme i erhvervslivet kan konverteres til fjernvarme med tilbagebetalingstider mellem 2 og 10 år.

### 8.5.6 Procesvarme

For procesvarmeforbruget er det afgørende hvilket temperaturniveau varme behøves ved. Nedenstående tabel 8.6 viser således de krævede temperaturniveauer for varme leveret til en række brancher.

Temperaturniveau (°C)	Nærings- og nydelsesmiddelindustri	Tekstil og beklædning	Træ- og møbel	Papir og grafik	Kemisk industri	Total	%
30-50	3,5	0,8	1,5	0,8	1,8	6,6	10
50-75	7,0	1,6	1,2	1,6	1,8	13,2	19
75-100	14,0	1,2	2,1	3,2	5,4	25,9	37
100-200	8,8	0,4	1,2	2,4	7,2	20,0	29
> 200	1,8	-	-	-	1,8	3,6	5
Sum						69,3	100

Tabel 8.6. Energiforbruget i udvalgte brancher (TJ) fordelt på temperaturniveauer ref. 13.

Det vurderes, at af størrelsesordenen 25 PJ/år varme i erhvervslivet behøves ved temperaturer under 75 °C. Heraf skønnes 80 % eller ca. 20 PJ/år beliggende i fjernvarmeområder.

Det vil i mange tilfælde være uforholdsmæssigt dyrt at omlægge varmedistributionssystemer fra damp til fjernvarme, hvorfor potentialet for at anvende fjernvarme maksimalt vil være 5 PJ/år med en tilbagebetalingstid mellem 2 og 10 år. Jævnfør prisvurderingerne i ref. 17 vurderes det, at et realistisk potentiale er af størrelsesordenen 2 PJ/år såfremt tilbagebetalingstider op til 10 år accepteres.

## 8.6 Adfærdsmæssige energibesparelsmuligheder og vedligehold

Ikke relevant

## 8.7 Besparelspotentiale

Det samlede potentiale ved at omlægge fossile brændsel til biomasse eller fjernvarme skal ses i forhold til erhvervslivets samlede brændselsforbrug og beregne i form af CO<sub>2</sub>-reduktion.

Det samlede brændselsforbrug på 153,4 PJ er fordeles som følgende:

- Landbrug – i alt 36,7 PJ/år
  - Arbejdskørsel 25,8 PJ/år
  - Rumvarme 0,2 PJ/år
  - Andet og proces 10,7 PJ/år
- Industri – i alt 91,4 PJ/år
  - Arbejdskørsel 0,6 PJ/år
  - Rumvarme 16,4 PJ/år
  - Andet og proces 74,4 PJ/år
- Privat handel og service - i alt 25,4 PJ/år
  - Arbejdskørsel 0,4 PJ/år
  - Rumvarme 22,0 PJ/år
  - Andet og proces 3,0 PJ/år

Der fås med udgangspunkt i denne fordeling nedenstående potentiale vurdering med procentangivelser set i forhold til erhvervslivets samlede brændselsforbrug (153,4 PJ/år).

	2 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% CO <sub>2</sub> - reduktion i omfattet udstyr	% CO <sub>2</sub> - reduktion i alt	
Biomasse til rumvarme	0	100	0	20
Biomasse til procesvarme	0	100	0	20
Biogas fra spildevand	0	100	0	20
Biomasse i roterovne	0	100	0	20
Fjernvarmekonvertering	1	60*	1	20
Tekniske muligheder i alt			1	
Adfærd			0	
Totalt			1	

*Tabel 8.7. Potentialer for konvertering til biomasse og fjernvarme med tilbagebetalingstid på 2 år*

(\*det skønnes at CO<sub>2</sub>-fortrængningen ved brug af fjernvarme svarer til 60 % af energimængden).

	4 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% CO <sub>2</sub> - reduktion i omfattet udstyr	% CO <sub>2</sub> - reduktion i alt	
Biomasse til rumvarme	1	100	1	20
Biomasse til procesvarme	5	100	5	20
Biogas fra spildevand	1	100	1	20
Biomasse i roterovne	1	100	1	20
Fjernvarmekonvertering	2	60	1	20
Tekniske muligheder i alt			9	
Adfærd			0	
Totalt			9	

*Tabel 8.8. Potentialer for konvertering til biomasse og fjernvarme med tilbagebetalingstid på 4 år.*

	10 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% CO <sub>2</sub> - reduktion i omfattet udstyr	% CO <sub>2</sub> - reduktion i alt	
Biomasse til rumvarme	1	100	1	20
Biomasse til procesvarme	25	100	25	20
Biogas fra spildevand	1	100	1	20
Biomasse i roterovne	1	100	1	20
Fjernvarmekonvertering	4	60	2	20
Tekniske muligheder i alt			30	
Adfærd			0	
Totalt			30	

Tabel 8.9. Potentialer for konvertering til biomasse og fjernvarme med tilbagebetalingstid på 10 år.

### 8.7.1 Fordeling på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder

Da en stor del af potentialet for at opnå CO<sub>2</sub>-besparelser ligger indenfor konvertering af kedler til biomasse vurderes, det at størstedelen af potentialerne angivet ovenfor ligger inden for kvote-virksomheder.

Det skyldes først og fremmest, at større biomassekedler alt andet lige er relativt mere rentable end mindre anlæg, sekundært skyldes det, at forventede, stigende CO<sub>2</sub>-kvotepriser for en vis dels vedkommende vil medfinansiere sådanne løsninger.

## 8.8 Sammenligning med 1995-potentialet

Potentialet for omlægning til biomasse og/eller fjernvarme er ikke behandlet i Teknologikataloget fra 1995.

## 8.9 Referencer

1. Samtaler og møder mellem Viegand & Maagøe og CTR/VEKS, 2009
2. Telefonsamtaler med og rapport fra Odense Fjernvarme om udnyttelse af fjernvarme til gartnerier.
3. Møder og telefonsamtaler med Arla Foods, 2008-2009.
4. Diverse arbejdsnotater om indsatsområder for effektivisering af energiforbruget hos CP Kelco
5. Telefonsamtaler med Lars Jacobsen, Hollensen Energy A/S
6. Telefonsamtaler med John Myrup, Weiss
7. Telefonsamtaler med Palle Jensen, Dansk Energi Service
8. Telefonsamtaler Erik Nørgård, Decentrale Kraftvarmeværker
9. Telefonsamtale med Aalborg Portland
10. Telefonsamtale med Saint-Gobain Weber, 2009
11. Telefonsamtale Damolin, 2009
12. Telefonsamtale med Vesterled Tegl
13. DK-Teknik: Industrien som varmekunde, 1988
14. Varmeplan Danmark
15. Energisyn hos Dyrups A/S, Viegand & Maagøe, 2009
16. Samtaler med Vestforbrændingen og Rambøll om fjernvarme i Bagsværdområdet.
17. Arbejdsnotat "Anvendelse af fjernvarme i virksomheder", udarbejdet af John Tang, Dansk Fjernvarme, Januar 2010.02.24

## 9 Belysning

Udarbejdet af Dansk Center for Lys 2009, Vibeke Clausen & Kenneth Munck.

### 9.1 Indledning

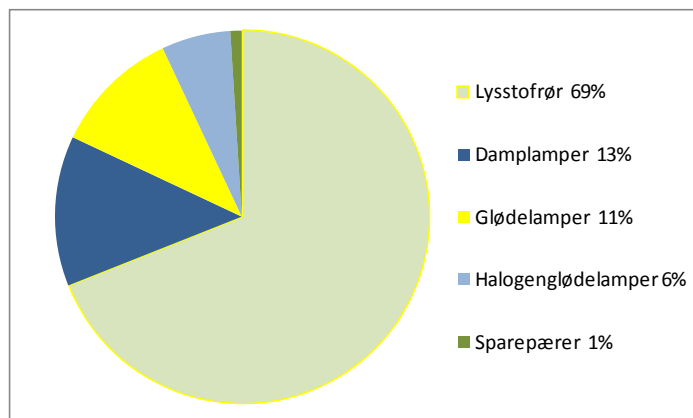
Dette afsnit omhandler elforbruget til belysning af indendørs arbejdspladser, fællesområder samt færdselsarealer i erhvervslivet. Elforbruget til styring og regulering af kunstlyset indgår i afsnittet.

### 9.2 Teknologiens anvendelse

Den indendørs belysning omfatter almen belysning i arbejdslokaler og færdselsarealer samt arbejdsbelysning på arbejdspladserne. Tilsammen skal den faste belysning og arbejdsbelysningen opfylde kravene i DS700 – kunstig belysning i arbejdslokaler. Elforbruget indenfor normal arbejdstid til almen belysning og arbejdslamper indgår i beregningen af erhvervsbygningers energimæssige ydeevne iht. til BR08 og SBI-anvisning 213, når det gælder sektoren privat handel og service.

Foruden almen belysning og arbejdsbelysning anvendes anden belysning som effektbelysning, plantebelysning mv. Denne belysning ligger udover DS700's krav til arbejdsbelysning, men er nødvendig af hensyn til rumoplevelse, eksponering af varer, planters vækstbetingelser o. lign. Denne belysning, som kan være ret så omfattende i salgslokaler, butikker, storrumskontorer, medtages ikke direkte i erhvervsbygningers elforbrug iht. energiberegningen i BR08, men medtages udelukkende som varmetilskud til bygningen. Anden belysning er sjældent brugt i industrien og i landbruget.

Hovedparten af belysningen dækkes i industrien af lysstofrør og damplamper, i landbruget af lysstofrør og glødelamper, mens der i gartnerier næsten udelukkende benyttes damplamper. I de øvrige erhverv anvendes typisk lysstofrør, men også mange halogen- og glødelamper. Det skønnes, at elforbruget samlet for erhvervet er fordelt på flg. lyskildetyper: 69 % lysstofrør, 13 % damplamper, 11 % glødelamper, 6 % halogenglødelamper og 1 % sparepærer, se figur 9.1.



Figur 9.1. Elforbruget i erhvervslivet fordelt på lyskildetyper.

### 9.3 Teknologiuudviklingen

Udviklingen er gået og går fortsat mod anvendelse af mere effektive lyskilder og armaturer, brug af elektroniske forkoblinger samt ikke mindst mod flere belysningsanlæg med styring og regulering af kunstlyset efter dagslysniveau, bevægelse, arbejdstid og pauser mv. Hertil kommer en løbende udvikling og tilpasning af lyskilderne, som f.eks. udvikling af nye og mere effektive ”erstatningslyskilder” for glødelamper og halogenglødelamper. Eksempler herpå er nye typer ”glødelampelignende” sparepærer, halogenglødelamper og LED med Edison-skruegevind.

Metalhalogenlampen (som er i familie med højtryk kviksvølvlamperne) har typisk været meget kraftige lyskilder, men findes nu i stadig mindre wattager og med lavere lysudsendelse, så de bliver mere interessante indendørs. Metalhalogen har en god farvegengivelse over Ra 85 og en høj effektivitet (> 80 lm/W). Metalhalogenlamper vinder derfor frem i højloftede industrihaller, som spotlights i butikker samt i de centrale atrier i større kontorbygninger.

I øvrigt vil en del af de mere ineffektive lyskilder blive udfaset som et resultat af det netop gennemførte europæisk Eco-design direktiv (ref. 11). De matte glødelamper vil blive udfaset i løbet af 2009, herefter udfases de klare glødelamper i tiden frem til 2012 og kviksvølvlamper i løbet af de kommende 6 år. I samme tidsrum vil kravene til de øvrige lyskilders energieffektivitet blive skærpet. Tilsvarende vil de mindst energieffektive konventionelle forkoblinger blive udfaset i løbet af de kommende år, ligesom der vil blive stillet krav til armaturernes effektivitet i kontorsammenhæng.

Selv om LED-teknologien ikke er fuldt udviklet, så kan der allerede i dag opnås elbesparelser inden for belysningsområdet – dog primært i nicheanvendelser. Det forventes, at LED i løbet af de næste 3-5 år bliver energimæssigt interessante til en række belysningsløsninger både indendørs og udendørs. LED-lyskilder er i dag endnu ikke så effektive som lysstofrør, men er i en række tilfælde betydeligt mere effektive end glødepærer og halogenpærer. LED kan give lange levetider, til gengæld er lysfarven ofte kold og farvegengivelsen er i en række tilfælde for dårlig til arbejdsbelysning (dvs. under Ra 80). LED med farvegengivelse over Ra 90 fås i dag, men de er dyrere og mindre effektive. LED er desuden for de bedste vedkommende mere effektive end sparepærerne og tegner på mange måder til at blive fremtidens energisparelyskilde.

Differentieret belysning med loftsbelysning til den generelle færdsels- og rengøringsbelysning suppleret med arbejdsbelysning i forbindelse med de enkelte arbejdspladser har længe været den almindelige løsning i kontorer og i visse butikker. Denne belysningsform ventes også at vinde indpas i en række andre arbejdspladser i industri og landbrug. Det at centrere lyset omkring arbejdspladserne vil betyde en elbesparelse i almen belysningen.

Styring og regulering af kunstlyset efter dagslysfald samt bevægelsesmeldere, der slukker lyset automatisk, når lokalerne forlades, er en helt almindelig løsning for nye belysningsanlæg, men kan være vanskeligt at indføre i eksisterende byggeri uden at man skal skifte hele belysningsanlægget og installationen. Heldigvis er ny teknologi på vej, hvor det er muligt at kommunikere med armaturerne trådløst. I takt med at denne teknologi udvikles, vil det blive billigere og lettere at installere dagslysstyring både i eksisterende bygninger og i nybyggerier. Trådløs kommunikation gør det også enklere og på sigt billigere at installere bevægelsesmeldere og dermed i højere grad behovsstyre belysningen.

På trods af systematisk arbejde med elbesparelser og stadige stramninger i lovkrav og energimærkning er der i Danmark stadig et meget stort urealiseret elbesparelspotentiale på belysningsområdet. Dette skyldes, at der er et vist efterslæb ved implementering af ny teknologi, som f.eks. elektroniske forkoblinger, T5 lysstofrør og ny lysstyring, dels på grund af prisen, dels på grund af en generel usikkerhed og uvidenhed omkring produkternes virkemåde og holdbarhed. Da det samtidig ikke altid er muligt isoleret at skifte enkeltdele i belysningen, er tilbagebetalingstiderne lange (typisk omkring 8 år). Dermed er hel og delvis energirenovering ofte urentabel, når elbesparelsen alene – uden hensyn til udstyrets ælde og slid – skal finansiere udskiftningen.

## 9.4 Elforbrug

Erhvervslivets elforbrug til belysning er ifølge ref. 1 opgjort til 13.716 TJ (3.810 GWh) i 2006. Det er 21 % af erhvervslivets samlede elforbrug. Tabel 9.1 viser elforbruget i de brancher, hvor det absolutte elforbrug til belysning er størst. Især detailhandel og engros-handel har et stort elforbrug til belysning.

Branche	Elforbrug (2006)	
	PJ	%
<b>Landbrug og fiskeri</b>	<b>1332</b>	<b>10</b>
<i>Heraf</i>		
- Landbrug	522	4
- Gartneri	729	5
<b>Industri i alt</b>	<b>2758</b>	<b>20</b>
<b>Privat handel og service</b>	<b>9626</b>	<b>70</b>
<i>Heraf</i>		
- Handel med biler, autorep., servicestationer	745	5
- Engros- og agenturhandel	2075	15
- Detailhandel	3277	24
- Hotel- og restaurationsvirksomhed	556	4
- Finans- og forsikringsvirksomhed	394	3
- Rådgivningsvirksomhed m.v.	1329	10
- Forlystelser, kultur og sport (markeds-mæssig)	699	5
<b>I alt</b>	<b>13.716</b>	<b>100</b>

Tabel 9.1. Elforbrug til belysning i 2006, udspecificeret på de vigtigste brancher, iflg. ref. 1.

I landbruget er næsten al belysning almen belysning. I industrien skønnes den almene belysning at udgøre omkring 95 % af belysningen, mens de resterende ca. 5 % er arbejdsbelysning. På kontorer er elforbruget til almen belysning ca. 80 % af det samlede elforbrug og arbejdslamperne skønnes at udgøre omkring 20 %.

I detailhandelen er der kun få arbejdslamper. Til gengæld er anden belysning (spotlights og effektbelysning) udbredt med et forøget elforbrug til følge. I rapporten "Energieffektiv Belysning i Handels- og Servicesektoren, markedsundersøgelse fra 2000" (ref. 6) er vist elforbrug, der varierer fra 12,3 kWh/m<sup>2</sup>/år for gangområder i butikker (almen belysning) op til 450 kWh/m<sup>2</sup>/år for udstillingsområder (anden belysning). Skønsmæssigt fordeler elforbruget sig som 55 % til den almene belysning, 5 % til arbejdsbelysning og 40 % til effektbelysning.



## 9.5 Tekniske energibesparelsemuligheder

Der er et stort besparelsepotentiale ved at anvende de mest energieffektive lyskilder, armaturer og forkoblinger, sørge for en god dagslysadgang til arbejdslokalerne samt udnytte de tilgængelige styrings og reguleringsmuligheder. Ud over elforbruget skal der naturligvis også tages hensyn til lyskvaliteten, således at arbejdsbelysningen fortsat opfylder DS700's krav til belysning (ref.10).

I virkningsgraden for et belysningsanlæg indgår virkningsgraden for lyskilden (inkl. evt. forkobling) og for armaturet. Den samlede virkningsgrad, kaldet belysningsvirkningsgraden, afhænger af rummets form og farver, armaturets og lyskildens virkningsgrad, lysfordeling samt placering. Med lyse rumfarver kan der i dag opnås belysningsvirkningsgrader på 25-80 % afhængig af belysningsformål.

Elforbruget afhænger herudover af graden af styring og regulering til nedsættelse af driftstiden, samt belysningsanlæggets vedligeholdelsestilstand. I det følgende gives en vurdering af besparelsepotentialet for de enkelte komponenter til belysning.

Lysstofrør med konventionel forkobling	Lysstofrør med lavtabs-forkobling	Lysstofrør med elektronisk forkobling	Lysstofrør med dæmpbar elektronisk forkobling og dagslysstyring	Lysstofrør med dæmpbar elektronisk forkobling, dagslysstyring og bevægelsesmelder
0% (T8)	-7% (T8)			
		-22% (T8) -42% (T5)	-55% (T8) -71% (T5)	-61% (T8) -82% (T5)

Figur 9.2. Besparelsepotentialet ved udskiftning/renovering af belysningen. Kilde ref. 3 og Dansk Center for Lys.

Det ses af figur 9.2, at der er store besparelsemuligheder, hvis man har et ældre og ueffektivt belysningsanlæg baseret på forældet teknologi. Det er således muligt at reducere elforbruget med op til 82 % ved at udskifte lysstofrørsanlæg med konventionelle forkoblinger med T5-lysstofrør med dæmpbare spoler, bevægelsesmeldere og dagslysstyring.

### 9.5.1 Lyskilder og forkoblinger

Valget af lyskilder har stor betydning fra den installerede effekt. Glødepæren er den mindst effektive lyskilde målt i lysmængde pr. tilført effekt, mens T5 lysstofrør med HF forkobling er blandt de mest effektive til indendørsbrug.

Fremkomsten af de såkaldte T5 lysstofrør har betydet en mere effektiv belysning, dels fordi lysstofrørets optimale temperaturområde passer bedre til temperaturforholdene inde i armaturerne, dels fordi et tyndere rør typisk betyder bedre optiske forhold og dermed bedre virkningsgrad for armaturerne.

Nye lysstofrørsanlæg anvender næsten udelukkende T5 lysstofrør med elektroniske forkoblinger, mens der stadig sidder mange T8 lysstofrør med konventionelle spoler i eksisterende belysningsanlæg. Ved at skifte fra T8 rør med konventionel forkobling til moderne T5 rør med elektronisk forkobling er energibesparelsen typisk 20-40 % (uden bevægelsesmeldere og dagslysstyring), se ref. 3.

Da elektroniske forkoblinger samtidig giver flimmerfri belysning og dermed en bedre arbejdsbelysning, bør konventionelle forkoblinger ikke fremover anvendes til arbejdsbelysning. De vil da også blive udfaset i løbet af de næste år som følge af den europæiske energilovgivning.

Glødepærer bør slet ikke anvendes i den faste belysning og kun undtagelsesvis i arbejdslamper. Udskiftes arbejdslamper med glødelys til arbejdslamper med halogenglødelamper spares typisk 60 %, og skiftes til arbejdslamper med kompaktør spares typisk 70 %.

Udskiftes glødelamper i andre armaturer til de bedste af de nyeste glødelampelignende halogenpærer, kan det give en reduktion i elforbruget på op til 50 %, mens udskiftning af glødelamper eller halogenglødelamper til sparepærer eller metalhalogenlamper kan give en reduktion i elforbruget på op til 80 %. Udskiftning af glødelamper til LED i belysningsanlæg i kolde omgivelser og i arbejds- og spotbelysning kan give en reduktion i elforbruget på 30 % stigende til 60 %, efterhånden som kvaliteten af lysdioderne forbedres. Halogenglødelamper anvendes i stort omfang til fast belysning i butikker og visse steder på kontorer. De bedste typer har en effektivitet op til 27 lm/W og kan være acceptable til nogle anvendelser, dog ikke til almenbelysning. Her bør i stedet anvendes lysstofrør, kompaktlysstofrør, sparepærer eller med tiden LED.

Halogenglødelamper med reflektor, som anvendes i effektbelysning, bør fortrinsvis være lavvolt-udgaver, som har bedre effektivitet og er mere retningsbestemte end tilsvarende 230V-udgaver.

Desuden er der kommet helt nye typer lyskilder på markedet, som f.eks. mindre, mere effektive og farvestabile metalhalogenlamper, de mindste typisk til i brug butikker, større wattager til industrien. Metalhalogenlamper vinder stigende indpas, hvor krav til spoteffekt og farvegengivelse er høje. Det kan være spots i butikker samt i større højloftede haller. Man skal dog være opmærksom på, at lyskilderne har lang gentændingstid, hvilket gør dem uegnede til brug i anlæg med dagslysstyring eller bevægelsesmeldere. Metalhalogenlamper har en effektivitet på omkring 80 lm/W afhængig af wattage, og giver en elbesparelse på omkring 65 % set i forhold til halogenglødelamper.

Til gengæld vil almindelige kviksølvlamper ikke blive brugt i industrien i nye belysningsanlæg, da lyskilderne ikke opfylder de nuværende krav til farvegengivelse i arbejdslokaler, samtidig med at kviksølvlamper vil blive udfaset i løbet af de kommende år i henhold til nyeste EU-lovgivning.

Herudover kommer lysdioder, som står foran sit gennembrud, som seriøs lyskilde til brug i gartnerier, til loftsbelysning i gange, butikker og kontorer, til indbygning i maskiner samt som lyskilde i de mange arbejdslamper, der bruger overalt i erhvervslivet.

Ved at skifte lyskilder og forkoblinger til de mest energieffektive, som i dag er på markedet, skønnes det, at der kan spares 20-40 % af det samlede elforbrug.

### **9.5.2 Armaturer**

Armaturets virkningsgrad er vigtig. Udskiftes et mindre effektivt, ældre armatur med opal afskærmning til et moderne armatur med gitter (og T5 lysstofrør), vil der kunne spares 30-50 % af elforbruget.

Mens armaturvirkningsgraden alene er et mål for, hvor meget af lyskildens lysstrøm der kommer ud af armaturet, er belysningsvirkningsgraden et mål for, hvor meget lys der kommer på arbejdsplanet. Hvis armaturet er meget effektivt, men sender al lyset opad, bliver belysningsvirkningsgraden lav på grund af refleksionstab fra rummets overflader. Benyttes direkte lysende armaturer i et middelmørkt arbejdslokale i stedet for indirekte lysende armaturer kan man spare op til 50 % af elforbruget. Belysningsvirkningsgraden afhænger desuden af rummets udformning, overfladernes transmittans og armaturets monteringshøjde.

Ved alene at skifte til moderne armaturer, der i lysudsendelse passer bedre til det givne rum, skønnes det, at der gennemsnitligt kan opnås en besparelse på ca. 10-20 % af det samlede elforbrug som følge af en bedre udnyttelse af armaturerne.

### **9.5.3 Lysstyring**

Der kan også spares energi ved at styre eller regulere belysningsanlægget efter dagslysfaldet og den samlede belysning i rummene. Den kunstige belysning kan reguleres on/off, trinvist eller kontinuert. Kontinuert regulering bør normalt foretrækkes, fordi den virker mindst generende for brugerne.

I større rum kan belysningsanlægget opdeles i zoner med separate afbrydere, bevægelsesmeldere eller dagslyssensorer for at opnå størst mulig elbesparelse.

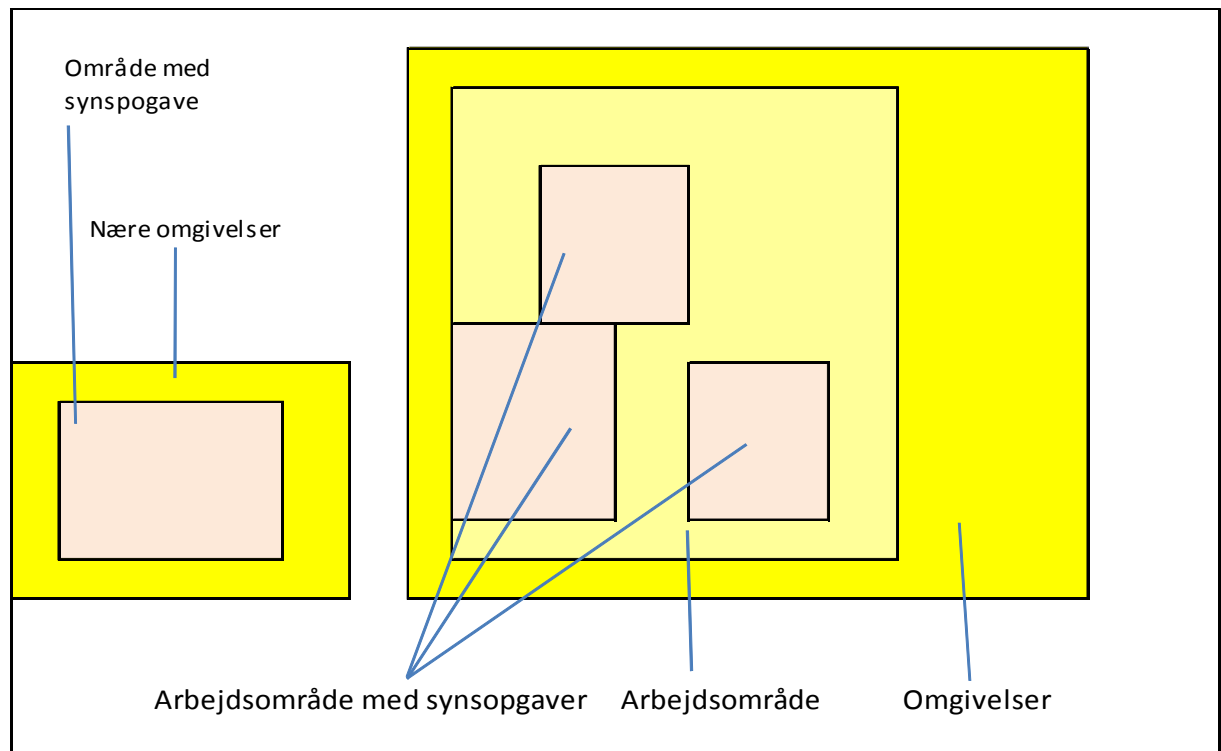
Med bevægelsesmeldere kan lyset tændes og slukkes, når lokaler bemandedes eller forlades. I mange bygninger kan elforbruget til belysning reduceres væsentligt ved automatisk at slukke lyset i rum, hvor der ikke er personer til stede. Med bevægelsesmeldere kan spares 5-10 % i større lokaler op til 50 % i små lokaler med få beskæftigede.

I forhold til et gammelt belysningsanlæg med T8 lysstofrør uden styring, kan der spares 50-70 % i industri- og lagerhaller med rigeligt og jævnt fordelt dagslys og op til 30-50 % i ikke for dybe kontorlokaler med sidevinduer.

For butikkerne vurderes besparelsen ved dagslysstyring normalt at være lille, da der normalt kun er beskeden og ujævnt fordelt dagslys i butikslokalet.

### **9.5.4 Differentieret belysning**

Ved at omlægge belysningen i industrien og i butikkerne, således at der er mest belysning (den almene belysning + arbejdsbelysning) i arbejdsområderne og mindre belysning i færdselsområderne (almen belysning), kan der spares energi samtidig med, at belysningskvaliteten forbedres. Det vurderes, at der herved kan opnås en besparelse på omkring 10-30 % af elforbruget. I de fleste kontorer benyttes allerede i dag differentieret belysning, mens man i industrien stadig mange steder næsten udelukkende har fast belysning med en jævn fordeling i arbejdslokalet.



Figur 9.3. Differentieret belysning giver både et lavere energiforbrug og en mere interessant belysning.

### 9.5.5 Rumfarver

Jo lysere rumfarver, jo større effektivitet af belysningen og jo mindre blanding.

Overfladernes lyshed har også indflydelse på dagslysniveauet, og dermed på elforbruget til kunstlys, såfremt der er dagslysstyring.

Besparesespotentialet må betragtes som lille, da der i dag fortrinsvis benyttes forholdsvis lyse rumfarver, og ofte anvendes nedadrettet belysning. Dette bør også fortsætte fremover, da et skift fra lyse til helt mørke overflader skønnes i gennemsnit at give et 15 % højere elforbrug.

### 9.5.6 Vedligehold

Under projekteringen af belysningsanlæg indgår vedligeholdelsesfaktoren (mellem 0 og 1) for kunstlyset. Da kravene til belysningsstyrken i givne arbejdssituationer er minimumsværdier over anlæggets levetid, overdimensioneres anlæggene ved projektering svarende til vedligeholdelsesfaktoren. I vedligeholdelsesfaktoren indgår udskiftningsintervaller for lyskilder, hvis lysudsendelse reduceres i løbet af levetiden, samt faktorer for tilsmudsning af armaturer og vægge. Vælges vedligeholdelsesvenlige armaturer og en god vedligeholdelsesstandard, kan man typisk spare op til 50 % af elforbruget til belysning. En efterfølgende dårlig vedligeholdelse betyder ikke et forøget elforbrug, men derimod for lidt lys og betyder, at belysningskravene i DS700 ikke overholdes.

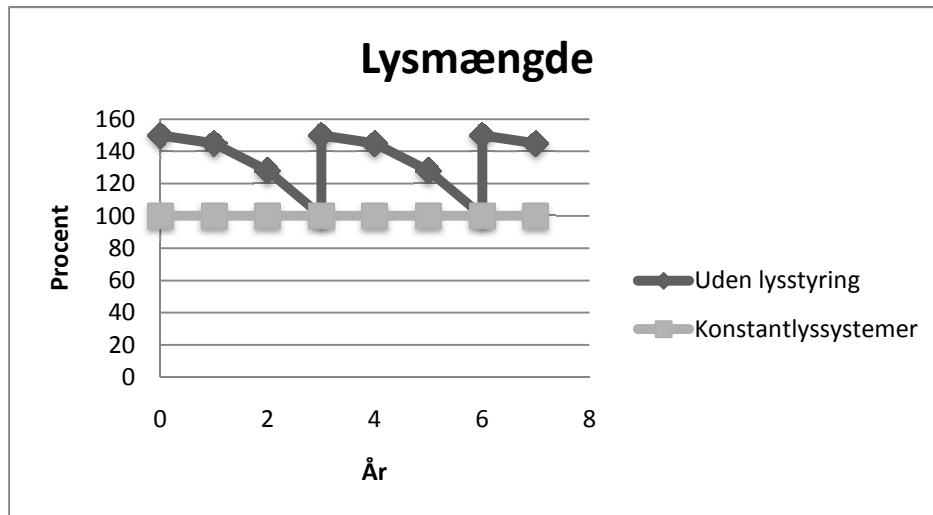
Ved at have en høj rengøringsstandard kan man reducere det nødvendige effektbehov, idet vedligeholdelsesfaktoren bliver højere. Anvendelse af lysstyringssystemer, hvor en sensor måler den tilstedeværende belysningsstyrke og indregulerer lysniveauet til den ønskede værdi (konstantlyssystemer), kan også reducere elforbruget. Det sker ved, at systemet løbende justerer lysniveauet til det ønskede niveau, og dermed reducerer den anvendte effekt. Alle lysstyringssystemer overdimensioneres som følge af vedligeholdelsesfaktoren.

Det betyder, at belysningsanlæg normalt overdimensioneres 40-50 % for at sikre tilstrækkelig med lys i hele levetiden. Ved at skrue ned for den udsendte lysmængde i starten, kan effektforbruget reduceres med ca. 20 % i hele levetiden.

I vedligeholdelsesfaktoren indgår lyskildernes lysstrømsnedgang samt rengøringsintervaller for armaturer og rum. Typiske værdier er

$$v = 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,74 = 0,67$$

for henholdsvis lysstrømsnedgang, rumtilsmudsning og armaturtilsmudsning. Beregningen viser, at et anlæg med de givne parametre overdimensioneres med  $1/0,67 = 50 \%$ .



Figur 9.4. Udsendt lysmængde med 3 års udskiftning af lyskilder og rengøring af armaturer ved hhv. konstantlyssystemer og ingen lysstyring. Konstantlyssystemer reducerer den anvendte effekt, hvorimod systemer uden lysstyring bruger samme energi i hele levetiden, men på grund af tilsmudsning og af ældning af lysstofrør reduceres lysmængden.

## 9.6 Adfærdsmæssige energibesparelsemuligheder

Den energirigtige adfærd omhandler slukning af lys. I mindre omfang er energirigtig adfærd også at tilpasse arbejdstider efter dagslyset og f.eks. lade rengøring foregå om dagen, hvor dagslyset kan udnyttes.

## 9.7 Besparelspotentialer

Besparelspotentialer er opgjort for erhvervslivet i år 2008 ud fra en simpel tilbagebetalingstid på 2 år, 4 år og på 10 år. Der er – naturligvis – tale om en overslagsmæssige opgørelser, idet der i hvert enkelt anlæg er meget store forskelle i lystekniske komponenter og i deres elforbrug, driftstimer, virkningsgrader, anvendelse osv.

### 9.7.1 Besparelser i industrien

I de lavloftede industrihaller og -lokaler bruger man i dag typisk mere effektive T5 lysstofrør i stedet for T8 lysstofrør, effektive armaturer med et enkelt i stedet for flere lysstofrør, armaturer med spejlende reflektorer i stedet for grundarmaturer eller simple kassearmaturer samt elektroniske forkoblinger i stedet for konventionelle forkoblinger.

Løsning 1:	Løsning 2	Løsning 3
42 stk. armaturer med 26 mm 58 W lysstofrør med lavtabsforkoblinger	42 stk. armaturer med 26 mm 58 W lysstofrør og elektroniske forkoblinger	35 armaturer med 16 mm 49 W lysstofrør med elektroniske forkoblinger
106 kWh/m <sup>2</sup> = 100 %	86 kWh/m <sup>2</sup> = 81 %	71 kWh/m <sup>2</sup> = 67 %

Tabel 9.2. Belysning af en 5 m høj industrihal på 192 m<sup>2</sup>. Belysning opsættes 4 meter over gulv og skal give 500 lux. Ref. 3.

I større haller med lysstofrør og rigeligt dagslysadgang gennem ovenlys vil on/off styring af kunstlyset efter dagslysmængden være den energirigtige løsning. Ved sidelys og dermed mere uregelmæssigt dagslysniveau vil man overveje styring/regulering af de zoner, der har mest dagslys.

### 9.7.2 Besparelser på kontorer

Energikrav i Bygningsreglement BR08 fra 2008 påvirker udformningen af belysningen. I nye kontorer, skoler, institutioner mv. med arealet A må det beregnede energiforbrug inkl. belysning ikke overstige  $(95 + 2200/A)$  kWh/m<sup>2</sup> pr. år. Belysningens elforbrug indgår med en faktor 2,5 ved sammenvægtning med det øvrige energiforbrug. Med en effektiv loftsbelysning suppleret med passende arbejdslamper, rigeligt dagslysfald i arbejdslokalerne og en effektiv styring af kunstlyset efter dagslys-niveau kan man forvente, at belysningens andel udgør omkring 20-25 % af bygningens samlede energiramme.

På kontorerne går udviklingen i retning af mere effektive lysstofrørs/kompaktlysstofrørs armaturer med dæmpbare elektroniske forkoblinger og belysningsanlæg, som inddeles i zoner, der styres kontinuert efter tilgængeligt dagslys. Desuden vil det i stigende grad være nødvendigt at vælge de mest effektive arbejdslamper med lysdioder, som er på vej ind på markedet.

Lokale og belysning	Variation	Effektoptag	Energiforbrug Be06 kWh/m <sup>2</sup> /år	Energiforbrug Be06 *2,5 kWh/m <sup>2</sup> /år
Standard-kontorlokale	Kontinuert automatisk regulering efter dagslys		9,7	24,3
	Automatisk on/off regulering efter dagslys	Almenbelysning: 6,7 W/m <sup>2</sup>	15,3	38,3
	Manuel betjening efter dagslys	Arbejdslamper: 800 W	15,9	39,5
	Uden dagslys- styring		18,2	45,5
	Almenbelysning og arbejdslamper med lavt effektoptag	Almenbelysning: 4,2 W/m <sup>2</sup> Arbejdslamper 192 W	4,9	12,3
	Loftsbelysning med lavt effektoptag Arbejdslamper med normalt effektoptag	Almenbelysning 4,2 W/m <sup>2</sup> Arbejdslamper 800 W	7,5	18,8

Tabel 9.3. FABA Light beregninger af elforbrug for et standardkontor i en fritliggende bygning. Der er vist resulterende elforbrug for et tilsvarende kontor med forskellige ændringer med hensyn til styring-/regulering samt effektoptag for almen- og arbejdslamper.

Ud fra ovenstående beregninger i tabel 9.3 kan det umiddelbart ses at:

- Anvendelse af dagslysstyring/-regulering i nye belysningsanlæg i de fleste tilfælde bliver en nødvendighed for at opfylde energibestemmelserne.
- Anvendelse af enten effektive belysningsanlæg med lavt effektoptag eller effektive arbejdslamper reducerer elforbruget til en vis grad.
- Samtidig anvendelse af effektive belysningsanlæg og effektive arbejdslamper er et virkningsfuldt virkemiddel til nedbringelse af elforbruget til belysning.

Desuden gælder følgende:

- Zoneinddeling af belysningsanlæggene efter dagslysniveau samt styring og regulering af almenbelysningen efter dagslysfald i de enkelte zoner er et effektivt middel til nedbringelse af elforbruget til belysning – kontinuert styring og regulering i lokaler med sidevinduer og on/off styring i haller med ovenlys.
- Rumdybden og dermed dagslysmængden i lokalets midterzone påvirker elforbruget til belysning i rum med sidevinduer. Rent belysningsmæssigt bør smalle bygningskropper med små rumdybder foretrækkes. Rumhøjden påvirker kun i mindre omfang elforbrug til belysning.
- Anvendelse af solafskærmende glas i stedet for energiruden påvirker elforbruget til belysning i meget negativ retning.

- Modstående bygninger eller andre skyggende genstande udenfor rummet reducerer dagslysindfaldet og påvirker elforbruget til belysning i negativ retning.

Den gennemsnitlige installerede effekt i kontorer lå ifølge Evers 1995 og Delta Lys og optik 1995, ref. 2, på 20-25 W/ m<sup>2</sup>. På Elsparefondens hjemmeside kan man se positivlister for de nyeste belysningsløsninger til kontorer, gange, undervisningslokaler mv. Best practice for disse belysningsanlæg med kontinuert dagslysstyring og bevægelsesmelder er for kontorlokaler omkring 5-7 W/m<sup>2</sup>, dvs. ca. 75 % lavere.

### 9.7.3 Besparelser i butikker

I butikkerne går udviklingen mod anvendelse af metalhalogenlamper i stedet for halogen-glødelamper i vindues- og effektbelysningen, ligesom mange almindelige glødelamper er erstattet af enten mere effektive halogen-glødelamper, sparepærer eller kompaktlystofrør. Ved udskiftning af halogen-glødelamper med metalhalogenlamper viser eksempler fra Energitjenesten, at der kan spares 25 % af elforbruget.

Udfasningen af glødelamper vil fortsætte i henhold til EU-lovgivningen på området, hvor matte glødelamper bliver udfaset fra september 2009, mens de klare glødelamper gradvist bliver udfaset i årene frem til 2012. Det vil også bidrage til et fald i elforbruget i butikker, specielt i de mindre butikker.

### 9.7.4 Besparelser i landbrug og fiskeri

I landbruget anvendes lysstofrør og sjældnere glødelamper eller dampplamper. Det skal tilføjes, at spildvarmen fra belysningen formentlig har betydning for opvarmning af lokalerne. Med udfasningen af glødelamper vil lysstofrør og sparepærer fuldstændigt tage over i de kommende år, hvilket giver en energibesparelse i landbruget på omkring 5 %.

I gartnerier er belysningen typisk bestemt af afgrødens krav til belysningsstyrke og spektrale sammensætning, og der vælges typisk 400 W højtryksnatriumlamper i effektive armaturer med spejlende reflektorer. Disse lyskilder vil i fremtiden formentlig blive erstattet af lysdioder, som egner sig til de lidt køligere driftsforhold, og som i kraft af deres størrelse bedre kan placeres tæt på afgrøderne og i øvrigt booste afgrøderne på grund af en bedre spektral tilpasning til planternes behov. Der arbejdes i øjeblikket på udvikling af belysnings-systemer baseret på LED, men det er ikke muligt på indeværende tidspunkt at skønne energibesparelsens størrelse i praksis.

### 9.7.5 Elbesparelsværktøjskasse

Da elbesparelsetiltag ofte er forskellige, afhængig af om det er nybyggerier eller eksisterende byggeri der skal vælges belysning til, er det to forskellige sæt værktøjer der skal anvendes når elforbruget skal reduceres.

#### Eksisterende byggeri:

Udskiftning til de mest energieffektive lyskilder kan reducere elforbruget med op til 10-60 %

Udskiftning af armaturer

Brug af bevægelsesmeldere kan give elbesparelser op til 60 %

Ombygning til et lavere niveau af almenbelysning og mere arbejdsbelysning kan give besparelser på 10-20 %



Installer dagslysstyring i lokaler med tilstrækkelig dagslys (30-60 %)  
Jævnlig rengøring af armaturer og vinduer (ca. 10 % elbesparelse)

**Nybyggerier/ nye belysningsanlæg:**

Dagslysstyring (med regulering)  
Bevægelsesmeldere  
T5 med elektronisk forkobling  
Effektive armaturer  
Gode dagslysforhold  
Lyse overflader  
Effektive lyskilder  
Høj rengørings- og vedligeholdelsesniveau af vinduer, vægge, lofter og armaturer  
Justerbar og bevægelig solafskærmning  
Natslukning af standby forbrug  
Differentiering af belysningsniveauer efter indretningsplan

**Hvad kan man spare?**

Dagslysstyring	10-60 %
Bevægelsesmeldere	10-60 %
T5 lysstofrør med HF frem for T8 konv. forkobling	20-40 %
Lyse vægge	10 %
Udskiftning til effektive armaturer (hvor de gamle er mere end 15 år)	15 %
Differentiering af belysningen (mod 500 lux overalt)	10-30 %

**9.7.6 Sammenfatning af besparelspotentialet**

Det er sjældent rentabelt at ombygge ældre belysningsanlæg. I stedet må man opsætte helt nye, moderne belysningsanlæg, og derfor bliver tilbagebetalingstiderne for energirenoveringer ret lange (typisk 6-8 år). Tilbagebetalingstiden vil typisk kun være lav, hvis der skiftes fra ueffektive lyskilder til mere effektive lyskilder, der "passer" i armaturet. Det er således kun ved skift fra glødepærer til sparepærer eller ved opsætning af bevægelsesmeldere, at der kan opnås tilbagebetalingstider under 2 år.

	2 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid år
	% af elforbruget, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet teknologi	% besparelse i alt	
Mere effektive lyskilder (udskiftning af glødelamper til sparepærer eller glødelampelignende halogenpærer)	9	50-70	5	½-2
Bevægelsesmeldere	25	10	2,5	10
Lysere rumfarver	25	10	2,5	
Tekniske muligheder i alt			10	
Adfærd			2	
Totalt			12	

Tabel 9.4. Besparelspotentiale for belysning ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag med 2 års tilbagebetalingstid.

	4 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid år
	% af elforbruget, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet teknologi	% besparelse i alt	
Mere effektive lyskilder (se tabel 9.4)	9	50-70	5	½-2
Bevægelsesmeldere	25	10	2,5	10
Lysere rumfarver	25	10	2,5	
Mere effektive armaturer (reflektorer på eksisterende lystofrørsarmaturer uden lysstyring)	10	20	2	10
Lysstyring – dagslys	5	80	4	10
Tekniske muligheder i alt			15	
Adfærd			2	
Totalt			17	

Tabel 9.5. Besparelspotentiale for belysning ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag med 4 års tilbagebetalingstid.

	10 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid år
	% af elforbruget, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet teknologi	% besparelse i alt	
Total udskiftning af belysningen med mere effektive lyskilder, armaturer inkl. lysstyring og bevægelsesmeldere	90	75	68	10

Tabel 9.6. Besparelspotentiale for belysning ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag med 10 års tilbagebetalingstid. (Adfærd er 0 %).

### 9.7.7 Fordeling på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder

Kvotevirksomheder i industrien og blandt gartnerier står kun for en meget lille del af elforbruget til belysning. Et skøn ud fra tabel 9.1 er 700 TJ/år. Det er ca. 20 % af industriens og gartneriernes elforbrug til lys og ca. 5 % af hele erhvervslivets elforbrug til belysning. Potentialerne for 2 og 4 års tilbagebetalingstid vedrører næsten ikke industri og gartnerier og dermed heller ikke kvotevirksomheder. Potentialet for 10 års tilbagebetalingstid vurderes derimod også at gælde for kvotevirksomhederne, der således står for ca. 5 % af dette potentiale.

	Energi- forbrug TJ/år	2 års tilbage- betalingstid		4 års tilbage- betalingstid		10 års tilbage- betalingstid	
		%	TJ/år	%	TJ/år	%	TJ/år
Kvotevirksomheder	700	0	0	0	0	68	476
Ikke-kvotevirks.	13.016	13	1.646	18	2.332	68	8.851
I alt	13.716	12	1.646	17	2.332	68	9.327

Tabel 9.7. Besparelspotentiale for teknologiområdet Belysning, opdelt på kvotevirksomheder og øvrige virksomheder.

### 9.8 Sammenligning med 1995 -potentialerne fra Teknologikataloget

I ref. 2 fra 1995 blev der foretaget en vurdering af ”her og nu” besparelspotentialet i 1995, se tabel 9.8. Ud fra datidens elpris på 35 øre/kWh er den gennemsnitlige tilbagebetalingstid opgjort i tabellen.

Elbesparelse %	Investering kr/kWh årlig elbesparelse	Gennemsnitlig tilbagebetalingstid År
0-10	0,5	1,4
10-20	1	2,9
20-30	2	5,7
30-40	3	8,7
40-50	5	14
50-63	10	29

Tabel 9.8. Besparelspotentialet ved belysning år 1995 iflg. ref. 2.

En sammenligning mellem potentialerne fra 1995 og denne undersøgelses resultater er vist i tabel 9.9. Den største forskel mellem de to sæt af potentialer er ved 10 års tilbagebetalingstid, hvor potentialet nu vurderes til 68 % mod 42 % i 1995. Forskellen er mest begrundet i fremkomsten af mere effektive lysstofrør samt nye og billigere styringer.

Tilbagebetalingstid År	Potentiale 1995 %	Potentiale 2008 %
2	8	12
4	21	17
< 10	42	68

Tabel 9.9. Sammenligning af besparelspotentialer år 1995 og år 2008.

## 9.9 Referencer

1. Kortlægning af energiforbruget i Erhvervslivet, Dansk Energi Analyse, Sept. 2008
2. Teknologikatalog – energibesparelser i erhvervslivet, Energistyrelsen, 1995
3. Industrie und Handwerk, Licht.wissen 05, Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2009
4. F&U 2005-2015 Energieeffektive teknologier, Energistyrelsen 2004.
5. Forskning og udvikling af energieffektive teknologier – Analyse, Birch & Krogboe A/S, 2004
6. Energieffektiv belysning i Handels- og Servicesektoren – markedsundersøgelse, Lysteknisk Selskab og Energy Piano, dec. 2000
7. Energisparekatalog i landbruget, Landbrugets Rådgivningscenter, 2. Udg. 2002
8. God og energirigtig industribelysning, Lysteknisk Selskab og Delta Lys & Optik, 1995
9. God og energirigtig butiksbelysning, Lysteknisk Selskab og Delta Lys & Optik, 1996
10. DS700 Kunstig belysning i arbejdslokaler
11. Eco-design direktiv 2005/32/EU om udfasning af lyskilder

## 10 Pumpning

### 10.1 Indledning

Teknologien pumpning omfatter pumper – og herunder vakuumpumper – med tilhørende rørledninger og ventiler m.m. En pumpe overfører energi fra typisk en elmotor til en væske eller en gas for at transportere det pågældende medie og/eller for at skabe et tryk.

### 10.2 Teknologiens anvendelse

Pumpning af væsker omfatter vand, olie, mælk, kemikalier, gylle m.v. samt væsker med opslemmede stoffer som cellulosefibre, kridt og gips. Vakuumpumper pumper gasser med henblik på at skabe et undertryk til brug i bl.a. inddampningsanlæg, pneumatisk transport, vakuumpakning, malkning og i trykkerimaskiner.

Pumpning bruges til at cirkulere eller transportere væsker og gasser og til at skabe trykforøgning. Cirkulation af væsker foregår i lukkede systemer uden noget resulterende løft af væsken. Eksempler herpå er centralvarmeanlæg og kølevandsanlæg. Transport af væsker foregår i åbne systemer og kan indebære et geometrisk løft eller fald af væsken. Eksempler på åbne systemer er pumpning mellem to beholdere og markvanding. Trykforøgning forekommer bl.a. i hydrauliske systemer og ved omvendt osmose.

Væskepumper kan efter type opdeles i centrifugalpumper, positivpumper og andre pumper (ref. 2). Af centrifugalpumper er radialpumper og aksialpumper de mest udbredte, idet de er simple, billige og robuste. Positivpumper – der også betegnes fortrængningspumper – yder en næsten konstant volumenstrøm, uanset modtrykket, og de kan i stilstand fastholde et positivt tryk. Eksempler på positivpumper er lamelpumper, tandhjulspumper, stempel-pumper og membranpumper. Andre pumpetyper omfatter bl. a. ejektorpumper (der bruger trykluft eller damp som drivkraft) og Archimedes snegl. Vakuumpumper er centrifugalpumper, positivpumper eller ejektorpumper.

### 10.3 Teknologiudviklingen

Omdrejningsregulering af pumper er blevet væsentligt mere udbredt i kraft af en relativ billiggørelse af frekvensomformere. En anden måde at omdrejningsregulere på er med PMSM-motorer (permanent magnet synkronmotorer), som blev taget i brug til små cirkulationspumper i 2005 og på det seneste også anvendes til større pumper.

For små cirkulationspumper op til 2,5 kW har den europæiske pumpefabrikantforening Europump indført en frivillig energimærkning (klasse A – G), som fra 2012 forventes erstattet af en EU-regulering (ref. 1), baseret på et energieffektiviseringsindeks (EEI), som vægter de mest almindelige driftssituationer højest. For pumper generelt er det også gjort nemmere at vælge en energieffektiv pumpe, der passer til den konkrete opgave, efter at elselskaberne i 2004 oprettede en sparepumpeliste.

Den energimæssige gevinst ved at coate pumper er blevet analyseret og beskrevet i en række projekter (bl.a. ref. 3).

### 10.4 Energiforbrug

Erhvervslivets elforbrug til pumpning er opgjort til 5.364 TJ (1.490 GWh) i 2006, hvilket er 8 % af erhvervslivets elforbrug. Landbrug er den branche, der bruger mest el til pumpning,

efterfulgt af mineralolieindustri. Disse to brancher står for i alt 30 % af elforbruget til pumpning. Pumpning står for 16 % af elforbruget i landbruget og 62 % i mineralolieindustrien (ref. 4). Tabel 10.1 viser elforbruget til pumpning i de brancher, hvor denne slutanvendelse er størst.

Branche	Elforbrug (2006) Pumpning	
	TJ	%
<b>Landbrug og fiskeri</b>	<b>1.169</b>	<b>22</b>
<i>Heraf</i>		
- landbrug	928	17
- gartnerier	168	3
<b>Industri i alt</b>	<b>3.665</b>	<b>68</b>
<i>Heraf</i>		
- slagterier mv.	162	3
- mejerier og isfabrikker	326	6
- fremst. af stivelsesprodukter mv.	419	8
- papirindustri	291	6
- mineralolieindustri	699	13
- fremst. af farvestoffer mv.	163	3
- medicinalindustri	387	7
<b>Privat handel og service</b>	<b>530</b>	<b>10</b>
<i>Heraf</i>		
- engros- og agenturhandel	189	4
<b>I alt</b>	<b>5.364</b>	<b>100</b>

Tabel 10.1. Elforbrug til pumpning i 2006, udspecificeret på de vigtigste brancher.

Elforbruget til pumper er skønsomt fordelt med 90 % (4830 TJ i 2006) til væskepumper og 10 % (534 TJ i 2006) til vakuumpumper. En opgørelse fra Europump af salget af væskepumper i 1998 i otte EU-lande (ref. 5) viser, at 73 % af pumperne (efter salgsværdi) var centrifugal-pumper, 23 % positivpumper og 4 % andre pumpetyper. I dansk erhvervsliv er fordelingen antagelig noget anderledes, bl.a. fordi den kemiske industri er relativt mindre hos os. Samtidig må det antages, at centrifugalpumper kører mere end de andre pumpetyper. Det anslås derfor, at centrifugalpumper står for 80-90 % af elforbruget i erhvervslivets væskepumper, mens positivpumper står for næsten hele resten af elforbruget. Af centrifugalpumperne udgør pumperne i centralvarmeanlæg – betegnet cirkulationspumper – et særligt område, især i reguleringsmæssig henseende. Ud fra tabel 10.1 anslås disse pumper at stå for omkring 10 % af elforbruget i erhvervslivets væskepumper.

## 10.5 Tekniske energibesparelsmuligheder

Besparelsmulighederne og de tilhørende potentialer beskrives for væskepumper og for vakuumpumper.

### 10.5.1 Væskepumper

Ref. 8 opgør elforbruget i pumper i afhængighed af mærkeeffekten. For brancher som næringsmiddelindustri og kemisk industri er alle pumpe størrelser over 4 kW væsentlige, mens der for privat handel og service angives pumpe størrelser på 0-30 kW med 0,75 – 4 kW som de mest elforbrugende. Ud fra denne vurdering og tabel 14.3 (i kapitlet Elmotorer og transmissioner) samt ref. 10 vurderes, at de energimæssigt væsentligste pumper i dansk

industri er pumper med mærkeeffekter i området 3 – 110 kW, mens de væsentligste pumpestørrelser i de øvrige sektorer er 0,75 – 3 kW.

#### **10.5.1.1 Mindre behov for pumpning**

Behovet for pumpning kan opdeles i behov for væskemængde og for tryk. Væskemængden kan i visse tilfælde reduceres ved at undgå spild. Et eksempel på dette er fra landbruget (ref. 6), hvor brug af drikkeskåle til svin frem for drikkeventiler kan spare 30 % drikkevand, der således ikke skal pumpes op. Trykbehovet kan i åbne systemer reduceres ved at placere brugsstedet eller modtagebeholderen lavere end sendebeholderen. Et andet eksempel på reduceret behov for pumpetryk gælder fødevandspumpen til en dampkedel. Kan damptrykket sænkes – eventuelt efter ændringer hos dampforbrugerne – vil pumpetrykket og den optagne eleffekt også kunne sænkes. Et tredje eksempel vedrører ultrafiltrering, hvor kravet til differenstryk over filtret kan være lavere ved brug af nye typer filtermedier og også ved valg af filtermedier, der passer til det aktuelle produkt. Ved pumpning af opslemmede stoffer kan et alternativ med lavere elforbrug være transport af stofferne med bånd eller redler.

#### **10.5.1.2 Behovstilpasning**

Det gælder om løbende at begrænse den pumpede væskemængde til det netop nødvendige og om kun at pumpe med det tryk, der aktuelt er behov for. I varmesystemer betyder det, at varmemediet skal afkøles mest muligt ude hos brugerne, og tilsvarende skal kølevand opvarmes mest muligt, før det pumpes tilbage til køleanlægget. Et eksempel herpå er et køleanlæg med køletårn (ref. 7), hvor pumpeeffekten kan reduceres med 90 % i de fleste af årets timer ved at udnytte hele den temperaturstigning, der accepteres for kølevandet.

#### **10.5.1.3 Tekniske løsninger**

Vurderet på et sammenligneligt grundlag ligger virkningsgraden for nye europæiske pumper inden for  $\pm 5$  % af middelvirkningsgraden, når det gælder større pumper, og inden for  $\pm 10$  % for mindre pumper (ref. 5). I mange tilfælde kan der således opnås en elbesparelse ved at skifte til de mest effektive pumper. Det gælder ikke mindst ved udskiftning af ældre pumper, der generelt har lavere virkningsgrad end nye pumper. Ved et skift kan der ofte opnås en yderligere besparelse ved at vælge den pumpe, som passer bedst til opgaven, dvs. har optimal virkningsgrad i det aktuelle driftspunkt (som måske først kendes rigtigt, når pumpe-systemet er sat i drift). Er den nye pumpe af ældre design (og derfor ofte af lavere virkningsgrad), vil en coating af pumpen kunne reducere elforbruget med op til 15 % (ref. 3), mens der ikke kan forventes nogen besparelse ved at coate en fabriksny pumpe af perfekt design.

Pumper drives af asynkronmotorer eller – for nogle få procent af energiomsætningen – af jævnstrømsmotorer. Et skift til dagens mest effektive IE3 asynkronmotorer vil i gennemsnit kunne reducere elforbruget med 3-4 % (se kapitlet Elmotorer og transmissioner), mens reduktionen kan blive lidt større ved skift til PMSM-motorer (som siden 2005 benyttes i Grundfos små cirkulationspumper).

Det nødvendige pumpetryk kan reduceres ved at reducere modstanden i pumpesystemet gennem at anvende store og glatte rør med få bøjninger, ved at fjerne overflødige ventiler m.m. og i øvrigt benytte ventiler med lavt modstandstal – f. eks. skyde- og kugleventiler med frit gennemløb – og filtre med lave tryktab. Er der på forbrugsstedet behov for et vist tryk, kan dette måske reduceres ved, f. eks. for dyser at skifte til nogle med lavere trykkrav.

#### **10.5.1.4 Regulering**

Tidligere har det været almindeligt at regulere pumpeydelsen ved drøvling eller omløb, som er reguleringsformer med store tab på ofte 20-80 %. Knap så udbredt har det været at regulere volumenstrømmen med to eller flere pumper i parallel eller serie eller ved omdrejningsregulering. Sidstnævnte reguleringsform er blevet meget mere udbredt inden for de sidste 20 år og anvendes nu i skønsmæssigt 30 % af installationerne, mens det virksomhedsøkonomiske potentiale snarere er det dobbelte. Frekvensregulering af asynkronmotorer er helt dominerende til omdrejningsregulering, men på det seneste er PMSM motorer også blevet en løsningsmulighed.

Er en pumpe permanent for stor til opgaven, og er behovet for pumpeydelse ret konstant, vil en tilpasning forholdsvis billigt kunne ske ved at skifte løbehjul eller dreje at løbehjulet. En noget dyrere løsning er at udskifte pumpen med en mindre. En pumpe kan med fordel pumpe så langsomt, som det nu er acceptabelt af hensyn til det udstyr, der betjenes. Dette gælder især, hvis der ikke er noget geometrisk løft. Er der ikke brug for en pumpeydelse (eller spildes det pumpede medie), bør pumpen stoppes, ligesom pumper ikke bør startes, før der er brug for dem. Stop af unødvendigt kørende pumper kan eksempelvis ske ud fra et signal fra et transportbånd eller en niveaumåler i en tank.

#### **10.5.1.5 Drift og vedligeholdelse**

Vedligeholdes en pumpe ikke, kan virkningsgraden falde 10-15 % (ref. 5). Det er muligt at undgå hovedparten af faldet ved at rengøre pumpens indre overflader og eventuelt coate pumpen samt ved i øvrigt at smøre pumpen og holde den korrekt oprettet mv. I pumpe-systemet skal tryktabet holdes lavt ved bl.a. at rense rør, ventiler og filtre og afkalke varmevekslere, og utætheder skal udbedres, så vandet ikke forsvinder eller løber tilbage til den beholder, det pumpes fra.

#### **10.5.2 Vakuumpumper**

Mulighederne for at dække energitjenesten på anden vis end med vakuum er små, bortset fra ved transport, hvor vakuumbaseret pneumatisk transport kan erstattes med selvlukkende bånd (der er dyre), snegle m.m. med lavere elforbrug. En teknisk besparelsesmulighed består i at samle decentrale vakuumpumper – der ofte betjener en enkelt maskine og derfor kører i al den tid, maskinen kører – i en central station, hvor pumper startes og stoppes ud fra det aktuelle behov for vakuum. En anden væsentlig mulighed består i at udskifte mindre effektive pumper, specielt ejektorpumper og sidekanalblæsere, med mere energieffektive (herunder blæsere til produktion af lavvakuum). Tilsvarende kan elmotorer udskiftes. Hertil kommer effektivisering på forbrugssiden (f. eks. bedre tætningslister og større sugelader, så trykket kan sænkes) og en reduktion af tryktabet i røret.

På styringsområdet er det muligt at omdrejningsregulere pumper med f. eks. frekvensomformere frem for at lade dem køre ureguleret (hvor undertrykket vokser, indtil der opstår en balance mellem produktion og forbrug) eller anvende drøvling i ledningsnettet. Ikke alle pumper kan omdrejningsreguleres, men i centrale anlæg vil start/stop af pumper også spare energi, og der spares også ved at afbryde vakuumsforsyningen til apparater, som er stoppet.

Pumperne skal vedligeholdes regelmæssigt, idet elforbruget pr. ydelseenhed for eksempelvis vandringspumpe kan stige 20 % med tiden. Vedligeholdelsen kan ud over rengøring, tætning og smøring af vakuumpumpen også omfatte en coating af de indre overflader. Desuden skal eventuelle lækager i ledningsnettet og på forbrugsstederne findes og udbedres.



## 10.6 Adfærd

Hvis de foran nævnte tiltag gennemføres, består de adfærdsmæssige muligheder især i at stoppe for pumper, der kører unødigt (idet de eksempelvis pumper op mod en lukket ventil eller – for vakuumpumper – holder undertryk, hvor der ikke er behov for det), samt i at anmelde fejl som utætte rør, ventiler og pumper.

## 10.7 Besparelsemuligheder

### 10.7.1 Væskepumper

Der er kun få muligheder for at substituere pumpning "her og nu" med op til 10 års tilbagebetalingstid, men pumpeydelsen kan tilpasses behovet ved f. eks. for varme- og kølemedier at reducere volumenstrømmen og dermed udnytte hele det acceptable temperaturinterval.

Blandt de tekniske løsninger er de vigtigste udskiftning af pumper og elmotorer til nogle mere effektive, som eventuelt også er bedre tilpasset pumpeopgaven (og dermed ofte er mindre). Den mulige elbesparelse er for pumperne op til 15-25 % og for elmotorerne op til 5 % (mere for enkeltapparater). Typiske priser ligger for pumper i intervallet 500 - 3000 kr/kW og for motorer på 500 kr./kW plus udskiftningsomkostninger. Benyttelsestiden (opgjort i forhold til pumpens mærkeeffekt) er typisk 1000 – 4000 h/år (størst for store pumper), men en del pumper har benyttelsestider på 6000 – 8000 h/år. Under disse forudsætninger vurderes potentialet som anført i tabel 10.2. De tekniske muligheder består herudover i at reducere systemmodstanden ved især at fjerne overflødige komponenter og benytte komponenter med lave trykkrav.

Det skønnes, at ca. 30 % af dagens pumper er omdrejningsregulerede og at yderligere 50 % kører så meget i dellast, at der vil være en energimæssig gevinst ved at omdrejningsregulere dem. Hertil kommer besparelsemuligheden ved at dreje af løbehjulet, så pumpeydelsen ikke skal nedreguleres ved fuldt omdrejningstal. Regelmæssig vedligehold af pumper inklusive coating kan give besparelser op til 15-20 %, men i middel noget lavere. De adfærdsmæssige muligheder anses for små.

	2 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid år
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Behovstilpasning	4	50	2	10
Effektive pumper	10	20	2	20
Lavere systemmodstand	5	30	2	10
Omdrejningsregulering /mindre løbehjul	10	60	6	10
Vedligeholdelse	30	5	2	2-5
Tekniske muligheder i alt			13	
Adfærd			1	
Totalt			14	

	4 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Behovstilpasning	6	50	3
Effektive pumper	20	15	3
Effektive elmotorer	10	5	1
Lavere systemmodstand	10	25	3
Omdrejningsregulering /mindre løbehjul	20	50	10
Vedligeholdelse	50	5	3
Tekniske muligheder i alt			21
Adfærd			1
Totalt			22

	10 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Behovstilpasning	10	40	4
Effektive pumper	50	10	5
Effektive elmotorer	50	4	2
Lavere systemmodstand	30	20	6
Omdrejningsregulering /mindre løbehjul	40	45	18
Vedligeholdelse	50	5	3
Tekniske muligheder i alt			33
Adfærd			1
Totalt			34

*Tabel 10.2. Besparelspotentiale for væskepumper ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag. Den forventede levetid er vist i øverste tabel.*

### 10.7.2 Vakuumpumper

Substitution af vakuum med selvlukkende bånd har meget lang tilbagebetalingstid, og andre former for substitution vil for det meste være u hensigtsmæssig, fordi det forringer arbejdsmiljøet m.m. En samling af vakuumpumper i centrale anlæg kan give store energibesparelser – ofte ses en halvering af elforbruget. Tilbagebetalingstiden afhænger af udgifterne til det nødvendige ledningsnet m.m. og vil variere over et stort område. En udskiftning af mindre effektive pumper med mere effektive, ofte af en anden type, kan også indebære store besparelsemuligheder, op til 75 % ved udskiftning af ejektorpumper. Regulering med frekvensomformer er især interessant for én af pumperne i de centrale anlæg samt for pumper, der arbejder alene. Elbesparelsen kan blive stor, og tilbagebetalingstiden bliver typisk fra to år og opefter.

	2 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid år
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Centrale anlæg	5	60	3	20
Effektive pumper	3	60	2	15
Regulering af pumper	10	50	5	10
Vedligeholdelse	50	5	3	5
Tekniske muligheder i alt			13	
Adfærd			1	
Totalt			14	

	4 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Centrale anlæg	15	45	7
Effektive pumper	10	40	4
Regulering af pumper	20	40	8
Vedligeholdelse	70	8	6
Tekniske muligheder i alt			23
Adfærd			1
Totalt			24

	10 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Centrale anlæg	25	40	10
Effektive pumper	30	30	9
Effektive elmotorer	40	4	2
Regulering af pumper	40	30	12
Vedligeholdelse	90	10	9
Tekniske muligheder i alt			36
Adfærd			0
Totalt			36

Tabel 10.3. Besparelspotentiale for vakuumpumper ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag. Den forventede levetid er vist i øverste tabel.

### 10.7.3 Sammenfatning af besparelspotentialet

Teknologi	Energiforbrug TJ/år	2 års tilbage- betalingstid		4 års tilbage- betalingstid		10 års tilbage- betalingstid	
		%	TJ/år	%	TJ/år	%	TJ/år
Væskpumper	4.830	14	676	22	1.063	34	1.642
Vakuumpumper	534	14	75	24	128	36	192
Pumper i alt	5.364	14	756	22	1.191	34	1.834

Tabel 10.4. Besparelspotentiale for teknologiområdet Pumpning ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag.

### 10.7.4 Fordeling på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder

Elforbruget til pumpning i kvotevirksomheder anslås ud fra tabel 10.1 til 2000 TJ/år, idet virksomheder i mineralolieindustrien og papirindustrien er kvotevirksomheder og der desuden er en stor andel kvotevirksomheder i brancher som medicinalindustri og fremstilling af stivelsesprodukter mv. I mineralolieindustrien er omkostningerne til energibesparende foranstaltninger som skift af pumper og motorer og regulering med frekvensomformere meget høje som følge af de strenge sikkerhedsmæssige krav til udstyr og anlægsarbejder. For den øvrige del af kvotevirksomhederne anses potentialet som lidt større som følge af lange driftstiden end for erhvervslivet generelt. Derfor vurderes besparelensesprocenterne som vist i tabel 10.5.

	Energi- forbrug TJ/år	2 års tilbage- betalingstid		4 års tilbage- betalingstid		10 års tilbage- betalingstid	
		%	TJ/år	%	TJ/år	%	TJ/år
Kvotevirksomheder	2.000	10	200	17	340	25	500
Ikke-kvotevirks.	3.364	17	556	25	851	40	1.334
I alt	5.364	14	756	22	1.197	34	1.834

Tabel 10.5. Besparelensespotentialer for teknologiområdet Pumpning, opdelt på kvotevirksomheder og øvrige virksomheder.

### 10.8 Sammenligning med 1995-potentialet

I ref. 9 fra 1995 blev der foretaget en vurdering af "her og nu" besparelensespotentialer i 1995, se tabel 10.6. I tabellen er også anført den gennemsnitlige tilbagebetalingstid, beregnet ud fra datidens elpris på 35 øre/kWh.

Elbesparelse %	Investering kr./kWh årlig elbesp.	Gennemsnitlig tilbagebetalingstid år
0-10	0,1	0,3
10-20	0,5	1,4
20-30	1,0	2,9
30-40	2,0	5,7
40-50	5,0	14,3
50-60	7,0	20,0

Tabel 10.6. Besparelensespotentialer ved pumpning år 1995 ifølge ref. 9.

Antages det, at besparelserne inden for de enkelte intervaller i tabel 10.6 er fordelt lineært over intervallet, og at de tilsammen udgør en kontinuert kurve, fås besparelensespotentialer år 1995 som vist i tabel 10.7. Det i denne undersøgelse fundne potentiale for 2008 er også vist i tabel 10.7. Når potentialet i dag vurderes at være lidt mindre end i 1995, skyldes det især, at besparelserne ved lavere systemmodstand (reduktion af tryktab) vurderes lavere.

Tilbagebetalingstid år	Potentiale 1995 %	Potentiale 2008 %
2	19	14
4	31	22
10	42	34

Tabel 10.7. Sammenligning af besparelensespotentialer år 1995 og 2008.

## 10.9 Referencer

1. Kommissionens forordning (EF) nr. 641/2009 af 22. juli 2009 om gennemførelse af Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2005/32/EF for så vidt angår krav til miljøvenligt design af eksterne vådløbercirkulationspumper og produktintegrerede vådløbercirkulationspumper
2. Pumpeståbi. Teknisk forlag. 2000
3. Hans Andersen et al. Coating af pumper. Lokalenergi. 2006
4. Kortlægning af erhvervslivets energiforbrug. Dansk Energi Analyse og Viegand & Maagøe. November 2008
5. Study of Improving the Energy Efficiency of Pumps. SAVE. February 2001
6. Energisparekatalog i landbruget. Landbrugets Rådgivningscenter. 2002
7. Energieffektivisering gennem modelbaseret regulering og online optimering. Elforsk. PSO 339-053
8. Improving the Penetration of Energy-Efficient Motors and Drives. SAVE. 2000
9. Teknologikatalog – energibesparelser i erhvervslivet, Energistyrelsen 1995
10. Oplysninger fra Leif Thomassen, Grundfos

## 11 Køl/frys

### 11.1 Indledning

Forbrugsområdet ”køling” omfatter først og fremmest køling af processer, bygninger, serverrum og øvrige formål over frysepunktet. Desuden omfatter forbrugsområdet ”frysning”, der typisk foregår i kølerum eller indfrysningstunneller/-spiralfrysere. Endeligt udgør også rumkonditionering (affugtning) en væsentlig del af forbrugsområdet, medens en række specialformål udgør en lille del af forbrugsområdet (for eksempel ”frysetørring”).

### 11.2 Teknologiens anvendelse

Køling til ovennævnte formål leveres først og fremmest via følgende typer køleanlæg:

- Mekanisk drevne kompressionskøleanlæg
- Køletårne (frikøling/naturlig køling)
- Termisk drevne absorptions- & adsorptionskøleanlæg
- Grundvandskøling

Kompressionskøleanlæg udgør energimæssigt set den langt overvejende andel af køleanlæg i erhvervslivet i Danmark. Disse anlæg er baseret på forskellige typer af kølemidler:

- Ammoniak (R717), der hører under kategorien ”naturlige” kølemidler og i dag mere eller mindre er standard i større industrielle køleanlæg i Danmark.
- HCFC kølemidler, hvor det mest anvendte er freon R22. R22 anvendes primært i kommercielle køleanlæg i først og fremmest handel og service-sektoren. Freon R22 skal udfases inden 2015
- HFC kølemidler som R134a, R404a, R410 mf. anvendes som erstatningskølemidler for CFC og HCFC kølemidler. I Danmark må disse kølemidler kun anvendes i max. fyldninger på 10 kg.
- Øvrige naturlige kølemidler som propylen (R1270), propan (R290) og CO<sub>2</sub> (R744).

Energimæssigt set er ammoniak et væsentligt kølemiddel i erhvervslivet. I privat handel og service samt inden for landbrug er der et stort antal mindre køleanlæg baseret på freon-kølemidler.

### 11.3 Teknologiudvikling

Udviklingen på køleområdet er i disse år først og fremmest præget af overgang fra freonbaserede kølemidler til naturlige kølemidler. Trods et mangeårigt fokus på en sådan udskiftning er der i dag stadig en meget stor andel (80 %) af mindre køleanlæg i handel & service-sektoren, i det offentlige, inden for landbrug m.m. der er baseret på freon-kølemidler. Det er først og fremmest mindre anlæg baseret på CO<sub>2</sub> og propan der skiftes til men også mindre ammoniakanlæg etableres.

Dernæst har der gennem en årrække været en stadigt stigende anvendelse af alternative køleteknologier. Dette har først og fremmest bestået i en øget anvendelse køletårne/naturlig køling hvor temperaturkravene tillader det – der er fremdeles områder hvor ”frikøling” er nyt.

Sekundært har der både inden for erhverv og kontorbyggeri været en stigende anvendelse af grundvandskøling, hvor 8 °C grundvand anvendes til fremstilling af 12 °C kølevand hvor den lokale myndighed tillader det.

Endelig er der enkelte eksempler på anvendelse af absorptionskøleanlæg drevet af enten fjernvarme (projekter i København City) eller via gasmotoranlæg. I alle tilfælde har absorptionskøleanlæg været anvendt til rumkøling.

Hvad angår effektiviteten af køleanlæg er det specielt værd at bemærke, at kompressorer i dag kan kapacitetsreguleres med frekvensomformer, såvel som at der er en øget anvendelse af plade-varmevekslere til fordampere og kondensatorer (minimerer temperaturtab i køleanlæggene betydeligt og af denne vej øges COP).

En første, regulær overvågning af anlægs virkningsgrad ("COP-måling" = Coefficient of Performance = forhold mellem køleeffekt og elforbrug) blev støttet af Energistyrelsen i midten af 1990'erne og har siden vundet stor accept blandt både producenter og brugere af specielt større køleanlæg.

I distributionsanlæg har det været forsøgt med nye og mere energieffektive distributionsmidler som "sjapis", hvilket dog endnu ikke har fundet kommerciel anvendelse.

Der pågår pt. udvikling af større industrielle køleanlæg baseret på vand som kølemedie (ref. 6). Dette vil inden for en kortere årrække kunne give (begrænsede) elbesparelser i forhold til ammoniakanlæg pga. mindre temperaturdifferenser i varmevekslere.

## 11.4 Energiforbrug

Erhvervslivets elforbrug til køling er opgjort til 7.605 TJ (2.112 GWh) i 2006, hvilket er 4 % af erhvervslivets samlede energiforbrug. Elforbruget tegner sig for næsten 100 % af det samlede forbrug til køling. Elforbruget til køling udgør 11 % af erhvervslivets samlede elforbrug.

Tabel 11.1 viser elforbruget til køling i de væsentligste brancher hvor køling anvendes. Det er væsentligt at fremhæve, at over halvdelen af elforbruget til køling ligger på mange mindre køleanlæg indenfor privat handel og service samt i landbruget, hvoraf mange som nævnt ovenfor er baseret på freon-kølemedier med forventet udfasning i de kommende år.

Branche	Elforbrug (2006) Køl/frys	
	Total [TJ]	Af total [%]
<b>Landbrug, gartneri m.m. i alt</b>	<b>475</b>	<b>6</b>
<i>Heraf</i>		
- Landbrug	406	5
- Andet	69	1
<b>Industri i alt</b>	<b>3.054</b>	<b>40</b>
<i>Heraf</i>		
- Slagterier m.v.	812	11
- Forarbejdning og konservering af fisk m.v.	161	2
- Forarbejdning og konservering af frugt m.v.	138	2
- Mejerier og isfabrikekr	509	6
- Fremst. af stivelsesprodukter m.v.	168	2
- Fremst. af farvestoffer m.v.	93	3
- Medicinalindustri	464	5
- Fremst. af gummiprodukter m.v.	136	2
- Andet	573	7
<b>Privat handel og service</b>	<b>4.075</b>	<b>54</b>
<i>Heraf</i>		
- Handel med biler, autoreparation, servicestationer	179	2
- Engros- og agenturhandel undtagen med biler	755	10
- Detailhandel og reparationsvirksomhed undtagen biler	2.163	28
- Hotel- og restaurationsvirksomhed m.v.	605	8
- Andet	373	6
<b>Erhvervslivets totale forbrug</b>	<b>7.605</b>	<b>100</b>

Tabel 11.1. Erhvervslivets elforbrug til køling i 2006.

## 11.5 Tekniske energibesparelsmuligheder

Energiforbruget i køleanlæg er først og fremmest betinget af kølebehovets størrelse, sekundært af hvilke temperaturforhold køleledelsen skal leveres under. Temperaturerne i hhv. fordampere og kondensatorer er således bestemmende for køleanlæggenes virkningsgrad (COP) og mange forhold influerer på dette tal.

Udover energibesparelser i selve køleanlæg er der desuden muligheder for at genvinde varme fra køleanlæg, for eksempel til rumvarmeformål. Muligheder for at genvinde varme er behandlet mere generelt i andre afsnit af rapporten.

### 11.5.1 Reduktion af kølebehov

Der vurderes at være væsentlige muligheder for at reducere behovet for køling i erhvervslivet, for eksempel:

- Revurdering af modtage-krav for mælk på mejerier – der stilles ”fra gammel tid af” mange steder stadig krav om nedkøling til for eksempel 6 °C på trods af at mælken umiddelbart efter viderebehandles og/eller til visse formål ikke er så følsom overfor temperaturkrav (mælkepulver).



- Indfrysning af svinekroppe sker på enkelte nyere slagterier (Danish Crown i Horsens) ved  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  i stedet for  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , hvilket udover betydelige energibesparelser også øger kødkvaliteten.
- Ombygning af eksisterende frysetuneller/fryserum til nye temperaturforhold kan dog være bekostelig såfremt kapacitet skal fastholdes.
- Revurdering af fugtkrav for indeluft i for eksempel farmaceutisk industri og elektronikbranchen kan reducere behovet for at affugte luft – enten permanent eller ved at drive ventilationsanlæg med anvendelse af bredere reguleringsbånd ("floating set-points").  
Ændring af fugtkrav kan dog indenfor farmaceutisk industri kræve revalidering af ventilationsanlæg, hvilket er dyrt.
- Opdeling af kølesystemer i plastindustrien efter temperaturbehov (formkøling hhv. køling af hydraulikolie) kan reducere kølebehov ved lav temperatur (formkøling) betydeligt.  
Også hér kan det dog være dyrt at skulle etablere parallel distributionssystemer i eksisterende virksomheder.
- Øget anvendelse af "hurtig-luk" porte i frysehuse og kølelagre
- Forbedret isolering af rørføringer, ventilarrangementer m.m.

Da op mod 30 % af det samlede elforbrug til køling ligger inden for slagterier, mejerier, fødevarer og medicinalvareindustri vurderes der at være vigtige energisparepotentialer at realisere ved at reducere kølebehovet i industrisektoren.

Inden for privat handel og service vurderes det, at der i dag er stigende bevidsthed om at fryserne og kølediske skal tildækkes uden for åbningstiden, men at der fortsat er muligheder for at forbedre adfærden på området såvel som at anvende løsninger der teknisk set er bedre end dem der praktiseres i dag.

Samlet vurderes det, at der i bedste fald (op til 10 års tilbagebetalingstid) kan opnås at kølebehovet reduceres med af størrelsesordenen 20 % i op mod 30 % af erhvervslivet. En del af dette potentiale (5 %) kan realiseres med ingen eller korte tilbagebetalingstider, med den resten antages at fordele sig lineært fra 2 år op mod 10 års tilbagebetalingstid.

### 11.5.2 Alternative køleprincipper

Kølebehovet i en virksomhed vil typisk ligge ved forskellige temperaturer og der vil ofte være potentiale for at etablere alternative køleanlæg – afhængigt af temperaturniveauet.

Alternative køleanlæg kan være:

- Køletårne (frikøling/naturlig køling), hvor kølevand nedkølet med omgivelsesluft samt ved fordampning af vand anvendes til at dække "højtemperatur" kølebehov – typisk ned til  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  om vinteren (om sommeren ikke under  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).  
Frikøling har typisk store anvendelsesmuligheder i forbindelse med datacentre/serverrum, til supplerende køling af frisk mælk i landbruget såvel som i forbindelse med en lang række processer der i dag køles med isvand/glycol.

- Grundvandskøling, hvor grundvand (evt. forurennet eller saltholdigt) ved 8-10 °C bruges til at fremstille kølevand ved 12 °C.

Grundvandskøling har først og fremmest været anvendt i plastindustrien samt i de senere år i stigende omfang i forbindelse med nyere kontorbyggeri – evt. i forbindelse med varmelagring fra sommer til vinter.

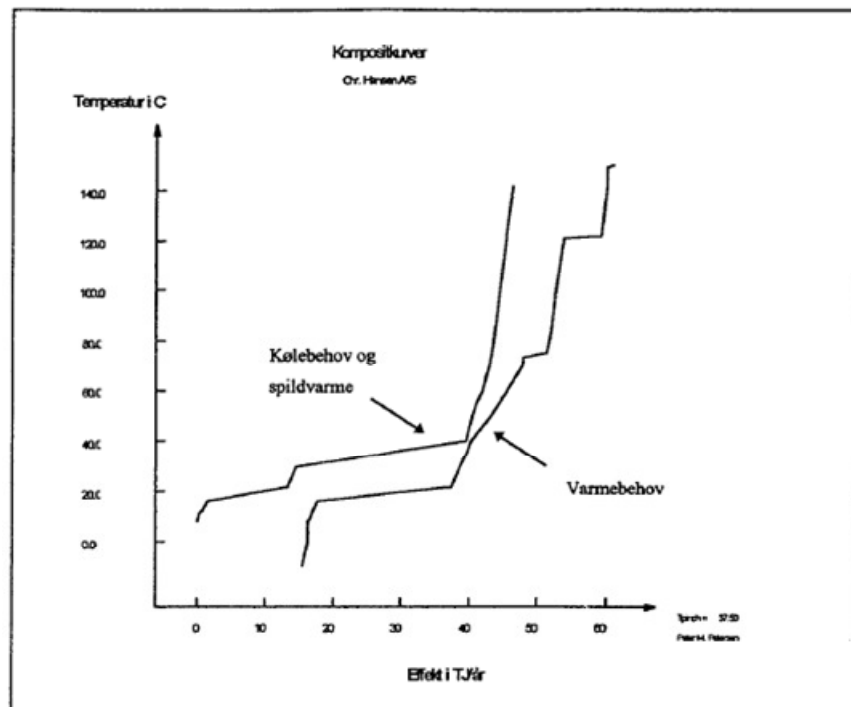
Erfaringen er, at tilbagebetalingstiden ofte er lang, da etablering af grundvandsboringer er en relativt bekostelig affære.

- Absorptionskøling, hvor spildvarme fra processer og kedelanlæg anvendes til at producere kølevand ved temperaturer ned mod 0 °C.

Absorptionskøling har de seneste år været anvendt enkelte steder i fjernvarmeforsyning og ses kun meget sjældent i erhvervslivet da spildvarme oftest kan anvendes mere attraktivt til andre formål.

Potentialet for at anvende sådanne alternative og energibesparede køleanlæg er således i vid udstrækning betinget af enten temperaturforhold eller af tilgængelighed af ”gratis” spildvarme.

Nedenstående kompositkurve (kurven ”kølebehov og spildvarme”) viser et eksempel på temperaturkrav for køling i en virksomhed



Figur 11.1. Temperaturkrav for køling i fødevarerfabrik.

Figuren viser fordelingen af det samlede kølebehov i en virksomhed afhængig af størrelse og temperatur – og at langt størstedelen af kølebehovet i en virksomhed kan ligge ved temperaturer over 20 °C og derfor vil kunne dækkes af temperaturkredse varmere end de normale 2-5 °C man anvender i et isvandsanlæg osv. (går man vandret ind fra y-aksen ved 20 °C noteres det, at størstedelen af kurvestykket ”Kølebehov og spildvarme” ligger ved højere temperaturer).

Den samlede potentialevurdering for alternative og energibesparende køleteknologier vurderes således som sammensat af følgende:

- Køletårne vurderes teknisk set at kunne dække op mod 15 % af kølebehovet i erhvervslivet, men i mange tilfælde vil driftstiden være kort og tilbagebetalingstiden derfor relativt lang (over 4 år). Dette potentiale kan umiddelbart synes lavt, men det skal ses i forhold til at over halvdelen af kølebehovet ligger i privat handel & service uden væsentlige muligheder for at anvende frikøling (dog muligheder i forbindelse med køling af datacentre og serverrum).
- Grundvandskøling kan teknisk set dække op mod 30 % af erhvervslivets kølebehov, men mange steder må der forventes myndighedsmæssige problemer ift. at anvende vand fra drikkevands- reservoirer.
- Absorptionsanlæg kan teknisk set levere isvand og dermed dække op mod 50 % af kølebehovet såfremt overskudsvarme er til rådighed ved relativt høje temperaturer (> 120 °C).

Som anført ovenfor vil spildvarme ofte kunne anvendes mere attraktivt til andre formål, hvorfor der ikke vurderes at være et økonomisk interessant potentiale for absorptionskøleanlæg.

Samlet set er potentialet for at anvende alternative køleteknologier således begrænset inden for en tilbagebetalingstid på 2 år. Inden for tilbagebetalingstider på op til 10 år vurderes det, at op mod 30 % af erhvervslivet kan anvende een af ovennævnte muligheder og opnå op mod 50 % energibesparelse.

At besparelsen ikke vurderes højere skyldes, at det ved udbredt anvendelse af grundvandskøling vil være nødvendigt at etablere afkøling af grundvand i mange områder i vinterperioden, hvilket forringer besparelsen betydeligt pga. ekstra elforbrug til pumper og køletårne.

### 11.5.3 Optimering af anlægseffektivitet

Køleanlægs COP kan optimeres på flere måder:

- *Fordampersiden:*
  - Anvendelse af pladevarmevekslere i stedet for rørfordampere kan øge fordampertemperaturen 3 °C svarende til en elbesparelse af størrelsesordenen 9 %
  - Anlæg med indirekte køling (ammoniak anvendes til køling af isvand eller glycol) kan ombygges til direkte køling, hvor ammoniak fordampes direkte ved de enkelte køleforbruger. Direkte køling kan spare op til 5 °C i temperatur, svarende til 15 % elbesparelse.
  - Ammoniak anlæg udført som pumpeanlæg kan ændres til naturlig cirkulation med tør returledning, hvorved kompressorens sugetryk kan hæves med op til 4 °C eller ca. 12 % energibesparelse
  - Køleforsyning kan opdeles i flere temperaturniveauer med hver sin kompressorkreds, hvilket kan reducere elforbrug ganske betydeligt – Danish

Crown i Horsens har således etableret et fælles køleanlæg med 3 forskellige temperatursystemer.

- Køleanlæg kan drives ved variabelt sugetryk hen over året såfremt kølebeov er bestemt af omgivelsesforhold
- *Kondensatorsiden:*
  - Der kan etableres større kondensatorer med henblik på at reducere temperaturtab i disse og minimere kondensatortrykket – det er flere steder opnået kondensatortemperaturer under 18 °C hvilket reducerer elforbruget betydeligt i forhold til typiske temperaturer omkring 25-28 °C (3 % per grad C).
  - Det skal sikres at køleanlæg drives med variabelt kondensatortryk og ikke et fastholdt kondensatortryk ved skiftende omgivelsesforhold (sommer/vinter).
  - Direkte kondensation af ammoniak i fordampnings-/luftkølede kondensatorer køletårne i stedet for inddirekte i kondensatorer kølet med køletårsvand sparer af størrelsesordenen 5 °C eller op mod 15 % af elforbruget på kompressoren.
  - Etablering af automatiske luftudladere for at forhindre luftopsamling i kondensatoren og dermed en reduktion af dennes effektivitet
  - Korrekt placering af kondensator – det vil sige ikke for varmt og med fri adgang til kold luft – ofte et problem indenfor privat handel og service ref. 9
- *Kompressoren:*
  - Installation af frekvensomformer vil specielt for skruekompressorer kunne spare elektricitet i forhold til normale reguleringsformer ved behovsvariation.
  - Optimal kompressorbestykning – typisk etablering af mindre kompressor til drift ved lav belastning som alternativ til tabsgivende dellastdrift
  - Etablering af effektive olie- og vandudskillere
  - Brug af alternative kølemidler:
    - I handels- og servicesektoren skønnes det, at op mod 80 % af alle køleanlæg er baseret på freon (eks. R22) og der vil i forbindelse med et forestående skift af kølemidler kunne opnås væsentlige elbesparelser såfremt hele køleanlæg skal skiftes ud ref. 4, 7, 8
    - Inden for landbrugssektoren skønnes det ligeledes at op mod 80 % af alle køleanlæg er baseret på freon og at mange af disse skal udskiftes i de kommende år.

Det skal tilføjes, at mange små køleanlæg har lav virkningsgrad – således viser eco-design-studier, at mange mindre køleanlæg inden for privat handel og service bruger op til dobbelt så meget elektricitet som de meste effektive.

Samlet set vurderes det, at ovennævnte forhold inden for industrisegmentet vil kunne realisere elbesparelser på op mod 20 % af elforbruget såfremt tilbagebetalingstider så lange som 10 år vil kunne accepteres.

Inden for privat handel og service er potentialet noget større, da størstedelen af anlæggene kan opnå væsentlige COP-forbedringer ved udskiftning (såfremt skift af kølemidler fører til udskiftning af anlæg).

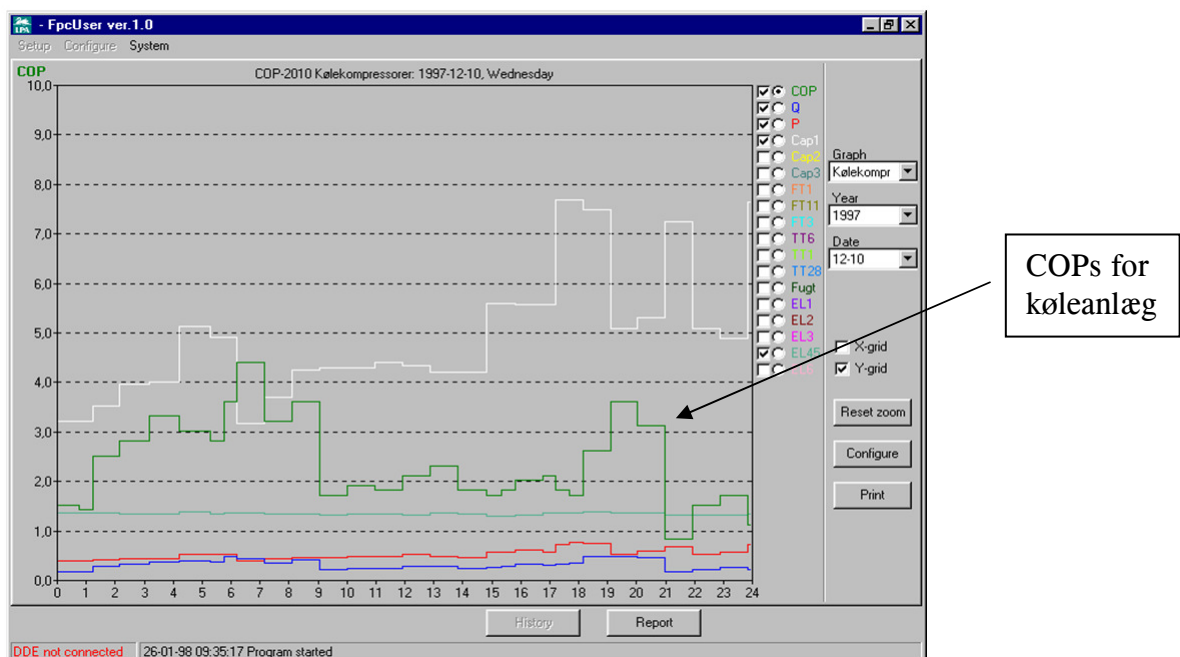
Det vurderes således, at halvdelen af anlæggene i denne sektor kan realisere energisparepotentialer på op mod 20 % såfremt tilbagebetalingstider op til 10 år accepteres.

Inden for landbrug er situationen nogenlunde den samme som indenfor privat handel og service – det vurderes at op mod halvdelen af køleanlæggene kan opnå op mod 20 % elbesparelse ved udskiftning til moderne og effektive køleanlæg.

#### 11.5.4 Bedre styring/driftoptimering

De ovenfor nævnte muligheder for driftoptimering (variabel fordampertemperatur, variabelt kondensatortryk, mindre kompressorer eller frekvensomformer til dellastdrift) rummer sammen med styring af kølevandspumper de muligheder der er for at optimere driften af køleanlæg.

Driftsmønstret kan imidlertid være temmeligt komplekst og etablering af COPs-overvågning vil derfor være et væsentligt tiltag for langt de fleste større køleanlæg. COPs betyder - i modsætning til COP af selve kompressoren – at hele systemets virkningsgrad måles online og løbende, se figur 11.2 nedenfor.



Figur 11.2. COPs for isvandsanlæg (den grønne trappekurve).

I figur 11.2 viser den grønne trappekurve at COPs-værdien for et kompressordrevet isvandsanlæg varierer mellem 1,5 og 4,5 i løbet af et døgn, hvilket skyldes uhensigtsmæssig dellastdrift af kompressorer, utilstrækkelig regulering af kølevandspumper, fejl i vandfordeling i køletårne m.m. Sådanne tab vil kun sjældent opdages såfremt alene elforbruget på kompressorerne overvåges.

COPs-overvågning anvendes i stigende omfang og vurderes af leverandører at spare 10-15 % af elforbruget. Enkelte leverandører ref. 3 tilbyder at overvåge COP-værdien for køleanlæg via internet.

I gennemsnit vurderes det, at der kan opnås 5 % elbesparelse i driften for halvdelen af erhvervslivets køleanlæg når øvrige effektiviseringsiltag er gennemført – dog afhængigt af instrumenteringsniveau (simple installationer er baseret på enkelte målinger og beregningsalgoritmer medens mere avancerede – og mere præcise - installationer er baseret på omfattende og dyrere målinger).

### **11.5.5 Drift og vedligehold**

Vedligehold af køleanlæg omfatter hvad angår energieffektiv drift først og fremmest:

- Renholdelse af fordampere og kondensatorer for at sikre minimale temperaturtab
- Løbende sikring af at olie- og luftudskillere fungerer optimalt
- Sikring af at ”våde” kondensatorer holdes fri for kalk
- Undgå fouling af varmevekslere i distributionssystem for isvand/glycol m.m.
- Regelmæssig overhaling af kompressorer for at sikre at kapacitet og virkningsgrad opretholdes

Flere af ovennævnte forhold kan overvåges med COPs – men det vurderes at optimalt vedligehold herudover kan realiseres elbesparelser på 5 % i halvdelen af erhvervslivets elforbrug.

Det skal bemærkes, at der som for øvrige forsyningsanlæg må forventes en tendens til at der afsættes færre ressourcer af til vedligehold af køleanlæg.

### **11.6 Adfærdsmæssige energibesparelsemuligheder**

Adfærdsmæssige energibesparelser vil for køleanlæg omfatte for eksempel:

- Bedre adfærd omkring lukning af porte
- Bedre stabling af varer i kølerum og frysehuse
- Regelmæssige afrimning af køleflader i frostrum og spiral/tunnelfrysere m.m.
- Tildækning af frysere og kølemontre uden for åbningstider
- Regelmæssige tjek af temperaturer i frysere og kølemontre
- Løbende tilpasning af ”target-temperaturer” for skiftende produkter i fødevarerindustri

Samlet skønnes det adfærdsmæssige energisparepotentialer at udgøre 5 % af forbruget for ca. halvdelen af forbruget.

### **11.7 Besparelspotentiale**

Nedenstående tabeller sammenfatter energibesparelspotentialerne med hhv. 2, 4 og 10 års tilbagebetalingstid i henhold til opgørelserne i kapitel 11.5.

	2 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Reduktion af behov	30	5	2	10
Alternative teknologier	30	5	2	20
Anlægsoptimering	3	5	0	10
	20	5	1	10
	27	5	1	10
Driftsoptimering	50	2	1	5
Vedligehold	50	5	3	1
Tekniske muligheder i alt			9	
Adfærd	50	5	3	
Totalt			12	

Tabel 11.2. Energibesparelspotentialer for køleanlæg med tilbagebetalingstid på 2 år.

	4 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Reduktion af behov	30	10	3	10
Alternative teknologier	30	15	4	20
Anlægsoptimering	3	10	0	10
	20	10	2	10
	27	10	3	10
Driftsoptimering	50	2	1	5
Vedligehold	50	5	2	1
Tekniske muligheder i alt			15	
Adfærd	50	5	3	
Totalt			18	

Tabel 11.3. Energibesparelspotentialer for køleanlæg med tilbagebetalingstid på 4 år.

	10 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Reduktion af behov	30	20	6	10
Alternative teknologier	30	50	15	20
Anlægsoptimering	3	20	1	10
	20	20	4	10
	27	20	5	10
Driftsoptimering	50	5	3	5
Vedligehold	50	5	3	1
Tekniske muligheder i alt			37	
Adfærd	50	5	2	
Totalt			39	

Tabel 11.4. Energibesparelspotentialer for køleanlæg med tilbagebetalingstid på 10 år.

### 11.7.1 Fordeling på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder

Lang størstedelen af elforbruget til køling findes i ikke-kvotebelagte virksomheder:

- Over halvdelen af elforbruget (54 %) ligger i privat handel og service

- Inden for produktionserhverv ligger størstedelen af forbruget på slagterier, fødevarer og mejerier, hvoraf kun en mindre andel (mælkepulver) er kvotebelagt og endda har relativt lavt elforbrug til køling

Det vurderes således at af størrelsesordenen 95 % af elforbruget til køling findes i ikke-kvotebelagte virksomheder. Energisparepotentialerne vurderes at være ens.

Der vurderes med denne baggrund energisparepotentialerne angivet i tabel 11.5 nedenfor for henholdsvis kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder.

Teknologi	Energi- forbrug TJ/år	2 års tilbage- betalingstid		4 års tilbage- betalingstid		10 års tilbage- betalingstid	
		%	TJ/år	%	TJ/år	%	TJ/år
Kvotevirksomheder	380	12	46	18	69	39	148
Ikke-kvotevirks.	7.225	12	867	18	1300	39	2.818
Køling i alt	7.605	12	913	18	1.369	39	2.966

Tabel 11.5. Besparelspotentiale for teknologiområdet køling opdelt på kvotevirksomheder og øvrige virksomheder.

## 11.8 Sammenligning med 1995-potentialet

I Teknologikataloget fra 1995 blev der fundet følgende energibesparelspotentialer for køleanlæg.

Elbesparelse %	Investering kr./kWh årlig besparelse	Gennemsnitlig tilbagebetalingstid År
0-15	1	2,9
15-30	2	5,7
30-55	5	14,3

Tabel 11.6. Besparelspotentialer ved køling år 1995 ifølge ref. 1.

Opgørelsen i tabel 11.6 er beregnet med en gennemsnitlig elpris på 35 øre per kWh. Antages det, at besparelserne inden for de enkelte intervaller i tabel 11.6 er fordelt lineært over intervallet, og at de tilsammen udgør en kontinuert kurve, fås besparelspotentialer år 1995 som vist i tabel 11.7. Det i denne undersøgelse fundne potentiale for 2008 er også vist i tabel 11.7.

Tilbagebetalingstid År	Potentiale 1995 %	Potentiale 2008 %
2	10,3	12
4	17,9	18
10	33,2	39

Tabel 11.7. Sammenligning af besparelspotentialer år 1995 og 2008.

Der ses at være nogenlunde overensstemmelse i vurdering af potentialerne – dog betyder tilkomsten af grundvandskøling og nye køleteknologier, at det langsigtede besparelspotentiale er noget højere end vurderet tidligere.



## 11.9 Referencer

1. Teknologikatalog – energibesparelser i erhvervslivet, Energistyrelsen 1995
2. Interviews med Daniel Mach, Hans Palle, Jan Hansen og Lars Torp Larsen, Alectia A/S ang. Energisparepotentialer ved forbedring af anlægsvirkningsgrader
3. Telefonsamtaler med Lars Palsgaard, Johnson Control International, om energisparepotentialer samt anvendelse af COP-overvågning
4. Telefonsamtaler med Bent Johansen, Birton A/S
5. DEFU-rapporten ”Køling – håndbog i energirådgivning”, December 1999
6. Telefonsamtaler med Hans Madsbøll hos Teknologisk Institut om udvikling af større køleanlæg (”chillers”) baseret på vanddamp
7. Gennemgang af serverkøleanlæg hos Universitetshospitalet i Skejby. Elsparefonden og Viegand & Maagøe, Januar 2010.
8. Gennemgang af køleanlæg hos Irma A/S i Vanløse. Københavns Energi og Viegand & Maagøe, Januar 2010.
9. Energisyn i IDA-huset på Kalvebod Brygge. Viegand & Maagøe, 2008.

## 12 Ventilation

### 12.1 Indledning

Dette afsnit omhandler elforbruget til ventilation og blæsere. Energiforbruget til køling af ventilationsluften indgår under teknologien køling, mens opvarmning af luften indgår under rumvarme for rumventilationens vedkommende og under procesopvarmning for procesluftens vedkommende. Energiforbrug til befugtning/affugtning indgår også under andre teknologier, afhængigt af de benyttede metoder.

### 12.2 Teknologiens anvendelse

Ventilation omfatter rumventilation af fabrikshaller, stalde, kontorlokaler, serverrum, laboratorier, renrum m.m. med henblik på at fjerne varme og forurening og eventuelt samtidig tilføre frisk luft og opvarme eller afkøle lokalerne. Blæsere benyttes i forbindelse med apparater og udstyr til at flytte luft som eksempelvis forbrændingsluft og røggas (i forbindelse med kedler og ovne), transportluft (til transport af materialer som træspåner, gipsstøv osv.), køleluft (i køletårne, køletunneller m.m.) og tørringsluft.

### 12.3 Teknologiudviklingen

Den seneste halve snes år er fortrængningsventilation blevet mere udbredt, og der er arbejdet mere bevidst med naturlig ventilation. Naturlig ventilation bruger ikke ventilatorer og er derfor en energieffektiv løsning uden for den egentlige opvarmningssæson, mens mekanisk ventilation normalt er mere energieffektiv i opvarmningssæsonen, fordi den muliggør varmegenvinding fra afkastluften til indblæsningsluften. Den personlige ventilation, hvor hver enkelt kontorarbejdsplads ventileres direkte og individuelt, er blevet udviklet af bl. a. DTU og markedsføres i dag af et dansk firma. Den personlige ventilation åbner for lavere grundventilation og lavere ventilationsmængder totalt set.

Udbudet af spareventilatorer og sparemotorer er blevet øget i de senere år, således at det er lettere at finde en energieffektiv løsning. Besparelsen i forhold til tidligere tiders ventilatorer og motorer er for en ventilator på 11 kW med tilhørende motor typisk omkring 15 %. Frekvensomformere til regulering af ventilatorernes ydelser er blevet billigere og har fået stor udbredelse i anlæg med varierende luftbehov.

Bygningsreglementet er blevet strammet, idet den øvre grænse for elforbruget i ventilationsanlæg er blevet ændret fra 2500 J/m<sup>3</sup> udeluft til 2100 J/m<sup>3</sup> for anlæg med konstant luftydelse og fra 3200 J/m<sup>3</sup> til 2500 J/m<sup>3</sup> for anlæg med variabel luftydelse. For at øge effektiviteten af nye og ombyggede anlæg har Energistyrelsen endvidere fået udarbejdet en vejledning i energibevidst projektering af ventilationsanlæg (ref. 1).

Udviklingen på motorområdet går mod mere effektive og lettere regulerbare motorer, bl. a. permanent magnet motorer. Virkningsgradsforbedringen kan forventes at være 1-10 %, afhængigt af motorstørrelse. Der har været arbejdet med kunstige næser i en del år, og måske vil dette arbejde inden så længe føre til, at ventilationen ikke blot kan styres ud fra én enkelt forurening, men en blanding af flere.

### 12.4 Energiforbrug

Erhvervslivets elforbrug til ventilation er opgjort til 10.648 TJ (2958 GWh) i 2006. Det er 16 % af erhvervslivets elforbrug. Tabel 12.1 viser elforbruget i de brancher, hvor det

absolutte elforbrug til ventilation er størst. Især træ- og møbelindustrien samt landbruget har et stort elforbrug til ventilation.

Branche	Elforbrug (2006) Ventilation	
	TJ	%
<b>Landbrug og fiskeri</b>	<b>2221</b>	<b>21</b>
<b>Industri i alt</b>	<b>6387</b>	<b>60</b>
<i>Heraf</i>		
- slagterier mv.	223	2
- mejerier og isfabrikker	366	3
- fremst. af stivelsesprodukter mv.	440	4
- træindustri	388	4
- fremst. af gummiprodukter mv.	204	2
- fremst. af cement, mursten mv.	413	4
- fremst. af produkter af beton mv.	263	2
- fremst. af skibsmotorer mv.	208	2
- møbelindustri	576	5
<b>Privat handel og service</b>	<b>2041</b>	<b>19</b>
<i>Heraf</i>		
- Engros- og agenturhandel	377	4
- Detailhandel	393	4
- Hotel- og restaurationsvirksomhed	290	3
<b>I alt</b>	<b>10.648</b>	<b>100</b>

Tabel 12.1. Elforbrug til ventilation i 2006, udspecificeret på de vigtigste brancher.

Af elforbruget til ventilation går cirka to tredjedel til rumventilation og en tredjedel til blæsere. Rumventilationen er fordelt med godt halvdelen i industrien og knapt en fjerdedel i landbruget og en fjerdedel i privat handel og service.

Der er et stort indirekte energiforbrug til rumventilation i form af opvarmning af luften, mens energiforbruget til køling af luften endnu er forholdsvis beskedent, og energiforbruget til befugtning/affugtning er lille.

## 12.5 Tekniske energibesparelsemuligheder

### 12.5.1 Rumventilation

#### 12.5.1.1 Mindre behov for ventilation

Behovet for rumventilation kan mindskes, hvis det er muligt at begrænse eller fjerne de forureninger, der ventileres for. Det kan ske ved at indføre renere teknologi (eksempelvis vegetabiliske opløsningsmidler), indkapsle forureningskilder og etablere separat udsugning fra disse, etablere solafskærmning til begrænsning af varmeudviklingen i lokalerne osv. I serverrum kan ventilationsbehovet reduceres ved at flytte varmeafgivende udstyr som eksempelvis krydsfelter, der ikke kræver køling, uden for serverrummet, og ved at antallet af servere reduceres gennem serverkonsolidering (ref. 2).

For lokaler, der alene opvarmes med ventilationsluften, vil etablering af en separat rumopvarmning i form af centralvarmeanlæg kunne reducere behovet for ventilation i de kolde perioder.

### **12.5.1.2 Tilpasse luftskiftet til behovet**

I mange anlæg er luftskiftet permanent større end nødvendigt. Det kan skyldes, at man på projekteringstidspunktet har været usikker på omfanget af forureningen, det kan skyldes en ændret anvendelse af lokalerne, og det kan skyldes utilstrækkelig indregulering af anlægget. I sådanne tilfælde vil en måling af volumenstrømmen og eventuelt også af forureningen danne grundlag for permanent at nedregulere luftskiftet.

En løbende tilpasning af luftskiftet til aktiviteterne i de ventilerede lokaler kan ske ud fra måling af f. eks. luftens CO<sub>2</sub>-indhold, der er et udtryk for den menneskelige aktivitet, eller i landbrugets stalde ud fra måling af temperatur og relativ fugtighed. På varme steder i industrien, hvor der ventileres af komfortsyn, kan ventilationen styres af tilstedeværelsesfølere. Ved stinkske vil en tilstedeværelsesføler tilsvarende kunne give signal til nedregulering af volumenstrømmen, når der ikke arbejdes ved skabet.

En revurdering af behovet for ventilation kan også føre til betydelige energibesparelser. Et eksempel er fra en medicinalvirksomhed, der ændrede kravene til rumluft fra 20 °C, 50 % RH (relativ fugtighed) til 19-20 °C, 35-65 % RH og opnåede betydelige besparelser i ventilatorernes elforbrug og i el og damp til affugtning og befugtning.

### **12.5.1.3 Ventilationsprincip**

I industrien og til dels også på kontorer regnes fortrængningsventilation for noget mere energieffektiv end den tidligere helt dominerende opblandingsventilation, forudsat der er tale om ret åbne lokaler. Det helt nye ventilationsprincip personlig ventilation, hvor luften tilføres tæt på ansigtet, indebærer formentlig også en energibesparelse. Til ventilation af stalde regnes undertryksanlæg for omkring dobbelt så energieffektive som ligetryksanlæg. Fælles for disse muligheder er, at de skal projekteres helt forfra, hvorfor de som "her og nu" besparelser får meget lang tilbagebetalingstid.

Edb-simuleringer af luftstrømninger giver mulighed for at opbygge ventilationsløsninger, der er tilpasset de helt konkrete forhold. Et eksempel fra industrien er ventilation i en ny malehal for skorstene og vindmøletårne, hvor der på baggrund af edb-simuleringer kunne peges på en løsning med en halvering af luftmængden og 62 % besparelse i elforbruget til ventilatorerne (ref. 4). Så store besparelser kan dog kun forventes ved nyanlæg, mens eksisterende anlæg normalt ikke kan ændres helt så radikalt.

### **12.5.1.4 Ventilatorer, motorer og remtræk**

Effektiviteten af ventilatorer og motorer er generelt blevet øget de senere år som resultat af bl. a. spareventilator- og sparemotorkampagnerne. For en 11 kW ventilator med tilhørende motor er der tale om en forøgelse af virkningsgraden på typisk omkring 15 %. Slidte ventilatorer har lave virkningsgrader og kan udskiftes med god økonomi. En ventilators effektivitet falder også betydeligt, når den ikke arbejder i nærheden af designpunktet. Derfor er det vigtigt, at ventilatoren er tilpasset den konkrete opgave. Varierer ventilatorens ydelse, er det endvidere vigtigt at benytte omdrejningstalsregulering, således at virkningsgraden er optimal ved alle ydelser.

For remtrækket mellem motor og ventilator kan der opnås virkningsgrader på 97-99 %, forudsat remmene ikke er væsentligt overdimensionerede, der anvendes store skivediametre og remmene i øvrigt ikke er slidte og slappe.

### **12.5.1.5 Mindre tryktab**

Ventilatoren skal overvinde tryktabene i kanaler, indblæsningsarmaturer, filtre, varme- og køleflader, spjæld osv. foruden systemtabene som følger af ikke-ideelle luftstrømninger. I mange ventilationsanlæg er tryktabene større end nødvendigt. Det kan eksempelvis skyldes spjæld eller filtre, der kan undværes, snavsede filtre, skarpe bøjninger og alt for kompakte anlæg. Sidstnævnte problem kan kun løses med et helt nyt anlæg, men i de eksisterende anlæg kan tryktabene reduceres ved at fjerne unødvendige spjæld og filtre, ved at overgå fra spjæld- til omdrejningstalsregulering af volumenstrømmen, ved at etablere ledeskinner i bøjninger osv.

### **12.5.1.6 Justering af driftstiden**

En styring af ventilationsanlæggets driftstid med ur, CTS-anlæg eller lignende er en simpel og effektiv måde at spare el og varme på. Sådanne styringer er da også meget anvendte, men kunne benyttes flere steder. Ved etablering af urstyring af en kantines ventilationsanlæg sparede der 24 MWh/år el og dobbelt så meget varme. Tilbagebetalingstiden for investeringen på 6000 kr. blev 0,2 år.

### **12.5.1.7 Energieffektiv regulering af luftmængder**

Den mest effektive måde at nedregulere volumenstrømmen på er ved at reducere ventilatorens omdrejningstal. En permanent nedregulering kan billigst ske ved at skifte remskiver i et eventuelt remtræk mellem motor og ventilator. En løbende tilpasning kan ske med frekvensomformer, tohastighedsmotor eller anden form for omdrejningstalsregulering.

Er luftmængden nedreguleret til to tredjedel af ventilatorens nominelle luftmængde, bruger ventilatoren omkring dobbelt så meget el ved spjældregulering (uændret omdrejningstal, øget tryktab) som ved regulering med frekvensomformer. Takket være en relativ billiggørelse af frekvensomformerne leveres de fleste nye anlæg med frekvensomformer, men i eksisterende anlæg er spjældregulering stadig det mest almindelige. Fremkomsten af nye motortyper åbner yderligere for løsninger med lidt lavere elforbrug end den i øvrigt energieffektive kombination af asynkronmotor og frekvensomformer.

### **12.5.1.8 Vedligehold**

Planlagt vedligehold omfatter bl. a. rensning af filtre og kanaler, kontrol af remtræk, justering af tidsstyringer og kontrol af sensorerne, der styrer luftskiftet. Slappe og slidte remme kan nemt have tab på 10-20 % mod de optimale få procent, og sensorer med fejlvisning kan betyde et unødvendigt stort luftskifte. Urstyringer bør justeres til den aktuelle brug af de ventilerede områder og til sommer-/vintertid, så der ikke ventileres unødigt. Når et filter renses, falder tryktabet over det, og alt andet lige øges volumenstrømmen. I et CAV-anlæg er "alt andet lige", hvorfor elforbruget øges. Et VAV-anlæg derimod bør justere sig selv ind til uændret volumenstrøm og dermed til lavere elforbrug.

## **12.5.2 Blæsere**

### **12.5.2.1 Mindre behov for blæserluft**

I det omfang det er muligt at reducere behovet for en blæsers ydelse, vil der kunne spares el til blæseren. Et eksempel er udnyttelse af varmen i kølevand til rumopvarmning, således at kølevandet returneres med lavere temperatur og køletårnsblæserne skal køre mindre. Et andet eksempel er reduktion af mængden af udsuget luft ved tætning af ovenlåger (reduceret røggasmængde).

### **12.5.2.2 Substitution**

De fleste blæsere er tilpasset en helt konkret opgave og dækker et meget konkret behov, som bedst dækkes med blæsere. Blæserydelsen kan derfor i almindelighed ikke substitueres med mere energieffektive løsninger. Ved transport af materialer er der dog alternativer i form af transportbånd - der eventuelt er selvlukkende - redlere m.m., men transportluften må vælges, hvor der er tale om vanskelige transportveje og risiko for støvgener.

Fra træindustrien er der et eksempel på substitution, hvor et 55 kW ventilatorbaseret transportsystem for spåner blev erstattet med et 5 kW redleranlæg. Elbesparelsen blev på 88 % og investeringen på 320.000 kr. blev betalt tilbage på godt 3 år.

### **12.5.2.3 Tilpasse luftmængder til behovet**

Volumenstrømmen er generelt optimeret ud fra hensyn som at begrænse kedlens røggastab, at sikre materialetransporten uden på den ene side at få materialeophobninger i kanalerne og på den anden side få et stort slid på kanalvæggene osv. Der er dog nogle muligheder for yderligere optimeringer, for kedler eksempelvis med iltstyring af forbrændingsluften og for spåntagende maskiner ved at reducere luftmængden og øge materialekoncentrationen i den udsugede luft.

Et eksempel på tilpasning af luftmængden til behovet er fra en træindustriel virksomhed, hvor hver af de træbearbejdende maskiner blev forsynet med automatspjæld, der lukker for udsugningen, når der ikke er emner i maskinen. Ventilatoren blev samtidig forsynet med frekvensomformer, som nedregulerer udsugningen, så den modsvarer antallet af idriftværende maskiner. 80 % af ventilatorens elforbrug blev sparet, og den samlede el- og varmebesparelse blev opgjort til 100.000 kr., som i dette tilfælde med arbejde i ét skift tilbagebetalte investeringen på 6 år.

### **12.5.2.4 Effektivt punktudsug**

Ved svejsning, fræsning, plaststøbning, madlavning osv. bruges punktudsug, der bør optimeres til den konkrete opgave, således at udsugningen kan foregå med mindst mulig luft og dermed mindst muligt elforbrug.

Som eksempel kan nævnes sugeskærme på træ- og møbelindustriens kehlemaskiner. Forsøg (ref. 5) har vist, at det ved at ændre sugeskærmene er muligt at halvere behovet for procesudsug fra disse maskiner og også halvere elforbruget og reducere varmetabet. Det samlede potentiale på landsplan blev opgjort til 7100 MWh/år og tilbagebetalingstiden for ændringerne vurderedes til højst 2 år.

### **12.5.2.5 Ventilator og motor**

Det er generelt muligt at effektivisere ventilatorer og motorer således som nævnt i afsnit 12.5.1.4. Økonomien vil være bedst ved udskiftning af ventilatorer, der er lavt belastede eller arbejder langt fra designpunktet. Blæsere for udsugning fra tørreovne og lign. har ofte ret lav virkningsgrad som følge af slid fra partikler i udsugningsluften. Ved en udskiftning skal der vælges ventilatorer med løbehjul i slidstærke materialer, der kan stå for påvirkningerne fra udsugningsluftens partikler.

### **12.5.2.6 Mindre tryktab**

Tryktabene i blæser-systemer stammer fra kanalerne og ikke mindst kanalbøjninger, fra spjæld, posefiltre, cykloner m.m. Tryktabene kan reduceres med bløde bøjninger eller –

hvor det kan accepteres - ledeskovle i bøjningerne, ved at fjerne overflødige spjæld, ved at benytte store posefiltre, der renses hyppigt styret af f. eks. trykfaldet over filteret, ved korrekt tilslutning og dimensionering af cykloner osv.

I et lufttransportsystem målt et stort tryktab på 2900 Pa over cyklonerne. Det store tab skyldtes uhensigtsmæssig rørføring og små cykloner, og det kunne derfor næsten halveres med nye cykloner og ændret rørføring. Investeringen var på knapt 1 mio. kr., fordi det blev nødvendigt at lave bygningsændringer. Tilbagebetalingstiden i kraft af elbesparelsen på 200 MWh/år blev opgjort til ca. 10 år.

#### **12.5.2.7 Energieffektiv regulering af luftmængder**

Reguleringen af blæsernes volumenstrøm til det aktuelle behov sker i dag med frekvensomformer, ledeskinner og spjæld. De to sidstnævnte løsninger anvendes stadig mange steder, selv om der kunne være god økonomi i at overgå til omdrejningstalsregulering. Ved vurdering af økonomien skal man være opmærksom på, at tabene i ledeskinner og spjæld overføres til blæserluften som varme og dermed nyttiggøres, hvor der er tale om forbrændingsluft og tørringsluft og lign.

Et eksempel på energieffektiv regulering er et lufttransportsystem, hvor lufthastigheden blev reguleret med jalousispjæld. Omkring en tredjedel af ventilatorens tryk blev drøvlet væk over spjældet. Ved at frekvensstyre motoren og åbne spjældet helt sparede 300 MWh/år. Tilbagebetalingstiden blev opgjort til 3 år.

#### **12.5.2.8 Vedligehold**

For blæsesystemer omfatter planlagt vedligehold rensning af kanaler, kontrol af remtræk, skift af filterposer, kontrol af sensorer m.m. Eksempelvis vil en fejl i en iltmåler, hvor den for røggas med 4 % ilt måler 3 %, betyde, at forbrændingsluftmængden og røggasmængden bliver 7 % større end tilsigtet, og at elforbruget i blæserne bliver ca. 20 % større.

### **12.6 Adfærdsmæssige energibesparelsmuligheder**

De adfærdsmæssige muligheder for at spare på elforbruget til ventilation består bl. a. i at slukke for ventilationen eller udsugningen, når produktionen i en hal eller på en maskine stopper, i at sørge for, at filtre renses jævnlige og at uret i en urstyring indstilles ved skiftet mellem sommertid og vintertid og styringen tilpasses lokalernes anvendelsesmønster. De fleste adfærdsmæssige besparelsmuligheder er billige – men måske knapt så holdbare - alternativer til de tekniske løsninger, som er beskrevet i afsnit 12.5.

### **12.7 Besparelspotentialer**

Besparelspotentialer er opgjort for erhvervslivet i år 2008 ud fra en simpel tilbagebetalingstid på 2 år, 4 år og på 10 år. Der er – naturligvis – tale om en overslagsmæssig opgørelse, idet der er meget store forskelle i apparattyper og i deres størrelser, driftstimer, udnyttelsesgrader, anvendelse osv.

#### **12.7.1 Rumventilation**

##### **12.7.1.1 Anlægsstørrelser**

Omkostningerne ved at gennemføre mange af besparelsmulighederne er sammensat af en forholdsvis stor grundudgift plus en mindre kW-afhængig udgift, således at omkostningerne

bliver relativt mindre, jo større anlægget er. For at kunne vurdere rentabiliteten af besparelserne er det derfor nødvendigt at kende størrelsesfordelingen af anlæggene.

I ref. 6 er der skønnet en fordeling af antal anlæg og elforbruget som funktion af anlæggets mærkepladeeffekt (der forudsættes balanceret ventilation, således at effekten er summen af indblæsnings- og udsugningsventilatorernes mærkepladeeffekter). Skønnet, der er gengivet summarisk i tabel 12.2, omfatter anlæg inden for privat handel og service samt i den offentlige sektor.

Fraktil for elforbrug %	Andel af antal anlæg %	Nedre grænse for mærkeeffekt kW
25	5	11
50	20	5
75	40	3
100	100	0

*Tabel 12.2. Fraktiler for elforbrug i ventilationsanlæg i privat handel og service plus i den offentlige sektor*

Anlæg i industrien og landbruget skønnes generelt at være lidt større, således at skønnet for hele erhvervslivet bliver som vist i tabel 12.3. I tabellen er der også vist det skønnede gennemsnitlige elforbrug for anlæggene. Skønnet er baseret på, at den optagne effekt typisk er 50-100 % af mærkeeffekten og på, at benyttelsestiden er størst for de store anlæg. Det gennemsnitlige elforbrug pr. anlæg bliver ca. 9 MWh/år eller 32 GJ/år. (Med et samlet elforbrug til rumventilation på ca. 7000 TJ/år svarer det til 220.000 anlæg. Dette antal virker sandsynligt, idet ref. 6 regner med ca. 140.000 anlæg i privat handel og service).

Fraktil for elforbrug %	Andel af antal anlæg %	Nedre grænse for mærkeeffekt kW	Skøn for gennemsnitligt elforbrug pr. anlæg MWh/år
25	5	15	60
50	20	7	20
75	40	4	10
100	100	0	2

*Tabel 12.3. Fraktiler for elforbrug i erhvervslivets ventilationsanlæg.*

I balancerede anlæg er der normalt to ventilatorer, som er nogenlunde lige store, Den nedre grænse pr. ventilator er derfor omkring det halve af den i tabel 12.3 viste anlægs-grænse.

Mange af besparelsesmulighederne omfatter ikke kun ventilatorernes elforbrug, men også energi til opvarmning, køling, befugtning eller affugtning af luften. Energiforbruget til opvarmning af 1 m<sup>3</sup>/h udeluft til 20 °C i alle årets timer er 37 kWh, hvis der ikke er varmegenvinding, og 11 kWh ved varmegenvinding med 70 % virkningsgrad. Overholder ventilationsanlægget netop Bygningsreglementets krav om et elforbrug på højst 2100 J/m<sup>3</sup>, vil det bruge 5 kWh om året til ventilation af 1 m<sup>3</sup>/h i alle årets timer. Varmeforbruget er således typisk to til syv gange større end elforbruget.



### 12.7.1.2 Potentialer

Mulighederne for at reducere behovet for ventilation er ikke så store, selv inden for 10 års tilbagebetalingstid, og omfatter især besparelser som indkapsling af forureningskilder og reduceret varmetab i serverrum. Mulighederne for at tilpasse luftskiftet til behovet er til gengæld gode, både når det gælder indregulering og avancerede styringer. Indregulering med skift af remskiver koster typisk 12.000 kr., mens avanceret styring anslås at koste 20.000 kr. plus 1.000 kr. pr. kW.

Ved 10 års tilbagebetalingstid vurderes det ikke rentabelt "her og nu" at ændre ventilationsprincip. Udskiftning af ventilator og motor med dagens mest effektive har for en 11 kW ventilator typisk tilbagebetalingstid på 10 år. Det er derfor mest interessant ved ventilatorer med meget lave virkningsgrader som følge af, at de arbejder langt fra designpunktet eller er slidte.

En gennemgang af trykforholdene i et anlæg skal udføres af en tekniker og anlægget skal justeres ind igen til de nye trykforhold, f. eks. ved ændring af remskiver. Derfor er denne mulighed især interessant for anlæg over 5-20 kW.

En justering af driftstiden er billig og er særlig fordelagtig ved anlæg, der kører året rundt, selv om de kun gør nytte i den almindelige arbejdstid. Potentialet i tabel 12.4 for effektiv regulering af luftmængderne omfatter kun de anlæg, som i dag nedreguleres energimæssigt ineffektivt (flere af de andre besparelser inkluderer også nedregulering, men det er som følge af mindre behov og tilpasning af luftskiftet til behovet).

Planlagt vedligehold vurderes som gennemsnit for alle anlæg at kunne spare 3 %. Vedligehold skal udføres jævnlige, mindst en gang årligt, hvorfor levetiden angives til 1 år. De fleste andre besparelsemuligheder har levetider på 20-30 år, men på grund af ændringer i brugsmønstret og udnyttelsen af de ventilerede områder, fremkomsten af nye løsninger osv. er den teknisk-økonomiske levetid i de fleste tilfælde noget kortere. Energibevidst adfærd har typisk kort levetid og er et billigt alternativ til de tekniske løsninger, hvilket indgår ved opgørelsen af det samlede potentiale.

	2 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid år
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Mindre behov for vent.	2	40	1	20
Tilpasse luftskifte til behov	20	30	6	10
Ventilationsprincip				
Ventilator, motor og rem.	-		-	25
	5	30	2	25
Mindre tryktab	10	30	3	15
Justering af driftstid	10	30	3	10
Energieffektiv regulering	10	30	3	20
Vedligehold	100	3	3	1
Tekniske muligheder i alt			20	
Adfærd			5	2
Totalt			23	

	4 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Mindre behov for vent.	5	30	2
Tilpasse luftskifte til behov	30	25	8
Ventilationsprincip			
Ventilator, motor og rem.	-		-
	10	25	3
Mindre tryktab	20	25	5
Justering af driftstid	15	25	4
Energieffektiv regulering	15	30	5
Vedligehold	100	3	3
Tekniske muligheder i alt			28
Adfærd			5
Totalt			31

	10 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Mindre behov for vent.	10	25	3
Tilpasse luftskifte til behov	50	20	10
Ventilationsprincip			
Ventilator, motor og rem.	-		-
	30	20	6
Mindre tryktab	40	20	8
Justering af driftstid	20	25	5
Energieffektiv regulering	25	30	8
Vedligehold	100	3	3
Tekniske muligheder i alt			38
Adfærd			5
Totalt			41

*Tabel 12.4. Besparelspotentiale for rumventilation ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag. Den forventede levetid er vist i øverste tabel.*

### 12.7.2 Blæsere

Erhvervslivets blæsere er generelt væsentligt større end rumlufts-ventilatorerne. En typisk blæser anslås at være på 30 kW med en benyttelsestid på 4000 h/år svarende til et elforbrug på 120 MWh/år. Der er et stort antal blæsere af størrelsesordenen 1 kW i bl. a. køletårne og små kedler, men de står kun for en lille del af elforbruget til blæsere.

Besparelsen på blæsernes elforbrug som resultat af mindskede behov vil være en afledt effekt af et større projekt og vil indgå i det større projekts økonomi. Substitution vurderes især at være aktuelt ved transport af materialer og specielt inden for landbrug samt træ- og møbelindustri. Luftmængderne er generelt tilpasset behovet, men der vurderes at være et potentiale i forbindelse med spåntagende maskiner o. lign. Effektiv punktudsug kræver en ingeniørmæssig indsats, men kan være økonomisk rentable, hvor der er tale om mange ens udsug eller hvor der samtidig løses nogle væsentlige miljøproblemer.

I det omfang blæserne er lavt belastede eller arbejder langt fra designpunktet, vil der være god økonomi i at udskifte dem. For andre ventilatorer og motorer er potentialet nogle få procent, fordi der er tale om ret store enheder.

Mindre tryktab og energieffektiv regulering af luftmængder opgøres sammen, da de væsentligste sparemuligheder vedr. tryktab er fjernelse/åbning af spjæld kombineret med en regulering af ventilatorydelsen med frekvensomformer eller anden form for omdrejningsregulering. Da spjæld stadig bruges mange steder, og da der ofte er betydelige tab over spjældene, er der et stort besparelspotentiale.

Planlagt vedligehold vurderes som gennemsnit for alle anlæg at kunne spare 2 %. Levetiden vurderes for de forskellige muligheder på samme måde som i afsnit 12.7.1.2.

	2 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid år
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Mindre behov	-		-	20
Substitution	-		-	20
Tilpasse luftm. til behov	2	40	1	15
Effektiv punktudsugning	-		-	20
Ventilator og motor	5	30	2	20
Mindre tryktab plus energieffektiv regulering	20	30	6	10
Vedligehold	100	2	2	1
Tekniske muligheder i alt			11	
Adfærd			1	2
Totalt			12	

	4 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Mindre behov	-		-
Substitution	5	50	3
Tilpasse luftm. til behov	5	30	2
Effektiv punktudsugning	2	40	1
Ventilator og motor	15	20	3
Mindre tryktab plus energieffektiv regulering	30	25	8
Vedligehold	100	2	2
Tekniske muligheder i alt			18
Adfærd			1
Totalt			19

	10 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Mindre behov	5	40	2
Substitution	10	40	4
Tilpasse luftm. til behov	20	15	3
Effektiv punktudsugning	5	40	2
Ventilator og motor	30	15	5
Mindre tryktab plus energieffektiv regulering	50	20	10
Vedligehold	100	2	2
Tekniske muligheder i alt			26
Adfærd			1
Totalt			27

Tabel 12.5. Besparelspotentiale for blæsere ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag. Den forventede levetid er vist i øverste tabel.

### 12.7.3 Sammenfatning af besparelspotentialet

Teknologi	Energiforbrug TJ/år	2 års tilbagebetalingstid		4 års tilbagebetalingstid		10 års tilbagebetalingstid	
		%	TJ/år	%	TJ/år	%	TJ/år
Rumventilation	7100	23	1630	31	2200	41	2910
Blæsere	3548	12	430	19	670	27	960
Ventilation i alt	10648	19	2060	27	2870	36	3870

Tabel 12.6. Besparelspotentiale for teknologiområdet Ventilation ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag.

### 12.7.4 Fordeling på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder

Kvotevirksomhedernes elforbrug opgøres overslagsmæssigt til 10.300 TJ/år, fordelt med 10.000 TJ/år på industrien og 300 TJ/år på gartnerier. Det svarer til knapt 30 % af elforbruget i såvel industri som gartnerier og til ca. 15 % af erhvervslivets elforbrug.

Kvotevirksomhedernes elforbrug til ventilation anslås til 1800 TJ/år i industrien og 10 TJ/år i gartnerier. En stor del af disse forbrug går til blæsere. Kvotevirksomhedernes anlæg er typisk større og har længere driftstid end anlæggene i det øvrige erhvervsliv, hvilket peger i retning af større besparelspotentiale, men kvotevirksomhederne har formentlig haft opmærksomhed på disse muligheder i lang tid i kraft af deres tekniske organisationer. Besparelspotentialet vurderes derfor som vist i tabel 12.7.

	Energi-forbrug TJ/år	2 års tilbagebetalingstid		4 års tilbagebetalingstid		10 års tilbagebetalingstid	
		%	TJ/år	%	TJ/år	%	TJ/år
Kvotevirksomheder	1810	14	250	20	360	28	510
Ikke-kvotevirks.	8838	20	1810	28	2510	38	3360
I alt	10648	19	2060	27	2870	36	3870

Tabel 12.7. Besparelspotentiale for teknologiområdet Ventilation, opdelt på kvotevirksomheder og øvrige virksomheder.

## 12.8 Sammenligning med 1995-potentialet

I ref. 7 fra 1995 blev der foretaget en vurdering af "her og nu" besparelspotentialet i 1995, se tabel 12.8. I tabel 12.8 er der også anført den gennemsnitlige tilbagebetalingstid, beregnet ud fra datidens elpris på 35 øre/kWh og brændselspris på ca. 65 kr./MWh og under den i ref. 6 anførte antagelse, at der spares 2 kWh varme pr. kWh el.

Elbesparelse %	Investering kr./kWh årlig elbesp.	Gennemsnitlig tilbagebetalingstid År
0-10	0,2	0,4
10-20	1	2,1
20-30	2	4,2
30-40	3	6,3
40-60	6	12,5

Tabel 12.8. Besparelspotentialer ved ventilation år 1995 ifølge ref. 6.

Antages det, at besparelserne inden for de enkelte intervaller i tabel 12.8 er fordelt lineært over intervallet, og at de tilsammen udgør en kontinuert kurve, fås besparelspotentialer år 1995 som vist i tabel 12.9. Det i denne undersøgelse fundne potentiale for 2008 er også vist i tabel 12.9. Det ses, at potentialet i dag vurderes at være lidt lavere ved 10 års tilbagebetalingstid og ellers næsten det samme som i 1995. Alligevel skal det understreges, at begge opgørelser er behæftet med en del usikkerhed og først og fremmest har til formål at give omtrentlige størrelser for potentialerne og at pege på de mest fordelagtige typer af tiltag.

Tilbagebetalingstid År	Potentiale 1995 %	Potentiale 2008 %
2	20	19
4	29	27
10	45	36

Tabel 12.9. Sammenligning af besparelspotentialer år 1995 og 2008.

## 12.9 Referencer

1. Energibevidst projektering af ventilationsanlæg. Projekteringsvejledning. Energistyrelsen/F.R.I. Maj 2001
2. Elforbrug i serverrum. Pilotprojekt. Teknologisk Institut. Juni 2004
3. Energisparekatalog i landbruget. Landbrugets Rådgivningscenter, April 2002
4. Scan-Coat A/S. Energibevidst projektering. Carl Bro. September 1998
5. Energieffektiv punktudsugning fra kehlmaskiner i dansk erhvervsliv. Elforsk.
6. Ordning for obligatorisk tilsyn af ventilationsanlæg. Teknologisk Institut. December 2003
7. Teknologikatalog – energibesparelser i erhvervslivet. Energistyrelsen 1995

## 13 Trykluft

### 13.1 Indledning

Forbrugsområdet trykluft omfatter luft, der produceres med kompressorer. Det er luft med et tryk på omkring 0,5 bar eller mere, men ofte 7 bar (for trykluft angives trykket altid som overtryk i forhold til atmosfæretryk). Energiforbruget til køling og affugtning af tryklufften medregnes også under teknologiområdet trykluft.

### 13.2 Teknologiens anvendelse

Trykluft er en energibærer, hvis energiindhold konverteres til arbejde ved ekspansion af luften. Trykluft omfatter instrumentluft til aktuatorer (cylindre) i produktionsmaskiner og apparater og til luftmotorer i værktøjer, sendeluft i pneumatiske transportanlæg og blæseluft. Blæseluft blæser emner ud af værktøjer og blæser beholdere op, renser filtre, køler kameraer og bruges til rengøring mv. Kompression af gasser til bl.a. beluftning af gæringstanke og fremstilling af ilt m.v. medregnes også under teknologien trykluft.

### 13.3 Teknologiuudviklingen

Den væsentligste udvikling på trykluftområdet i de sidste 15 år har været inden for kompressorernes regulering og deres elmotorer. Ved at regulere elmotorens omdrejningstal, typisk med frekvensomformer, kan kompressorens luftydelse varieres fra ca. 25 % til ca. 110 % af den nominelle ydelse. Til sammenligning producerer en skruekompressor med fast omdrejningstal 100 % af den nominelle ydelse og reguleres ved at køre belastet – aflastet (100 % - 0 % luftydelse ved 100 % - 25 % eleffekt) eller ved drøvling ("modulerende drift"), der er energimæssigt dyrt. Udviklingen inden for elmotorer har ført til, at den konventionelle asynkronmotor i en række tilfælde er erstatter med nye motortyper som permanent magnet synkronmotorer eller switchede reluktansmotorer. De nye motorer har højere virkningsgrad og kan køre med højere omdrejningstal, så gearet eventuelt kan udelades og geartabene spares.

Ud over den markante udvikling på regulerings- og motorområdet sker der en løbende effektivisering af kompressorerne på en lang række områder. For skruekompressoren, den mest anvendte kompressortype, er der arbejdet med at reducere de interne tryktab i bl. a. filtre og kanaler, forbedre skrueelementerne og de tilhørende ind- og udløb, reducere lejetabene og forbedre de elektroniske styresystemer. Atlas Copco oplyser (ref. 1), at det for deres kompressorer har betydet en energieffektivisering over de sidste 15 år på 6-8 %.

Mulighederne for at udnytte tabsvarmen fra kompressorerne er blevet forbedret. Således kan varmen fra EN oliefri skruekompressor nu genvindes i et vandbåret system ved op til 90 °C.

### 13.4 Energiforbrug

Elforbruget til trykluft er opgjort til 4.580 TJ (1272 GWh) i 2006. Det er 7 % af erhvervslivets elforbrug. Trykluft bruges overalt i industrien og i mindre grad inden for handel og service (automobilværksteder, servicestationer samt handel med korn- og foderstoffer). Tabel 13.1 viser elforbruget i de brancher, hvor det absolutte elforbrug til trykluft er størst.

Forbruget er størst i brancherne mineralolieindustri, fremstilling af industrigasser og af farvestoffer (inkl. enzymer), hvor det er opgjort til 1041 PJ (289 GWh) i 2006. Langt

hovedparten af dette elforbrug får til fremstilling af ilt m.m., beluftning af beholdere og kompression af raffinaderigas. Inklusive forbrug i medicinalindustrien og andre brancher går omkring 1100 PJ/år til sådanne formål (som i det følgende betegnes procesluft).

Branche	Elforbrug (2006) Trykluft	
	TJ	%
<b>Landbrug og fiskeri</b>	<b>83</b>	<b>2</b>
<b>Industri i alt</b>	<b>4093</b>	<b>89</b>
<i>Heraf</i>		
- Træindustri	166	4
- mineralolieindustri mv.	270	6
- fremstilling af industrigasser mv.	433	9
- fremstilling af farvestoffer mv.	338	7
- medicinalindustri	155	3
- fremst. af gummiprodukter mv.	170	4
- møbelindustri	220	5
<b>Privat handel og service</b>	<b>404</b>	<b>9</b>
<i>Heraf</i>		
Engros- og agenturhandel undtagen med biler	189	4
<b>I alt</b>	<b>4580</b>	<b>100</b>

Tabel 13.1. Elforbrug til trykluft i 2006, udspecificeret på de vigtigste brancher.

### 13.5 Tekniske besparelsmuligheder

Det typiske trykluftanlæg består af en enkelt eller nogle få kompressorer på 30-120 kW, der producerer luft til et udstrakt trykluftnet med mange forskellige forbrugere, der bruger luften ved tryk på hovedsageligt 4 til 7 bar. Ud fra en opgørelse fra 1996 af slutforbruget til egentlig trykluft (ref. 5) samt tabel 13.1 vedrørende forbrug i raffinaderier og iltfabrikker kan det opgøres, at slutforbrugene fordeler sig med 45 % til dyser, 30 % til aktuatorer, 10 % til motorer og 15 % som komprimerede gasser. Procesluften indgår under dyser (beluftning) og under komprimerede gasser. Procesluften adskiller sig fra den typiske trykluft ved mest at blive produceret på store kompressorer, ofte centrifugalkompressorer i MW-størrelsen, med få forbrugere og et lille ledningsnet. Besparelsmulighederne er derfor generelt mindre for procesluften end for den egentlige trykluft.

I dette afsnit beskrives mulighederne for at spare på elforbruget til trykluft inklusive procesluft. Der er et betydeligt sparepotentiale – op til ca. 90 % af elforbruget - ved at genvinde varme fra kompressions-arbejdet til rumopvarmning eller til procesopvarmning. Dette potentiale beskrives i afsnittet overskudsvarme/procesintegration.

#### 13.5.1 Mindre behov for trykluft

I et 7 bar trykluftsystem er det typisk 5-7 % af den energi, der tilføres kompressoren i form af el, som kan nyttiggøres i form af trykluft ude hos slutbrugeren. Direkte eldrift bør derfor vælges, hvor det kan opfylde ydelseskravene og investeringen kan forsvares. Eksempler på direkte eldrift er elektriske aktuatorer, der kan erstatte pneumatisk (trykluftdrevne), elværktøjer i stedet for trykluftværktøjer og eldrevne vakuumpumper til erstatning af trykluftdrevne ejektorer. Andre eksempler på substitution af trykluft med el er renblæsning

med ventilatorer eller kost og køling med ventilationsluft i stedet for med trykluft, luftkive med ventilatorluft i stedet for trykluft til bortblæsning af væde fra produkter, regenerering af adsorptionstørrere med el i stedet for trykluft og mekanisk transport med selvlukkende bånd eller redler i stedet for pneumatisk transport (ref. 7). Et eksempel inden for procesluft er substitution af nitrogen, fremstillet ved destillation af atmosfærisk luft med dertil hørende kompressionsarbejde, med nitrogen fremstillet med brug af membranteknologi. En sådan substitution vil bl.a. være mulig de steder i fødevarerindustrien, hvor der ikke stilles krav om meget høj renhed af nitrogenen.

Et konkret og meget innovativt eksempel på mindre behov for belufts-luft er fra Novo Nordisk. Virksomheden har i 2008 taget en ny stamme gærceller i brug, som halverer produktionstiden i gæringstankene og dermed halverer luftforbruget.

### **13.5.2 Tilpasse trykluftforbruget til behovet**

Tilpasning af luftforbruget til behovet er relevant både hvad angår tryk og luftmængde. Tryklufften skal ikke produceres ved højere tryk end det højeste nødvendige tryk på forbrugssiden plus hvad der svarer til tryktabet i nettet (om reduktion af dette, se afsnit 5.3). Ofte vil produktionstrykket kunne sænkes 0,5-1,0 bar ved, at man prøver sig frem med lavere tryk og ændrer på de mest trykkrævende forbrugssteder. Trykbehovet på forbrugsstederne kan variere fra 6-7 bar til visse instrumenter over 2-4 bar til sendeluft ned til 0-1 bar til blæseluft. Er der tale om større luftbehov (typisk over 3-10 m<sup>3</sup>/min), kan tilpasningen mellem behov og produktion ske ved, at tryklufften produceres på flere kompressorer med forskellige produktionstryk (elforbruget til produktion af 3 bar luft er 60 % af forbruget til 7 bar luft).

Luftmængden kan tilpasses ved at benytte trykreduktionsventiler, så der i den enkelte dyse eller aktuator kun bruges den nødvendige luft, samt ved kun at bruge luft, når der er behov for luften. Ved eksempelvis renblæsning af maskiner kan det gøres ved kun at blæse, når der er emner i maskinen, og ved renblæsning af poserne i posefiltre kan det styres ud fra trykket over poserne i stedet for at være tidsstyret. Renblæsning efter behov og andre former for behovstilpasning sker naturligvis allerede, men ikke alle de steder, hvor det er muligt.

### **13.5.3 Tekniske løsninger i kompressorcentralen**

De fleste af erhvervslivets kompressorer har et specifikt elforbrug på 0,10-0,12 kWh pr. produceret m<sup>3</sup> 7,5 bar trykluft mod ca. 0,095-0,10 kWh/m<sup>3</sup> for de bedste kompressorer på markedet. Besparelsesmulighederne i kompressorcentralen består derfor i at benytte de mest effektive kompressorer, men også i en energieffektiv regulering af luftproduktionen (se afsnit 13.5) og i at begrænse tryktabet over hjælpeudstyr som køletørrere og filtre. En måde at begrænse tryktabet er ved at anvende oliefri kompressorer, hvor der ikke skal filtreres for olie.

Teoretisk falder elforbruget med 1 %, hvis kompressorens indsugningsluft bliver 3 °C koldere. Derfor anbefales det normalt at tilføre kompressorer kold luft. Ifølge Atlas Copco (ref. 2) kan besparelsen dog ikke registreres på de målinger, der foretages hos fabrikkerne.

Tryklufften tørres typisk ned til et dugpunkt på 3 °C for at begrænse kondensproblemer. Den almindeligste type tørrer er køletørreren, som har et elforbrug på 5-10 % af kompressorens. Elforbruget kan reduceres med nye køletørrere, der – i kraft af det løbende udviklingsarbejde – er mere eleffektive. Med en adsorptionstørrer kan elforbruget helt undgås ved at



regenerere med varme fra en oliefri kompressor, men er det ikke muligt, bør regenereringen ske med elvarme frem for med trykluft.

#### **13.5.4 Tekniske løsninger i net og hos forbrugerne**

I fordelingsnettet gælder det også om at minimere tryktabet (så produktionstrykket kan sænkes). Det kan gøres ved at skifte snævre rør og slanger og ved at opsætte lokale trykluftbeholdere på steder, hvor der kortvarigt bruges store mængder luft.

På forbrugsstederne opnås elbesparelsen ved at anvende udstyr med lavt trykbehov og mindst muligt luftforbrug. For aktuatorer kan det indfries med korte slaglængder og enkeltvirkende i stedet for dobbeltvirkende cylindre. Ved blæsning bør luften fordeles med opgavetilpassede dyser eller venturi i stedet for åbne rør (ref. 8), og ved iltning i beholdere og bassiner kan luftfordelingen måske forbedres med mere effektive beluftningsudstyr.

#### **13.5.5 Regulering**

I de senere år er der kommet mange kompressorer på markedet, hvor ydelsen reguleres kontinuert ved omdrejningsregulering af motoren. Reguleringen er mere energieffektiv, idet der typisk bruges 15-25 % mindre energi (gælder 7 bar kompressorer) end ved belastet-aflastet drift. Omdrejningstalsregulering kan også være interessant ved kompressorer for lave tryk, eksempelvis kapselblæsere, da de typisk ellers regulerer ved at udlede overskydende luft til omgivelserne.

Benyttes flere kompressorer, indebærer den traditionelle kaskadestyring, at det gennemsnitlige produktionstryk bliver op til 1 bar højere end nødvendigt. Med en "intelligent styring" kan produktionstrykket sænkes, så der opnås elbesparelser på op til 5-10 %. Ude i nettet kan det unødvendige trykluftforbrug og lækagetabet begrænses ved automatisk at frakoble udstyr, når det ikke er i drift.

#### **13.5.6 Vedligehold**

Ud over den almindelige service på kompressorer og køletørrer – som primært skal sikre en høj driftssikkerhed – omfatter vedligeholdelse rensning af filtre, udskiftning af slidte luftmotorer osv. samt lækagesøgning og udbedring af lækager. Lækager kan ikke helt undgås, men omfanget af lækager er højt og skønnes ud fra lækagemålinger i flere hundrede virksomheder at være 25-30 % af den producerede luft (ref. 3). Efter udbedring af alle lækager, der er fundet ved en lækagesøgning, vil lækageomfanget være reduceret til nogle få procent, men vil der efter gradvist stige igen. Ved at foretage halv- eller helårige lækagesøgninger med efterfølgende udbedringer kan det gennemsnitlige niveau typisk holdes på 5-15 %.

Lækagesøgning er særligt vigtigt i trykluftnet, der står med tryk på hele året, fordi f. eks. nogle aktuatorer skal være funktionsklare. Frakobles delnet automatisk ved arbejdstids ophør, kan lækagesøgningen foregå sjældnere her end de en til to gange årligt, der typisk er rentabelt i større installationer.

### **13.6 Adfærdsmæssige energibesparelsesmuligheder**

Adfærden spiller en vis rolle ved trykluft, idet operatører og driftspersonalet i øvrigt har mulighed for at begrænse spild af luft. Det gælder ved den daglige brug af trykluft, hvor luften kun bør bruges, hvor det er nødvendigt, og ikke til f. eks. de former for renblæsning, der kan klares med en kost, ligesom tryklufften bør afbrydes ved maskinstop m.m. Det

gælder også ved lækager, som personalet bør indberette så snart de opdages, så de hurtigt kan repareres.

### **13.7 Besparelspotentialer**

Det teoretiske potentiale for at substituere trykluft med direkte eldrev vurderes i ref. 4 til 10 % for luftdrev, 50 % for aktuatorer og 10 % for dyser. Med den i afsnit 5 omtalte fordeling af tryklufforbruget svarer det til et samlet teoretisk substitutions-potentiale på 21 %, som skønnes også at gælde for 2009. Mulighederne ved en tilbagebetalingstid på 2 år omfatter især omlægning fra dyse-trykluft til ventilationsluft ved renblæsning og køling. Ved 10 års tilbagebetalingstid kan mange af de teoretiske besparelser implementeres "her og nu", selv om der er tale om investeringstunge tiltag. De teoretiske muligheder, der selv ved 10 års tilbagebetalingstid ikke vil være økonomiske, vedrører små trykluftanvendelser med korte driftstider.

En tilpasning af trykluft-trykket til forbrugsstedernes behov ved generelt at sænke produktionstrykket har meget kort tilbagebetalingstid, mens indførelse af flere kompressor-tryk vil have nogle års tilbagebetalingstid, der hvor det er teknisk relevant. Anvendelse af trykreduktionsventiler og styring af blæsningen efter behovet har kort tilbagebetalingstid og er derfor allerede praktiseret de fleste steder.

Kun ved 10 års tilbagebetalingstid er der mulighed for "her og nu" at udskifte kompressorer og tørrerter med mere energieffektive enheder. I nettet er mulighederne også begrænsede, når det gælder at skifte rørstrækninger og ventiler m.m. med henblik på at opnå lavere tryktab og derved kunne sænke produktionstrykket.

"Intelligente styringer" af flere kompressorer og styring af luftforbrug og lækagetab i nettet ved automatisk afspærring af maskiner og fabriksafsnit er forholdsvis billige tiltag, mens en udskiftning af en kompressor med en omdrejningstalsreguleret er dyr og typisk har 5-10 års tilbagebetalingstid som "her og nu" investering. De første muligheder kan have en tilbagebetalingstid under 2 år, og er da også allerede udnyttet en del steder.

Ved at søge og udbedre lækager en eller et par gange årligt vil lækagetabene kunne reduceres fra de gennemsnitlige 25-30 % i dag til 5-15 %, idet der jo løbende opstår nye lækager. Lækagesøgning og -udbedring er energibesparende overalt i erhvervslivet, og en regelmæssig indsats er derfor økonomisk fordelagtig i næsten alle installationer.

I dagens trykluftsystemer vil en energibevidst adfærd fra driftspersonalets side kunne betyde besparelser på nogle procent. Hvis trykluftanvendelserne i stigende grad styres og optimeres og lækagesøgningen sættes i system, får adfærden mindre betydning, men selv med de tiltag, der forudsættes gennemført ved 10 års tilbagebetalingstid, vil der være en række muligheder tilbage.

	2 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid år
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Mindre behov for trykluft	5	80	4	10
Tilpasse luftforbrug til behov	30	10	3	5
Regulering	40	2	1	10
Vedligehold	80	15	12	0,5-2
Tekniske muligheder i alt			19	
Adfærd			4	
Totalt			23	

Tabel 13.2. Besparelspotentiale for trykluftanlæg ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag med 2 års tilbagebetalingstid. Den forventede levetid er også vist.

	4 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Mindre behov for trykluft	8	80	6
Tilpasse luftforbrug til behov	60	8	5
Net og forbrug	10	4	0
Regulering	60	5	3
Vedligehold	90	15	14
Tekniske muligheder i alt			26
Adfærd			2
Totalt			28

Tabel 13.3. Besparelspotentiale for trykluftanlæg ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag med 4 års tilbagebetalingstid.

	10 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Mindre behov for trykluft	20	80	16
Tilpasse luftforbrug til behov	80	12	10
Kompressorcentralen	40	10	4
Net og forbrug	20	4	1
Regulering	80	8	6
Vedligehold	90	15	14
Tekniske muligheder i alt			42
Adfærd			1
Totalt			43

Tabel 13.4. Besparelspotentiale for trykluftanlæg ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag med 10 års tilbagebetalingstid.

### 13.7.1 Fordeling på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder

De fleste kvotevirksomheder er "typiske" brugere af trykluft. Dog bruges der inden for mineralolieindustri, glasindustri, medicinalindustri og ved fremstilling af farvestoffer (enzymmer) forholdsvis meget el – anslået 600 TJ/år – til kompression af gasser, til beluftning og til blæsning. Branchen med det største elforbrug til trykluft (kompression) er fremstilling af industrigasser mv. Virksomheder i denne branche er ikke kvotevirksomheder. På denne

baggrund samt ud fra, at kvotevirksomhederne står for ca. 30 % af industriens elforbrug, er elforbruget til trykluft fordelt som vist i tabel 13.5.

Besparelspotentialet er fordelt på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder i tabel 13.5 ud fra, at potentialet for procesluft generelt er mindre end for den øvrige trykluft, samt at det resterende potentiale antages at være ret ens fordelt på de to kategorier. Antagelsen om den ret ensartede fordeling af det øvrige potentiale begrundes med, at kvotevirksomhederne generelt har længere driftstider end ikke-kvotevirksomhederne, således at økonomien i besparelser vil være bedre og potentialet dermed større, men modsat gør det kvotevirksomhederne mere motiverede for at spare på energien, og generelt er de også bedre udrustet mandskabsmæssigt til at kunne gøre det.

	Energi- tab TJ/år	2 års tilbage- betalingstid		4 års tilbage- betalingstid		10 års tilbage- betalingstid	
		%	TJ/år	%	TJ/år	%	TJ/år
Kvotevirksomheder	1700	19	330	23	390	37	630
Ikke-kvotevirks.	2880	25	720	31	890	47	1340
I alt	4580	23	1050	28	1280	43	1970

Tabel 13.5. Besparelspotentiale for teknologiområdet Trykluft, opdelt på kvotevirksomheder og øvrige virksomheder.

### 13.8 Sammenligning med 1995-potentialet

I ref. 6 fra 1995 blev der foretaget en vurdering af "her og nu" besparelspotentialet i 1995, se tabel 13.6. I tabellen er også anført den gennemsnitlige tilbagebetalingstid, beregnet ud fra datidens elpris på 35 øre/kWh.

Elbesparelse %	Investering kr./kWh årlig elbesp.	Gennemsnitlig tilbagebetalingstid År
0-10	0,5	1,4
10-30	1,5	4,3
30-50	3,0	8,6
50-79	6,0	17

Tabel 13.6. Besparelspotentialer ved trykluft år 1995 ifølge ref. 6.

Antages det, at besparelserne inden for de enkelte intervaller i tabel 13.6 er fordelt lineært over intervallet, og at de tilsammen udgør en kontinuert kurve, fås besparelspotentialer år 1995 som vist i tabel 13.7. Det i denne undersøgelse fundne potentiale for 2008 er også vist i tabel 13.7. Når potentialet ved 2 og 4 års tilbagebetalingstid i dag vurderes at være større end i 1995, skyldes det især, at besparelserne ved udbedring af lækager i indeværende analyse vurderes til 12-14 % mod 4 % i ref. 6. Trods denne forskel er der ikke større forskel i potentialerne ved 10 års tilbagebetalingstid, idet potentialet i ref. 6 omfatter væsentligt større besparelser end dagens analyse ved substitution af trykluftaktuatorer med elaktuatorer.

Tilbagebetalingstid År	Potentiale 1995 %	Potentiale 2008 %
2	8	23
4	18	28
10	46	43

*Tabel 13.7. Sammenligning af besparelspotentialer år 1995 og 2008.*

### **13.9 Referencer**

1. Foredrag ved Anil Hingorani, Atlas Copco, ved EEMOD 2009.
2. Samtale med Ole Andersen, Atlas Copco A/S
3. Samtale med Jesper Filtenborg, LeekSeek ApS
4. Elbesparelser ved trykluft. Teknisk kortlægning. DEFU. 1996
5. Elbesparelser ved trykluft. Substitution og effektivisering. DEFU. 1996
6. Teknologikatalog – energibesparelser i erhvervslivet. Energistyrelsen 1995
7. Energieffektiv intern materialetransport i industrien. Energy Consulting Network. April 2005
8. Energimæssig optimering af industriens posefiltre. Dansk Energi Analyse. April 2000

## 14 Øvrige elmotordrift

### 14.1 Indledning

Afsnittet omhandler udstyr, der drives af elmotorer, bortset fra ventilation, pumpning, køling og trykluft, som behandles i separate afsnit. Også elmotorerne selv inkl. transmissioner (gear, remtræk m.v.) er behandlet i et separat afsnit.

### 14.2 Teknologiens anvendelse

"Øvrige elmotorer" er et meget stort og varieret område med udstyr som omrørere, møller, valser, centrifuger, pressere, refinere, save, sakse, pakkemaskiner, trykkerimaskiner, drejebænke, stansemaskiner, transportbånd, kraner osv. Hydraulik indgår som en væsentlig energiom sætter i meget af dette udstyr og behandles derfor separat i indeværende afsnit. Også mekanisk transport behandles separat, da det udgør et særligt område.

### 14.3 Teknologiudviklingen

I dette afsnit beskrives udviklingen i de seneste 10 år og der beskrives trends for den kommende udvikling.

#### 14.3.1 Hydraulikanlæg

De senere års udvikling på hydraulikområdet har været rettet mod mobile anlæg og anlæg til vindmøller, mens der kun er sket en beskedent udvikling inden for industrielle anlæg. Vandhydraulik, der energimæssigt er på linie med oliehydraulik, har vundet indpas inden for bl. a. fødevarer sektoren, men har ikke slået igennem i stort omfang.

Den mulige udvikling i de kommende år ligger inden for intelligente styringer og intelligente sensorer, som muliggør udvikling af anlæg med høj virkningsgrad i hele arbejdsområder og med lang levetid.

#### 14.3.2 Mekanisk transport

To træk i udviklingen er øget anvendelse af tromlemotorer, som har omkring 30 % lavere elforbrug end en elmotor med snækkegear, og øget anvendelse af plast-modulbånd, hvor friktionen er den halve af almindelige bånd. Et træk i de nærmeste års udvikling er indførelse af elektronisk styrede synkronmotorer, som kan bringe energitabene i en tromlemotor ned med yderligere 20-30 %.

#### 14.3.3 Resten af teknologiområdet

Generelt er der de seneste år kun sket mindre energiforbedringer af det markedsførte udstyr, og de gennemførte forbedringer er bl. a. sket i kraft af mere effektive elmotorer og bedre styringer. Der kan ikke peges på særlige trends i udviklingen de kommende år, hvor energi-effektiviseringen nok især skal opnås på ingeniørsiden ved at bruge udstyr, der er specielt udvalgt/tilpasset den konkrete opgave, og bruge dette udstyr på den mest intelligente måde.

## 14.4 Energiforbrug

Erhvervslivets elforbrug til "øvrige elmotorer" inkl. findeling og omrøring er opgjort til 12.676 TJ (3520 GWh) i 2006. Det er 20 % af erhvervslivets elforbrug. Størst andel har slutanvendelsen i industrien, hvor den udgør 30 % af elforbruget med cementindustrien som de største forbrugere. Tabel 14.1 viser elforbruget til "øvrige elmotorer" i de brancher, hvor denne slutanvendelse er størst.

Branche	Elforbrug (2006) Øvrig elmotordrift	
	TJ	%
<b>Landbrug og fiskeri</b>	<b>1.024</b>	<b>8</b>
<b>Industri i alt</b>	<b>10.853</b>	<b>86</b>
<i>Heraf</i>		
- slagterier mv.	507	4
- mejerier og isfabrikker	570	4
- fremst. af stivelsesprodukter mv.	839	7
- tekstilindustri	220	2
- træindustri	355	3
- papirindustri	528	4
- trykkerier	324	3
- fremst. af farvestoffer mv.	455	4
- fremst. af rengøringsmidler mv.	399	3
- fremst. af gummiprodukter mv.	255	2
- fremst. af cement, mursten mv.	1097	9
- fremst. af produkter af beton mv.	433	3
- fremst. af byggematerialer af metal	303	2
- fremst. af håndværktøj mv.	226	2
- fremst. af skibsmotorer mv.	474	4
- møbelindustri	302	2
<b>Privat handel og service</b>	<b>799</b>	<b>6</b>
<b>I alt</b>	<b>12.676</b>	<b>100</b>

Tabel 14.1. Elforbrug til "øvrige elmotorer" i 2006, udspecificeret på de vigtigste brancher.

Elforbruget til hydraulik udgør 4,0 – 4,5 % af industriens samlede elforbrug (ref. 1). Det er 1400 – 1600 TJ/år. Omkring 25 % af dette forbrug går til smeltning/støbning i plastindustrien (slutanvendelse smeltning), mens resten vedrører "øvrige elmotorer". Inklusive et mindre forbrug i landbruget regnes hydraulik at udgøre 1400 TJ (390 GWh) i 2006.

Elforbruget til mekanisk transport anslås til 1,5 % af erhvervslivets elforbrug eller 1000 TJ/år. Det fordeler sig med omkring 300 TJ/år i landbruget og 700 TJ/år i industrien, mens forbruget inden for privat handel og service er beskedent.

## 14.5 Tekniske energibesparelsemuligheder

### 14.5.1 Hydraulikanlæg

Beskrivelsen omfatter både separate hydraulikanlæg, der betjener flere apparater, og anlæg integreret i et apparat.

#### 14.5.1.1 Substitution

Hydraulik er knapt så energieffektivt som direkte eldrev via omdrejningstalsregulerede elmotorer eller elektriske aktuatorer. Direkte eldrev kan især substituere hydraulik ved single step maskiner (med én "forbruger" pr. hydraulikpumpe) og i anvendelser med små kræfter og et begrænset startmoment.

#### **14.5.1.2 Omdrejningsregulering af pumper**

Hydraulikpumper yder ofte et flow, der overstiger brugernes behov. I sådanne tilfælde kan pumpen nedreguleres med f. eks. en frekvensomformer, hvilket vil spare energi både under belastning og tomgang.

#### **14.5.1.3 Tomgang**

Mange hydraulikanlæg kører i tomgang en stor del af tiden. Tomgangseffekten afhænger af anlæggets regulering, men udgør typisk 10 – 50 % af spidslasteffekten, og typisk går 20 – 80 % af et anlægs samlede elforbrug til tomgang. En stor del af tomgangsforbruget kan fjernes ved at stoppe hydraulikpumpen efter kort tid i tomgang eller ved at aflaste pumpen. Er der lange tomgangsperioder, kan pumpen stoppes med en timer, og ellers må der anvendes mere avancerede styringer, der eventuelt også sikrer hurtig genstart. Stoppes pumpen i tomgang, kan det være nødvendigt at etablere et slukke kredsløb for at undgå problemer med snavs i anlægget.

#### **14.5.1.4 Andre muligheder**

Hydraulikanlæg kan også energieffektiviseres ved at anvende mere effektive pumper og ved at indsætte en akkumulator til at dække spidserne i forbruget, så pumpen kan udskiftes med en mindre, bedre tilpasset pumpe. Ved akkumulatorløsningen kan der dog være problemer med de sikkerhedsmæssige forhold som gør, at en løsning med en frekvensreguleret elmotor er at foretrække. Sammenbygning af flere anlæg er også en mulighed for at udnytte pumpen mere effektivt. Har nogle få brugere behov for høje tryk, kan der indsættes en trykforøgerpumpe til at dække disse brugeres trykbehov, således at det generelle hydrauliktryk kan sænkes. Desuden kan nævnes, at man i et flerbrugersystem kan anvende en flowfordeler i stedet for drøvling, der er forbundet med betydelige tab.

#### **14.5.1.5 Udskiftning af anlæg**

De foran beskrevne energieffektiviseringer vil indebære en del ændringer i anlæggets opbygning og regulering. En radikal løsning kunne derfor være – hvis direkte eldrev ikke er den bedste løsning – at udskifte hele anlægget med et nyt, der er energioptimeret ud fra de kendte driftsforhold. Det er især en attraktiv løsning, hvor der er tale om mange ens anlæg. Besparelspotentialet vil være betydeligt, ofte 20 – 70 %.

### **14.5.2 Mekanisk transport**

Mekanisk transport omfatter transportbånd, rullebaner, snegle, vibratorer, kædeskrabere (redlere), kopelevatorer, elevatorer, kraner osv. Pneumatisk transport behandles under slutanvendelsen "trykluft", og eltrucks henregnes til "arbejds kørsel".

Mekanisk transport er generelt meget energieffektivt i forhold til pneumatisk transport, hvorfor der ikke er væsentlige substitutionsmuligheder.

#### **14.5.2.1 Logistik**

Omfanget af intern transport kan ændres ved at placere lagre og produktionsmaskiner hensigtsmæssigt i forhold til hinanden og ved at arbejdsprocesser, således at det ikke er nødvendigt at lægge delvis forarbejdede produkter på mellemlager (bufferlager). Det er muligheder, der – ikke mindst af hensyn til transporttider og pladskrav – naturligt overvejes ved nyanlæg og større ombygninger, men sjældent ud fra energiforholdene, da den mulige energibesparelse normalt ikke er den vigtigste gevinst.



#### **14.5.2.2 Behovsstyring inkl. tomgang**

En stor del af elforbruget til mekanisk transport går til tabene i elmotorer og transmissioner og til at dække friktioner i systemet. Da mange transportanlæg er lavt belastede, kan der spares energi ved at køre så langsomt som muligt og så lidt som muligt. Samtidig er det vigtigt at undgå ophobning af stillestående varer, da der er store friktionstab mellem stillestående varer og et kørende bånd. Transportanlæg bør således køre med en høj belægning og bør stoppes i pauser og uden for arbejds- og rengøringstiden. En høj belægning kan opnås ved f. eks. at omdrejningsregulere motorerne, mens stop af tomgående systemer kan sikres med en timer, der afbryder, hvis der f. eks. ikke har været gods på transportbåndet i 2 min. Et eksempel på hastighedsregulering er en kopelevator, hvor frekvensreguleringen af motoren sparede 6 MWh/år med en tilbagebetalingstid på 3 år. Samtidig reduceredes støvgenerne fra elevatoren.

#### **14.5.2.3 Mere energieffektive komponenter**

Tabene i elmotorer og transmissioner er betydelige, fordi der næsten altid er tale om små enheder og om mindre energieffektive enheder, f. eks. snækkegear (ref. 2). Det er vigtigt at nedbringe disse tab (se nærmere herom i afsnittet "Elmotorer"), hvilket bl. a. kan gøres ved at benytte tromlemotorer. Andre besparelsesmuligheder består i at nedbringe vægten af de bevægelige dele og nedbringe friktionen. I fødevarerektoren kan friktionen eksempelvis nedbringes ved at benytte plast-modulbånd og ved at bruge ruller i stedet for plader under de almindelige bånd, hvilket dog skal afvejes med de hygiejniske hensyn.

For kraner og elevatorer kan der spares ved at tilbageføre nedhejsnings-energien til nettet. For personelevatorer vil det typisk halvere elforbruget. Tilbagebetalingstiden bliver dog over 10 år, med mindre elevatoren bruges næsten hele tiden.

#### **14.5.2.4 Vedligehold**

For at undgå unødvendigt energiforbrug er det vigtigt at vedligeholde transportanlæg med smøring, justering mv. Den daglige rengøring af kæder, ruller og bånd, der udføres af hygiejniske grunde, hjælper også til at holde elforbruget nede.

### **14.5.3 Resten af teknologiområdet**

#### **14.5.3.1 Mindre bearbejdning**

Bearbejdningen i de enkelte apparater er ofte mere grundig og omfattende end nødvendigt. Eksempelvis bliver mange produkter omrørt mere end nødvendigt eller formålet finere end nødvendigt. Den netop nødvendige bearbejdning kan bl. a. sikres ved at tidsstyre apparater (f. eks. blandeanlæg i landbruget), ved at udarbejde produktionsspecifikke recepter for behandlingen og ved løbende at udtage produkter (f. eks. gennem en sigtning af det formalede materiale), der allerede er tilstrækkeligt bearbejdede.

Er det kun en del af kunderne, der efterspørger det kvalitetsniveau, som et produkt fremstilles i, kan der ligeledes være energibesparelser ved at fremstille flere forskellige kvaliteter af et produkt. Et eksempel herpå kan være, at et produkt fremstilles i flere varianter med forskellig tørstofindhold og renhed, således at en del af produkterne ikke skal bearbejdes (f. eks. centrifugeres) så meget.

#### **14.5.3.2 Mere effektivt udstyr**

Besparelsesmulighederne kan bestå i at anvende andre/nye typer udstyr, der bruger mindre energi til opgaven, uden at der i øvrigt går på kompromis med produktkvalitet, kapacitet, betjeningsvenlighed osv. Udvalget eller opbygningen af sådant udstyr kræver ofte en god indsigt i den opgave, der skal løses, og eventuelt er det også nødvendigt med modelforsøg eller simuleringer. Et eksempel på en alternativ udstyrstype er hydrocyklonen, der i visse brancher kan erstatte dekantere og centrifuger og har et sparepotentiale på 18 – 35 GWh/år (ref. 3). Et andet eksempel er valsemøllen, der har omkring 30 % lavere elforbrug end de kuglemøller, den kan erstatte. Et tredje eksempel er skivemøller, der i forhold til hammer-/slaglemøller har et lavt elforbrug og en god findelingsgrad.

Selv om der ikke vælges en ny udstyrstype, kan der alligevel ofte opnås energibesparelser ved at anskaffe det nyeste udstyr, da nyt udstyr generelt er lidt mere energieffektivt og kan vælges, så det passer godt til opgaven og ikke er for stort. Et eksempel på nyt udstyr er omrørere med lave omrøringshastigheder eller med mere energieffektive røreorganer.

#### **14.5.3.3 Mere energieffektive komponenter**

Det er også muligt blot at udskifte dele af udstyret, f. eks. elmotoren og en eventuel transmission. Eksempelvis vil brugen af en softstarter kunne betyde, at elmotoren ikke skal overdimensioneres og derfor kan vælges mindre, så den belastes bedre og får højere virkningsgrad i den normale drift.

#### **14.5.3.4 Tomgang**

Omfanget af tomgangskørsel er betydeligt i mange brancher, men kan begrænses ved at stoppe maskiner i pauser m.m. Inden for slagterier er man gået en anden vej og reducerer i stedet produktionspauserne ved "pauseslagtning", udført af et særligt produktionshold. Under rengøring kører udstyret ofte hele tiden i tomgang, hvor det kun er nødvendigt at køre med en maskine, når netop den rengøres.

Jern- og metalindustriens store bearbejdningscentre kører meget tomgang, fordi de efter hver afbrydelse af elforsyningen skal indkøres igen. Sådanne maskiner burde fra leverandørens side være udstyret med en "tomgangsknap", så de let kan stoppes i pauser m.m. Mindre komplicerede maskiner kan dog let stoppes i tomgang, f. eks. med en timer, der afbryder maskinen efter f. eks. 5 minutters tomgang.

#### **14.5.3.5 Vedligehold**

Gennem energibevidst vedligehold i form af rensning, smøring og justering m.m. er det muligt at holde elforbruget på et lavt niveau og samtidig sikre en lang levetid for udstyret. Det kan gøres regelmæssigt og planlagt, men også efter behov. Der er nødvendigt at vurdere hyppigheden af vedligehold på en maskine ved at holde den mulige energibesparelse op mod det eventuelle produktionstab under vedligeholdstoppet.

Som eksempel på energibevidst vedligehold kan nævnes en elektrisk gravemaskine, overvåget med amperemeter, hvor f. eks. en 10 % stigning i strømforbruget indikerer, at det er tid for slibning af tænderne.

## 14.6 Adfærdsmæssige energibesparelsemuligheder

### 14.6.1 Hydraulikanlæg og mekanisk transport

De adfærdsmæssige muligheder for at spare på energien består mest i at slukke for udstyret (hydraulikanlæggene og transportanlæggene), så snart der ikke er brug for dem. Det kan bl. a. være i pauser og ved arbejdstids ophør. Det er ligeledes vigtigt, at maskinerne ikke tændes for tidligt.

### 14.6.2 Resten af teknologiområdet

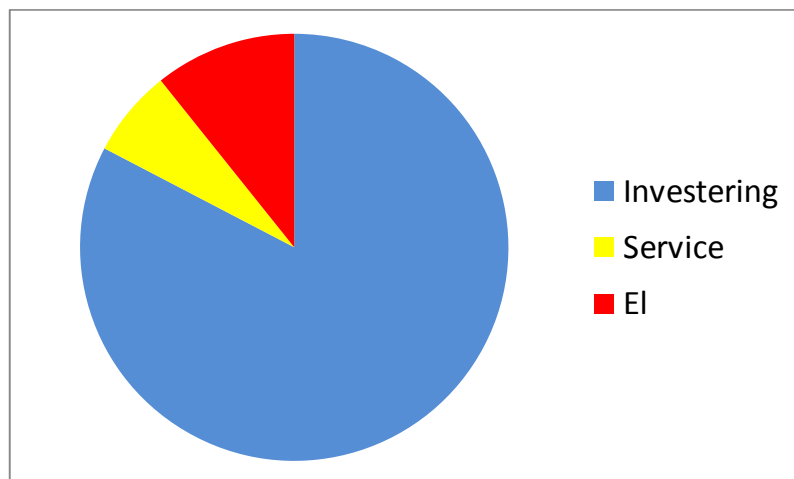
Der kan opnås besparelser ved at stoppe udstyr, der ellers ville køre i tomgang. Mulighederne regnes dog delvist udnyttet gennem styringer. En løbende kontrol af emnerne i produktionen, hvor fejlramte emner kasseres tidligt og ikke bearbejdes videre for derefter at blive kasseret, samt en skærpet opmærksomhed fra operatørerne på kassabel produktion vil også kunne spare energi. Hvis driftspersonalet indberetter unormale driftsforhold, kan der også spares energi, idet forholdene kan normaliseres hurtigere. Det kan f. eks. bestå i hurtigt at fejlrette og genoprette variabel drift, hvis en fejl har gjort det nødvendigt at slå over på konstant drift.

Inddrages energiforholdene i produktionsplanlægningen, kan det føre til produktion i længere serier (hvorved start-/stopforbruget reduceres) og produktion på de maskiner, der mest energieffektivt løser den pågældende opgave.

## 14.7 Besparelspotentialer

Besparelspotentialer er opgjort for erhvervslivet i år 2008 ud fra en simpel tilbagebetalingstid på 2 år, 4 år og på 10 år. Der er – naturligvis – tale om en overslagsmæssig opgørelse, idet der er meget store forskelle i apparattyper og i deres størrelser, driftstimer, udnyttelsesgrader, anvendelse osv.

For en stor del af det "øvrige elmotorer" gælder, at investeringen er den dominerende del af totalomkostningerne, som opgjort over 4 år eksempelvis kan være sammensat som vist i figur 14.1. Eksempler herpå er en valsemølle, hvor investeringen er måske 300 mio. kr. og de årlige eludgifter 20 mio. kr. Et andet eksempel er transportbånd, hvor et 100 m bånd kan koste 1 mio. kr. og have en årlig eludgift på 30.000 kr. For sådant udstyr vil tilbagebetalingstiden ved at udskifte udstyret med noget mere energieffektivt typisk være længere end udstyrets levetid, hvorfor mulighederne for energieffektivisering især ligger i at udskifte komponenter som elmotorer, gear og hydraulik samt i bedre styring og regulering af udstyret og bedre vedligehold. Også energibevidst adfærd vil normalt have meget kort tilbagebetalingstid, men måske også kort levetid, hvorfor besparelsen i det følgende primært regnes opnået ved bedre styringer o. l.



Figur 14.1. Eksempel på totalomkostninger til "øvrige elmotorer", opgjort over 4 år.

### 14.7.1 Hydraulik

De to besparelsemuligheder substitution af hydraulik med direkte eldrev og udskiftning af et hydraulikanlæg med et mere energieffektivt anlæg er generelt ret dyre, men da besparelspotentialt også kan være stort, kan tilbagebetalingstiden i en række tilfælde være rimelig. Flere af de øvrige beskrevne muligheder vedrører bl. a. en reduktion af tomgangsforbruget og er således alternativer til hinanden og til substitution og udskiftning af anlæg. De adfærdsmæssige muligheder for at spare på elforbruget til hydraulik er alternativer til tomgangs-besparelserne og således en billigere, men også mindre sikker måde at spare energi på.

Det skønnes, at 80 % af industriens anlæg er under 10 kW (ref. 4). Hydraulikanlæg og –komponenter er forholdsvis dyre, og ændringer i anlæggenes opbygning og drift skal udføres af kvalificeret personale, normalt leverandørens, der kan garantere for den ændrede maskines sikkerhedssystem. Da en ændring koster næsten det samme på et lille anlæg som på et stort, betyder det, at energibesparende ændringer er mest rentable på store anlæg og på mange ens anlæg.

Skal tilbagebetalingstiden være kort, må der vælges simple løsninger som f. eks. timerstyringer (som dog ikke er så simple, hvis der også skal etableres slukke kredsløb), mens der kan vælges mere avancerede løsninger, som eventuelt også effektiviserer belastnings-energiforbruget, når der accepteres længere tilbagebetalingstid.

	2 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid År
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Substitution	-	-	0	25
Omdr.reg. af pumper	3	20	1	15
Tomgang (stop/aflastning)	20	20	4	15
Andre muligheder	2	20	0	15
Udskifte anlæg	-	-	0	25
Tekniske muligheder i alt			5	
Adfærd	10	20	2	
Totalt			5	

	4 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Substitution	3	40	2
Omdr.reg. af pumper	5	20	1
Tomgang (stop/aflastning)	40	20	8
Andre muligheder	5	20	1
Udskifte anlæg	5	40	2
Tekniske muligheder i alt			14
Adfærd	10	20	2
Totalt			14

	10 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Substitution	10	40	4
Omdr.reg. af pumper	20	20	4
Tomgang (stop/aflastning)	30	30	9
Andre muligheder	20	20	4
Udskifte anlæg	20	40	8
Tekniske muligheder i alt			28
Adfærd	10	20	2
Totalt			28

Tabel 14.2. Besparelspotentiale for hydraulikanlæg ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag. Den forventede levetid er vist i øverste tabel.

### 14.7.2 Mekanisk transport

Skal investeringen tilbagebetales på højst 10 år, er der ikke økonomi i at flytte lagre o. l. for at nedbringe elforbruget til mekanisk transport. En behovsstyring af transportanlæggene inkl. reduktion af tomgangen kan være rentabel på mange anlæg, lige som det kan være rentabelt at udskifte en del motorer med snækkegear med tromlemotorer og udskifte pladerne under bånd med ruller. Adfærd ved stop af bånd o. lign. kan være et alternativ til styringer og medregnes i det samlede sparepotentiale i den udstrækning, hvor styringer ikke opfylder tilbagebetalingstids-kriteriet.

	2 års tilbagebetalingstid			Teknisk-økonomisk levetid år
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Logistik	-		-	-
Behovsstyr. inkl. tomgang	5	10	1	20
Mere energieff. komponenter	5	30	2	20
Vedligehold	100	3	3	1
Tekniske muligheder i alt			6	
Adfærd			3	
Totalt			9	

	4 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Logistik	-		-
Behovsstyr. inkl. tomgang	20	30	6
Mere energieff. komponenter	10	25	3
Vedligehold	100	3	3
Tekniske muligheder i alt			12
Adfærd			2
Totalt			14

	10 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Logistik	-		-
Behovsstyr. inkl. tomgang	50	20	10
Mere energieff. komponenter	30	30	9
Vedligehold	100	3	3
Tekniske muligheder i alt			21
Adfærd			1
Totalt			22

Tabel 14.3. Besparelspotentiale for mekanisk transport ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag. Den forventede levetid er vist i øverste tabel.

### 14.7.3 Resten af teknologiområdet

Bearbejdningen af produkterne kan begrænses i mange produktioner ved f. eks. at udarbejde produktspecifikke recepter, ved simpel timerstyring eller ved at differentiere maskinparken. Mere effektivt udstyr vil også kunne reducere det specifikke energiforbrug, men vil generelt have lang tilbagebetalingstid. I stedet kan det være fordelagtigt at udskifte komponenter og specielt elmotorer og gear eller remtræk. I de energitunge brancher spiller tomgangsforbruget ofte en mindre rolle, men i andre brancher kan det være betydeligt, og der kan være god økonomi i at begrænse det. Energibevidst vedligehold vil mange steder kunne give energibesparelser på 2 – 5 %.

	2 års tilbagebetalingstid			Teknisk-økonomisk levetid år
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Mindre bearbejdning	5	25	1	15
Mere effektivt udstyr	-		-	20
Mere energieffektive komponenter	5	10	1	20
Tomgang	5	20	1	10
Vedligehold	100	2	2	1
Tekniske muligheder i alt			5	
Adfærd			3	
Totalt			8	

	4 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Mindre bearbejdning	15	20	3
Mere effektivt udstyr	-	-	-
Mere energieffektive komponenter	10	10	1
Tomgang	10	20	2
Vedligehold	100	2	2
Tekniske muligheder i alt			8
Adfærd			3
Totalt			11

	10 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Mindre bearbejdning	30	15	5
Mere effektivt udstyr	20	20	4
Mere energieffektive komponenter	20	10	2
Tomgang	20	15	3
Vedligehold	100	2	2
Tekniske muligheder i alt			16
Adfærd			3
Totalt			18

Tabel 14.4. Besparelspotentiale for resten af teknologiområdet ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag. Den forventede levetid er vist i øverste tabel.

#### 14.7.4 Sammenfatning af besparelspotentialet

Teknologi	Energiforbrug TJ/år	2 års tilbagebetalingstid		4 års tilbagebetalingstid		10 års tilbagebetalingstid	
		%	TJ/år	%	TJ/år	%	TJ/år
Hydraulik	1.400	5	70	14	200	28	390
Mekanisk transport	1.000	9	90	14	140	22	220
Resten af "Øvrige elmotorer"	10.276	8	820	11	1130	18	1.850
"Øvrige elmotorer" i alt	12.676	8	980	12	1.470	19	2.460

Tabel 14.5. Besparelspotentiale for teknologiområdet "Øvrige elmotorer" ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag.

#### 14.7.5 Fordeling på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder

Den procentvise andel af el til Øvrige elmotorer vurderes at være lidt større i industriens kvotevirksomheder – ca. 35 % - end i industrien som helhed (30 %). I gartnerier er andelen opgjort til 5 %. Med et samlet elforbrug i industriens kvotevirksomheder på ca. 10.000 TJ/år og i de kvotebelagte gartnerier på ca. 300 TJ/år svarer det til 3500 TJ/år plus 15

TJ/år, i alt 3515 TJ/år. Hydraulik udgør kun en lille del af dette elforbrug. Der er således tale om store anlæg med lange driftstider, som i mange tilfælde er blevet analyseret i flere omgange for energibesparelser. De procentuelle besparelser anslås derfor at være ens i kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder, se tabel 14.6.

Teknologi	Energi- forbrug TJ/år	2 års tilbage- betalingstid		4 års tilbage- betalingstid		10 års tilbage- betalingstid	
		%	TJ/år	%	TJ/år	%	TJ/år
Kvotevirksomheder	3.515	8	280	12	410	19	680
Ikke-kvotevirks.	9.161	8	700	12	1.060	19	1.780
"Øvrige elmotorer" i alt	12.676	8	980	12	1.470	19	2.460

Tabel 14.6. Besparelspotentiale for teknologiområdet Øvrige elmotorer, opdelt på kvotevirksomheder og øvrige virksomheder.

### 14.8 Sammenligning med 1995-potentialet

I ref. 6 fra 1995 blev der foretaget en vurdering af "her og nu" besparelspotentialet i 1995 for hydraulik, mens resten af "øvrige elforbrug" er behandlet branchevis, således at der ikke findes nogen samlet opgørelse af dette elforbrugs økonomi i 1995. Tabel 14.7 viser besparelspotentialerne for hydraulik i 1995 samt den gennemsnitlige tilbagebetalingstid, beregnet ud fra datidens elpris på 35 øre/kWh.

Elbesparelse %	Investering kr./kWh årlig elbsp.	Gennemsnitlig tilbagebetalingstid År
0-10	0,5	1,4
10-35	1	2,9
35-45	2	5,4
45-55	4	11,4

Tabel 14.7. Besparelspotentialer ved hydraulik år 1995 ifølge ref. 6.

Antages det, at besparelserne inden for de enkelte intervaller i tabel 14.7 er fordelt lineært over intervallet, og at de tilsammen udgør en kontinuert kurve, svarer tabel 14.7 til en besparelse på 8 % ved 2 års tilbagebetalingstid, 37 % ved 4 år og 48 % ved 10 års tilbagebetalingstid. Potentialet ved 4 og 10 års tilbagebetalingstid vurderes således at være væsentligt mindre i nærværende analyse, især fordi mulighederne ved urstyring vurderes at være mindre, og fordi økonomien i en udskiftning af et hydraulikanlæg vurderes at være dårligere end det blev vurderet til i 1995.

### 14.9 Referencer

1. Håndbog i energirådgivning – Hydraulik. DEFU. December 1999.
2. Energieffektivisering af transportbånd – Carlsberg. Elselskabernes Energirådgivning.
3. Udvikling af energieffektive hydrocykloner til separation – forprojekt. Elforsk.
4. Oplysninger fra Peter Windfeld Rasmussen, Fritz Schur Teknik
5. Oplysninger fra Ole Pontoppidan, Danish Meat Research Institute
6. Teknologikatalog – energibesparelser i erhvervslivet. Energistyrelsen 1995



## 15 Elmotorer og transmissioner

### 15.1 Indledning

For elmotorer og transmissioner er "slutanvendelsen" tabene i de to komponenter. I det følgende vurderes mulighederne for at reducere disse tab ved at effektivisere motorer og transmissioner, mens besparelsemulighederne i brugen af de to komponenter (f. eks. ved at stoppe tomgående motorer eller omdrejningstalsregulere motorer og transmissioner) vurderes i forbindelse med de slutanvendelser, hvori de indgår.

### 15.2 Teknologiens anvendelse

Elmotorer omsætter elektrisk energi til mekanisk energi, som udnyttes til en bevægelse enten direkte eller via en transmission i form af typisk gear eller remtræk. Elmotorer indgår i apparater som pumper, ventilatorer, køleanlæg, trykluftkompressorer, omrørere, møller, pakkemaskiner, værktøjsmaskiner, transportbånd osv., og i mange af disse apparater indgår også en transmission. Pumper og kølekompressorer er dog ofte direkte drevne af elmotoren, og direkte kraftoverførsel bliver mere almindelig til bl. a. ventilatorer og trykluftkompressorer i forbindelse med omdrejningstalsregulering med f. eks. frekvensomformer.

### 15.3 Teknologiuudviklingen

Siden midten af 1990'erne har bl. a. EU, Energistyrelsen og elselskaberne arbejdet på at øge virkningsgraden for de mest anvendte elmotorer, de 2- og 4-polede asynkronmotorer. Det er sket ved at indføre effektivitetsnormer i EU og ved at fremme anvendelsen af de mest effektive elmotorer. Således indførtes effektivitetsklasserne EFF1, EFF2 og EFF3, og de europæiske motorfabrikanter i brancheforeningen CEMEP indgik i 1998 en frivillig aftale med EU om at begrænse salget af de mindst effektive motorer. Det har betydet, at de mindst effektive motorers andel af CEMEP-medlemmernes salg er faldet fra 68 % i 1998 til kun 3 % i 2006 (ref. 1), mens de mest effektive motorer (energiklasse EFF1) nu har en andel på 12 % mod 2 % i 1998.

I 2008 er der med vedtagelsen af den internationale standard IEC 60034-30:2008 indført nye effektivitetsklasser IE1, IE2 og IE3, som indebærer en stramning, idet IE2 svarer til EFF1 og IE3 har højere effektivitet end EFF1. EU forventes i 2009 at implementere direktiv 2005/32/EC i form af et krav om, at 2-, 4- og 6-polede motorer på 0,75 – 375 kW fra 16. juni 2011 mindst skal være IE2 motorer og fra 2015 (motorer under 7,5 kW dog først fra 2017) mindst IE3. Forsynes motoren med hastighedsregulering, er kravet dog kun mindst IE2.

Den internationale indsats for fremme af de mest energieffektive motorer er i Danmark blevet suppleret med tilskud til sådanne motorer (Energistyrelsen frem til 2001) og med information i form af bl. a. elselskabernes sparemotorliste, der introduceredes i 1996. Tabel 15.1 viser virkningsgrader for en 4-polet asynkronmotor på 11 kW. Ifølge ref. 2 var den gennemsnitlige virkningsgrad i 1995 ca. 88,0 %, hvor kravet til en sparemotor i 2008 er mindst 91,0 %, og kravet til en IE3 motor (den foreløbigt mest effektive efter den nye klassificering) er mindst 91,4 %. I 2007 er standarden for test af elmotorer blevet ændret (den nye er IEC 60034-2-1:2007), så tabene opgøres mere korrekt. For en 11 kW motor er tabene blevet ca. 0,8 % større end efter den tidligere standard.

	Virkningsgrad %
Gennemsnit i Danmark 1995	88,0
Sparemotor 2008 (EFF1)	min. 91,0
En motor med virkningsgrad 91,0 % vil efter den nye standard være på Effektivitetsklasse IE3	ca. 90,2 min. 91,4

*Tabel 15.1. Virkningsgrader for en 4-polet 11 kW asynkronmotor.*

Af tabellen ses, at tabene ved fuldlast er mindst 25 % lavere for en sparemotor i 2008 end for gennemsnitsmotoren i 1995, mens en IE3 motor vil have yderligere mindst 8 % lavere tab.

Udviklingen inden for permanente magneter har medført en betydelig kommercialisering af permanent magnet motorer, især PMSM (Permanent Magnet Synkron Motor), som nu fås i alle effektstørrelser. Motorerne kræver elektronisk styring (frekvensomformere) og er generelt noget dyrere end asynkronmotorer, men tabene, især dellasttabene, er lavere end for en EFF1-asynkronmotor. PMSM er på vej ind på markedet, især til pumper, ventilatorer og kompressorer, hvor der er behov for hastighedsregulering.

I det sidste årti er frekvensomformere og softstartere blevet mere udbredte. En motor, der er forsynet med sådant udstyr, behøver ikke at være overdimensioneret af starthensyn. Vælges motoren mindre, vil det især give en tabsbesparelse ved lave belastninger, og mange motorer kører lavt belastede en stor del af driftstiden.

På transmissionsområdet overflødiggør den øgede brug af frekvensomformere remtræk og gear til mange transportbånd, ventilatorer, kompressorer osv. Højhastighedsmotorer med langt over 3000 omdrejninger i minuttet gør det også muligt at undgå gear i værktøjsmaskiner.

En ny type gear er magnetiske gear, som AaU har forsket i (ref. 3). Magnetiske gear forventes at være på niveau med mekaniske gear hvad angår virkningsgraden, men vil have fordele som, at de ikke udmattes mekanisk og ikke bruger smøreolie.

## 15.4 Energiforbrug

### 15.4.1 Elmotorer

I erhvervslivet står elmotorer for praktisk taget al energiomsætning i slutanvendelserne pumpning, køl/frys, ventilation, trykluft, findeling, omrøring og "øvrige elmotorer". Energiomsætningen er opgjort i tabel 15.2 og udgør 63 % af hele erhvervslivets elforbrug. Edb og elektronik er ikke medregnet i tabel 15.2 og indgår ikke i det følgende, fordi elmotorerne til disse formål er specielle i forhold til erhvervslivets øvrige elmotorer. Men medtages de, og regnes de at udgøre en tredjedel af elforbruget til edb og elektronik, bliver elmotorernes andel 64 % i stedet for 63 %.

	Elforbrug TJ	Omsat via elmotorer	
		TJ	%
Landbrug og fiskeri	7.300	4.972	68
Industri	35.814	28.051	78
Privat handel og service	22.158	7.850	35
I alt	65.272	40.873	63

*Tabel 15.2. Erhvervslivets elforbrug 2006 og andel omsat via elmotorer, dog ekskl. edb og elektronik (ref. 4).*

Omkring 95 % af motorenes energiomsætning sker i asynkronmotorer, mens de sidste ca. 5 % omsættes via jævnstrømsmotorer (især hastighedsregulerede motorer i f. eks. papir-industrien) og permanent magnet motorer (bl. a. i cirkulationspumper).

Størrelsesfordelingen af dansk industris asynkronmotorer i år 1994 er vurderet i ref. 2 ud fra motorlister for 13 virksomheder samt ud fra Danmarks Statistiks motorforsyningsstatistik.

Fordelingen og de i ref. 2 skønnede virkningsgrader er vist i tabel 15.3. I tabel 15.3 er der også en skønnet fordeling af motorerne i det øvrige erhvervsliv, baseret på et SAVE-projekt (ref. 5), der beskriver motoranvendelsen i EU. Mange af 1994-motorerne er udskiftet i dag og er typisk erstattet af EFF2-motorer, jævnfør CEMEP's statistik (ref. 1). Tabel 15.3 angiver derfor også et skøn over de gennemsnitlige virkningsgrader år 2008. Af tabellen ses, at 48 % af motortabene er i små motorer med op til 4,0 kW mærkeeffekt, og 35 % er i mellemstore motorer på 4,1 til 30 kW. En indsats for begrænsning af motortabene skal derfor især rettes mod små og mellemstore motorer og ikke mod de store, selv om motorer med over 30 kW mærkeeffekt står for 37 % af energiomsætningen.

Mærke- Effekt	Elforbrug			Virkningsgrad			Tab	
	Industri	Øvrige erh.v.liv	I alt	Skøn 1994	EFF2 middel	Skøn 2008		
kW	%	%	GWh/år	%	%	%	GWh/år	%
0-1,0	8	13	1.086	67	(74)	70	326	23
1,1-4,0	11	25	1.748	80	81	80	350	25
4,1-12	14	25	1.981	86	88	87	258	18
13-30	20	25	2.449	90	90,5	90	234	17
31-100	18	6	1.616	93	93,5	93	118	9
101-300	23	6	2.006	95	(95)	95	100	7
301-500	4	0	312	96	(96)	96	14	1
501-1000	1	0	78	97	(97)	97	2	0
1001-	1	0	78	98	(98)	98	2	0
Sum	100	100	11.354				1.404	100
Elomsætning i GWh/år	7.792	3.562	11.354					

Tabel 15.3. Størrelsesfordeling og tab i erhvervslivets elmotorer (elforbrug stadie 2006).

Motortabene skønnes i tabel 15.3 til 1404 GWh/år (5050 TJ/år) eller 12 % af den el, der omsættes i erhvervslivets motorer.

Til brug ved vurderingen af effektiviseringsmulighederne er det typiske elforbrug i forskellige motorstørrelser opgjort i tabel 15.4 på basis af anslåede gennemsnitseffekter og anslåede driftstider ved mærkeeffekt (ref. 2). Den gennemsnitlige benyttelsestid for motorerne er rundt regnet 50 % større end driftstiden ved mærkeeffekt, idet elmotorerne som gennemsnit har en belastningsgrad på 62 % (ref. 7) og idet tabene ved mærkeeffekt som gennemsnit er ca. 10 %.

Mærkeeffekt kW	Gennemsnitlig mærkeeffekt kW	Genn. driftstid ved mærkeeffekt h/år	Elforbrug i gennemsnitsmotor kWh/år
0-1,0	0,33	1700	561
1,1-4,0	1,3	2000	2.600
4,1-12	6	1800	10.800
13-30	18	2200	39.600
31-100	54	2600	140.400
101-300	139	3400	472.600
301-500	375	3800	1.425.000
501-1000	700	4000	2.800.000
1001-	2000	5000	10.000.000

Tabel 15.4. Elforbrug i gennemsnitsmotorer.

### 15.4.2 Transmissioner

I ref. 6 fra 1997 skønnes det, at en tredjedel af elmotorernes energiydelse sker via gear og en tredjedel via remtræk. Udviklingen siden 1997 må antages at have medført en lille nedgang i brugen af transmissioner, hvorfor gear og remtræk antages hver at omsætte 30 % af elmotorernes energiydelse (energiomsætning minus motortab) eller hver 10.700 TJ/år (2.990 GWh/år). Andre former for transmissioner som eksempelvis kædetræk anses for at omsætte væsentlig mindre energi, og da kædetræk samtidig har ret høje virkningsgrader, beskrives de ikke i det følgende.

Tandhjulsgear er energimæssigt den mest udbredte geartype, men også snekegear er udbredte til bl. a. transportbånd. Tabene i tandhjulsgear er typisk 3-5 % mod 10-40 % for snekegear (ref. 6). For alle erhvervslivets gear regnes med tab på 7 % eller 750 TJ/år (210 GWh/år). Da snekegear overvejende er mindre gear, er de procentvise tab noget større for mindre gear end for de større.

Af remtræk er kileremme den mest udbredte type, og de skønnes at stå for omkring 75 % af energioverførslen ved remtræk (ref. 6). Fladremme skønnes at stå for 15 % og tandremme samt poly-V-remme for hver 5 %. Tabene i korrekt dimensionerede kileremme udgør typisk 3-5 % mod 1-3 % for de øvrige remtyper. Da mange remtræk er overdimensionerede, vurderes tabene i remtræk til i alt 6 % eller 640 TJ/år (180 GWh/år).

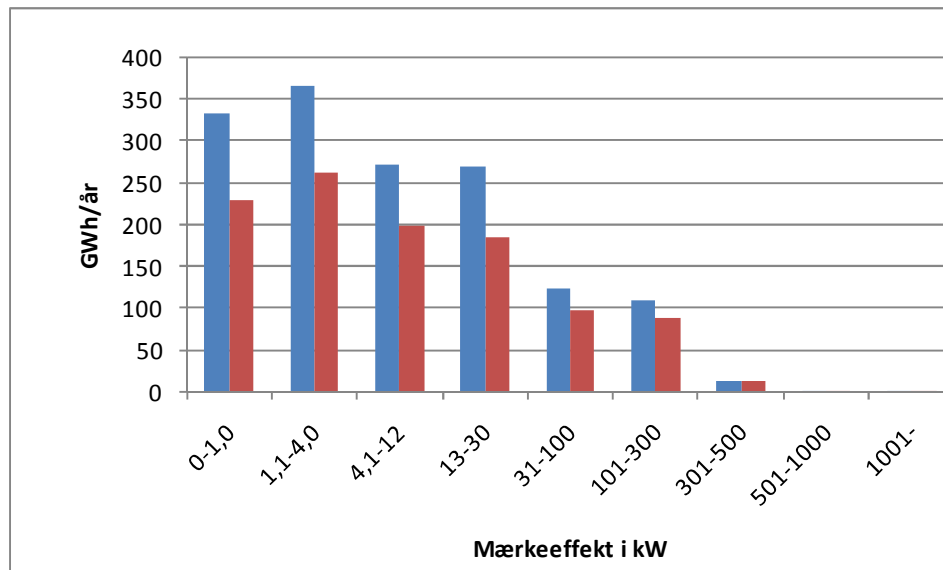
## 15.5 Tekniske energibesparelsmuligheder

### 15.5.1 Elmotorer

#### 15.5.1.1 Mere effektive motorer

Gennemsnitsmotoren har større tab end de mest effektive asynkronmotorer på markedet, se figur 15.1. Blev alle erhvervslivets motorer (med de i tabel 15.3 angivne virkningsgrader, korrigeret for ændringer ifølge den nye test-standard) udskiftet med motorer, der netop opfylder kravet til klasse IE3, vil tabene i motorerne blive ca. 420 GWh/år eller 28 % lavere.

Udskiftes til PMSM-motorer i stedet for IE3 asynkronmotorer, bliver virkningsgradsforbedringen større, men for PMSM-motoren er der også tab i den nødvendige frekvensomformer. Udskiftningen er derfor mest interessant ved hastighedsregulerede motorer samt der, hvor udskiftningen overflødiggør et gear eller et remtræk.

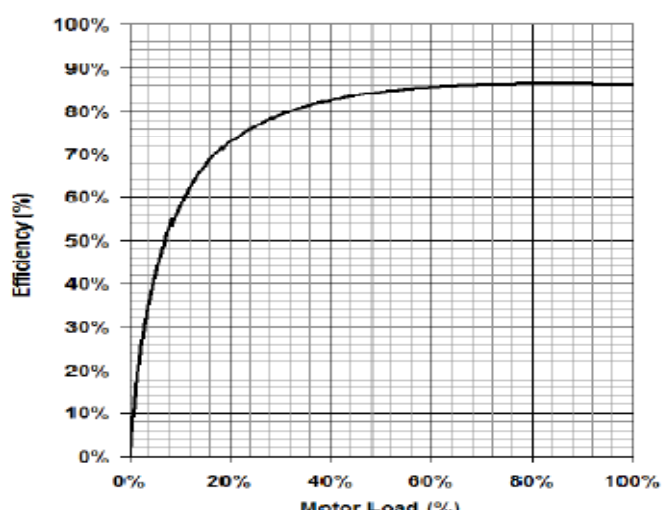


Figur 15.1. Tab i erhvervslivets motorer. Venstre søjle er tabene i dagens motorer, højre er tabene, hvis alle motorer netop var af effektivitetsklasse IE3.

### 15.5.1.2 Mindre motorer

Mange motorer er lavt belastede i normal drift. De er overdimensionerede for at opnå tilstrækkelig startmoment eller på grund af forsigtighedshensyn, dårligt dimensioneringsgrundlag eller fordi belastningen med tiden er blevet reduceret. Sådanne motorer kan udskiftes med mindre motorer, som eventuelt samtidig er af en højere effektivitetsklasse. I nogle tilfælde kan motoren blot udskiftes, i andre kræves ændringer i fundamentet, og er problemet startmomentet, kan det være nødvendigt at vælge en mindre motor med stjerne/trekant starter, softstarter eller frekvensomformer. Arbejder flere motorer sammen om at drive f. eks. et transportbånd, kan en simpel løsning være at fjerne en eller flere motorer.

Asynkronmotoren har sin højeste virkningsgrad i belastningsområdet 75-100 %, mens virkningsgraden er meget lav ved akseffekter under 25 % af mærkeeffekten, se figur 15.2.



Figur 15.2. Virkningsgraden for en 11 kW 4-polet asynkronmotor som funktion af belastningen.

Tabel 15.5 viser tabene for forskellige motorstørrelser, der alle yder 11 kW akseffekt. Som det ses, reduceres tabene, når belastningsgraden øges fra 12 % til 24 % og igen fra 24

% til 50 % ved at skifte til en mindre motor. Ændres belastningsgraden fra 50 % til 100 %, øges tabene i fuldlast derimod, fordi den lille motor har dårligere virkningsgrad. Udsiftningen af en motor med en mindre er derfor mest interessant for motorer, der altid belastes under 25-40 %.

Motorens mærkeeffekt kW	Virkningsgrad v. mærkeeffekt %	Fuldlast		Virkningsgrad %
		kW	% af mærkeeff.	
90	94,8	11	12	84,0
45	93,5	11	24	88,5
22	92,0	11	50	91,0
11	90,0	11	100	90,0

*Tabel 15.5. Eksempel på virkningsgrader for EFF2-motorer med akseleffekt 11 kW.*

### 15.5.1.3 Motorstyringer

De senere år er en del motorstyringer blevet markedsført med meget store sparepotentialer. Motorstyringer virker ved at sænke spændingen til motoren, f. eks. ved at choppe spændings-kurven, hvorved asynkronmotorens jernstab reduceres. Nogle softstartere og frekvensomformere har en tilsvarende "energisparefunktion", og for stjerne/trekant-koblede motorer kan spændingen sænkes ved at koble motoren i stjerne (hvorved motorens fasespænding reduceres med 42 %).

Resultatet af undersøgelser (ref. 8 og 9) viser, at virkningsgraden kan forbedres betydeligt, hvis motoren er meget lavt belastet. Således viser ref. 8 en 30 % forbedring af virkningsgraden for en motor, der er belastet 3 %. Forbedringen aftager dog hurtigt med øget belastning, og ved en belastning over 50 % mere end opvejes den lille forbedring af tabene i motorstyringen (softstarteren). Konklusionen er, at der kun er en gevinst ved belastninger under 30 % af mærkeeffekten, og at besparelsen da typisk er 0,5-3 % af motorens mærkeeffekt.

Hvis tomgående udstyr ikke stoppes i pauser eller uden for arbejdstid (f. eks. fordi det skal recalibreres efter hvert stop), kan det være energibesparende at benytte en motorstyring. Besparelsen kan blive på nogle promille eller i særlige tilfælde op til få procent af udstyrets årlige elforbrug.

### 15.5.1.4 Reduktion af overharmoniske

Virksomhedernes elforsyning indeholder overharmoniske strømme, der kommer fra lysrørs-armaturer, frekvensomformere, UPS'er m.m. og fra elselskabets net. Disse strømme medfører øgede tab i motorer, der forsynes direkte fra elnettet, og visse overharmoniske danner et modmoment i motoren, som har en bremsende effekt. Det er kendt, at overharmoniske strømme reducerer motorens virkningsgrad og levetid, mens den bremsende effekt kun er belyst meget lidt. De overharmoniske kan fjernes fra virksomhedens elnet med kondensator-batterier og filtre.

### 15.5.1.5 Vedligehold

Asynkronmotoren kræver generelt kun lidt vedligehold i form af smøring af lejerne (mange især mindre motorer er "levetidssmurte") og rengøring, så motoren kan komme af med tabsvarmen, og tabene ikke bliver unødigt store. I modsætning hertil kræver jævnstrøms-motorer en del vedligehold, bl. a. stiger tabene, hvis der er dårlig forbindelse mellem kul og kommutator.

Andre tabskilder er dårlig opretning af motoren, der medfører tab i koblinger og lejer, og dårlig omvikling, hvor dette benyttes (ref. 10 angiver, at motorvirkningsgraden i gennemsnit forringes 1,5 % ved omvikling).

## **15.5.2 Transmissioner**

### **15.5.2.1 Direkte drev**

Med specielt tilpassede motorer (f. eks. PMSM-motorer, højhastighedsmotorer) eller ved frekvensregulering af asynkronmotorer er det i mange tilfælde muligt at opnå et omdrejningstal for motoren, som svarer til det for ustyret ønskede omdrejningstal. Dermed kan motor og udstyr forbindes direkte, og tabene i gear eller remtræk kan undgås (men til gengæld kan der komme tab i f. eks. en frekvensomformer). Transportbånd kan drives direkte af tromlemotorer, der er mere energieffektive end f.eks. gearmotorer. Besparelsen kan være på 30-50 %.

### **15.5.2.2 Udskift snækkegear**

Snækkegear anvendes i transportbånd, ekstrudere, blandingsanlæg og tilsvarende steder, hvor et kompakt gear og eventuelt et stort udvekslingsforhold er krævet. Snækkegear har tab på 30-50 % ved udvekslingsforhold 1:50, hvor et tandhjulsgear har tab på 4-10 %. Hvor det er muligt at udskifte snækkegearet med et tandhjulsgear eller fladgear – eventuelt suppleret med remtræk for at tilpasse løsningen til den forhåndenværende plads – kan der spares 20-40 % af energiomsætningen (et eksempel er beskrevet i ref. 11).

### **15.5.2.3 Bedre dimensionering af remtræk**

Ved direkte start af en elmotor belastes remtrækket kortvarigt meget kraftigt. Startes motoren i stedet blødt op med en softstarter eller frekvensomformer, er belastningen mindre, og remtrækket kan dimensioneres ud fra driftsbelastningen i stedet for startbelastningen. Hvor et remtræks tab er f. eks. 2 % ved 100 % belastning er tabene f. eks. 8 % ved 25 % belastning (som kan være driftsbelastningen uden blødstart). Derfor bør remtræk ikke overdimensioneres, og ændres belastningsforholdene, bør det vurderes, om der kan fjernes remme i remtrækket.

### **15.5.2.4 Energieffektive komponenter i remtræk**

Tandremme, poly-V-remme og fladremme har små tab på ned til ca. 1 %, mens tabene er noget større for smalkileremme og ikke mindst for den "klassiske" kilerem (ref. 13). Remtrækkets tab afhænger ud over af remtypen også af remskivernes diameter, idet remmene skal bukkes mere ved små skiver (dette skaber især tab i de såkaldte dækkede kileremme). Med store remskiver, effektive remme og korrekt dimensionering (se 15.5.2.3) opnås derfor de laveste tab. Fladremme er nogle af de mest effektive remme, men de skal strammes hårdt op, hvorfor det kan blive nødvendigt at forstærke fundamentet. Samme krav er der ikke ved den skrånede tandrem og poly-V-remmen.

### **15.5.2.5 Vedligehold**

Energibevidst vedligehold af gear omfatter bl. a. korrekt oliestand i gearkassen, således at tænderne smøres, men tabene ikke bliver unødvendigt store. For remtræk omfatter den årlige service efterspænding og opretning, så der ikke er unødigt stort slip mellem rem og remskive, og så remtrækket ikke trækker skævt. Nye remme skal desuden efterspændes efter nogle få timers drift. I mange tilfælde sker dette ikke, hvorfor der er tab på op til 10-20 % i

remtrækket. Skråtskârne tandremme af polyurethan skal ikke efterspændes og taber derfor ikke på samme måde i virkningsgrad.

## 15.6 Adfærdsmæssige energisparemuligheder

Ud over de muligheder, der er nævnt under vedligehold, er der ingen adfærdsmæssige muligheder for at reducere tabene i elmotorer og transmissioner.

## 15.7 Besparelspotentialer

### 15.7.1 Elmotorer

#### 15.7.1.1 Mindre og /eller mere effektive motorer

Omkostningerne ved at udskifte en motor er væsentligt større for små motorer end for store (listeprisen for nye EFF1 asynkronmotorer varierer fra omkring 5000 kr./kW for helt små motorer ned til ca. 800 kr./kW for de største). Forbedringen i motorvirkningsgrad, når en gennemsnitsmotor udskiftes med en meget effektiv motor, er imidlertid også større for de små motorer. Derfor afhænger tilbagebetalingstiden kun i mindre grad af motorstørrelsen. Udskiftes en asynkronmotor med en mindre og mere effektiv asynkronmotor af energiklasse EFF1, bliver tilbagebetalingstiden under 10 år, hvis følgende forudsætninger er opfyldt:

- den nye motors mærkeeffekt er højst 60-70 % af den gamle motors
- den nye motors benyttelsestid (ækvivalente fuldlasttimer) er mindst 4000-5000 h/år
- den gamle motors virkningsgrad ligger under det i tabel 15.3 skønnede gennemsnit for år 2008

Det anslås, at motorer svarende til 20 % af motortabene opfylder disse forudsætninger og at sparepotentialet er 35 % af disse motortab. Tilbagebetalingstiden kan komme under 4 år i helt særlige tilfælde, hvor en motor er kraftigt overdimensioneret og/eller har meget lav virkningsgrad, samtidig med at benyttelsestiden for den gamle motor er mindst 1000 h/år. Dette anslås at gælde motorer svarende til 3 % af tabene, og besparelspotentialet regnes til 50 %.

En "her og nu" udskiftning af en asynkronmotor med en af samme størrelse, men mere effektiv, vil næsten altid have en tilbagebetalingstid over 10 år. Kun hvor der er tale om meget ringe motorer med høj benyttelsestid kommer tilbagebetalingstiden under 10 år (men stort set aldrig under 4 år). Det anslås at gælde motorer svarende til 3 % af tabene. Potentialt anslås til 40 % af de pågældende tab.

Udskiftning af en rimeligt energieffektiv asynkronmotor med en mindre motor vil sjældent kunne betale sig, fordi mindre motorer generelt har større procentvise tab (se også tabel 15.3). Kun hvis den gamle motors maksimale belastning er under 10 % af mærkeeffekten, kommer tilbagebetalingstiden under 10 år. Det anslås at gælde motorer svarende til 1 % af tabene. Besparelspotentialt anslås til 60 %.

Udskiftes en hastighedsreguleret asynkronmotor med en PMSM-motor kan tilbagebetalingstiden komme under 10 år. Energibesparelsen vil være større, end hvis den nye motor var en asynkronmotor, men investeringen er relativt endnu større, og derfor bliver tilbagebetalingstiden dårligere. Denne mulighed øger derfor ikke omfanget af motorer, men besparelspotentialt øges (og vurderes til i alt 40 % i tabel 15.6).



Udskiftes en jævnstrømsmotor med en PMSM-motor, kan tilbagebetalingstiden komme under 10 år, især hvis jævnstrømsmotoren har store vedligeholdelseskostninger og kører meget i lavlast. Overslagsmæssigt kan halvdelen af jævnstrømsmotorene udskiftes ved en tilbagebetalingstid op til 10 år. Det svarer til 1 % af motortabene, og besparelspotentialet sættes til 50 %.

#### 15.7.1.2 Øvrige muligheder for tabsbesparelser

Hvis en motor altid er lavt belastet, kan den udskiftes med en mindre motor som nævnt ovenfor, eller den kan kobles i stjerne. Skal motoren kunne belastes fuldt ud, men er den næsten altid meget lavt belastet (under 30 % af mærkeeffekten), kan der være en mindre besparelse at hente ved at nedregulere spændingen med softstarter eller en anden form for motorstyring. Det skønnes, at tilbagebetalingstiden kan komme under 10 år for motorer svarende til 5 % af tabene og med et besparelspotentiale på 5 % af disse motortab. Besparelsemulighederne ved at reducere de overharmoniske er som nævnt i afsnit 15.5.1.4 belyst meget lidt, hvorfor de ikke kvantificeres her.

Dårlig vedligehold kan medføre større motortab, men rigtig dårlig vedligehold vil normalt blive opdaget efter kort tid, om ikke andet så fordi motoren havarerer. Bedre vedligehold anslås at kunne reducere motortabene med 5 % for motorer svarende til 20 % af tabene. Den gennemsnitlige levetid for asynkronmotorer er ifølge ref. 10-12 år for små motorer (op til 7,5 kW), 15 år for motorer på 7,5-75 kW og 20 år for de store motorer. Som gennemsnit, vægtet ud fra energiomsætningen, svarer det til 16 år.

	2 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Vedligehold	20	5	1
Tekniske muligheder i alt			1
Adfærd	-	-	-
Totalt			1

	4 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Mindre og mere effektive motorer	3	50	2
Vedligehold	20	5	1
Tekniske muligheder i alt			
Adfærd	-	-	-
Totalt			3

	10 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid år
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Mindre og mere effektive motorer (inkl. PMSM)	20	40	8	16
Mere effektive motorer	3	40	1	16
Meget mindre motorer	1	60	1	16
Udskiftning af jævnstømsmotorer	1	50	1	20
Motorstyringer	5	5	0	10
Vedligehold	20	5	1	
Tekniske muligheder i alt			12	
Adfærd	-	-	-	
Totalt			12	

Tabel 15.6. Besparelspotentiale ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag, opgivet som procenter af elmotorernes tab. Den forventede levetid er vist i nederste tabel.

### 15.7.2 Transmissioner

Direkte drev med hastighedsregulerede asynkronmotorer indebærer tab i frekvensomformer- en, som er på niveau med tabene i et et-trins gear eller et energieffektivt remtræk.

Muligheden er derfor energimæssigt mest interessant, hvor der er tale om at skifte til direkte drev med nye, meget effektive motorer. Samlet set vurderes mulighederne ved 10 års tilbagebetalingstid at svare til 3 % af transmissionstabene, og besparelsemulighederne for disse tab vurderes til 40 %.

En udskiftning af snekegear med en mere energieffektiv transmission vil have en tilbagebetalingstid under 10 år, hvis udvekslingsforholdet er stort og benyttelsestiden for transmissionerne er over 2000 h/år. Det anslås at gælde en trediedel af snekegearstabene (svarende til omkring 8 % af transmissionstabene), og besparelsen vurderes til 75 %. For 10 % af snekegearstabene (3 % af transmissionstabene) skønnes det, at tilbagebetalingstid bliver under 4 år.

Skyldes overdimensioneringen af remtræk blot forkert dimensionering eller manglende tilpasning til de aktuelle belastningsforhold, er det ved flerremstræk muligt at fjerne en eller flere remme. Er remtrækket dimensioneret ud fra startbelastningen, vil brug af softstarter eller lignende muliggøre, at nogle remme fjernes eller remtrækket justeres, så belastningsgraden øges. Ved 10 års tilbagebetalingstid skønnes det, at 40 % af remtrækstabene (ca. 18 % af transmissionstabene) kan reduceres med 50 %. Ved 4 års tilbagebetalingstid skønnes potentialet til 8 % af transmissionstabene, og ved 2 års tilbagebetalingstid skønnes det til 3 % af tabene.

En udskiftning til energieffektive remme og/eller store remskriver vurderes at have en tilbagebetalingstid under 10 år for remtræk svarende til 50 % af tabene (23 % af transmissionstabene). Den potentielle besparelse vurderes til 60 % af de pågældende tab. Ved 4 og 2 års tilbagebetalingstid vurderes udskiftning at kunne omfatte henholdsvis 25 og 10 % af remtrækstabene (12 og 5 % af transmissionstabene) med potentielle besparelser på 70 %, hhv. 80 %.

Besparelsesmulighederne ved bedre vedligehold, bl. a. ved at holde korrekt oliestand i gearkasser og efterspændende kilerebbe, vurderes at omfatte 50 % af transmissionstabsene med et sparepotentiale på 10 %.

Levetiden for transmissions-løsningerne vil stort set være den samme som for de tilhørende elmotorer, dvs. i gennemsnit 16 år.

	2 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Bedre dimensionering af remtræk	3	50	2
Energieffektive komponenter i remtræk	5	80	4
Vedligehold	50	10	5
Tekniske muligheder i alt			11
Adfærd	-	-	-
Totalt			11

	4 års tilbagebetalingstid		
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt
Udskift snækkegear	3	75	2
Bedre dimensionering af remtræk	8	50	4
Energieffektive komponenter i remtræk	12	70	8
Vedligehold	50	10	5
Tekniske muligheder i alt			17
Adfærd	-	-	-
Totalt			17

	10 års tilbagebetalingstid			Teknisk-økonomisk levetid år
	% af energien, hvor det er muligt	% besparelse i omfattet udstyr	% besparelse i alt	
Direkte drev	3	40	1	16
Udskift snækkegear	8	75	6	16
Bedre dimensionering af remtræk	18	50	9	16
Energieffektive komponenter i remtræk	23	60	14	16
Vedligehold	50	10	5	1
Tekniske muligheder i alt			31	
Adfærd	-	-	-	
Totalt			31	

*Tabel 15.7. Besparelsespotentiale ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag, opgivet som procenter af transmissionstabsene. Den forventede levetid er vist i nederste tabel.*

### 15.7.2.1 Sammenfatning af besparelspotentialt

Teknologi	Energitab TJ/år	2 års tilbage- betalingstid		4 års tilbage- betalingstid		10 års tilbage- betalingstid	
		%	TJ/år	%	TJ/år	%	TJ/år
Elmotorer	5050	1	50	3	150	12	610
Transmissioner	1390	11	150	17	240	31	430
I alt	6440	3	200	6	390	16	1040

Tabel 15.8. Besparelspotentiale for teknologiområdet Elmotorer og transmissioner ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag.

### 15.7.3 Fordeling på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder

Kvotevirksomhedernes elforbrug opgøres overslagsmæssigt til 10.300 TJ/år, fordelt med 10.000 TJ/år på industrien og 300 TJ/år på gartnerier. Heraf omsættes ca. 7000 TJ/år i motorer. Kvotevirksomhederne har generelt en stor andel af store motorer, og da mange kvotevirksomheder også er aftalevirksomheder og derfor har prioriteret sparemotorer ved nyindkøb, anslås tabene i kvotevirksomhedernes elmotorer til 8 % af energiomsætningen (560 TJ/år) mod 12 % for erhvervslivet som helhed. Direkte drev er mere udbredt i de store virksomheder, hvorfor 50 % af elmotorenes akseeffekt (på 6440 TJ/år) regnes omsat via transmissioner med et gennemsnitligt tab på 6 % eller 390 TJ/år.

Benyttelsestiden for eludstyret er typisk højere i kvotevirksomheder end i det øvrige erhvervsliv, således at økonomien i besparelser alt andet lige er bedre. Men generelt har kvotevirksomhederne også haft større fokus på besparelsemulighederne, hvorfor der regnes med samme procentvise besparelsemuligheder som i det øvrige erhvervsliv, se tabel 15.9.

	Energi- tab TJ/år	2 års tilbage- betalingstid		4 års tilbage- betalingstid		10 års tilbage- betalingstid	
		%	TJ/år	%	TJ/år	%	TJ/år
Kvotevirksomheder	950	3	30	6	60	16	150
Ikke-kvotevirks.	5490	3	170	6	330	16	890
I alt	6440	3	200	6	390	16	1040

Tabel 15.9. Besparelspotentiale for teknologiområdet Elmotorer og transmissioner, opdelt på kvotevirksomheder og øvrige virksomheder.

## 15.8 Sammenligning med 1995-potentialet

I ref. 12 vurderedes "her og nu" besparelspotentialt for elmotorer i 1995 til at være 2 % af energiomsætningen ved i gennemsnit 11 års tilbagebetalingstid. Da tabene i elmotorer er opgjort til 12 % af energiomsætningen (tabel 15.3) svarer de 2 % til en reduktion af tabene med 17 %. Det må antages, at lidt under halvdelen af denne tabsreduktion svarende til ca. 7 % tab ville have en tilbagebetalingstid op til 10 år mod 12 % tab i den nye undersøgelse (tabel 15.8). Den væsentligste årsag til, at potentialet vurderes større i 2009, er det væsentligt større udbud af energieffektive motorer.

For transmissioner opgjorde ref. 12 besparelsemulighederne som vist i tabel 15.10. Antages det, at besparelserne inden for de enkelte intervaller i tabel 15.10 er fordelt lineært over intervallet, og at de tilsammen udgør en kontinuert kurve, fås besparelspotentialer år 1995 som vist i tabel 15.11. Det i denne undersøgelse fundne potentiale for 2008 er også vist i tabel 15.11.

Elbesparelse %	Investering kr./kWh årlig elbesp.	Gennemsnitlig tilbagebetalingstid År
0-10	0,5	1,4
10-20	2	5,7
20-30	5	14,3
30-50	10	28,6

Tabel 15.10. Besparelspotentialer ved transmissioner år 1995 ifølge ref. 12.

Tilbagebetalingstid År	Potentiale 1995 %	Potentiale 2008 %
2	7	11
4	12	17
10	21	31

Tabel 15.11. Sammenligning af besparelspotentialer år 1995 og 2008.

Det ses, at potentialet i dag vurderes højere end i 1995, hvilket primært skyldes øget viden om remtrækstab i kraft af en række undersøgelser fra slutningen af 1990'erne.

## 15.9 Referencer

1. [www.cemep.org](http://www.cemep.org)
2. Preben Buhl Pedersen: Udformning af effektivitetsnormer for elmotorer i industrien. Dansk Energi Analyse. Juli 1996
3. Design og konstruktion af magnetiske gear. Elforsk PSO 2002
4. Kortlægning af erhvervslivets energiforbrug. Dansk Energi Analyse og Viegand & Maagøe. November 2008
5. Improving the Penetration of Energy-Efficient Motors and Drives. SAVE. 2000
6. Energioptimering ved elmotordrift. DEFU TR 380. Marts 1997
7. Elbesparelser gennem forbedret grundlag for projektering af elmotorer. DEFU TR 352. Oktober 1995
8. Frede Blåbjerg et al.: Afprøvning af trefasede softstartere og enfasede energispareenheder. AaU. Februar 1995
9. Energy savings with motors and drives. ETSU. 1998
10. Anibal T. de Almeida: EUP Lot 11 Motors. University of Coimbra. February 2008
11. Energieffektivisering af transportbånd – Carlsberg. DEFU. Marts 1997
12. Teknologikatalog – energibesparelser i erhvervslivet. Energistyrelsen 1995
13. Mekaniske remtræk. Projekt Værktøjskassen. Februar 1997

## Bilag 1. Anvendte energipriser for 2008

Nedenfor anføres de energipriser, der er benyttet ved opgørelsen af/skønnet over tilbagebetalingstiden for energibesparende foranstaltninger. Der er tale om marginalpriser, idet faste afgifter som tilslutningsafgifter og lignende kun påvirkes ved meget store ændringer i energiforbruget. For energiafgifter m.m. benyttes de netop vedtagne afgifter ifølge lov nr. 528, selv om denne afventer notifikation af EU.

### El

	Enhed	Større virksomhed	Mindre virksomhed
Elforbrug	MWh/år	15.000	800
Elpris inkl. transport og PSO	øre/kWh	60	70
CO <sub>2</sub> -afgift	øre/kWh	3 (mest tung proces)	6,9
Eldistr.bidrag	øre/kWh	1	1
Elpris i alt til proces	øre/kWh	64	78
Rest af CO <sub>2</sub> -afgift	øre/kWh	3,9	-
Energiafgift (minus de 1 øre)	øre/kWh	58,8	58,8
Elpris i alt til rumvarme	øre/kWh	127	137

### Gas og olie

Priserne opgøres for ikke-kvotevirksomheder. Kvotevirksomheder skal (formentlig) ikke betale CO<sub>2</sub>-afgift for brændsel til procesformål, men skal købe måske 10-20 % kvoter, som vil koste nogenlunde det samme som CO<sub>2</sub>-afgiften. (Kvotevirksomhederne skal købe kvoter for brændsel til rumvarme, men det er ikke medtaget).

Priserne opgøres for naturgas, idet fuelolie/gasolie holder nogenlunde tilsvarende priser og afgifter per GJ. DONGs listepriis for naturgas er for første halvår 2008 3,45 kr/m<sup>3</sup>. Hertil kommer udgifter til transmission, lager og distribution, mens rabatter skal fratrækkes.

Prisen for varme beregnes med en marginal virkningsgrad på 90 %.

	Enhed	Større virksomhed	Mindre virksomhed
Gasforbrug	m <sup>3</sup> /år	5 mio.	500.000
Gaspris inkl. transport og lager	kr./m <sup>3</sup>	3,50	4,00
CO <sub>2</sub> -afgift	kr./m <sup>3</sup>	0,15 (mest tung proces)	0,339
Gaspris i alt til proces	kr./m <sup>3</sup>	3,65	4,34
	kr./GJ	92	110
Rest af CO <sub>2</sub> -afgift	kr./m <sup>3</sup>	0,189	-
Energiafgift	kr./m <sup>3</sup>	1,924	1,924
Gaspris i alt til rumvarme	kr./m <sup>3</sup>	5,76	6,26
	kr./GJ	145	158
Varmepris til proces	kr./GJ	102	122
Varmepris til rumvarme	kr./GJ	161	176

### Kul

Kul anvendes næsten kun i store virksomheder.

Prisen for varme beregnes med en marginal virkningsgrad på 85 %.

	Enhed	Større virksomhed	Mindre virksomhed
Kulforbrug	t/år	10.000	
Kulpris inkl. transport	kr./t	800	
CO <sub>2</sub> -afgift	kr./GJ	4 (tung proces)	
Svovlafgift	kr./t	150	
Kulpris i alt til proces	kr./t	1051	
	kr./GJ	42	
Rest af CO <sub>2</sub> -afgift	kr./GJ	10,3	
Energiafgift	kr./GJ	48,6	
Kulpris i alt til rumvarme	kr./t	2535	
	kr./GJ	101	
Varmepris til proces	kr./GJ	49	
Varmepris til rumvarme	kr./GJ	119	

### Flis

Der er ingen afgifter på flis. Prisen an forbruger ligger i 2008 på ca. 45-48 kr./GJ og er forholdsvis stabil.

Prisen for varme beregnes med en marginal virkningsgrad på 80 %.

	Enhed	Større virksomhed	Mindre virksomhed
Flis-forbrug	t/år	20.000	1.000
Flispris inkl. transport	kr./GJ	45	48
Varmepris	kr./GJ	56	60

### Fjernvarme

Pris og afgifter afhænger af, om varmen produceres på kedelanlæg, på et kraftvarmeanlæg eller med overskudsvarme og de afhænger desuden af det benyttede brændsel. Derfor tilstræbes det at benytte priser, som er gennemsnit for den variable del af varmeprisen for hele landet.

Virkningsgraden for varmeveksleren er høj, hvorfor varmeprisen ikke korrigeres for tabene i denne.

	Enhed	Større virksomhed	Mindre virksomhed
Fjernvarmeforbrug	MWh/år	20.000	2.000
Fjernvarmepris inkl. transport	kr./MWh	500	500
Afgifter, der refunderes ved anvendelse til procesformål	kr./MWh	200	200
Fjernvarme i alt til proces	kr./MWh	300	300
	kr./GJ	83	83
Fjernvarme i alt til rumvarme	kr./MWh	500	500
	kr./GJ	139	139

## Bilag 2. Investeringer i energibesparende foranstaltninger

De nødvendige investeringer for opnåelse af besparelspotentialerne er anført nedenfor. Investeringerne er beregnet ud fra potentialerne ved 2, 4 og 10 års tilbagebetalingstid. Energi-priserne i bilag 1 er benyttet, tilbagebetalingstiden er skønnet for hvert besparelsesinterval, og der er taget hensyn til eventuelle indregnede pengebesparelser (f. eks. fra sparet ved ligesthold) ud over energibesparelsen. Investeringerne er opgjort i kr. pr. kWh årligt sparet.

Teknologiområde	Energibesparelse %	Investering kr. pr. kWh årligt sparet
Kedel- og nettab	0-3	0,3
	3-5	1,1
	5-10	2,4
Opvarmning/kogning	0-8	0,4
	8-12	1,4
	12-28	3,0
Tørring	0-7	0,5
	7-13	0,9
	13-26	2,9
Inddampning	0-16	0,6
	16-30	1,3
	30-57	2,9
Brænding	0-6	0,2
	6-8	0,6
	8-20	1,5
Overskudsvarme, Procesintegration	0-5	0,5
	5-10	1,2
	10-23	2,8
Konvertering til biomasse og fj.varme	-	-
	-	-
	-	-
Belysning	0-12	1,0
	12-17	2,5
	17-68	6,0
Pumpning	0-14	0,9
	14-22	2,2
	22-34	5,0
Køl/frys	0-12	1,0
	12-18	2,3
	18-39	5,8
Ventilation	0-19	0,9
	19-27	2,3
	27-36	5,5
Trykluft	0-23	0,6
	23-28	2,2
	28-43	6,0
Øvrige elmotorer	1-8	0,5
	8-12	2,2
	12-19	6,0
Elmotorer og transmissioner	0-3	0,7
	3-6	2,1
	6-16	5,2