

# **Energibesparelser i erhvervslivet**

## **Delrapport 2**

**April 2009**

**Dansk Energi Analyse A/S  
Viegand & Maagøe ApS**

# **Energibesparelser i erhvervslivet**

## **Delrapport 2**

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

April 2009

Dansk Energi Analyse A/S  
Viegand & Maagøe ApS

## Indholdsfortegnelse

Sammenfatning .....	6
1. Indledning .....	9
1.1 Baggrund .....	9
1.2 Opgavedisponering .....	9
1.3 Analysemetode .....	11
1.3.1 Besparelsemuligheder .....	11
1.3.2 Besparelspotentialer .....	12
1.4 Referencer til afsnit 1.1-1.3 .....	14
2. Inddampning .....	15
2.1 Indledning .....	15
2.2 Teknologiens anvendelse .....	15
2.3 Teknologiuudvikling .....	16
2.4 Energiforbrug .....	16
2.5 Tekniske energibesparelsemuligheder .....	18
2.5.1 Reduceret behov for inddampning .....	18
2.5.2 Alternative processer - MVR-anlæg .....	18
2.5.3 Ekstra trin/bedre procesintegration .....	19
2.5.4 Fouling .....	20
2.5.5 Tætning .....	20
2.5.6 Driftsoptimering .....	20
2.5.7 Elbesparelser til pumper (feed og vakuum) .....	21
2.5.8 Øvrige forhold .....	21
2.6 Adfærdsmæssige energibesparelsemuligheder .....	21
2.7 Besparelspotentiale .....	21
2.7.1 Fordeling på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder .....	22
2.8 Sammenligning med 1995-potentialet .....	23
2.9 Referencer .....	24
3. Tørring .....	25
3.1 Indledning .....	25
3.2 Teknologiens anvendelse .....	25
3.3 Teknologiuudvikling .....	26
3.4 Energiforbrug .....	27
3.5 Tekniske energibesparelsemuligheder .....	29
3.5.1 Reduceret behov for tørring .....	29
3.5.2 Bedre styring og betjening .....	30
3.5.3 Varmegenvinding og redesign af tørreprocesser .....	31
3.5.4 Nye/alternative processer /udskiftning af gamle tørreanlæg .....	32
3.5.5 Drifts- og vedligeholdsoptimering .....	33
3.6 Adfærdsmæssige energibesparelsemuligheder og vedligehold .....	34

3.7	Besparelsespotentiale .....	34
3.7.1	Fordeling på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder .....	36
3.8	Sammenligning med 1995-potentialet.....	36
3.9	Referencer .....	37
4.	Kedler og varmedistribution .....	38
4.1	Indledning .....	38
4.2	Teknologiens anvendelse .....	38
4.3	Teknologiudvikling .....	38
4.4	Energiforbrug .....	39
4.5	Tekniske energibesparelsesmuligheder .....	41
4.5.1	Economizere .....	41
4.5.2	Nye brændere/iltstyring.....	42
4.5.3	Konvertering til naturgas/LPG .....	43
4.5.4	Lavere forsyningstryk/temperatur – omlægning til varmt vand og/eller fjernvarme .....	44
4.5.5	Ny kedel/”sommerkedel” .....	45
4.5.6	Efterisolering .....	45
4.5.7	Rensning og vedligehold af kedler .....	45
4.5.8	Vedligehold af dampudladere .....	45
4.5.9	Enkelt-shuntede distributionssystemer .....	45
4.5.10	Genfordampningsanlæg .....	46
4.6	Adfærdsmæssige energibesparelsesmuligheder og vedligehold.....	46
4.7	Besparelsespotentiale .....	46
4.7.1	Fordeling på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder .....	48
4.8	Sammenligning med 1995-potentialet.....	48
4.9	Referencer .....	49
5.	Belysning .....	50
5.1	Indledning .....	50
5.2	Teknologiens anvendelse .....	50
5.3	Teknologiudviklingen .....	50
5.4	Elforbrug .....	52
5.5	Tekniske energibesparelsesmuligheder .....	52
5.5.1	Lyskilder og forkoblinger .....	53
5.5.2	Armaturer .....	54
5.5.3	Lysstyring .....	55
5.5.4	Differentieret belysning.....	55
5.5.5	Rumfarver.....	56
5.5.6	Vedligehold .....	56
5.6	Adfærdsmæssige energibesparelsesmuligheder .....	57
5.7	Besparelsespotentialer .....	57
5.7.1	Besparelser i industrien .....	57
5.7.2	Besparelser på kontorer .....	58

5.7.3	Besparelser i butikker .....	60
5.7.4	Besparelser i landbrug og fiskeri .....	60
5.7.5	Elbesparelsværktøjskasse .....	60
5.7.6	Sammenfatning af besparelspotentialet.....	61
5.8	Fordeling på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder .....	62
5.9	Sammenligning med 1995 -potentialerne fra Teknologikataloget .....	63
5.10	Referencer .....	63
6.	Ventilation .....	65
6.1	Indledning .....	65
6.2	Teknologiens anvendelse .....	65
6.3	Teknologiudviklingen .....	65
6.4	Energiforbrug .....	66
6.5	Tekniske energibesparelsmuligheder .....	67
6.5.1	Rumventilation .....	67
6.5.2	Blæsere .....	69
6.6	Adfærdsmæssige energibesparelsmuligheder .....	71
6.7	Besparelspotentialer .....	71
6.7.1	Rumventilation .....	71
6.7.2	Blæsere .....	74
6.7.3	Sammenfatning af besparelspotentialet.....	75
6.7.4	Fordeling på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder .....	75
6.8	Sammenligning med 1995-potentialet.....	76
6.9	Referencer .....	77
7.	Øvrige elmotordrevne udstyr .....	78
7.1	Indledning .....	78
7.2	Teknologiens anvendelse .....	78
7.3	Teknologiudviklingen .....	78
7.3.1	Hydraulikanlæg .....	78
7.3.2	Mekanisk transport .....	78
7.3.3	Resten af teknologiområdet .....	78
7.4	Energiforbrug .....	78
7.5	Tekniske energibesparelsmuligheder .....	79
7.5.1	Hydraulikanlæg .....	79
7.5.2	Mekanisk transport .....	80
7.5.2.1	Logistik .....	80
7.5.3	Resten af teknologiområdet .....	81
7.6	Adfærdsmæssige energibesparelsmuligheder .....	83
7.6.1	Hydraulikanlæg og mekanisk transport .....	83
7.6.2	Resten af teknologiområdet .....	83
7.7	Besparelspotentialer .....	83
7.7.1	Hydraulik .....	84
7.7.2	Mekanisk transport .....	85

7.7.3	Resten af teknologiområdet .....	86
7.7.4	Sammenfatning af besparelspotentialet.....	88
7.7.5	Fordeling på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder .....	88
7.8	Sammenligning med 1995-potentialet.....	88
7.9	Referencer .....	89
8.	Elmotorer og transmissioner .....	90
8.1	Indledning .....	90
8.2	Teknologiens anvendelse .....	90
8.3	Teknologiudviklingen .....	90
8.4	Energiforbrug .....	91
8.4.1	Elmotorer .....	91
8.4.2	Transmissioner .....	93
8.5	Tekniske energibesparelsmuligheder .....	93
8.5.1	Elmotorer .....	93
8.5.2	Transmissioner .....	96
8.6	Adfærdsmæssige energisparemuligheder.....	97
8.7	Besparelspotentialer .....	97
8.7.1	Elmotorer .....	97
8.7.2	Transmissioner .....	99
8.7.3	Fordeling på kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder .....	101
8.8	Sammenligning med 1995-potentialet.....	101
8.9	Referencer .....	102
Bilag 1.	Anvendte energipriser for 2008 .....	103

## Sammenfatning

Energistyrelsen og Dansk Energi arbejder med politikker og virkemidler til energieffektivisering og har i den forbindelse behov for en aktuell vurdering af erhvervslivets energisparemuligheder og besparelspotentialer. Styrelsen og brancheforeningen har derfor igangsat et projekt med ajourføring af "Kortlægning af erhvervslivets energiforbrug" fra 2000 og nyvurdering af besparelsemuligheder og potentialer, baseret på "Teknologikatalog – energibesparelser i erhvervslivet" fra 1995.

Denne delrapport er den anden fra projektet. Delrapporten beskriver den gennemførte ajourføring af kortlægningen, og den beskriver den anvendte analysemetode for besparelsemuligheder og –potentialer. Delrapporten omfatter desuden de syv første teknologibeskrivelser. I beskrivelserne gennemgås alle væsentlige besparelsemuligheder inden for de pågældende teknologier, og potentialerne ved "her og nu" besparelser opgøres ud fra 2008-energipriserne, forudsat 2, 4 og 10 års tilbagebetalingstid. Opgørelsen gør det muligt at prioritere virkemidlerne ud fra, hvor de korteste tilbagebetalingstider findes.

### *Besparelspotentialer*

Det samlede besparelspotentiale for de syv teknologier er opgjort til 10% ved 2 års tilbagebetalingstid, til 16% ved 4 års tilbagebetalingstid og til 34% ved 10 års tilbagebetalingstid. Det skal understreges, at potentialerne er opgjort med nogen usikkerhed. Bl. a. kan udstyrets teknisk-økonomiske restlevetid og dermed meromkostningerne ved den fremskyndede udskiftning være usikker, udskiftningen kan medføre en del følgeomkostninger, der vanskeligt kan vurderes på forhånd, og udstyrets benyttelsestider og belastningsgrader kan variere fra år til år.

Hovedresultatet og resultaterne fra de syv teknologibeskrivelser er vist i nedenstående tabel.

Teknologi	Energiforbrug 2006 TJ	Tilbagebetalingstid		
		2 år	4 år	10 år
Kedler og varmedistribution	11.212	3	6	9
Inddampning	5.759	14	31	57
Tørring	17.233	7	13	26
Belysning	13.716	12	17	68
Ventilation	10.648	19	27	36
Øvrige elmotordrevne udstyr	12.676	8	12	19
Elmotorer og transmissioner	6.440*	3	6	16
Sum	74.010	10	16	34

*Tabel: Besparelspotentialer i procent ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag  
(\*: tab i elmotorer og transmissioner. En del af disse tab indgår i elforbruget til ventilation og øvrige elmotordrevne udstyr, hvilket summen er korrigeret for)*

Sammenlignet med det potentiale, der vurderedes i Teknologikataloget fra 1995, er der for de fleste slutanvendelser tale om et noget større besparelspotentiale nu. Det skyldes en række forhold, hvoraf de væsentligste er:

- energipriserne er væsentligt højere i dag end i 1995. Regnet i faste priser er elprisen 30-50% højere, og brændselspriserne er dobbelt så høje som i 1995
- mange væsentlige besparelsesmuligheder 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. Energistyrelsens "dekomponering" af udviklingen i fremstillingsvirksomhedernes energiforbrug (Energistatistik 2007) tyder på dette, og på eksempelvis kedelområdet er kedelpasserfunktionen blevet nedlagt i mange virksomheder med deraf følgende ringe vedligehold og lavere energieffektivitet af kedlerne.

### ***Besparelspotentialer for kvotevirksomheder og for ikke-kvotevirksomheder***

Besparelspotentialerne er i nedenstående tabel fordelt på virksomheder, der er omfattet af CO<sub>2</sub>-kvoteloven, og på virksomheder, der ikke er.

Potentialet for besparelser i brændsels- og fjernvarmeforbruget vurderes at være stort set det samme i kvotevirksomheder som i ikke-kvotevirksomheder, opgjort i procent, mens det i energimængde (TJ/år) er tre til fem gange større.

Af elforbruget til de fire elforbrugende teknologier er det kun 16%, der vurderes at gå til kvotevirksomheder. Potentialet i energimængder er omkring otte gange større i ikke-kvotevirksomhederne end i kvotevirksomhederne, og procentuelt er det omkring en halv gang større.

Enhed	Energiarter	Kvotevirksomheder				Ikke-kvotevirksomheder			
		Energi- forbrug	Tilbagebetalingstid			Energi- forbrug	Tilbagebetalingstid		
			2 år	4 år	10 år		2 år	4år	10 år
TJ 2006	Brændsel og fj.varme	27.940	1.730	3.720	7.270	6.270	580	840	1.510
	El	6.430	550	810	1.720	33.380	4.260	6.060	14.330
%	Brændsel og fj.varme		6	13	26		9	13	24
	El		9	13	27		13	18	43

*Tabel: Besparelspotentialer for kvotevirksomheder og ikke-kvotevirksomheder (elforbruget er korrigeret for dobbeltregning vedr. ventilation og "øvrige elmotorer")*



### ***Besparelsespotentialer for hele erhvervslivet***

De syv teknologier i delrapport 2 står for 48% af erhvervslivets energiforbrug (fraregnet arbejds kørsel og rumvarme, der ikke påregnes behandlet i denne sammenhæng). Det vurderes, at disse teknologier er ganske repræsentative for hele energiforbruget, hvorfor besparelsespotentialet for hele erhvervslivet foreløbigt skønnes at være 10, 16 og 34% ved 2, 4 og 10 års tilbagebetalingstid.

### ***Fortsættelse af arbejdet***

For at gøre opdateringen af teknologikataloget fra 1995 rimeligt dækkende foreslås det, at der arbejdes videre med teknologierne i nedenstående tabel.

Teknologi	Energiforbrug 2006 TJ	Heraf elforbrug TJ
Pumpning	5.364	5.364
Køling	7.604	7.604
Trykluft	4.580	4.580
Procesopvarmning	27.208	1.656
Brænding/sintring	12.491	24
Sum	57.247	19.228
De syv tidligere analyserede teknologier	74.010	39.809
Erhvervslivets samlede forbrug	218.769	65.272
Ikke-analyseret forbrug (rumvarme, arbejds-kørsel, anden varme, destillation mm.)	87.512	6.235

*Tabel: Teknologier, der foreslås analyseret i det videre arbejde*

Det foreslås endvidere, at der udarbejdes beskrivelser for besparelsespotentialet ved procesintegration/overskudsvarme og for omlægning fra fossile brændsler til biomasse og fjernvarme.

Herudover foreslås det at påbegynde en analyse af virkemidler med henblik på at fremme de meget rentabel besparelser, som erhvervslivet kan gennemføre, men som ikke hidtil er blevet realiseret. Virkemidlerne kan bl. a. være et energisparekatalog, standardløsninger til især små og mellemstore virksomheder, benchmarking af energiforbrug, ERFA-grupper, generel information om energieffektivisering, tilskud til energisyn samt forskellige former for tilskud til energibesparende investeringer.

# **1. Indledning**

## **1.1 Baggrund**

Energistyrelsen og Dansk Energi har igangsat en analyse af besparelsesmuligheder og besparelspotentialer i erhvervslivet med henblik på fremskrivninger af energiforbruget og udarbejdelse af politikker og virkemidler til energieffektivisering.

Analysen 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). Delrapport 2 beskriver arbejdet med kortlægningen samt analysen af syv slutanvendelser.

## **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 delrapport 2 beskrives syv af de store slutanvendelser: Inddampning, Tørring, Belysning, Ventilation, Øvrige elmotordrevet udstyr (som inkluderer findeling og omrøring) og Elmotorer og transmissioner. 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

Besparelspotentialer (der opgøres som beskrevet i afsnit 3 nedenfor)

Sammenligning med 1995-potentialet fra Teknologikataloget

Referencer

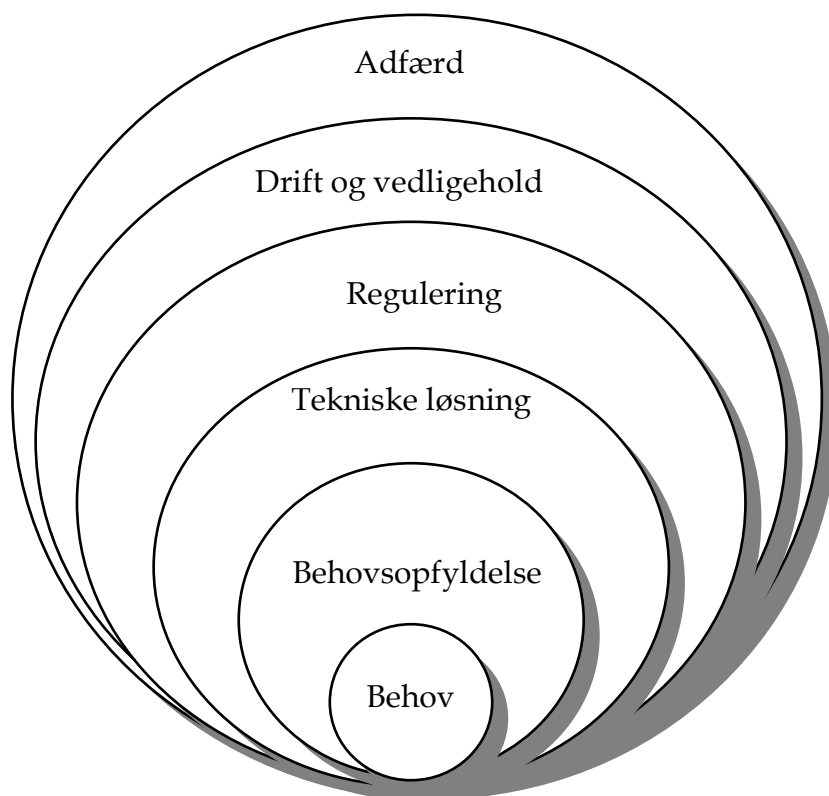
Slutanvendelser	Brændsel og fjernvarme		El		Beskrives i Delrapport 2
	TJ	%	TJ	%	
Kedel- og nettab	11.212	7			X
Opvarmning/kogning	25.552	17	1.656	2	
Tørring	17.233	11	762	1	X
Inddampning	5.759	4			X
Destillation	3.755	2			
Brænding/sintring	12.467	8	24	0	
Smeltning/støbning	2.827	2	2.458	5	
Anden varme op til 150°C	7.993	5	880	1	
Anden varme over 150°C	1.187	1	94	0	
Arbejds kørsel	26.836	17			
Belysning			13.716	19	X
Pumpning			5.364	9	
Køl/frys			7.604	11	
Ventilation og blæsere			10.648	16	X
Trykluft og procesluft			4.580	8	
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	
Elmotorer og transmission			1)		X
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): elforbruget indgår i slutanvendelserne ovenfor)*

## 1.3 Analysemetode

### 1.3.1 Besparelsesmuligheder

Energibesparelsesmulighederne er beskrevet 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 besparelsesmulighederne 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.



Figur 1.1 Løgdiagrammet for analyse af energibesparelser

### 1.3.2 Besparelspotentialer

Besparelspotentialerne er opgjort som "her og nu" potentialet 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 (hvoraf nogle er gengivet i teknologibeskrivelserne), faglitteratur, samtaler med fagspecialister og 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, vedligeholdstand 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

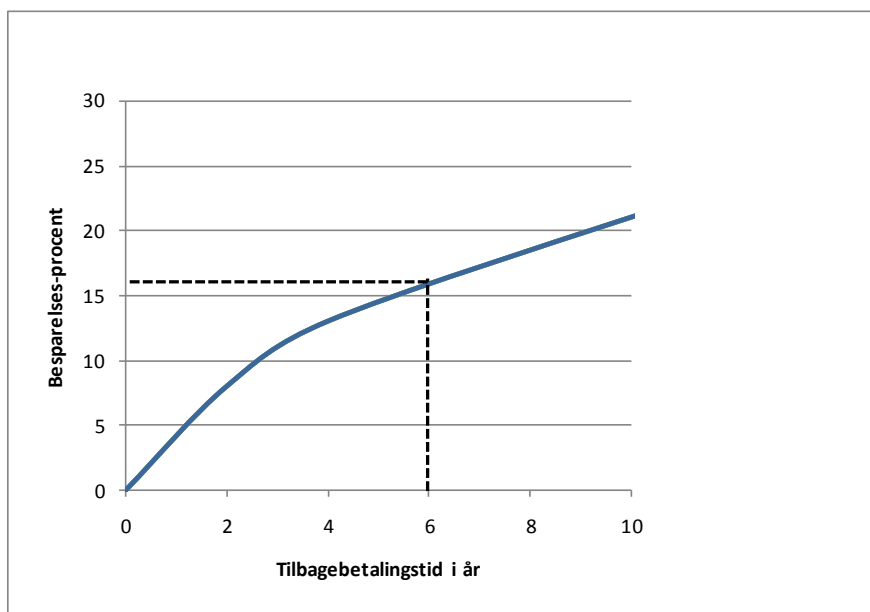
Den samlede besparelse som resultat af de forskellige muligheder beregnes som summen af de enkelte besparelser i de tilfælde, hvor besparelserne vedrører forskellige udstyr. Er der derimod tale om flere besparelsetiltag over for den samme gruppe af udstyr, beregnes besparelsen som  $1 - (1-a) \cdot (1-b) \cdot (1-c)$ , 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 til afsnit 1.1-1.3**

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. Inddampning

### 2.1 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 hjælpeudstyr til inddampningsanlæg, specielt pumper og vakuumpumper.

### 2.2 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 inddamperanlæg 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.

## **2.3 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 inddampertin 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.

## **2.4 Energiforbrug**

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

Tabel 2.1 viser brændselsforbruget til inddampning i de væsentligste brancher hvor teknologien anvendes.

Branche	Brændselsforbrug (2006)	
	TJ	%
Landbrug og fiskeri	0	0
Industri i alt	5759	100
<i>Heraf</i>		
- udvinding af grus, ler m.v.	1092	20
- slagterier m.v.	115	2
- forarbejdning og konservering af fisk mv.	345	6
- fremst. af vege./animalske olier mv.	115	2
- mejerier og isfabrikker	633	11
- fremst. af stivelsesprodukter mv.	1092	20
- sukkerfabrikker og raffinaderier	1267	22
- drikkevareindustri	230	4
- fremstilling af kunstgødning	115	2
- fremstilling af farvestoffer	403	7
- medicinalindustri	173	3
- øvrig industri	0	0
Privat handel og service	0	0
I alt	5759	100

*Tabel 2.1 Brændselsforbrug til inddampning i 2006..*

Der skal knyttes flere kommentarer energiforbrugene angivet i tabel 2.1:

- Forbruget til ”grus og ler” er først og fremmest til produktion af salt
- ”Stivelsesprodukter” omfatter blandt andet pektin og carriginat m.m. – det skal hér bemærkes forbruget i denne delbranche har været faldende siden at FMCs fabrik i Vallensbæk er lukket.
- Ang. forbruget til ”sukker og raffinaderier” skal et bemærkes at Danisco Sugar A/S har lukket flere af sine fabrikker de senere år.
- Ang. forbruget til ”gødning” skal det bemærkes at Kemiras fabrik i Fredericia er lukket.

Dette er årsagen til at energiforbruget til inddampning i dag er noget lavere end ved den sidste kortlægning af erhvervslivets energiforbrug.

## 2.5 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 hvilket brancher besparelserne forventes at kunne opnås.

### 2.5.1 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..

Energibesparelspotentialet 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.

### 2.5.2 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 størrelses ordenen 130-170 kWh/ton afdampet vand.

Det vurderes at omlægning til MVR-anlæg er relevant for 60% af 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

### **2.5.3 Ekstra trin/bedre procesintegration**

Der er et teoretisk set betydeligt energibesparelsespotentiale 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 energibesparelsespotentiale:

- 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 besparelsespotentiale 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.

#### **2.5.4 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 "adfærdsbetingede" 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.

#### **2.5.5 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.

#### **2.5.6 Driftoptimering**

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 schedulering af rengøring osv.

Det fremhæves fra flere sider at erfarne inddampningspecialister 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.

### **2.5.7 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.

### **2.5.8 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.

## **2.6 Adfærdsmæssige energibesparelsmuligheder**

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

- 2.5.4 Fouling
- 2.5.5 Tætning
- 2.5.6 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 10års tilbagebetalingstid, 5% ved 4 års tilbagebetalingstid og 10% ved 2 års tilbagebetalingstid.

## **2.7 Besparelspotentiale**

Nedenstående tabeller sammenfatter energibesparelspotentialerne med hhv. 2, 4 og 10 års tilbagebetalingstid i henhold til opgørelserne i afsnit 2.5.

Det skal bemærkes at flere af besparelspotentialerne 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, dels fordi det rent tekniske potentiale vil være mindre, dels fordi energiforbruget til inddamperanlæg vil være reduceret betydeligt ved etablering af MVR-anlæg.

Derfor er flere talstørrelser i nedenstående tabeller korrigeret i forhold til tallene angivet i afsnit 2.5.

	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	10	10	2
Totalt			14	

*Tabel 2.2 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	10	5	2
Totalt			31	

*Tabel 2.3. 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	10	2	2
Totalt			57	

*Tabel 2.4. Energibesparelspotentialer for inddamperanlæg med tilbagebetalingstid på 10 år.*

### 2.7.1 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
- m.m.

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

Hvad angår besparelspotentialet vurderes dette hvad angår de adfærdsmæssige besparelser at være størst i ikke-kvotevirksomhederne som følge af 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 (læs kvotevirksomheder) med lang driftstid.

Besparelspotentialet vurderes derfor som vist i tabel 2.5.

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	13	686	32	1624	60	3100
Ikke-kvotevirks.	576	21	120	28	161	32	183
Inddampning i alt	5759	14	806	31	1785	57	3283

Tabel 2.5. Besparelspotentiale for teknologiområdet Inddampning, opdelt på kvotevirksomheder og øvrige virksomheder

## 2.8 Sammenligning med 1995-potentialet

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

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 2.6. Besparelspotentialer ved inddampning 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	3	14
4	6	31
10	41	57

*Tabel 2.7. 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 – hhv. 102 kr per GJ (naturgas til større virksomheder) og 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. 5,0 medens forholdet i 2008 er ca. 1,77.

Det skal endelig nævnes at adfærdsmæssige besparelser i 1995 blev anset for at være relativt lave (5%), hvor der i nærværende opgørelse er regnet med 10% potentiale (såfremt MVR-anlæg ikke er installeret).

## **2.9 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

## 3. Tørring

### 3.1 Indledning

Dette afsnit omhandler energiforbruget til tørreanlæg i erhvervslivet og de besparelspotentialer 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”.

### 3.2 Teknologiens anvendelse

Tørreprocesser anvendes til at afvande et produkt, som regel frem til en slutkvalitet 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 konfektrefremstilling
- M.m.

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

### 3.3 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/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 /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 spraytørningsanlæg 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 trætørring – 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.

### **3.4 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 3.1 viser brændselsforbruget til tørring i de væsentligste brancher hvor teknologien anvendes.

Branche	Brændselsforbrug (2006)	
	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 3.1. Brændselsforbrug til tørreanlæg i 2006.

Det skal bemærkes, at ovenstående branchetal evt. skal korrigeres for at flere sukker- og mælkeproteinfabrikker er lukket de senere år. Det må derfor forventes at energiforbruget til tørring er en anelse lavere end angivet ovenfor.

### **3.5 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.

#### **3.5.1 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 afgangproduktet (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.

Energibesparelsepotentialerne 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 adfærbetinget, se afsnit 3.6 nedenfor.

##### ”Naturlig” tørring

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

### ”Flydende” produkter

Der er i /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 fremfor 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 (syrrer), 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 såfrem der accepteres tilbagebetalingstider på op mod 10 år.

En del af potentialet kan realiseres med korte tilbagebetalingstide (< 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 afvandning), 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.

### **3.5.2 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 /6/
- Tilpasning af cyklustiden, spjældstillinger m.m. i batchtørringsprocesser, tromletørrere m.m. til specifikke produktparametre og aktuelle omgivelsesforhold /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 fugtighedsmåler (NIR-måling) i afgangen 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 /6/ - /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.

### **3.5.3 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 /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 /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 energikonsumet i en tørreproces.

Udover disse ”store muligheder” kan der ved mindre anlægsoptimeringer opnås en del mindre besparelser:

- Etablering af bedre luftfordelere i spraytørringsanlæg
- Etablering af recirkulation på tromletørrere
- M.m.

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).

### **3.5.4 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 /11/ vurderet at op mod 20% af det samlede energiforbrug til tørring kan spares såfremt denne teknologi tages i brug (potentialevurderingen 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 damtryk 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 designes fra bunden af.

Potentialet for anvendelse af damptørring/overhedet damp må derfor vurderes noget lavere end i /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 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 gengælde 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. Besparelsespotentialer 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 besparelsespotentialer 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 3.5.3 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.

#### **3.5.5 Drifts- og vedligeholdsoptimering**

Udover potentialer ved en mere præcis drift af tørreanlæg vurderes der at være besparelsespotentialer 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 tørrepro-cesser 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.

### **3.6 Adfærdsmæssige energibesparelsmuligheder og vedligehold**

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

- 3.5.1 Reduceret behov for tørring
- 3.5.2 Styring og regulering

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

- 3.5.5 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 3.5.2 og 3.5.4) tages i brug i og med instrumenteringen på sådanne anlæg vil realisere en del af dette potentiale.

### **3.7 Besparelspotentiale**

Nedenstående tabeller sammenfatter energibesparelspotentialerne med hhv. 2, 4 og 10 års tilbagebetalingstid i henhold til opgørelserne i kapitel 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 3.5

	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			7,0	

Tabel 3.2. 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 3.3. 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 3.4. Energibesparelspotentialer for tørreanlæg med tilbagebetalingstid på 10 år.

I tabel 3.3 og 3.4 er potentialevurderingerne 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).

### 3.7.1 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 i tabel 3.1 eller svarende til 13.786 TJ/år findes i tørreanlæg 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.

Der vurderes med denne baggrund energipotentialerne angivet i tabel 3.5 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	13.786	6	861	12	1.723	25	3.447
Ikke-kvotevirks.	3.447	10	345	15	517	30	1.034
Tørring i alt	17.233	7	1206	13	2.240	26	4.481

Tabel 3.5. Besparelspotentialer for teknologiområdet tørring opdelt på kvotevirksomheder og øvrige virksomheder

### 3.8 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 3.6. Besparelspotentialer ved tørring år 1995 ifølge ref. /17/

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 3.7. Det i denne undersøgelse fundne potentiale for 2008 er også vist i tabel 3.7.

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

*Tabel 3.7. Sammenligning af besparelspotentialer år 1995 og 2008*

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

3. 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.
4. 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.

### **3.9 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/ Teknologikataloget fra 1995

## 4. Kedler og varmedistribution

### 4.1 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. CO<sub>2</sub>-besparelser ved omlægning af brændsler eller konvertering til fjernvarme samt ved reduktion af varmebehov ved varmegenvinding internt i fabrikken er altså ikke omfattet af analyserne. Dog er brændsels-omlægninger omfattet i det omfang disse medfører en mere effektiv udnyttelse af primærenergien.

### 4.2 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.

### 4.3 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. Dog har man i mange virksomheder ikke i tilstrækkeligt omfang lavtemperaturtemperatursystemer, 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 projekteringspraksis 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 varmemeforsyning – førstnævnte med langt færre tab og forøgede muligheder for også at udnytte spildvarme til for eksempel rumvarmeformål.

#### **4.4 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 4.1 viser brændselsforbruget til kedel- og distributionstab i de væsentligste brancher.



Branche	Brændselsforbrug (2006)	
	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>		
- Udvinding 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
- Drikkevareindustri	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 4.1. Brændselsforbrug til kedel- og distributionstab 2006.*

Ovenstående tabsstørrelser 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.

## **4.5 Tekniske energibesparelsmuligheder**

Det er en generel holdning hos kedelleverandører og servicefirmaer /1/ - /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 4.1 ovenfor angiver specifikke tabsstørrelser.

### **4.5.1 Economisere**

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 røggastemperaturen 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 besparelser på 8% svarende til et bruttobesparelspotentiale på 4%.

Under dette sidste punkt er det skønnet at alle kedler (50%) kan etablere economisere iogmed 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.

#### **4.5.2 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.

#### **4.5.3 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.

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

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

I flere brancher (fødevarer, pharma, plast m.m.) kan op mod 80% af varmemedieforbruget 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 varmemediebrugere (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 teknologiansnit.

#### **4.5.5 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.

#### **4.5.6 Efterisolering**

Efterisolering i kedelcentral og distributionsnet (teknisk standard DS452) udgør fremdeles et væsentligt potentiale for energibesparelser i erhvervslivet – typisk forventes der at kunne opnå 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.

#### **4.5.7 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.

#### **4.5.8 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.

#### **4.5.9 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 4.5.1 ovenfor) og vurderes at kunne realisere besparelser på op til 4% af energiforbruget i de pågældende anlæg /7/ såfremt der accepteres tilbagebetalingstider så lange som 10 år.

Såfremt der opereres med kortere tilbagebeta-lingstider anses potentialet for begrænset da ombygningerne typisk er relativt dyre/omfattende.

#### **4.5.10 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 /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.

### **4.6 Adfærdsmæssige energibesparelsmuligheder og vedligehold**

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

- 4.5.1 Bedre brug af economisere
- 4.5.7 Rensning og vedligehold af kedler
- 4.5.8 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.

### **4.7 Besparelspotentiale**

Nedenstående tabeller sammenfatter energibesparelspotentialerne med hhv. 2, 4 og 10 års tilbagebetalingstid i henhold til opgørelserne i kapitel 4.5. Det skal bemærkes, at besparelspotentialerne listet ovenfor i vid udstrækning overlapper hinanden – for eksempel vil ”economisere” (afsnit 4.5.1) ikke kunne ses som et potentiale parallelt med ”ny kedel” (afsnit 4.5.5) 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 parantes) 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 4.2. 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 4.3. 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 4.4. Energibesparelspotentialer for kedel- og distributionstab med tilbagebetalingstid på 10 år.*

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

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

Kvotevirksomheder omfatter også en række gartnerier (i alt 9 gartnerier er kvotevirksomheder), hvorfor det vurderes at ca. 80% af tabene i tabel 4.1 eller svarende til ca. 9.000 TJ/år findes 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	8.970	2½	224	4½	404	8	718
Ikke-kvotevirks.	2.242	5	112	7	157	13	291
Kedel-/dist.-tab i alt	11.212	3	336	5	561	9	1009

*Tabel 4.5. Besparelspotentiale for teknologiområdet kedler og varmedistribution opdelt på kvotevirksomheder og øvrige virksomheder*

#### 4.8 Sammenligning med 1995-potentialet

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 4.6. Besparelspotentialer år 1995 ifølge ref. 6*

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	1	3
4	3	5
10	7	9

*Tabel 4.7. 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:

5. Det er blevet billigere at konvertere fra olie til naturgas iogmed tilslutningsomkostningerne mange steder er faldet betydeligt.
6. 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.

## 4.9 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/ Teknologikataloget 1995
- /8/ Vejledning i energibevidst projektering af varmeanlæg, F.R.I., 2000

## 5. Belysning

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

### 5.1 Indledning

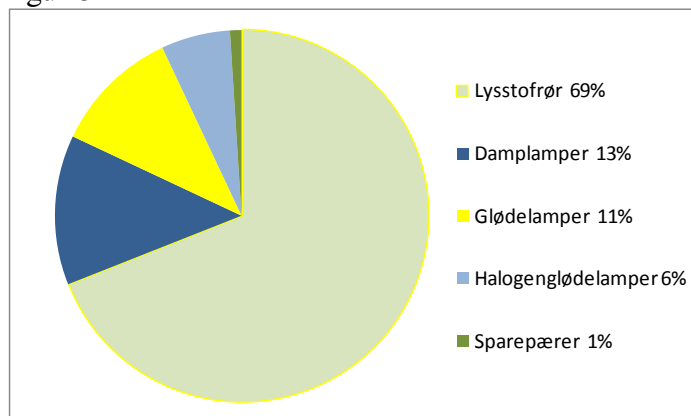
Dette afsnit omhandler elforbruget til belysning af indendørs arbejdspladser, fællesområder samt færdselsarealer i erhvervslivet. Elforbruget til styring og regulering af kunstlyset indgår i afsnittet.

### 5.2 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 5.1.



Figur 5.1. Elforbruget i erhvervslivet fordelt på lyskildetyper

### 5.3 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 højtryksskviksvølvlamperne) 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 kontorbyggerier.

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 dagslysindfald 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 energireovering ofte urentabel, når elbesparelsen alene – uden hensyn til udstyrets ælde og slid - skal finansiere udskiftningen.

## 5.4 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 5.1 viser elforbruget i de brancher, hvor det absolutte elforbrug til belysning er størst. Især detailhandel og engroshandel har et stort elforbrug til belysning.

Branche	Elforbrug	
	TJ	%
Landbrug og fiskeri	1332	10
<i>Heraf</i>		
- Landbrug	522	4
- Gartnerier	729	5
Industri i alt	2758	20
Privat handel og service	9626	70
<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 (markedsførelse)	699	5
I alt	13.716	100

Tabel 5.1. 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.

## 5.5 Tekniske energibesparelsmuligheder

Der er et stort besparelspotentiale 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 besparelspotentialerne 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 5.2. Besparelspotentialer ved udskiftning/reovering af belysningen. Kilde ref. 3 og Dansk Center for Lys

Det ses af figur 5.2, 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.

### 5.5.1 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 lavvoltage-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 kviksøvlamper ikke blive brugt i industrien i nye belysningsanlæg, da lyskilderne ikke opfylder de nuværende krav til farvegengivelse i arbejdslokaler, samtidig med at kviksøvlamper 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.

### **5.5.2 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 reflektionstab 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.

### **5.5.3 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.

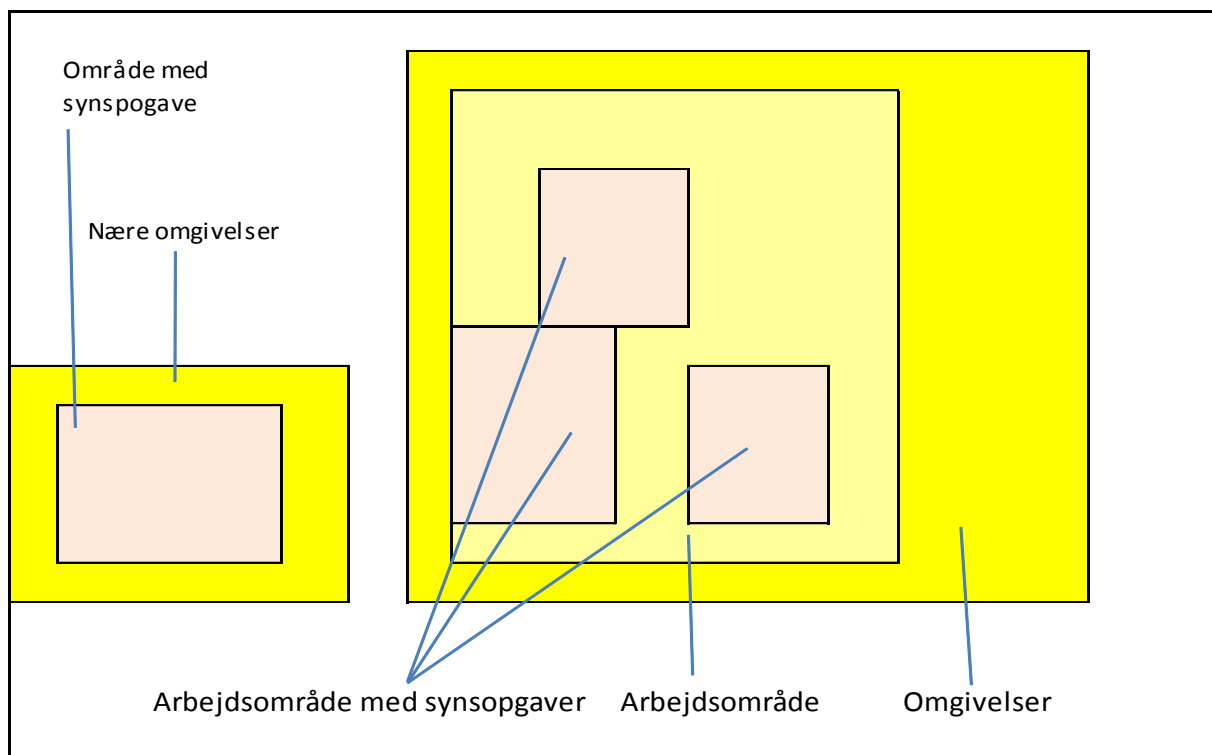
I forhold til et gammelt belysningsanlæg med T8 lysstofrør uden styring, kan der spares 50-70 % i industri- og lagerhaller med rigeligt og jævnt fordelt dagslys og op til 30-50 % i ikke for dybe kontorlokaler med sidevinduer.

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

### **5.5.4 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 5.3. Differentieret belysning giver både et lavere energiforbrug og en mere interessant belysning

### 5.5.5 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.

Besparelsespotentialer 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.

### 5.5.6 Vedligehold

Under projekteringen af belysningsanlæg indgår vedligeholdelsesfaktoren (mellem 0 og 1) for kunstlyset. Da kravene til belysningsstyrken i givne arbejdsituationer 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.

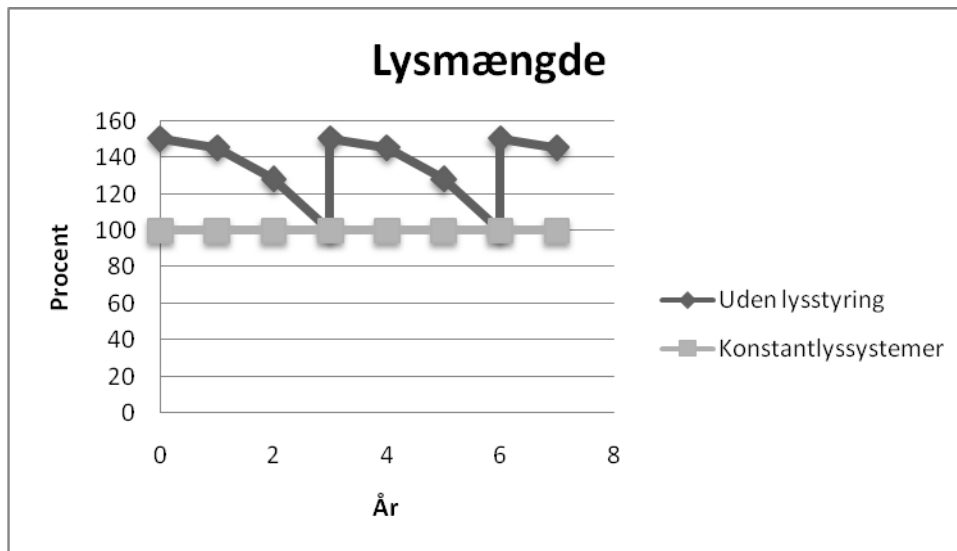
Ved at have en høj rengøringsstandard kan man reducere det nødvendige effektbehov, idet vedligeholdelsesfaktoren bliver højere. Anvendelse af lysstyringssystemer, hvor en sensor måler den tilstedeværende belysningsstyrke og indregulerer lysniveauet til den ønskede værdi (konstantlyssystemer), kan også 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

$$v = 0,95 * 0,95 * 0,74 = 0,67$$

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



Figur 5.4. 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 ældning af lysstofrør reduceres lysmængden

## 5.6 Adfærdsmæssige energibesparelsmuligheder

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.

## 5.7 Besparelspotentialer

Besparelspotentialer er opgjort for erhvervslivet i år 2008 ud fra en simpel tilbagebetalings-tid 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.

### 5.7.1 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 5.2. 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.

### **5.7.2 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	Almenbelysning: 6,7 W/m <sup>2</sup> Arbejdslamper: 600 W	9,7	24,3
	Automatisk on/off regulering efter dagslys		15,3	38,3
	Manuel betjening efter dagslys		15,8	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 600 W	7,5	18,8

*Tabel 5.3. 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 5.3 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 bygningskroppe 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.

### 5.7.3 Besparelser i butikker

I butikkerne går udviklingen mod anvendelse af metalhalogenlamper i stedet for halogenglødelamper i vindues- og effektbelysningen, ligesom mange almindelige glødelamper er erstattet af enten mere effektive halogenglødelamper, sparepærer eller kompaktlystofrør.

Ved udskiftning af halogenglødelamper 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.

### 5.7.4 Besparelser i landbrug og fiskeri

I landbruget anvendes lysstofrør og sjældnere glødelamper eller damplamper. 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 belysningssystemer baseret på LED, men det er ikke muligt på indeværende tidspunkt at skønne energibesparelsens størrelse i praksis.

### 5.7.5 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

Natlukning 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 15 %

(hvor de gamle er mere end 15 år)

Differentiering af belysningen (mod 500 lux overalt) 10-30 %

#### **5.7.6 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 5.4. 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 5.4)	9	50-70	5	½-2
Bevægelsesmeldere	25	10	2,5	10
Lysere rumfarver	25	10	2,5	
Mere effektive armaturer (reflektorer på eksisterende lysstofrørarmaturer uden lysstyring)	10	20	2	10
Lysstyring – dagslys	5	80	4	10
Tekniske muligheder i alt			15	
Adfærd			2	
Totalt			17	

*Tabel 5.5. Besparelspotentiale for belysning ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag med 4 års tilbagebetalingstid*

	10 års tilbagebetalingstid			Teknisk- økonomisk levetid år
	% af energien, 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 5.6. Besparelspotentiale for belysning ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag med 10 års tilbagebetalingstid. (Adfærd er 0%)*

## 5.8 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 5.1 er 700 TJ/år. Det er ca. 20% af

industriens og gartnerierne 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.

### 5.9 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 5.7. Ud fra datidens elpris på 35 øre/kWh er den gennemsnitlige tilbagebetalingstid opgjort i tabel 5.7.

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 5.7. Besparelspotentialet ved belysning år 1995 iflg. ref. 2*

En sammenligning mellem potentialerne fra 1995 og denne undersøgelses resultater er vist i tabel 5.8. 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 5.8. Sammenligning af besparelspotentialer år 1995 og år 2008.*

### 5.10 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

## 6. Ventilation

### 6.1 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.

### 6.2 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.

### 6.3 Teknologiuudviklingen

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.

## 6.4 Energiforbrug

Erhvervslivets elforbrug til ventilation er opgjort til 10.648 TJ (2958 GWh) i 2006. Det er 16% af erhvervslivets elforbrug. Tabel 6.1 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)	
	TJ	%
Landbrug og fiskeri	2221	21
Industri i alt	6387	60
<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
Privat handel og service	2041	19
<i>Heraf</i>		
Engros- og agenturhandel	377	4
Detailhandel	393	4
Hotel- og restaurationsvirksomhed	290	3
I alt	10.648	100

*Tabel 6.1. 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.

## 6.5 Tekniske energibesparelsemuligheder

### 6.5.1 Rumventilation

#### 6.5.1.1 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.

#### 6.5.1.2 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.

#### 6.5.1.3 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 skorstenene og vindmølletårne, 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.

#### **6.5.1.4 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.

#### **6.5.1.5 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.

#### **6.5.1.6 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.

#### **6.5.1.7 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 billigørelse 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.

### **6.5.1.8 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.

### **6.5.2 Blæsere**

#### **6.5.2.1 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 ovnlåger (reduceret røggasmængde).

#### **6.5.2.2 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.

#### **6.5.2.3 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 træindustriell 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.

#### **6.5.2.4 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 kehlmaskiner. 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.

#### **6.5.2.5 Ventilator og motor**

Det er generelt muligt at effektivisere ventilatorer og motorer således som nævnt i afsnit 6.5.1.4. 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.

#### **6.5.2.6 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.

#### **6.5.2.7 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 drøvet væk over spjældet. Ved at frekvensstyre motoren og åbne spjældet helt sparede 300 MWh/år. Tilbagebetalingstiden blev opgjort til 3 år.

### 6.5.2.8 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.

## 6.6 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 6.5.

## 6.7 Besparelspotentialer

Besparelspotentialet er opgjort for erhvervslivet i år 2008 ud fra en simpel tilbagebetalings-tid 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.

### 6.7.1 Rumventilation

#### 6.7.1.1 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 6.2, 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 6.2. 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 6.3. 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 6.3. 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 6.3 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.

#### **6.7.1.2 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 6.4 for effektiv regulering af luftmængderne omfatter den 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 besparelsesmuligheder 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 6.4. Besparelspotentiale for rumventilation ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag. Den forventede levetid er vist i øverste tabel*

### 6.7.2 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 afledet 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 omdrejningstalsregulering. 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 6.7.1.2.

	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	20	4
Effektiv punktudsugning	5	40	2
Ventilator og motor	30	15	5
Mindre tryktab plus energieffektiv regulering	60	20	12
Vedligehold	100	2	2
Tekniske muligheder i alt			30
Adfærd			1
Totalt			31

Tabel 6.5. Besparelspotentiale for blæsere ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag. Den forventede levetid er vist i øverste tabel

### 6.7.3 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 6.6. Besparelspotentiale for teknologiområdet Ventilation ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag

### 6.7.4 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 besparelspotentialer, 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 6.7.

	Energi- forbrug TJ/år	2 års tilbage- betalingstid		4 års tilbage- betalingstid		10 års tilbage- betalingstid	
		%	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 6.7. Besparelspotentiale for teknologiområdet Ventilation, opdelt på kvotevirksomheder og øvrige virksomheder*

## 6.8 Sammenligning med 1995-potentialet

I ref. 7 fra 1995 blev der foretaget en vurdering af "her og nu" besparelspotentialet i 1995, se tabel 6.8. I tabel 6.8 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 6.8. Besparelspotentialer ved ventilation år 1995 ifølge ref. 6*

Antages det, at besparelserne inden for de enkelte intervaller i tabel 6.8 er fordelt lineært over intervallet, og at de tilsammen udgør en kontinuert kurve, fås besparelspotentialer år 1995 som vist i tabel 6.9. Det i denne undersøgelse fundne potentiale for 2008 er også vist i tabel 6.9. 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 6.9. Sammenligning af besparelspotentialer år 1995 og 2008*

## 6.9 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 keblemaskiner i dansk erhvervsliv. Elforsk.
6. Ordning for obligatorisk tilsyn af ventilationsanlæg. Teknologisk Institut. December 2003
7. Teknologikatalog – energibesparelser i erhvervslivet. Energistyrelsen 1995

## **7. Øvrige elmotordrevne udstyr**

### **7.1 Indledning**

Dette afsnit 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.

### **7.2 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 energiomsætter i meget af dette udstyr og behandles derfor separat i indeværende afsnit. Også mekanisk transport behandles separat, da det udgør et særligt område.

### **7.3 Teknologiuudviklingen**

I dette afsnit beskrives udviklingen i de seneste 10 år og der beskrives trends for den kommende udvikling.

#### **7.3.1 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. fødevarersektoren, 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.

#### **7.3.2 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%.

#### **7.3.3 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 energieffektiviseringen 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.

### **7.4 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 7.1 viser elforbruget til "øvrige elmotorer" i de brancher, hvor denne slutanvendelse er størst.

Branche	Elforbrug	
	TJ	%
Landbrug og fiskeri	1.024	8
Industri i alt	10.853	86
<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
Privat handel og service	799	6
I alt	12.676	100

*Tabel 7.1. Elforbrug til "øvrige elmotorer" i 2006, udspecificeret på de vigtigste brancher*

Elforbruget til hydraulik udgør 4,0 – 4,5% af industriens samlede elforbrug (litt. 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.

## **7.5 Tekniske energibesparelsmuligheder**

### **7.5.1 Hydraulikanlæg**

Beskrivelsen omfatter både separate hydraulikanlæg, der betjener flere apparater, og anlæg integreret i et apparat.

#### **7.5.1.1 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.



### **7.5.1.2 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.

### **7.5.1.3 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.

### **7.5.1.4 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.

### **7.5.1.5 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. Besparelsespotentialet vil være betydeligt, ofte 20 – 70%.

## **7.5.2 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 "arbejdskørsel".

Mekanisk transport er generelt meget energieffektivt i forhold til pneumatisk transport, hvorfor der ikke er væsentlige substitutionsmuligheder.

### **7.5.2.1 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.

#### **7.5.2.2 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.

#### **7.5.2.3 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 (litt. 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 fødevarsektoren 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.

#### **7.5.2.4 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.

### **7.5.3 Resten af teknologiområdet**

#### **7.5.3.1 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.

### **7.5.3.2 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. Udvælgelsen 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 (litt. 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.

### **7.5.3.3 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.

### **7.5.3.4 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.

### **7.5.3.5 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.

## **7.6 Adfærdsmæssige energibesparelsemuligheder**

### **7.6.1 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.

### **7.6.2 Resten af teknologiområdet**

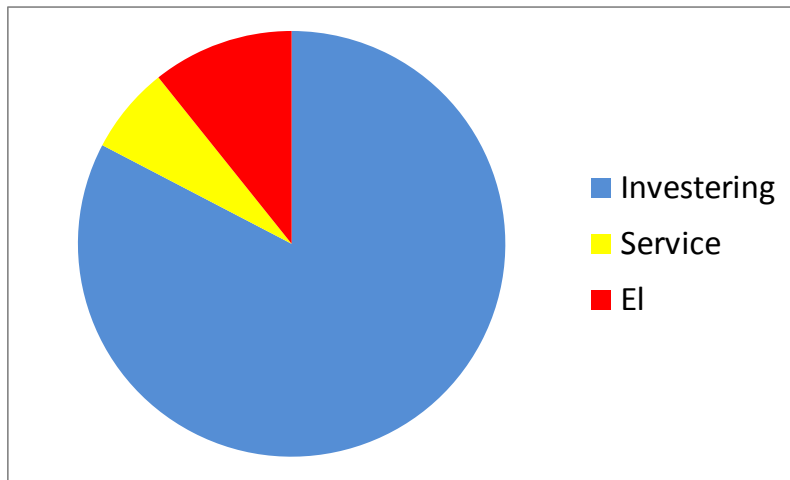
Der kan opnås besparelser ved at stoppe udstyr, der ellers ville køre i tomgang. Mulighederne regnes dog delvist udnyttet gennem styringer. En løbende kontrol af emnerne i produktionen, hvor fejlramte emner kasseres tidligt og ikke bearbejdes videre for derefter at blive kasseret, samt en skærpet opmærksomhed 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.

## **7.7 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 7.1. 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 7.1. Eksempel på totalomkostninger til "øvrige elmotorer", opgjort over 4 år

### 7.7.1 Hydraulik

De to besparelsesmuligheder substitution af hydraulik med direkte eldrev og udskiftning af et hydraulikanlæg med et mere energieffektivt anlæg er generelt ret dyre, men da besparelsespotentialt 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

	4 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 7.2. Besparelspotentiale for hydraulikanlæg ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag. Den forventede levetid er vist i øverste tabel*

### 7.7.2 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 7.3. Besparelspotentiale for mekanisk transport ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag. Den forventede levetid er vist i øverste tabel*

### 7.7.3 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. Energibevist 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 7.4. Besparelspotentiale for resten af teknologiområdet ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag. Den forventede levetid er vist i øverste tabel*



### 7.7.4 Sammenfatning af besparelsespotentialiet

Teknologi	Energiforbrug TJ/år	2 års tilbage- betalingstid		4 års tilbage- betalingstid		10 års tilbage- betalingstid	
		%	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 7.5. Besparelsespotentialer for teknologiområdet "Øvrige elmotorer" ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag

### 7.7.5 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 7.6.

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	420	19	670
Ikke-kvotevirks.	9.161	8	700	12	1.050	19	1.790
"Øvrige elmotorer" i alt	12.676	8	980	12	1.470	19	2.460

Tabel 7.6. Besparelsespotentialer for teknologiområdet Øvrige elmotorer, opdelt på kvotevirksomheder og øvrige virksomheder

### 7.8 Sammenligning med 1995-potentialet

I ref. 6 fra 1995 blev der foretaget en vurdering af "her og nu" besparelsespotentialiet 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 7.7 viser besparelsespotentialerne for hydraulik i 1995 samt 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
10-35	1	2,9
35-45	2	5,4
45-55	4	11,4

*Tabel 7.7. Besparelspotentialer ved hydraulik år 1995 ifølge ref. 6*

Antages det, at besparelserne inden for de enkelte intervaller i tabel 7.7 er fordelt lineært over intervallet, og at de tilsammen udgør en kontinuert kurve, svarer tabel 7.7 til en besparelse på 8% ved 2 års tilbagebetalingstid, 37% ved 4 år og 48% ved 10 års tilbagebetalingstid. Potentialer 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.

## 7.9 Referencer

1. Håndbog i energirådgivning – Hydraulik. DEFU. December 1999.
2. Energieffektivisering af transportbånd – Carlsberg. Elselskabernes Energirådgivning.
3. Udvikling af energieffektive hydrocycloner 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

## 8. Elmotorer og transmissioner

### 8.1 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.

### 8.2 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.

### 8.3 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 (energi klasse 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 8.1 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 8.1. 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 overflødigger 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 smørelolie.

## 8.4 Energiforbrug

### 8.4.1 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 8.2 og udgør 63% af hele erhvervslivets elforbrug. Edb og elektronik er ikke medregnet i tabel 8.2 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 8.2. 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. papirindustrien) 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 8.3. I tabel 8.3 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 8.3 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 erhv.liv	I alt	Skøn 1994	EFF2 middel	Skøn 2008		
kW	%	%	GWh/år	%	%	%	GWh/år	%
0-1,0	8	13	1086	67	(74)	70	326	23
1,1-4,0	11	25	1748	80	81	80	350	25
4,1-12	14	25	1981	86	88	87	258	18
13-30	20	25	2449	90	90,5	90	234	17
31-100	18	6	1616	93	93,5	93	118	9
101-300	23	6	2006	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	11354				1404	100
Elomsætning i GWh/år	7792	3562	11354					

*Tabel 8.3. Størrelsesfordeling og tab i erhvervslivets elmotorer (elforbrug stadie 2006)*

Motortabene skønnes i tabel 8.3 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 8.4 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 8.4. Elforbrug i gennemsnitsmotorer

### 8.4.2 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 kæde-træk anses for at omsætte væsentlig mindre energi, og da kæde-træk samtidig har ret høje virkningsgrader, beskrives de ikke i det følgende.

Tandhjulsgear er energimæssigt den mest udbredte geartype, men også snækkegear er udbredte til bl. a. transportbånd. Tabene i tandhjulsgear er typisk 3-5% mod 10-40% for snækkegear (ref. 6). For alle erhvervslivets gear regnes med tab på 7% eller 750 TJ/år (210 GWh/år). Da snækkegear overvejende er mindre gear, er de procentvise tab noget større for mindre gear end for de større.

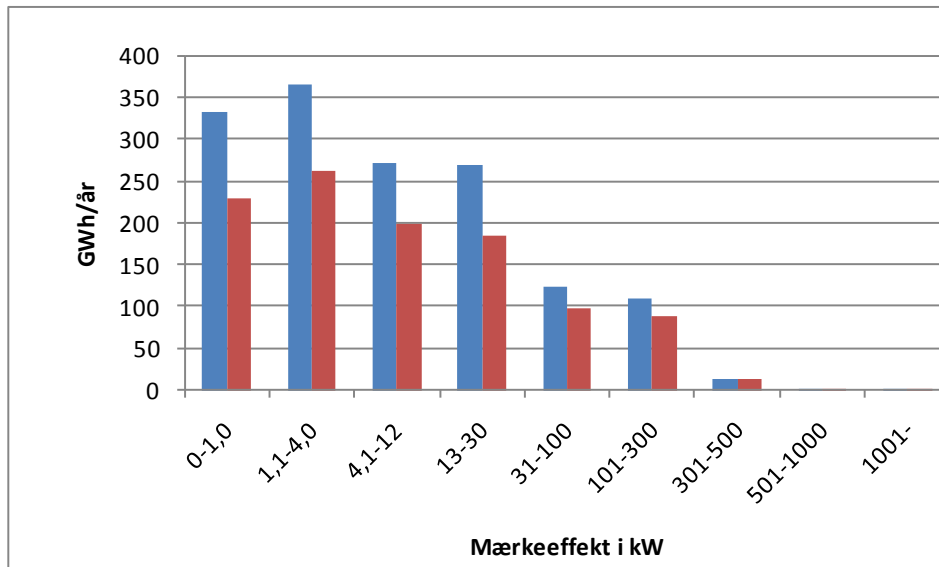
Af remtræk er kileremme den mest udbredte type, og de skønnes at stå for omkring 75% af energioverførslen ved remtræk (ref. 6). Fladremme skønnes at stå for 15% og tandremme samt poly-V-remme for hver 5%. Tabene i korrekt dimensionerede kileremme udgør typisk 3-5% mod 1-3% for de øvrige remtyper. Da mange remtræk er overdimensionerede, vurderes tabene i remtræk til i alt 6% eller 640 TJ/år (180 GWh/år).

## 8.5 Tekniske energibesparelsesmuligheder

### 8.5.1 Elmotorer

#### 8.5.1.1 Mere effektive motorer

Gennemsnitsmotoren har større tab end de mest effektive asynkronmotorer på markedet, se figur 8.1. Blev alle erhvervslivets motorer (med de i tabel 8.3 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.

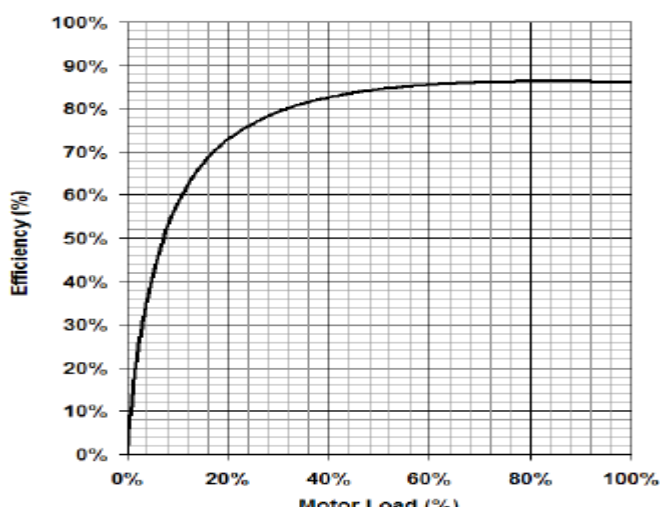


Figur 8.1. Tab i erhvervslivets motorer. Venstre søjle er tabene i dagens motorer, højre er tabene, hvis alle motorer netop var af effektivitetsklasse IE3

### 8.5.1.2 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 8.2.



Figur 8.2. Virkningsgraden for en 11 kW 4-polet asynkronmotor som funktion af belastningen

Tabel 8.5 viser tabene for forskellige motorstørrelser, der alle yder 11 kW akseleffekt. 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. Udskiftningen 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 8.5. Eksempel på virkningsgrader for EFF2-motorer med akseleffekt 11 kW

### 8.5.1.3 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 jerntab reduceres. Nogle softstartere og frekvensomformerer 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.

### 8.5.1.4 Reduktion af overharmoniske

Virksomhedernes elforsyning indeholder overharmoniske strømme, der kommer fra lysrør-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.

### 8.5.1.5 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



jævnstrømsmotorer 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).

## **8.5.2 Transmissioner**

### **8.5.2.1 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%.

### **8.5.2.2 Udskift snekkegear**

Snekkegear anvendes i transportbånd, ekstrudere, blandingsanlæg og tilsvarende steder, hvor et kompakt gear og eventuelt et stort udvekslingsforhold er krævet. Snekkegear har tab på 30-50% ved udvekslingsforhold 1:50, hvor et tandhjulsgear har tab på 4-10%. Hvor det er muligt at udskifte snekkegearet 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).

### **8.5.2.3 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.

### **8.5.2.4 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 bukes mere ved små skiver (dette skaber især tab i de såkaldte dækkede kileremme). Med store remskiver, effektive remme og korrekt dimensionering (se 8.5.2.3) 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 skråtskårne tandrem og poly-V-remmen.

### **8.5.2.5 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 slib 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. Skråtskårne tandremme af polyurethan skal ikke efterspændes og taber derfor ikke på samme måde i virkningsgrad.

## 8.6 Adfærdsmæssige energisparemuligheder

Ud over de muligheder, der er nævnt under vedligehold, er der ingen adfærdsmæssige muligheder for at reducere tabene i elmotorer og transmissioner.

## 8.7 Besparelspotentialer

### 8.7.1 Elmotorer

#### 8.7.1.1 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 8.3 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 virknings-grad, 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.

Potentialet 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 8.3). 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. Besparelspotentialet 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 besparelspotentialet øges (og vurderes til i alt 40% i tabel 8.6).

Udskiftes en jævnstrømsmotor med en PMSM-motor, kan tilbagebetalingstiden komme under 10 år, især hvis jævnstrømsmotoren har store vedligeholdelseskostningerne 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%.

### 8.7.1.2 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 8.5.1.4 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 jævnstrømsmotorer	1	50	1	20
Motorstyringer	5	5	0	10
Vedligehold	20	5	1	
Tekniske muligheder i alt			12	
Adfærd	-	-	-	
Totalt			12	

*Tabel 8.6. Besparelspotentiale ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag, opgivet som procenter af elmotorernes tab. Den forventede levetid er vist i nederste tabel*

### 8.7.2 Transmissioner

Direkte drev med hastighedsregulerede asynkronmotorer indebærer tab i frekvensomformereren, 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 snækkegear 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 snækkegears-tabene (svarende til omkring 8% af transmissionstabene), og besparelsen vurderes til 75%. For 10% af snækkegears-tabene (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 transmissions-tabene). 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 remtræks-tabene (12 og 5% af transmissionstabene) med potentielle besparelser på 70%, hhv. 80%.

Besparelsemulighederne ved bedre vedligehold, bl. a. ved at holde korrekt oliestand i gearkasser og efterspænde kileremme, vurderes at omfatte 50% af transmissionstabene 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 8.7. Besparelspotentiale ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag, opgivet som procenter af transmissionstabene. Den forventede levetid er vist i nederste tabel*

### 8.7.2.1 Sammenfatning af besparelspotentialet

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 8.8. Besparelspotentiale for teknologiområdet Elmotorer og transmissioner ved tekniske og adfærdsmæssige tiltag

### 8.7.3 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 elmotorernes akseffekt (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 8.9.

	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 8.9. Besparelspotentiale for teknologiområdet Elmotorer og transmissioner, opdelt på kvotevirksomheder og øvrige virksomheder

## 8.8 Sammenligning med 1995-potentialet

I ref. 12 vurderedes "her og nu" besparelspotentialet 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 8.3) 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 8.8). 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 8.10. Antages det, at besparelserne inden for de enkelte intervaller i tabel 8.10 er fordelt lineært over intervallet, og at de tilsammen udgør en kontinuert kurve, fås besparelspotentialer år 1995

som vist i tabel 8.11. Det i denne undersøgelse fundne potentiale for 2008 er også vist i tabel 8.11.

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 8.10. Besparelspotentialer ved transmissioner år 1995 ifølge ref. 12*

Tilbagebetalingstid år	Potentiale 1995 %	Potentiale 2008 %
2	7	11
4	12	17
10	21	31

*Tabel 8.11. 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.

## 8.9 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
CO2-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 CO2-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 CO2-afgift for brændsel til procesformål, men skal købe måske 10-20% kvoter, som vil koste nogenlunde det samme som CO2-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
CO2-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 CO2-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	
CO2-afgift	kr./GJ	4 (tung proces)	
Svovlafgift	kr./t	150	
Kulpris i alt til proces	kr./t	1051	
	kr./GJ	42	
Rest af CO2-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