

# **Energibesparelser i bygninger i den offentlige sektor**

***Sådan kan der spares op til 74% af  
energiforbruget***

Jacob Birck Laustsen

# Baggrund

- Stort besparelspotentiale
  - 40% af Danmarks energiforbrug bruges i bygninger
  - Varmeforbrug i offentlige bygninger udgør 8 % af samlet energiforbrug til opvarmning i bygninger i DK
  - De fleste offentlige bygninger er i energimæssig dårlig stand
- Rentabilitetskriterie om tilbagebetalingstid på 5 år ikke godt nok.
  - De tiltag der virkelig batter kan ikke leve op til 5-årskravet
- Det offentlige skal gå foran og realisere rentable energibesparelser

# Potentialet findes i de eksisterende bygninger

- Størstedelen af offentlige bygninger er i energimæssig dårlig stand og trænger til renovering
- Ca. 75 % af alle offentlige bygninger er opført før 1977, hvor der for første gang blev indført egentlige stramninger af energibestemmelserne i bygningsreglementet
- Kun ca. 10 % af de offentlige bygninger er opført efter indførelsen af BR 1995, som energimæssigt er ca. 30 % dårligere end det nye BR2008

Bygningsreglement krav til varmeisolering af bygningsdele, U-værdi

Bygningsdele	BR61/72	BR77/82	BR95	BR08
Ydervæg, tung	1,00	0,40/0,35	0,30	0,20
Ydervæg, let	0,60	0,30	0,20	0,20
Terrændæk	0,45	0,30	0,20	0,15
Loft- og tagkonstruktioner	0,45	0,20	0,15/0,20	0,15
Etageadskil. mod uopv. rum	0,60	0,40	0,30	0,40
Vinduer	2,90	2,90	1,80	1,50
Tagvinduer og ovenlys	-	-	-	1,80

## Eksempler på energireovering

- Isoleret klimaskærm
- Lufttæthed
- Vinduer
- Ventilation
- Varmeinstallationer
- Solafskærmninger
- Køling
- Belysning
- Solenergi
- Bygningsdrift

Kun fokus på energiforbrug der indgår i energikrav i Bygningsreglementet.

# Efterisolering af klimaskærm

## Ydervæg:

- Hulmursisolering
  - Nem og billig. Ofte begrænset effekt pga. murbindere kuldebroer og lille tykkelse
- Indvending isolering
  - Stor energibesparelse men kan give fugtproblemer og reducerer boligarealet. Bør primært anvendes til bevaringsværdigt byggeri
- Udvendig isolering
  - Den bedste løsning. Betydelig energibesparelse, godt indeklima, fornyer facaden og forlænger levetiden

# Efterisolering af klimaskærm

## Ydervæg. Udvendig efterisolering

Ydervægskonstruktion	$t_{\text{før}}$ [mm]	$U_{\text{før}}$ [W/m <sup>2</sup> K]	$t_{\text{efterisol.}}$ [mm]	$U_{\text{efter}}$ [W/m <sup>2</sup> K]	Energibesparelse [kWh/m <sup>2</sup> /år]
Uisoleret	0	1,50	175	0,20	117
Dårligt isoleret betonelement	50	1,00	160	0,20	72
Let isol. hulmur/træskeletvæg	100	0,45	110	0,20	23

## Tag- og loftkonstruktioner

Tagkonstruktion	$t_{\text{før}}$ [mm]	$U_{\text{før}}$ [W/m <sup>2</sup> K]	$t_{\text{efterisol.}}$ [mm]	$U_{\text{efter}}$ [W/m <sup>2</sup> K]	Energibesparelse [kWh/m <sup>2</sup> /år]
Etageadskillelse	0	1,59	150	0,29	117
Skunk	0	1,85	250	0,15	153
Gitterspær	50	0,55	250	0,12	39
Fladt tag (build-up)	50	0,68	130	0,15	48

## Terræn-, kælder- og etagedæk

Konstruktion		$U_{\text{før}}$ [W/m <sup>2</sup> K]	$t_{\text{efterisol.}}$ [mm]	$U_{\text{efter}}$ [W/m <sup>2</sup> K]	Energibesparelse [kWh/m <sup>2</sup> /år]
Terrændæk, strøgulv	Uisol./let isol.	0,45	175	0,15	19
Terrændæk med VIP	Uisol./let isol.	0,45	30	0,15	19
Etagedæk	Uisoleret	1,50	250	0,15	85
<sup>6</sup> Krybekælderdek	Uisoleret	1,50	100	0,30	28

# Vinduer

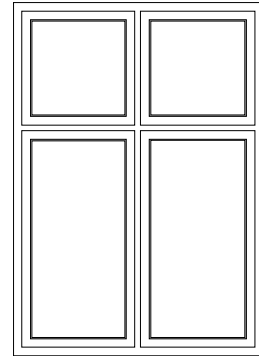
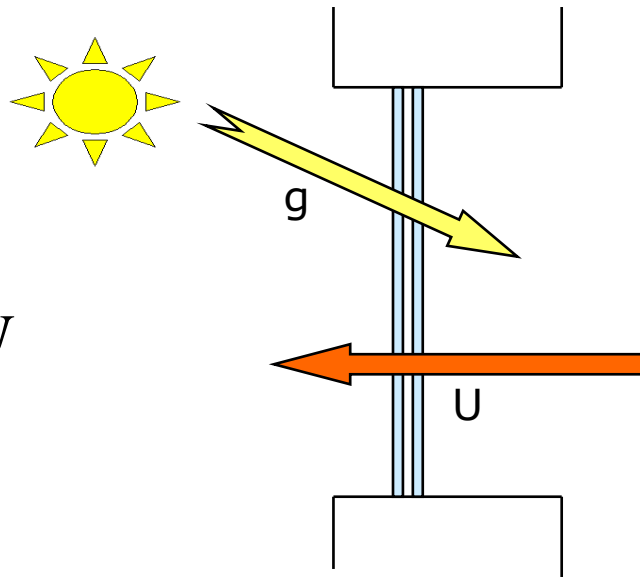
Varmetabet fra gamle vinduer udgør op halvdelen af bygningers varmetab

- Bevaringsværdige vinduer:
  - Istandsættelse af eksisterende vinduer + forsatsvindue med energiglas
- Ikke bevaringsværdige vinduer med termoruder:
  - Udskiftning af hele vinduet
  - 2- eller 3-lags lavenergigirude
  - Afstandsprofil: varm kant
  - Ramme/karmprofil uden kuldebroer. Undgå gennemgående aluminium. Smalle profiler giver lavere U-værdi og giver størst sol-oglysindfald og bedre udsyn

# Vinduer

Energitilskud

$$E_{ref} = 196,4 \cdot g - 90 \cdot U$$

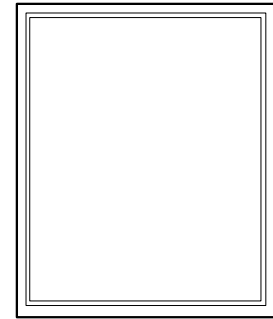


## Dannebrogsvindue.

Energibesparelse i forhold til et typisk oprindeligt forsatsvindue

Vinduestype	U-værdi [W/m <sup>2</sup> K]	g- værdi	Energitilskud [kWh/m <sup>2</sup> /år]	Energi besparelse [kWh/m <sup>2</sup> /år]
Oprindeligt - med et lag glas	4,4	0,54	-294	-169
- og oprindeligt forsatsvindue	2,4	0,47	-125	0
- og forsatsramme, energiglas	1,7	0,44	-66	59
- og forsatsenergirude	1,3	0,33	-51	74
Nyt trævindue med termorude	2,5	0,44	-138	-13
Nyt trævindue med energirude, varm kant	1,5	0,34	-68	57
Nyt træ-alu vindue med energirude	1,7	0,34	-86	39

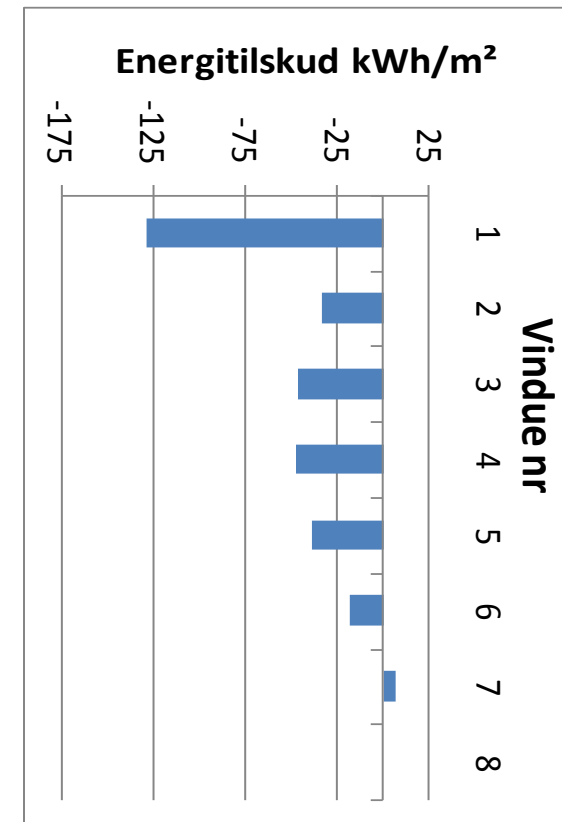
# Vinduer



Et-fags vinduer i standardmålene 1,23 x 1,48 m (b x h) med forskellige rudesystemer.

Vinduestype	Vindue		Energitilskud
	$U_{tot}$	$g_{tot}$	$E_{ref}$
	W/m <sup>2</sup> K		kWh/m <sup>2</sup>
Trævindue m. 2-lags termorude	2,62	0,55	-128
Trævindue m. 2-lags energirude	1,35	0,46	-33
PVC vindue m. 2-lags energirude	1,45	0,43	-46
Alu vindue m. 2-lags energirude	1,66	0,52	-47
Træ/alu/PVC m. 2-lags energirude	1,58	0,53	-39
FGP m. 2-lags energirude	1,35	0,53	-18
FGP m. 3-lags energirude	0,76	0,38	7
Nulenergivindue, DTU	1,23	0,57	0

(FGP = glasfiberarmeret polyester)



# Ventilation

Ventilation med varmegenvinding kan give

- Energibesparelser – reducerer ventilationstabet
- Bedre varmekomfort
- Bedre luftkvalitet
- Kræver at bygningen er tæt
- Effektiv modstrømsvarmeveksler (80-90 %)
- Lavenergi ventilatorer som bruger mindre el

Eksempler:

Tiltag	Energibesparelse kWh/m <sup>2</sup> /år
Forbedring af eksisterende anlæg. Mere effektiv varmeveksler og ventilator	28
Etablering af nyt ventilationsanlæg med varmegenvinding i gammel bygning uden ventilationsanlæg i forvejen (kun naturlig ventilation)	38

# Varmeinstallationer

- Efterisolering af varmeinstallationer
  - Varmerør, varmtvandsbeholder, varmeveksler, ventiler, pumper mv
- Udskiftning af ældre fjernvarmeinstallationer og kedler
- Udskiftning af cirkulationspumper til sparepumper
- Behovsstyring af cirkulation på varmt vand

Tiltag	Energibesparelse [kWh/m/år]
30 mm efterisolering af 1" varmerør	92
60 mm efterisolering af 2" varmerør	164
100 mm isolering af varmtvandsbeholder	506 kWh/m <sup>2</sup> /år

Tiltag	Effekt [W]	Energiforbrug [kWh]	Energibesparelse [kWh/stk/år]
Ældre pumpe, uden regulering	150	469	
Ny pumpe, frekvensstyret	75	117	352

# Belysning

- Udskiftning af glødepærer til sparepærer eller LED
- Mere effektive armaturer
- Bedre udnyttelse af dagslyset, større vinduer, bedre indretning
- Styring og regulering

Reference:	Ældre belysningssystem med manuel styring
Alternativ 1 og 2:	Nyt belysningssystem. Lysstofrør, virkningsgrad for armaturer på 93 %

	Reference	Alt 1.	Alt 2.
Styring	Manuel	Manuel	Automatisk
Samlet energibehov, kWh/m <sup>2</sup>	144,2	93,0	90,3
Energibesparelse, kWh/m <sup>2</sup>	0	51	54

# Eksempel: energibesparende tiltag på en typisk offentlig bygning

- Bygning 118 på DTU





# Eksempel, Bygning 118, DTU, Lyngby



Anvendelse:	Undervisning og kontorarbejde
Opvarmet etageareal:	6.721 m <sup>2</sup> (inkl. kælder)
Bredde og dybde	105 x 14 m
Antal etager:	3 + kælder
Byggeår	1970
Bygningstype:	Længebygning af tegl med fladt tag, vinduesbånd.
Varmeforsyning	Fjernvarme. Sænkning af indetemperaturen til ca. 18°C om natten, og til 12°C i weekender, jul og påske.

## Vurdering

Klimaskærm dårligt isoleret.

Udstyret med kanalsystem for mekanisk ventilation, som dog ikke har været i funktion siden 1970'erne.

Naturlig ventilation via utætheder/åbning af vinduer og døre.

Ingen aktiv køling.

Dårlig luftkvalitet, trækgener og overtemperaturproblemer om sommeren.

**Vurderes samlet set at være i energi- og indeklimamæssigt dårlig stand.**

# Energirenovering af bygning 118, DTU

Energimæssige egenskaber for energirenoveringstiltag

Energibesparende tiltag	Før	Efter
Efterisolering af ydervægge	U = 0,55	U = 0,15
Efterisolering af kælderydervægge	U = 0,45	U = 0,15
Efterisolering af tag	U = 0,25	U = 0,10
Nye vinduer	U = 2,9 ; g <sub>g</sub> = 0,75	U = 0,8 ; g <sub>g</sub> = 0,50
Ventilation med varmegenvinding	Naturlig ventilation	η <sub>T</sub> = 85 % ; SEL = 1,5 kJ/m <sup>3</sup>
Infiltration	Meget utæt	Meget tæt
Belysningsystem: Styling	Ældre Manuel	"state-of-the art" Automatisk
Sparepumpe	Ældre – flertrinspumpe	Sparepumpe – automatisk

# Energirenovering af bygning 118, DTU

Beregnete bidrag til energibehovet i kWh/m<sup>2</sup> pr. år.

Bidrag til energibehovet	Før kWh/m <sup>2</sup>	Efter kWh/m <sup>2</sup> er
Rumopvarmning (netto)	85,5	12,2
Varmt brugsvand (netto)	11,7	11,7
El til bygningsdrift (x 2,5)	30	12,8
Overtemperaturer i rum	0	0
<b>Energibehov</b>	<b>129,9</b>	<b>38,5</b>

**Samlet energibesparelse: 92 kWh/m<sup>2</sup> pr. år**

**Energiforbrug er reduceret med 71 %**

**Lavenergiklasse 1 niveau**

# Økonomiske vurderinger

- Simpel tilbagebetalingstid
  - Anlægsudgift/årlig nettobesparelse
  - Bør kun anvendes til tiltag med kort levetid
- Energisparepris, ESP
  - Prisen for at spare en kWh (kr./kWh)
  - Baseret på totaløkonomi
  - Inkluderer levetid, restværdi og finansieringsudgifter
- Renoveringsgrad, k
  - Faktor som tager højde for at kun en del af udgifterne til energirenovering skal medtages for bygningsdele som i forvejen trænger til renovering

Bygning 118, DTU	Anlægsudgift [mio. kr]	Tilbagebetalingstid [år]
Samlet	14,7	39
Energiltag	5,6	15

Energibesparende tiltag	”Cirkulære tiltag” TBT < 5 år	Rentable tiltag $\kappa = 0 \%$ , TBT > 5 år ESP < energipris			Rentable tiltag $\kappa = 75 \%$ , TBT > 5 år ESP < energipris		
		0 %	1,5 %	2,3 %	0 %	1,5 %	2,3 %
Realprisstigning, % pr. år.	-	0 %	1,5 %	2,3 %	0 %	1,5 %	2,3 %
<b>Ydervægge</b>							
Udv. efterisolering, uisoleret				√	√	√	√
Udv. efterisolering, dårligt isoleret					√	√	√
Udv. efterisolering, let isoleret							
Bedre isolering end lovkraft							
<b>Tag- og loftkonstruktioner</b>							
Efterisolering af etageadskillelse	√				√	√	√
Efterisolering af uisoleret skunk	√				√	√	√
Efterisolering af let isoleret skunk			√	√	√	√	√
Efterisolering af let isoleret gitterspær		√	√	√	√	√	√
Udv. efterisolering af let isoleret fladt tag		√	√	√	√	√	√
<b>Underbygning</b>							
Efterisolering af uisoleret strøgulv		√	√	√	√	√	√
Efterisolering af let isoleret strøgulv			√	√	√	√	√
Efterisol. af uisoleret terrændæk med VIP							
Efterisol. af uisoleret dæk mod kælder		√	√	√	√	√	√
Efterisol. af uisoleret krybekælderdek	√				√	√	√
<b>Klimaskærmens lufttæthed</b>							
Passivhus standard		√	√	√	√	√	√
<b>Vinduer</b>							
Ny Energirude					√	√	√
Nyt vindue (dannebrog), 2-lag Energirude					√	√	√
Istandsættelse + forsats Energiglas					√	√	√
Nyt vindue (træ), 2-lag Energirude					√	√	√
Nyt vindue (plastkomposit), 2-lag E-rude					√	√	√
Nyt vindue (plastkomposit), 3-lag E-rude – bedre end lovkraft: $U = 0,8$							

Energibesparende tiltag	”Cirkulære tiltag”	Rentable tiltag $\kappa = 0 \%$ , TBT > 5 år ESP < energipris			Rentable tiltag $\kappa = 75 \%$ , TBT > 5 år ESP < energipris		
		0 %	1,5 %	2,3 %	0 %	1,5 %	2,3 %
Realprisstigning, % pr. år.	-	0 %	1,5 %	2,3 %	0 %	1,5 %	2,3 %
<b>Ventilation</b>							
Nye effektivere ventilationsaggregater		√	√	√	√	√	√
Ventilationsanlæg med varmegenvinding				√	√	√	√
<b>Varmeinstallationer</b>							
Efterisolering af små uisolerede varmerør	√				√	√	√
Efterisolering af store uisolerede varmerør	√				√	√	√
Udskiftning af ældre cirkulationspumpe		√	√	√	√	√	√
Efterisolering af varmtvandsbeholder	√				√	√	√
<b>Solafskærmning og køling</b>							
Udvendig variabel persienne							
Udvendig alu lameller					√	√	√
<b>Belysning</b>							
Nyt lavenergi, manuelt		√	√	√	√	√	√
Nyt lavenergi, automatisk styring		√	√	√	√	√	√
<b>Solenergi</b>							
Solvarmeanlæg til varmt brugsvand		√	√	√	√	√	√
Solvarmeanlæg til vbv og rumvarme		√	√	√	√	√	√
Solcelleanlæg							
Solvæg med ventilation							

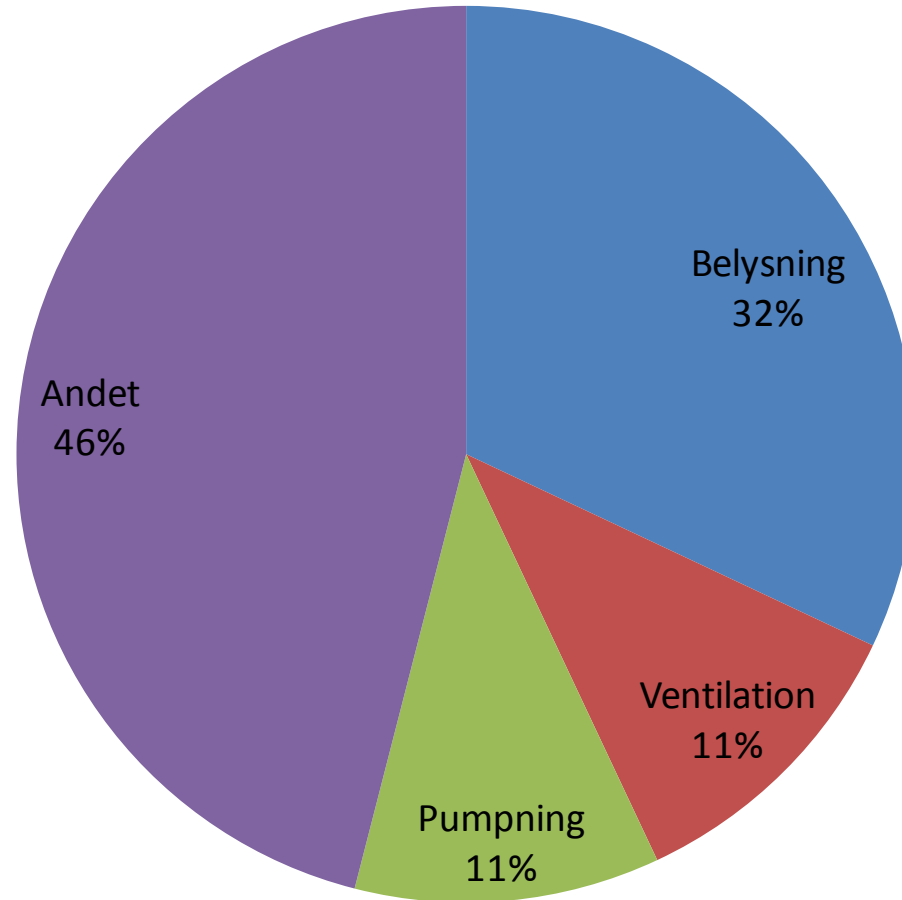
# Energiforbrug i typiske offentlige bygninger

		Varme	El til byg- ningsdrift	El x 2.5	I alt
	Kilde	kWh/m <sup>2</sup>			
Bygning 118, DTU	Beregnet i kapitel 3	100	12	30	130
Bygning 118, DTU	Målt	183	12	30	213
Skoler, hele landet	<a href="http://www.tjekskoleforbrug.dk">www.tjekskoleforbrug.dk</a>	100	13*	32	132
Statens bygninger	<a href="http://www.eis.teknologisk.dk">www.eis.teknologisk.dk</a>	133	33*	83	216
Blandede bygninger	Middelfart Kommune	115	17*	43	158
Daginstitutioner	Abertslund kommune	176	24*	60	236
Skoler	Abertslund kommune	144	16*	39	183

EL til bygningsdrift: opvarmning, ventilation, (køling), belysning og varmt brugsvand.

# El-forbrug i offentlige bygninger i DK

## Fordeling af el-forbrug



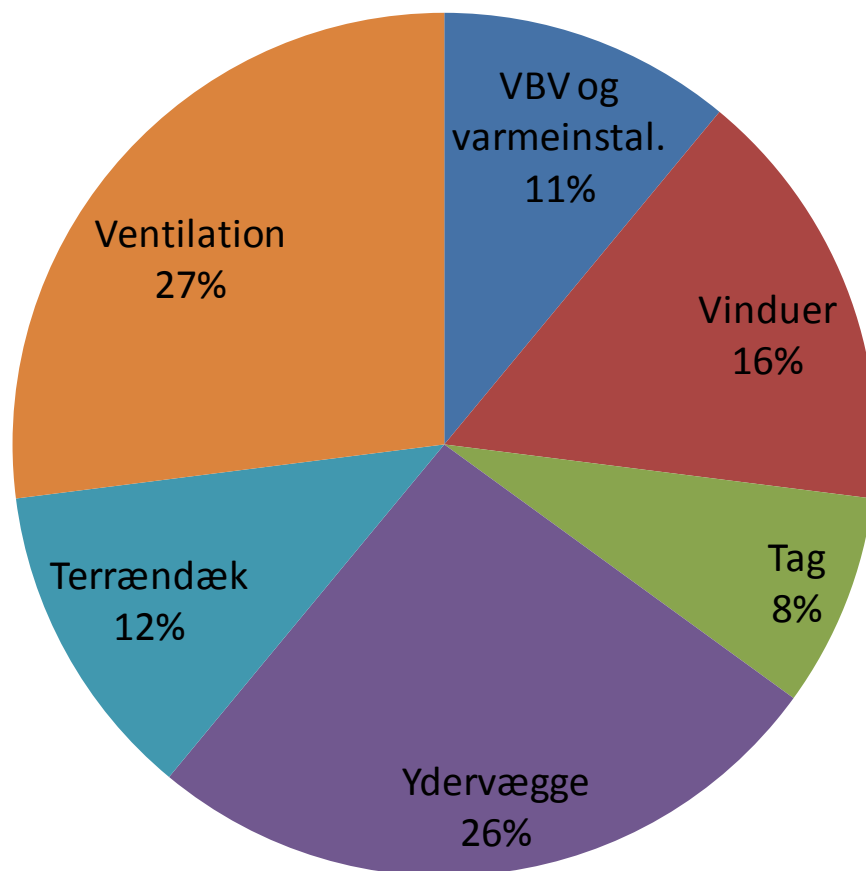
Andet:

Trykluft, blæsere,  
procesvarme,  
motorerelektronik  
og diverse

Årligt el-forbrug til  
bygningdrift: 5,1 PJ

# Energiforbrug til opvarmning i offentlige bygninger i DK

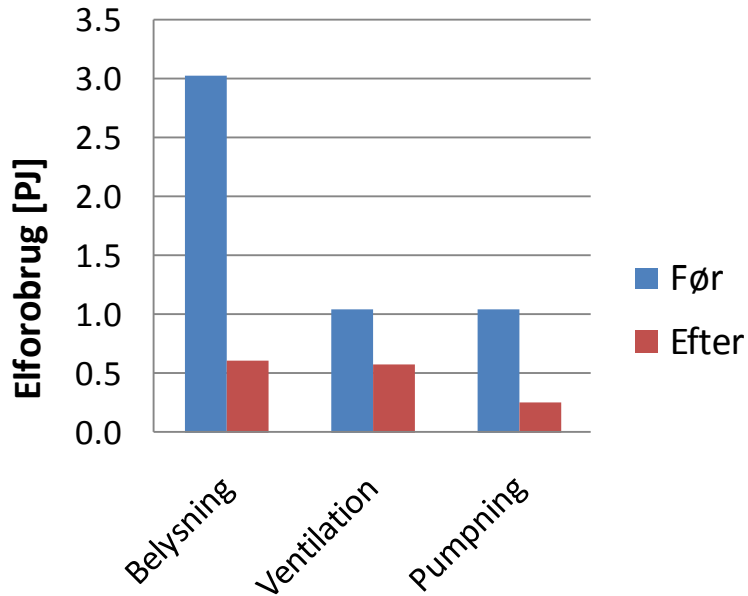
Fordeling af varmetab



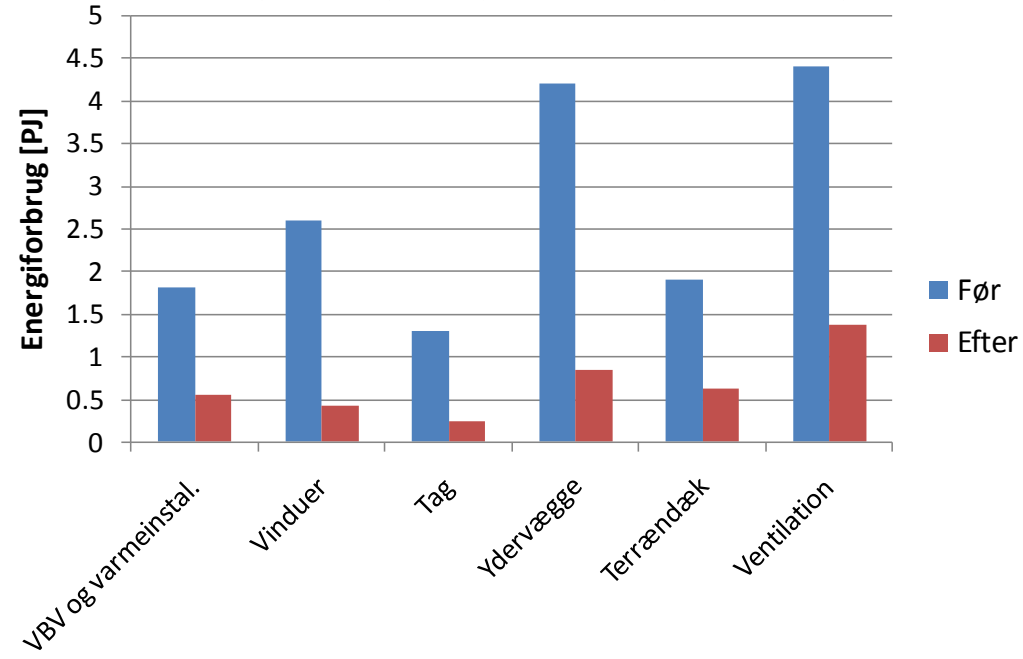
Årligt energiforbrug til opvarmning: 16,2 PJ

# Energibesparelspotentiale

El-forbrug før og efter energireovering



Energiforbrug før og efter energireovering



	PJ/år	%
Samlet el-besparelse	3,7	72
Samlet varmebesparelse	12,2	75
Energibesparelse i alt	15,9	74

# Økonomi for energirenovering frem til 2020

## Investeringsbehov

Energibesparende tiltag	Anlægsudgift	Renoveringsgrad	Anlægsudgift energitiltag
	[mia. kr.]	[%]	[mia. kr.]
Efterisolering af ydervægge, dæk og tag	29,8	59	16,8
Nye vinduer	25,4	75	8,7
Mekanisk vent. m. varmegenv.	12,3	75	3,1
Nyt belysningssystem	11,5	50	5,7
Cirkulationspumpe mv.	0,04	100	0
I alt	89,8		34,3
Pr år (fordelt på 12 år)			2,9

## Besparelse i energiudgifter

	Før/år	Sparet/år
EL	2,1	1,5
Varme	3,1	2,4
I alt	5,2 mia. kr.	3,8 mia. kr.

# Konklusion

- Det er muligt at reducere energiforbruget i offentlige bygninger i Danmark med 74 % ved at gennemføre energibesparende tiltag baseret på kendte teknologier
- Det er økonomisk rentabelt at gennemføre energirenoveringerne inden 2020
  - Energibesparelse er 3,8 mia. kr./år
  - Investeringsbehovet er 2,9 mia. kr./år
- Nuværende rentabilitetskriterier om tilbagebetalingstid på 5 år duer ikke
  - Bør hæves til 15 – 20 år.