Udført for Energistyrelsen af
Pia Rasmussen, Teknologisk Institut
31.december 2011

Beregning af SCOP for varmepumper efter En14825

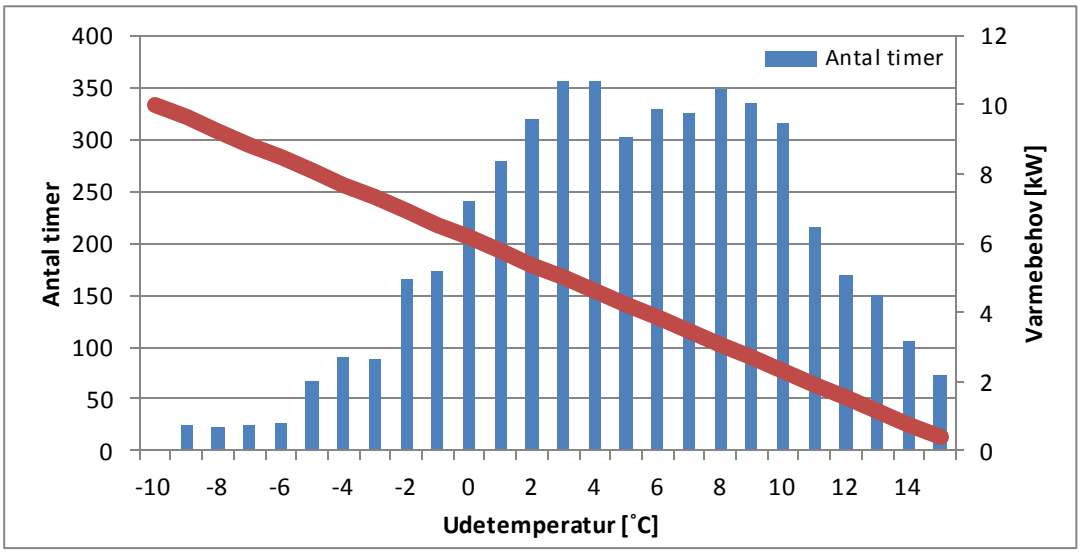
Følgende dokument giver en generel introduktion til målepunkter og beregningsmetode for SCOP i henhold til den europæiske standard En14825. SCOP er den parameter, som danner udgangspunkt for europæiske minimumskrav og energimærkning for varmepumper.

Dette dokument er skrevet parallelt med dokumentet *"Energimærkning og Minimumskrav for varmepumper i forbindelse med Ecodesign direktivet"*, som beskriver krav og energimærkning i vedtagne og forventede forordninger under Ecodesign direktivet.

SCOP beregning generelt

SCOP – *Seasonal Coefficient Of Performance* beskriver den gennemsnitlige årseffektivitet for varmepumpen. SCOP er således et udtryk for hvor effektiv en bestemt varmepumpe vil være ved et givent varmebehov.

Grundlæggende består SCOP beregningsmetoden i en opdeling af varmesæsonen i et antal timer med forskellige temperaturer (kaldet *bins*), som samlet skal afspejle temperaturvariationerne over varmesæsonen. Desuden defineres en varmebehovskurve for temperaturerne, som giver det varmebehov som varmepumpen skal opfylde for hvert temperatursæt. Der findes en COP værdi i hver af disse bins, som tilsammen danner grundlag for beregningen af den gennemsnitlige COP kaldet SCOP.
Standarden En14825 definerer en *reference* SCOP, som skal benyttes til energimærkning og lovgivning, hvor antallet af timer er fastlagt og hvor varmebehovskurven er givet ud fra en enkelt inputparameter. Figuren herunder viser et eksempel på timefordelingen for klimazonen "average". På figuren ses ligeledes, hvordan varmebehovet falder med stigende temperaturer. Af figuren kan man f.eks. aflæse at varmepumpen skal levere 6,2kW ved 0 ˚C i 240 af varmesæsonens timer.



Figur 1: Eksempel på temperaturfordeling og varmebehov for en varmesæson

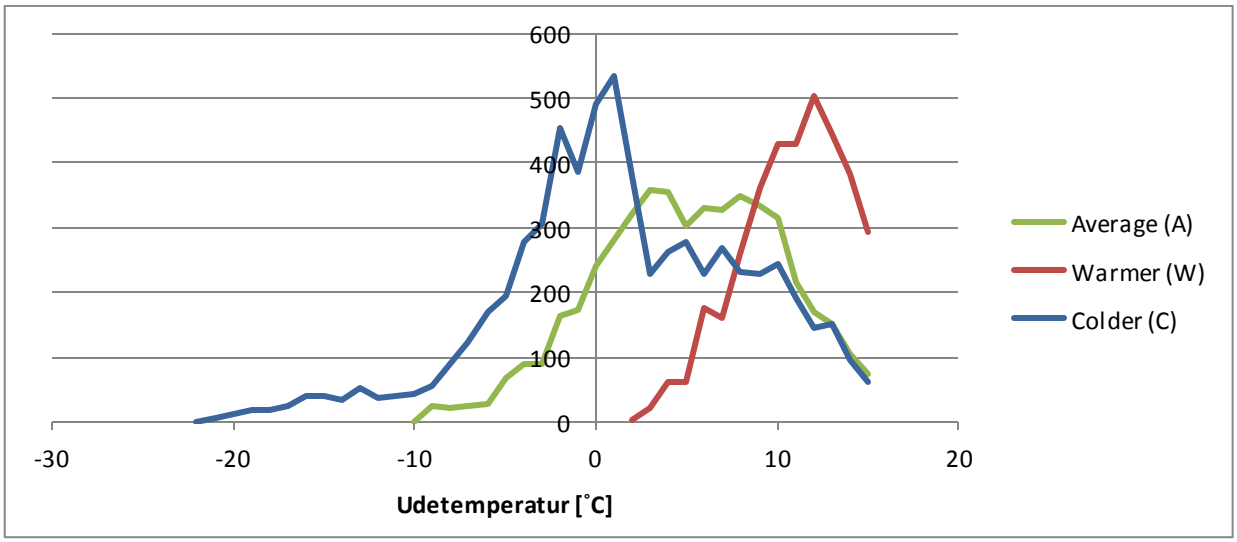
Klimazoner

Da klimaet er forskelligt i forskellige dele af Europa, kan man vælge at udregne SCOP i tre forskellige klimazoner. Disse er beskrevet ved:

- ***Average*** svarende til Strasbourg "A"
- ***Warmer*** svarende til Athen "W"
- ***Colder*** svarende til Helsinki "C"

I den europæiske energimærkning er det obligatorisk at oplyse SCOP for *Average* klimaprofilen, mens de andre to er frivillige. Ligeledes er minimumskravet baseret på SCOP for *Average* profilen.

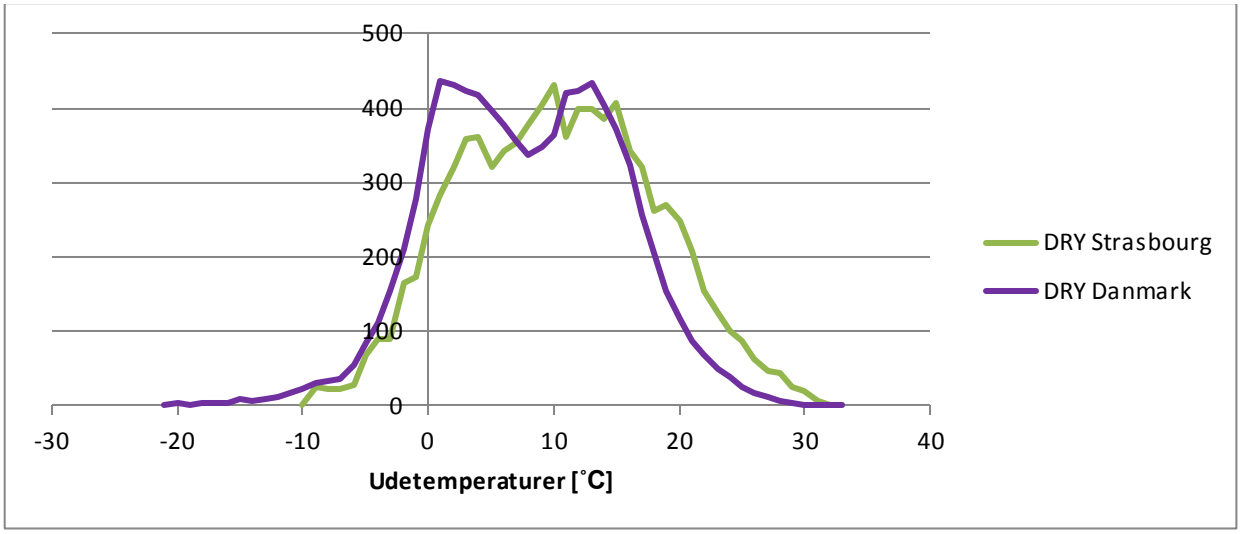
Antallet af timer i hver bin for hver af klimazonerne er vist i følgende figur:



Figur 2: Fordeling af temperaturer for de tre klimazoner Average, Warmer og Colder

Det samlede antal timer i varmesæsonen varierer for hver af de tre klimazoner, hvor *Average* har 4910 timer, *Warmer* har 3590 timer og *Colder* har 6446 timer.

Den klimazone der bedst repræsenterer danske forhold er *Average* svarende til Strasbourg. I følgende figur ses en sammenligning af danske temperaturforhold og temperaturerne i Strasbourg.



Figur 3: Standardiserede temperaturvariationer for Strasbourg og Danmark

Klimazonen *Average* er designet med udgangspunkt i temperaturfordelingen for Strasbourg. Da danske temperaturfordeling ligger meget op ad denne, vil *Average* temperaturprofilen således være repræsentativ for danske forhold.

Testtemperaturer

Til beregning af SCOP efter En14825 skal varmepumpen testes ved en række temperaturer, som svarer til temperaturerne fra En14511. Som eksempel er testtemperaturerne på den kolde side af varmepumpen for luft/luft varmepumper og luft/vand varmepumper for de forskellige klimazoner vist i tabellen herunder.

Punkt	*Average*	*Warmer*	*Colder*
			-15 ˚C*
A	-7 ˚C		-7 ˚C
B	2 ˚C	2 ˚C	2 ˚C
C	7 ˚C	7 ˚C	7 ˚C
D	12 ˚C	12 ˚C	12 ˚C
Tbivalent	Temperatur, hvor varmepumpen netop kan opfylde varmebehovet**		
TOL	Nedre temperaturgrænse for varmepumpen***		

Tabel 1: Testtemperaturer for udedelen for luft/vand varmepumper

* Testpunktet for -15 ˚C skal kun udføres, hvis der beregnes SCOP for *Colder* klimazonen.
** Tbivalent beskrives nærmere i følgende afsnit.
*** *Temperature Operating Limit* beskriver den laveste temperatur, hvorved varmepumpen kan fungere.

Varmepumpen kan testes i en nærmere defineret dellast i disse punkter, som beskrives i følgende afsnit.

Bilag 1 viser en dækkende oversigt over testtemperaturerne for luft/luft, luft/vand og væske/vand varmepumper, som de skal benyttes i forhold til Ecodesign direktiverne og Europæisk energimærkning.

Opvarmningsbehov i varmesæsonen til brug for beregning af SCOP

Varmebehovskurven, som definerer varmebehovet til en given temperatur og som varmepumpen skal opfylde i SCOP beregningen, defineres af varmebehovet ($Pdesign_h$) i design temperaturen ($Tdesign_h$), som afhænger af den valgte klimazone. Designtemperaturen er for de valgte klimazoner vist i tabellen herunder.

Average	*Warmer*	*Colder*
-10˚C	2˚C	-22˚C

Tabel 2: Designtemperatur for de tre klimazoner

Varmebehovet ved designtemperaturen kan sættes frit og har indflydelse på den beregnede værdi af SCOP, idet behovskurven flyttes op ved en højere $Pdesign_h$ og ned ved en lavere $Pdesign_h$. Behovskurven er en ret linje, der går gennem det definerede varmebehov $Pdesign_h$ ved design temperaturen og et varmebehov på 0 kW ved 16 ˚C.
Det benyttede varmebehov $Pdesign_h$ vil sammen med SCOP værdien blive vist på de kommende europæiske energimærker og kan derved blive et pejlemærke for forbrugeren i forhold til at vælge den rigtige størrelse varmepumpe. Producenten skal derfor forholde sig til, at $Pdesign_h$ både bruges til at beskrive varmepumpens størrelse og har indflydelse på værdien af SCOP. Dette beskrives yderligere i dokumentet *"Energimærkning og minimumskrav for varmepumper i forbindelse med Ecodesign direktivet"*.

Den ønskede ydelse ved testtemperaturerne er bestemt af behovskurven og kan beregnes ud fra ligningen

---

Det vil sige, at med Average klimazonen ($Tdesign_h$ lig -10˚C) og testpunkt A (testtemperatur lig -7 ˚C), bliver dellasten lig 88,4 % af det definerede varmebehov i designtemperaturen. Værdierne kaldes *part load*.

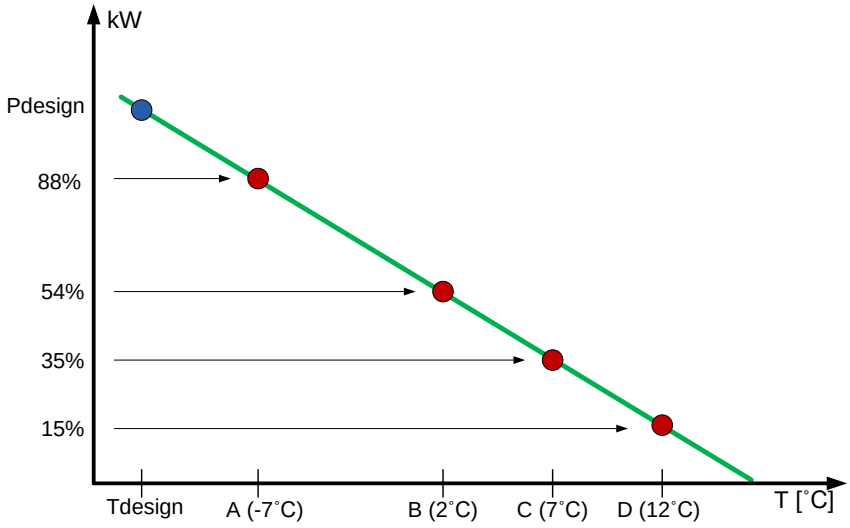
De afrundede procentsatser ses i tabellen herunder.

Punkt	*Average*	*Warmer*	*Colder*
			(82 %)
A	88 %		61 %
B	54 %	100 %	37 %
C	35 %	64 %	24 %
D	15 %	29 %	11 %

Tabel 3: Andel af defineret varmebehov i design temperaturen for forskellige testpunkter, som beskriver den ydelse der skal benyttes i dellasttesten af varmepumpen.

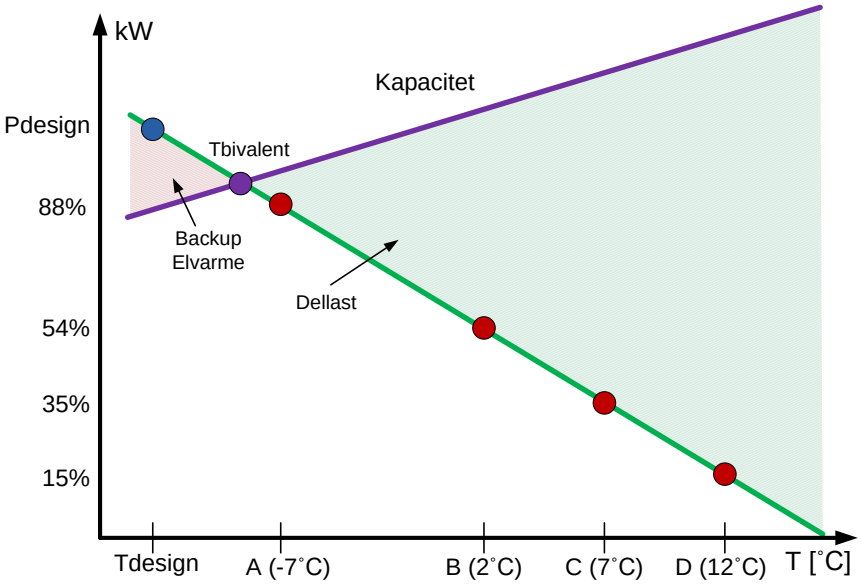
Det er vigtigt at understrege, at disse andele (part load) *ikke* beskriver dellast andelen af varmepumpens fuldlastkapacitet. De beskriver i stedet en belastningsandel i forhold til $Pdesign_h$ uafhængigt af varmepumpens kapacitet.

Følgende figur viser en behovskurve med lastandelene i de forskellige testpunkter.



Figur 4: Definition af varmebehovskurven ud fra $Pdesign_h$

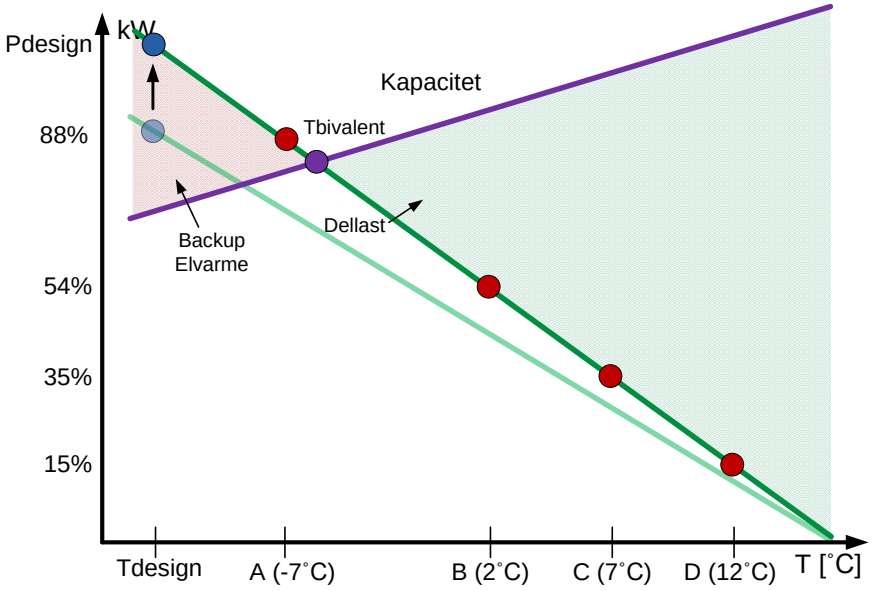
Varmepumpen vil have en kapacitetskurve uafhængigt af denne behovskurve. Der hvor varmepumpens kapacitet netop svarer til varmebehovet kaldes det bivalente punkt. Ved temperaturer under det bivalente punkt skal varmepumpens ydelse suppleres af backup varme. I SCOP beregningen medregnes dette som ren elvarme med en COP værdi på 1, uanset om varmepumpen har elpatron eller ej. For højere temperaturer vil varmepumpen køre i dellast, hvilket SCOP også tager højde for. Disse forhold er illustreret i figuren herunder.



Figur 5: Varmebehovskurve og kapacitetskurve

Hvis for eksempel $Pdesign_h$ er sat til 10 kW vil behovet ved 7 ˚C (punkt C) være 3,5 kW. Hvis varmepumpens kapacitet eksempelvis er 11kW ved denne temperatur, vil varmepumpen skulle yde 32 % af sin fuldlast i dette testpunkt. Denne andel benævnes *capacity ratio* (CR).

Eftersom at $Pdesign_h$ kan sættes frit, vil denne værdi også have betydning for andelen af backup elvarme og dellastandelene. Dette er illustreret i følgende figur, hvor varmebehovet i design temperaturen er øget i forhold til forrige figur, hvilket betyder en højere liggende behovskurve.



Figur 6: Øget varmebehovskurve og kapacitetskurve

Hvis $Pdesign_h$ er sat til 12 kW i dette eksempel vil varmebehovet i punkt C nu være 4,2 kW og varmepumpen skal i denne situation yde 38 % af sin fuldlastkapacitet.

Dellastvirkningsgrader

SCOP metoden kan benyttes til at regne på både fixed og variable speed kompressorer. Ligeledes kan fuldlastdata anvendes til at finde dellastvirkningsgraderne, hvis der ikke er dellasttest til rådighed. Der benyttes samme temperatur uanset om der udføres dellast eller fuldlasttest. Hvis COP er fundet ved hjælp af test for en ydelse inden for maksimalt 10% over det beregnede behov , kan denne COP ifølge En14825 benyttes til dette punkt. Hvis COP er fundet ved en lavere ydelse kan samme COP også anvendes.

For fixed speed kompressorer opgives COP og kapacitet ved fuldlastdrift. Herefter korrigeres for dellasten ved hjælp af en degradation faktor. Denne faktor beskriver reduktionen af energieffektiviteten ved on/off drift. Faktoren kan enten måles i test eller der kan benyttes default værdier defineret i En14825.

Luft/luft og væske/luft varmepumper fixed speed kompressor

For varmepumper med luft på afgiversiden findes degradation faktoren (C_d) ved en test, hvor kompressoren kører i 6 minutter og efterfølgende slukkes i 24 minutter, hvilket skal afspejle en dellast på 20 %. Degradation faktoren kan beregnes ud fra summeret varmeydelse og summeret elforbrug over hele testperioden ved hjælp af en formel beskrevet i En14825. Er denne test ikke foretaget, benyttes en default værdi på 0,25.

Dellast COP for fixed capacity luft/luft og luft/vand varmepumper i testpunkterne findes herefter således:

Hvor COP_{DC} svarer til COP ved fuldlast (declared capacity), C_d er degradation faktor og CR er "capacity ratio" svarende til varmebehovet i forhold til varmepumpens kapacitet ved denne temperatur. Som eksempel kan benyttes en dellast på 50 % og default degradation faktoren på 0,25, hvorved dellast COP bliver 12,5 % dårligere, svarende til, at hvis *fuldlast* COP er lig 4, vil *dellast* COP blive 3,5.

Luft/vand og væske/vand varmepumper fixed speed kompressor
For denne type varmepumper antager standarden, at den eneste betydning for degradation faktoren er varmepumpens tilbageværende energiforbrug, når kompressoren er slukket. Derfor måles effektforbruget til varmepumpen efter at kompressoren har været slukket i minimum 10 minutter. Degradation faktoren beregnes efterfølgende ud fra dette forbrug samt varmepumpens fulde ydelse i tilsvarende testpunkt. Er der ikke foretaget denne test benyttes en default værdi på 0,9.

Dellast COP for fixed capacity luft/vand og væske/vand varmepumper i testpunkterne findes således:

Hvor COP_{DC} svarer til COP ved fuldlast (declared capacity), C_d er degradation faktor og CR er "capacity ratio" svarende til varmebehovet i forhold til varmepumpens kapacitet ved denne temperatur. Hvis der igen som eksempel antages en dellast på 50 % og default degradation faktoren på 0,9 benyttes, bliver dellast COP 9,1% dårligere, svarende til at hvis fuldlast COP er lig 4 vil dellast COP blive 3,6.

Variable speed kompressorer for alle typer varmepumper
For varmepumper med kapacitetsregulering kan måling af COP foretages ved at teste ved den angivne ydelse indenfor et interval på 10 %. Hvis varmepumpen er trinvis reguleret kan dellast COP findes ved interpolation mellem COP for de ydelser, der ligger over og under den ønskede ydelse.
Hvis den ønskede ydelse ligger under varmepumpens minimumskapacitet benyttes beregningsmetoden for fixed speed kompressorer.

Beregning af SCOP

De beregnede eller målte dellastvirkningsgrader benyttes til beregning af SCOP værdien.

Beregningen foregår ved, at der findes en COP værdi for hver temperatur bin i klimazonens temperaturinterval. Denne COP giver elforbruget til opfyldelse af varmebehovet ved hver temperatur.

For temperaturer mellem de definerede testpunkter interpoleres benyttes interpolerede værdier. For temperaturer udover testpunkterne ekstrapoleres ved hjælp af de to nærmeste testpunkter.

Elforbruget opsummeres for alle bins inklusiv nødvendig backup elvarme. Hertil kommer elforbrug til standby og tilsvarende tilstande, hvor varmepumpen har et begrænset elforbrug, men ikke leverer noget varme. Disse forbrug er defineret ud fra et fastlagt antal timer i hver tilstand. Dette beskrives yderligere i næste afsnit.

I første omgang beregnes $SCOP_{on}$, som er den gennemsnitlige sæson effektivitet for varmepumpen i aktiv tilstand. Dette er eksemplificeret i tabellen herunder. Tabellen viser beregningen af elforbrug og varmebehov ved hver temperatur bin i en *Average* varmesæson. De gule linjer markerer at COP er baseret på målinger, mens de hvide linjer er interpolerede/ekstrapolerede.

	Temperatur [°C]	Antal timer	Varme-behov	Varmepumpe ydelse	Backup elvarme	COP	Samlet elforbrug	Samlet varme-	Samlet elforbrug

			[kW]	[kW]	[kW]		pr. time [kWh/h]	behov [kWh]	[kWh]
TOL	-10	1	11,46	7,80	3,66	2,60	6,66	11	7
	-9	25	11,02	8,28	2,75	2,82	5,69	276	142
	-8	23	10,58	8,75	1,83	3,04	4,71	243	108
A	-7	24	10,14	9,55	0,59	3,26	3,52	243	84
Tbiv	-6	27	9,70	9,70	0	3,30	2,94	262	79
	-5	68	9,26	9,26	0	3,35	2,76	630	188
	-4	91	8,82	8,82	0	3,39	2,60	802	237
	-3	89	8,38	8,38	0	3,44	2,44	746	217
	-2	165	7,94	7,94	0	3,49	2,28	1310	376
	-1	173	7,49	7,49	0	3,53	2,12	1297	367
	0	240	7,05	7,05	0	3,58	1,97	1693	473
	1	280	6,61	6,61	0	3,62	1,83	1852	512
B	2	320	6,17	6,17	0	3,67	1,68	1975	538
	Etc.	...	...	...	...	...	...	...	...
	15	74	0,44	0,44	0	2,72	0,16	33	12
								23.679	**6.611**

Tabel 4: Eksempel på oversigt over COP værdier, elforbrug og varmebehov til beregning af $SCOP_{on}$. Værdierne er hentet fra eksempel i En14825

Ved at summere varmebehov og elforbrug for hver temperatur kan $SCOP_{on}$ beregnes som det summerede elforbrug divideret med det summerede varmebehov. I dette tilfælde bliver $SCOP_{on}$ lig 3,58.

Yderligere elforbrug ved diverse standby og off funktioner

For at beregne *reference* SCOP skal elforbrug, når varmepumpen ikke er aktiv, medtages. Disse elforbrug er beskrevet ved thermostat off mode, standby mode, crankcase heater mode og off mode. Kort fortalt indregnes elforbruget for disse i SCOP værdien på følgende måde:

Hvor H betegner antallet af timer om året i den givne driftstilstand og P er energiforbruget ved denne tilstand, som er en inputparameter i beregningen. Antallet af timer i hver driftstilstand er fastsat ud fra , om varmepumpen kan bruges til opvarmning alene eller både opvarmning og køling.

SCOP værdien danner grundlag for mærkning og minimumskrav i forordninger under Ecodesign direktivet, som beskrives i dokumentet *"Energimærkning og minimumskrav for varmepumper i forbindelse med Ecodesign direktivet"*.

Bilag 1 – Testpunkter til Europæisk energimærkning og minimumskrav

For alle varmepumperne gælder, at SCOP for *Average* klimaprofilen er obligatorisk, mens *Warmer* og *Colder* er frivillig.

Luft/luft varmepumper

Punkt	Average	Warmer	Colder
			-15/20 °C
A	-7/20 °C		-7/20 °C
B	2/20 °C	2/20 °C	2/20 °C
C	7/20 °C	7/20 °C	7/20 °C
D	12/20 °C	12/20 °C	12/20 °C
$T_{bivalent}$	Varmebehovet kan netop opfyldes		
T_{OL}	Nedre temperaturgrænse for varmepumpen		

Tabel 5: Testtemperaturer for luft/luft varmepumper

Luft/vand varmepumper

Punkt	Average	Warmer	Colder
			-15/49 °C
A	-7/52 °C		-7/44 °C
B	2/42 °C	2/55 °C	2/37 °C
C	7/36 °C	7/46 °C	7/32 °C
D	12/30 °C	12/34 °C	12/28 °C
$T_{bivalent}$	Varmebehovet kan netop opfyldes		
T_{OL}	Nedre temperaturgrænse for varmepumpen		

Punkt	Average	Warmer	Colder
			-15/32 °C
A	-7/34 °C		-7/30 °C
B	2/30 °C	2/35 °C	2/27 °C
C	7/27 °C	7/31 °C	7/25 °C
D	12/24 °C	12/26 °C	12/24 °C
$T_{bivalent}$	Varmebehovet kan netop opfyldes		
T_{OL}	Nedre temperaturgrænse for varmepumpen		

Tabel 6: Testtemperaturer for luft/vand varmepumper, til venstre for radiatoropvarmning og til højre for gulvvarme

Væske/vand varmepumper

Punkt	Average	Warmer	Colder
			0/49 °C
A	0/52 °C		0/44 °C
B	0/42 °C	0/55 °C	0/37 °C
C	0/36 °C	0/46 °C	0/32 °C
D	0/30 °C	0/34 °C	0/28 °C
$T_{bivalent}$	Varmebehovet kan netop opfyldes		
T_{OL}	Nedre temperaturgrænse for varmepumpen		

Punkt	Average	Warmer	Colder
			0/32 °C
A	0/34 °C		0/30 °C
B	0/30 °C	0/35 °C	0/27 °C
C	0/27 °C	0/31 °C	0/25 °C
D	0/24 °C	0/26 °C	0/24 °C
$T_{bivalent}$	Varmebehovet kan netop opfyldes		
T_{OL}	Nedre temperaturgrænse for varmepumpen		

Tabel 7: Testtemperaturer for væske/vand varmepumper, til venstre for radiatoropvarmning og til højre for gulvvarme