

2014

Potentialet for brug af fordampningskøling i Europa

Institut for Byggeri og Anlæg | Aalborg Universitet
Kandidatspeciale | Christian Hede Andersen



[Tom side]

Titel: Potentialet for brug af fordampningskøling i Europa
Projekt: Langt kandidatspeciale (3. til 4. semester)
Projektperiode: 01-09-2013 til 04-09-2014
ECTS: 50
Vejledere: Michal Pomianowski og Per Kvols Heiselberg
Projektgruppe: B224b

Deltager(e):

Christian Hede Andersen

Oplag: 4

Antal sider: 75

Appendiks: A-C

Bilag:

- BilagsDVD_1
- BilagsDVD_2

SYNOPSIS:

Rapporten omhandler potentialet for fordampningskøling i Europa, benævnt kølingspotentialet, som findes for fem fordampningskølingssystemer ved otte belastningstilfælde for 138 europæiske byer. Timebaseret vejrdata benyttes og kølingspotentialet beregnes vha. Matlab eller Excel, hvor numeriske beregningsmodeller er opsat.

Der er kølingspotentiale ved alle byer, men det varierer meget afhængig af geografisk placering, belastning og systemtype. Udover kølingspotentialet vises variationen imellem 15 danske byer og ligeledes sammenlignes en DRY-fil for København med en IWEC-fil for København.

Derudover undersøges muligheden for benyttelse af Köppen-Geiger klimaklassificeringen til at beskrive kølingspotentialet for byerne, og dermed andre byer i samme klimazoner, hvilket umiddelbart ikke findes muligt.

Fordampningskølingssystemernes effekt på rumluftens relative fugtighed undersøges for repræsentative europæiske byer, for dermed at undersøge indvirkningen på indeklimaet, og ved flere af byerne kan der opstå problemer ved systemtyper uden fugtbegrænsning.

Ligeledes findes de fem fordampningskølingssystemers kølingspotentiale ved varierende virkningsgrad af befugter og varmeveksler, samt type af desiccant wheel og regenereringstemperatur, for repræsentative europæiske byer.

[Tom side]

Forord

Denne rapport er udarbejdet under et langt kandidatspeciale af Christian Hede Andersen på 3. og 4. semester af kandidatuddannelsen (cand.polyt) i indeklima og energi ved Institut for Byggeri og Anlæg på Aalborg Universitet. Projektets tema er at belyse potentialet for brug af fordampningskøling i Europa ud fra hvad der er teknisk muligt vha. numeriske beregningsmodeller.

Læsevejledning

Det antages at læsere af denne rapport har kendskab til grundlæggende varme- og klimateknik. Rapporten er opdelt i fortløbende afsnit og underafsnit, hvor tabeller, ligninger og figurer er nummereret efter disse. Alle referencer findes i afsnit 12, hvor de er fuldstændige. Der refereres til rapporter, artikler og bøger med (Efternavn år), til standarder og anvisninger med (Titel år) og til hjemmesider med (Navn år).

Bilag findes bagerst i rapporten, nummereret fra A til C, samt på BilagsDVD_1 og BilagsDVD_2 (BilagsDVD'ernes indhold beskrives i afsnit 13).

[Tom side]

Abstract

Today the building sector is responsible for approximately 40% of the total energy usage in Denmark and the rest of Europe. Some of this energy usage comes from cooling systems in buildings, and the amount is increasing because of increasing comfort requirements, floor area and living standards. It's therefore important to choose the most energy efficient cooling systems, preferably passive cooling systems, but where these systems are inefficient, evaporative cooling systems could be a good alternative compared to other mechanical cooling systems.

In this project the potential of using evaporative cooling systems is examined, for 138 cities in Europe, based on hourly weather data from the Danish DRY (design reference year) and the American IWECC-files. Five evaporative cooling system types is examined including direct/indirect and combined system types, where one of the combined system types has a desiccant wheel. In addition to these system types there is also examined a system without cooling. The system types are examined at eight different load cases, with different thermal and humidity loads in the room air.

From the calculated cooling potential it is not possible to define the best system as the focus is only on the cooling potential. The results show that there is some cooling potential for all the 138 European cities, but the cooling potential varies a lot between the system types and the cities.

The efficiency of the evaporative cooling systems is depending on outdoor air temperature and humidity, therefore the potential depends on the geographical location. It is concluded that to correct dimension an evaporative cooling system there must be precise knowledge about the local weather conditions, as an example there is found a big difference in cooling potential between two weather files for Copenhagen that both should represent an average year.

All of the evaporative cooling systems increase the relative humidity and some of them also increase the absolute humidity. Therefore it is also examined if the evaporative cooling systems could increase the humidity to an unacceptable level, and it is found that the system types at some of the cities cannot keep the relative humidity under the acceptable 70 %, without the system having a humidity limitation.

It is examined if the Köppen-Geiger climate classification can be used to describe the cooling potential of evaporative cooling systems, and it is found that it cannot be described because there is a big variation in the different climate zones, but the amount of data is too low to conclude anything with certainty.

From a parameter variation it is found that there also is cooling potential from the system types in a less effective system.

The results in this report are calculated by using either the program MATLAB or Excel. To be able to try other design parameters than used in this project there has been developed an Excel spreadsheet that can be used as a help tool.

[Tom side]

Indholdsfortegnelse

1	Introduktion	1
1.1	Formål	3
2	Fordampningskølingssystemer	5
2.1	Grundlæggende teori.....	5
2.1.1	Befugter.....	6
2.1.2	Varmeveksler.....	7
2.1.3	Desiccant wheel.....	7
2.2	Systemtyper	11
2.2.1	Standardtilfælde	11
2.2.2	Systemtypernes funktion	12
2.2.3	Systemtypernes afhængighed af udeforhold	16
3	Definering af anvendt vejrdato	19
3.1	Danske vejrfiler.....	19
3.2	Europæiske vejrfiler.....	22
4	Definering af belastningstilfælde.....	23
4.1	Termisk belastning.....	23
4.2	Fugtbeklastning	23
4.3	Ventilationsform.....	23
4.4	Udvalgte belastningstilfælde.....	25
5	Designkriterier	27
6	Beregningsmetode	29
7	Beregnet kølingspotentiale.....	31
7.1	Danmark.....	31
7.1.1	Variation imellem de danske byer	32
7.1.2	Variation imellem de otte belastningstilfælde	34
7.1.3	Sammenligning med IWEC-fil for København.....	37
7.1.4	Overholdelse af anbefaling fra DS 474.....	38
7.2	Europa.....	41
7.2.1	Anvendelse af Köppen-Geiger klimaklassificeringen	41
7.2.2	Udvælgelse af repræsentative byer.....	43
7.2.3	Variation imellem systemtyper og repræsentative byer	46

7.2.4	Relativ luftfugtighed i rumluft ved repræsentative byer	47
7.2.5	Overholdelse af DS 474 anbefaling.....	51
8	Parametervariation	59
8.1	Danmark	61
8.2	Europa.....	65
9	Excelark til beregning af rumforhold ved systemtype N-V.....	71
10	Diskussion	73
11	Konklusion	75
12	Litteratur.....	76
13	BilagsDVD'ernes indhold	79
	Bilag A – Anvendte vejrfiler.....	80
	Bilag B – Antal timer med overtemperatur for de repræsentative europæiske byer	82
	Bilag C – 101. højeste t_{rum} for de repræsentative europæiske byer	83

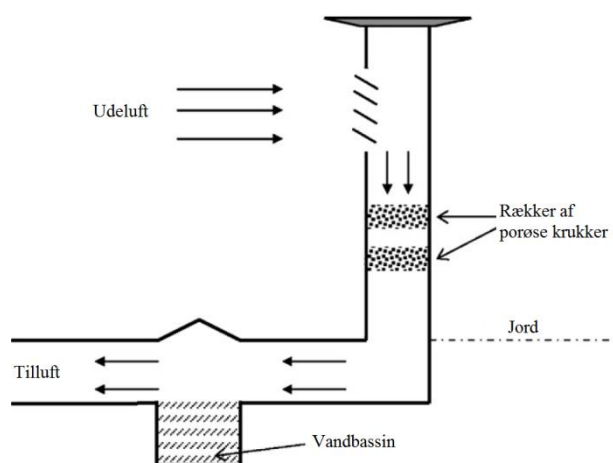
1 Introduktion

Energiforbruget i verden stiger imens de tilrådeværende fossile energikilder svinder. De eksisterende vedvarende energiformer er endnu ikke tilstrækkelig udbyggede og udviklede til at dække energiforbruget, så det er derfor vigtigt at spare på energien hvor det er muligt. Bygninger står for omkring 40 % af det samlede energiforbrug i Danmark og resten af Europa, og har derfor et stort potentiale for energioptimering (Erhvervsstyrelsen u.d.).

I EU27 (dækker alle nuværende EU medlemslande på nær Kroatien) står bygninger i boligsektoren og servicesektoren for hhv. 21 og 13 % af det totale energiforbrug, hvor rumkøling står for hhv. 1 og 20 % af disse sektors energiforbrug (Pardo, et al. 2013), så rumkøling står sammenlagt for omkring 2,8 % af det samlede energiforbrug ved disse sektorer. Energiforbruget til køling i EU forventes at stige med 3,14 % p.a. frem imod 2030 i servicesektoren (Capros, et al. 2009), og stigningen skyldes hovedsageligt stigende levestandard, øget bygningsareal, samt stigende komfortkrav (Pardo, et al. 2013).

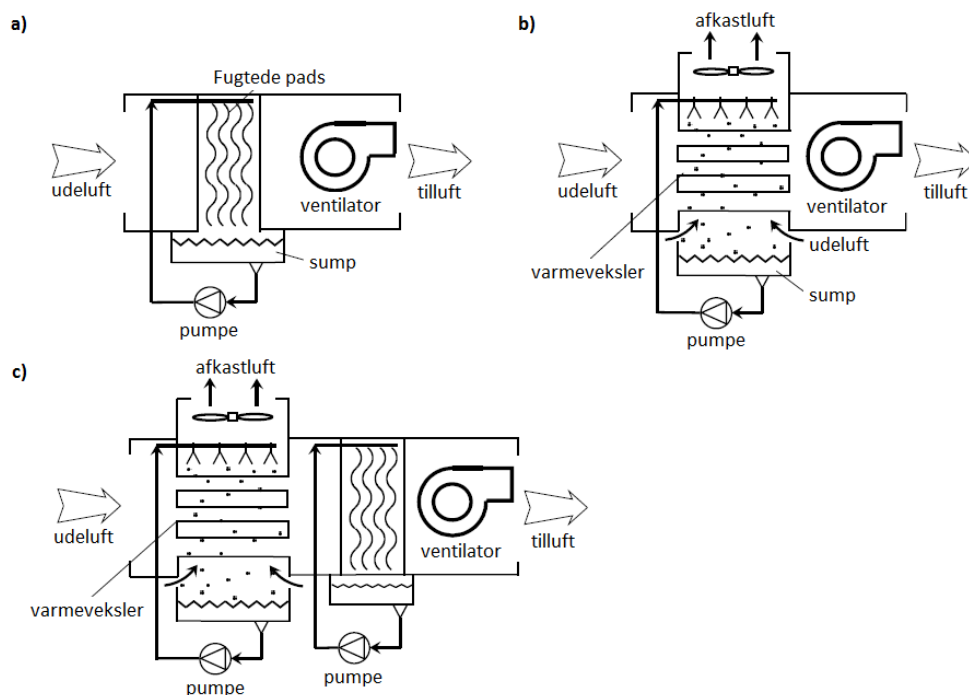
Passive kølingstiltag bør i størst mulig omfang udnyttes for at mindske behovet for mekanisk køling, da energiforbruget herfor generelt er meget lavt og i mange tilfælde ikkeeksisterende, men i situationer hvor disse kølingstiltag ikke er tilstrækkelige bør de mest energieffektive mekaniske kølingssystemer anvendes.

Fordampningskøling FK kan benyttes i både passive og mekaniske systemer, da fordampning af vand til umættet luft sænker lufttemperaturen, under forudsætning af at vandtemperaturen er lavere eller lig lufttemperaturen. FK har været benyttet i mange år, hvor det i f. eks Iran tidligere er blevet anvendt i kombination med naturlig ventilation, som vist i figur 1.1.



Figur 1.1 Principskitse af et tidligt FKS, modificeret ud fra (Heidarinejad, et al. 2008)

Et fordampningskølingssystem FKS, der virker ved at vand flyttes, fordeles og recirkuleres vha. mekanisk drivkraft, betragtes som et mekanisk kølingssystem. Figur 1.2 viser eksempler på forskellige typer af mekaniske FKS'er, integreret i et ventilationssystem.



Figur 1.2 Principskitse af DFKS (a), IFKS (b) og kombineret IFKS/DFKS (c), modificeret ud fra (Saman, Bruno og Liu 2009)

(a) er det mest udbredte FKS og kaldes for et direkte fordampningskølingssystem DFKS. Her befugtes udeluften med vand, der recirkuleres, hvorved luftblandingsens temperatur falder, og absolutte og relative fugtighed stiger. (b) er et indirekte fordampningskølingssystem IFKS. Ved dette system foregår kølingen igennem sensibel varmeveksling med en anden luftstrøm, som køles vha. et DFKS (a), så luftblandingsens temperatur falder, den relative fugtighed stiger, og den absolutte fugtighed holdes uændret. (c) er en kombination af et IFKS (b) og et DFKS (a).

Et DFKS (a) kan afkøle luften til at være lig med vandtemperaturen ved 100 % mætning, hvilket dog ikke er tilfældet for virkelige systemer, der har en virkningsgrad på mellem 85 og 95 %. Vandtemperaturen antages normalt for at være lig med luftens vådtermometeretemperatur, derfor kan lufttemperaturen ikke komme under denne, hvilket begrænser kølingskapaciteten af et FKS. (ASHRAE 2011)

Energiforbruget for et mekanisk FKS er cirka 75 % lavere end ved et kompressionskølingssystem KKS og det koster cirka det halve i anlægspris (U.S. Department of Energy 2012). Et KKS anvender derudover kølingsmidler, der kan være skadelige, hvilket ikke er tilfældet for et FKS. Et typisk FKS har et vandforbrug på mellem 3 og 16 l/(kWh køling) ifølge (Alliance for Water Efficiency u.d.), hvilket skal medregnes ift. både resurse- og energiforbrug.

Vandforbruget kan deles i to, hvor det ene skyldes den mængde af vand som fordampes til luftblandingen, og den anden skyldes aftapning af den recirkulerede vandmængde i FKS'et. Aftapningen sker for at forhindre ophobning af næringssalte, så hyppigheden af denne aftapning bør følge vandets næringssaltindhold, hvilket dog ikke altid er tilfældet i virkelige systemer, grundet manglende/forkert styring. (Alliance for Water Efficiency u.d.)

FKS'er er altid KKS'er energimæssigt overlegne, men de har ikke altid tilstrækkelig kølingskapacitet, da de er direkte afhængige af luftens tilstand, så i nogle tilfælde er KKS'er eller f. eks. absorptionskølingssystemer den eneste mulighed for mekanisk køling.

Kølingspotentialer for et FKS kan med andre ord ikke findes uden kendskab til de vejrforhold det skal virke under. (DS 469 2013) beskriver de dimensionerende vejrforhold for kølingssystemer i Danmark og lignende standarder findes for andre lande. Kølingspotentialer for et FKS kan derfor defineres ud fra dennes evne til at sikre et acceptabelt termisk indeklima, der også fastsættes ud fra standarder, ved de dimensionerende vejrforhold for et givet område.

Metoden har dog den ulempe at den kun viser hvorvidt et bestemt krav kan overholdes i et bestemt del af året, men ikke viser hvor tæt på eller langt fra, som systemet er fra at kunne overholde det bestemte krav. Derfor kan det være en fordel at anvende timebaseret vejrdato for et givet område, da antallet af timer hvor et bestemt krav overskrides herved kan findes.

1.1 Formål

Formålet med dette projekt er at undersøge potentialer for fordampningskøling, kaldet kølingspotentialer, ved forskellige FKS'er for udvalgte byer i Europa. Kølingspotentialer undersøges for både direkte og indirekte FKS'er, samt forskellige kombinationer af disse systemtyper. Yderligere undersøges effekten af at tilføje et desiccant wheel på et af systemtyperne.

Projektet er afgrænset til kun at omhandle FKS'er i forbindelse med ventilationssystemer, hvor fokus udelukkende er på kølingspotentialer, så anlægspris og driftsomkostninger i form af vand- og energiforbrug m.m., undersøges derfor ikke nærmere.

Derudover tager projektet udgangspunkt i optimale FKS'er med høj virkningsgrad for at opnå det størst mulige kølingspotentialer. Dette gøres ud fra den betragtning at projektet skal belyse mulighederne for anvendelse af FKS i Europa nu og i fremtiden, så projektet skal afspejle moderne, effektive systemer.

[Tom side]

2 Fordampningskølingssystemer

I dette afsnit beskrives den grundlæggende teori som bruges til beregning af kølingspotentialer for fordampningskølingssystemer FKS'er. Derudover præsenteres udvalgte systemtyper og funktionen af disse beskrives vha. et opstillet standardtilfælde.

2.1 Grundlæggende teori

Dette afsnit er skrevet ud fra (Hansen, Kjerulf-Jensen og Stampe 2006) og (National Weather Service Regional Office u.d.).

Når en umættet luftstrøm passerer vand, vil der ske en tilstandsændring af luftstrømmen i takt med at vandet fordamper til denne. Vand fordamper ved vandtemperaturer over 0 °C (i princippet også under, men så hedder det sublimation), og bliver større jo tættere vandtemperaturen er på kogepunktet. En mættet luftstrøm vil have samme temperatur som det vand den er blevet mættet med.

I FKS'er, hvor det tilførte vand recirkuleres og den recirkulerede vandmængde er meget større end den nytillførte vandmængde, antages det normalt at vandet opnår luftstrømmens vådtermometertemperatur, da den akkumulerede varme i det nytillførte vand regnes for negligibel, hvilket betyder at luftstrømmens tilstandsændring sker med uændret vådtermometertemperatur. Vådtermometertemperaturen kan findes vha. ligning 2.1, der løses iterativt.

$$p_d = 611,2 \cdot e^{\frac{17,67 \cdot t_v}{243,5 + t_v}} - 0,00066 \cdot p_{sta} \cdot (t - t_v) \cdot (1 + 0,00115 \cdot t_v) \quad 2.1$$

Hvor:

- p_d Vanddampens partialtryk [Pa]
- t_v Vådtermometertemperatur [°C]
- p_{sta} Total tryk [Pa]
- t Lufttemperatur [°C]

Hvis p_d ikke er kendt kan denne findes ud fra en af de i ligning 2.2 viste sammenhænge.

$$x = 0,622 \cdot \frac{p_d}{p_{sta} - p_d} = 0,622 \cdot \frac{RF \cdot p_{dm}}{p_{sta} - RF \cdot p_{dm}}, \quad p_{dm} = 611,2 \cdot e^{\frac{17,67 \cdot t}{243,5 + t}} \quad 2.2$$

Hvor:

- p_d Vanddampens partialtryk [Pa]
- p_{dm} Vanddampens mættede partialtryk [Pa]
- p_{sta} Totaltryk [Pa]
- RF Relativ luftfugtighed [-]
- t Lufttemperatur [°C]

Vha. af ligning 2.1 og 2.2 kan vådtermometertemperaturen bestemmes, når f. eks. luftens relative fugtighed, totaltryk og temperatur er kendte. Ligning 2.3 benyttes til beregning af luftblandingsentalpi.

$$I = 1,006 \cdot t + 2501 \cdot x + 1,8 \cdot t \cdot x \quad 2.3$$

Hvor:

- I Luftblandingsentalpi [kJ/(kg tør luft)]
- t Luftblandings temperatur [°C]
- x Luftblandings absolutte fugtighed [kg/(kg tør luft)]

Konstanterne på 1,006 og 1,8 beskriver hhv. luftens og vandets varmekapacitet, der er temperaturafhængig og gælder ved 0 °C, men variationerne i disse konstanter antages for værende neglige for temperaturer imellem -20 og 50 °C.

2.1.1 Befugter

Fordampningen i et FKS sker vha. en befugtningsenhed, og der findes mange forskellige udformninger af disse enheder, hvilket ikke bliver nærmere beskrevet, da udformningen ikke findes relevant for dette projekt. I projektet tages der udgangspunkt i befugtere der anvender recirkuleret vand, hvor luftstrømmens tilstandsændring sker med konstant vådtermometertemperatur. Når vådtermometertemperaturen er kendt, kan luftstrømmens temperatur efter befugteren findes vha. ligning 2.4 (ASHRAE 2011).

$$t_2 = t_1 - (t_1 - t_{v1}) \cdot \eta \quad 2.4$$

Hvor:

- t₂ Lufttemperatur efter befugter [°C]
- t₁ Lufttemperatur før befugter [°C]
- t_{v1} Vådtermometertemperaturen før befugter (og efter) [°C]
- η Befugterens virkningsgrad [-]

Virkningsgraden for en normal befugter ligger i intervallet fra 85 til 95 %, men den kan være højere (ASHRAE 2011).

2.1.2 Varmeveksler

I nogle FKS'er benyttes varmevekslere, der kun overfører sensibel varme, og derfor ikke ændrer på den absolutte luftfugtighed. Temperaturvirkningsgrad af varmeveksler for hhv. massestrøm (1) og (2) kan findes vha. ligning 2.5.

$$\eta_1 = \frac{t_{1i} - t_{1u}}{t_{1i} - t_{2i}}, \quad \eta_2 = \frac{t_{2u} - t_{2i}}{t_{1i} - t_{2i}} \quad 2.5$$

Hvor:

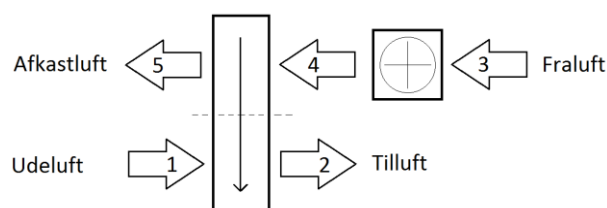
- η_1 Temperaturvirkningsgrad ved massestrøm (1) [-]
- η_2 Temperaturvirkningsgrad ved massestrøm (2) [-]
- t_{1i} Temperatur af massestrøm (1) før veksler [°C]
- t_{1u} Temperatur af massestrøm (1) efter veksler [°C]
- t_{2i} Temperatur af massestrøm (2) før veksler [°C]
- t_{2u} Temperatur af massestrøm (2) efter veksler [°C]

Når massestrømmene (1) og (2) er lige store, er η_1 og η_2 det også.

2.1.3 Desiccant wheel

Et desiccant wheel DW benyttes til at affugte luft. DW virker lidt som en roterende varmeveksler, hvor hjulet er belagt med et fugtabsorberende materiale, ofte silicagel, hvorved den kan optage en stor mængde fugt fra luften.

Et DW's virkningsgrad afhænger af luftstrømmenes temperatur og fugtighed, og kan derfor ikke beskrives ved en simpel faktor, som det er tilfældet for en roterende veksler, der kun overfører sensibel varme. I projektet benyttes en simplificeret metode til bestemmelse af virkningsgraden for et DW ud fra (Beccali, et al. 2002). Figur 2.1 viser en simpel principskitse af et DW (luften i punkt 4 kaldes for regenereringsluft).



Figur 2.1 Principskitse af desiccant wheel DW

Den absolutte luftfugtighed x_2 af tilluften (2) findes vha. ligning 2.6.

$$x_2 = \frac{e^{0,053 \cdot t_2} - RF_2 - 1,7976}{18,671} \quad 2.6$$

Hvor:

- x_2 Tilluftens (2) absolutte fugtighed [g/(kg tør luft)]
- RF_2 Tilluftens (2) relative fugtighed [%]
- t_2 Tilluftens (2) temperatur [°C]

Tilluftens (2) relative fugtighed RF_2 findes vha. ligning 2.7,

$$RF_2 = 0,9428 \cdot RF_4 - 0,0572 \cdot RF_1 \quad 2.7$$

Hvor:

- RF_1 Udeluftens (1) relative fugtighed [%]
- RF_4 Regenereringsluftens (4) relative fugtighed [%]

og tilluftens (2) temperatur t_2 findes vha. ligning 2.8, som løses iterativt.

$$\frac{RF_2 \cdot e^{0,053 \cdot t_2} - 1,7976}{18671} = \frac{h_2 - 1,006 \cdot t_2}{2501 - 1,805 \cdot t_2} \quad 2.8$$

Hvor:

- t_2 Tilluftens (2) temperatur [°C]
- h_2 Tilluftens (2) entalpi [kJ/(kg tør luft)]

Tilluftens (2) entalpi h_2 findes ud fra en sammenhæng imellem regenereringsluftens (4) og udeluftens (1) entalpi. Denne sammenhæng er fundet for tre typer af DW, kaldet type I, II og III, som hhv. ses i ligning 2.9, 2.10 og 2.11.

$$h_2 = 0,1312 \cdot h_4 + 0,8688 \cdot h_1 \quad 2.9$$

$$h_2 = 0,1861 \cdot h_4 + 0,8139 \cdot h_1 \quad 2.10$$

$$h_2 = 0,1148 \cdot h_4 + 0,8852 \cdot h_1 - 0,9474 \quad 2.11$$

Hvor:

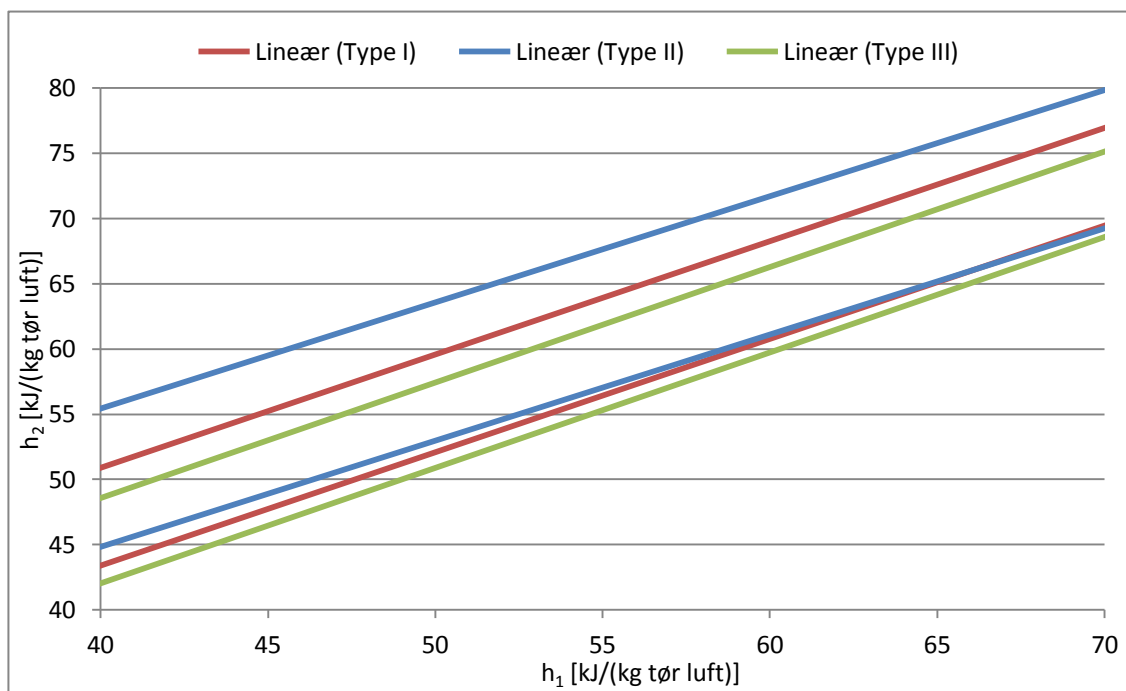
- h_1 Udeluftens (1) entalpi [kJ/(kg tør luft)]
- h_4 Regenereringsluftens (4) entalpi [kJ/(kg tør luft)]
- h_2 Tilluftens (2) entalpi [kJ/(kg tør luft)]

Ifølge (Beccali, et al. 2002) er det kun forholdstallene i entalpieregningen, der skal beregnes for hver type DW. Det undersøges ikke nærmere hvorledes disse forholdstal er fremkommet, og derfor begrænses brugen af DW i projektet til de typer som er defineret i (Beccali, et al. 2002), benævnt type I, II og III. Den simplificerede model er sammenholdt med måledata i følgende intervaller:

- Temperatur af regenereringsluft (4) fra 40 til 80 °C
- Absolut fugtighed af regenereringsluft (4) fra 10 til 16 g/(kg tør luft)
- Temperatur af udeluft (1) fra 20 til 34 °C
- Absolut fugtighed af udeluft (1) fra 8 til 15 g/(kg tør luft)

Der er fundet fin sammenhæng imellem de målte og beregnede data. De tre typer af DW varierer ift. entalpistoigningen af tilluften (2), derfor er det interessant at sammenligne disse, da entalpistoigningen ønskes så lav som mulig ved et kølingssystem.

Min. og maks. entalpi til afbildning findes ud fra ovenstående interval for regenereringsluft (4) ved hhv. 40 °C og 10 g/(kg tør luft), og 80 °C og 16 g/(kg tør luft), hvilket giver hhv. 66 og 123 kJ/(kg tør luft). Det samme gøres for udeluften (1), hvor min. og maks. bliver hhv. 40 og 73 kJ/(kg tør luft). Figur 2.2 viser entalpistoigningen i det fundne interval. De tre øverste funktioner beskriver tilluftens (2) entalpi som funktion af udeluftens (1), for de tre typer af DW, ved en entalpi på 123 kJ/(kg tør luft) af regenereringsluften (4). De nederste tre viser de samme, blot med en entalpi på 66 kJ/(kg tør luft) af regenereringsluften (4).

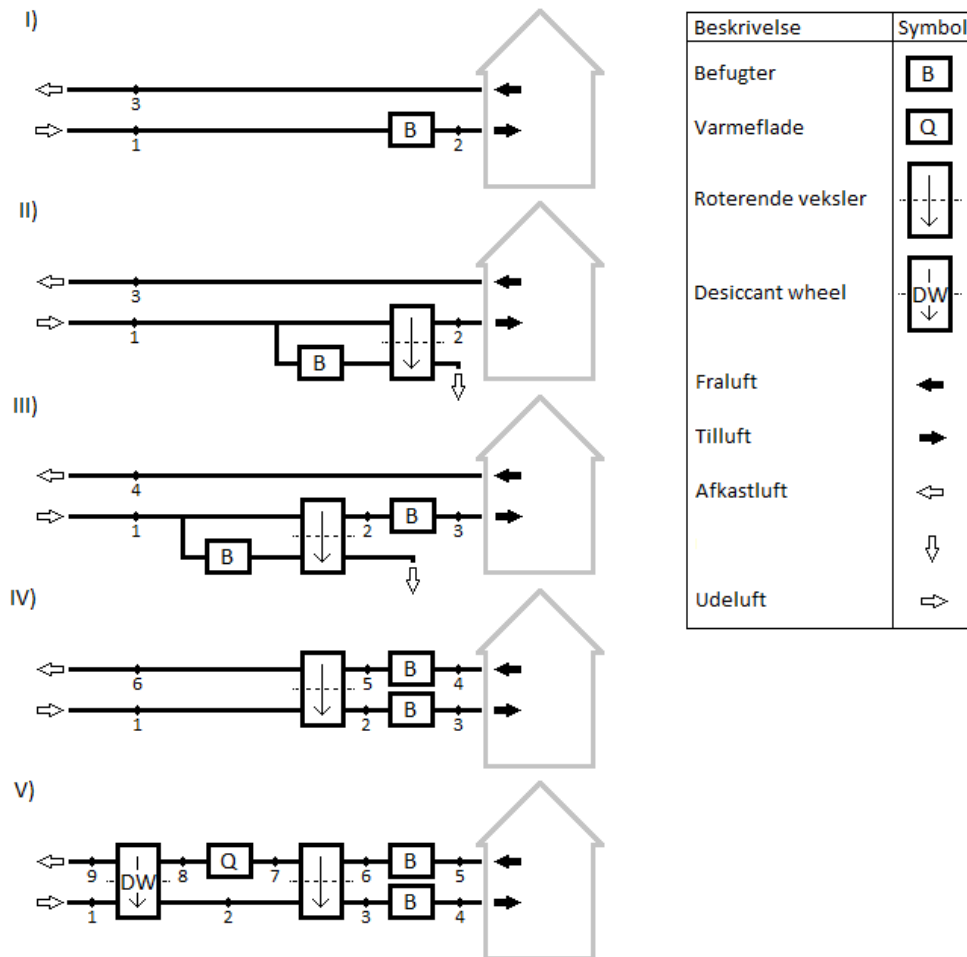


Figur 2.2 Entalpi tilluft h_2 , som funktion af udeluftens entalpi h_1 for de tre typer af DW, ved konstant entalpi af regenereringsluften (4) på 123 kJ/kg ved de øverste tre lineære tendenslinjer og 66 kJ/kg ved de nederste tre lineære tendenslinjer

Det ses at hjulstype III (grøn) giver den mindste entalpistigning i det viste interval, uanset regenereringsluftens (4) entalpi, men funktionerne har forskellig hældning, så det vil ikke være sådan i alle situationer.

2.2 Systemtyper

Dette projekt er afgrænset til at omhandle FK i forbindelse med et mekanisk ventilationssystem, og er yderligere begrænset til at omhandle udvalgte systemtyper, da der findes mange varianter med forskellig styring og udformning. Figur 2.3 viser de udvalgte systemtyper.



Figur 2.3 Principskitse af udvalgte systemtyper

Figuren viser en principskitse af udvalgte systemtyper, hvor ventilatorer, varmekilder og andre enheder i ventilationssystemet er udeladt. Funktionen af systemtype I til III er uafhængig af rumluftens tilstandsændring, hvorimod systemtype IV og V er afhængig af denne, hvilket bevirker at rumluftens tilstandsændring skal bestemmes ved beregning af disse systemtyper. Et standardtilfælde opstilles for at vise systemtypernes funktion.

2.2.1 Standardtilfælde

Standardtilfældet opstilles udelukkende for at vise systemtypernes funktion og kan ikke direkte anvendes til at konkludere hvilken systemtype der fungerer bedst, da de forskellige systemtyper har forskellige styrker og svagheder.

Udeluftens temperatur sættes til 26 °C og dens relative fugtighed sættes til 60 %, hvilket er de dimensionerende værdier for køleanlæg angivet i (DS 469 2013). Det atmosfæriske tryk sættes lig standardtrykket (v/havoverfladen) på 1013 hPa.

Befugterens virkningsgrad sættes til 95 %, da det er det højest opnåelige i almene anlæg jf. (ASHRAE 2011). Varmevekslerens virkningsgrad sættes til 90 %, hvilket er højt sat, men opnåeligt for en roterende varmeveksler (EXHAUSTO u.d.).

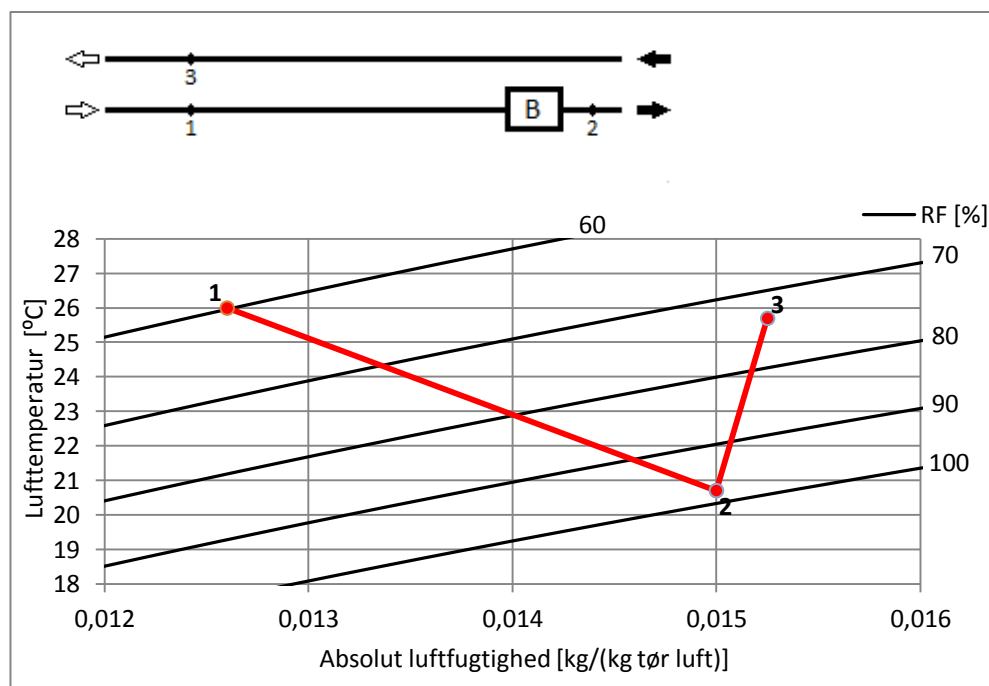
Desiccant wheel af type III, med deraf følgende virkningsgrader for varme- og fugtoverførsel ved en regenereringstemperatur på 80 °C, anvendes.

Der regnes med 5 °C temperaturstigning i rumluften, imellem tilluft og fraluft, samt fugttilførsel på 0,25 g/(kg tør luft), kaldt rumbelastning. Det defineres ikke nærmere hvad temperaturstigningen og fugttilførslen skyldes, men værdierne herfor anses for værende realistiske.

Kanalvægge antages adiabatisk, så der sker ingen energioverførsel igennem disse, hvilket også gælder for de andre enheder i ventilationssystemet, og der er ingen in- eller eksfiltration.

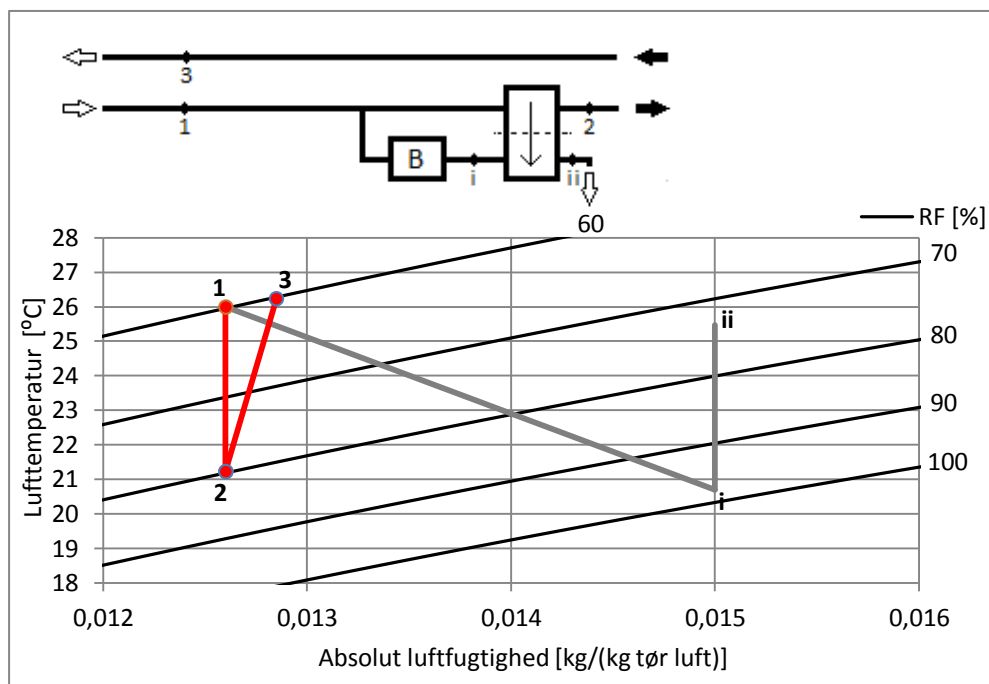
2.2.2 Systemtypernes funktion

Luftens tilstandsændring for de fem udvalgte systemtyper ved standardtilfældet er beregnet for dermed at beskrive systemtypernes funktion. Figur 2.4 viser luftens tilstandsændring ved standardtilfældet for systemtype I, der er et direkte FKS, også kaldet DFKS.



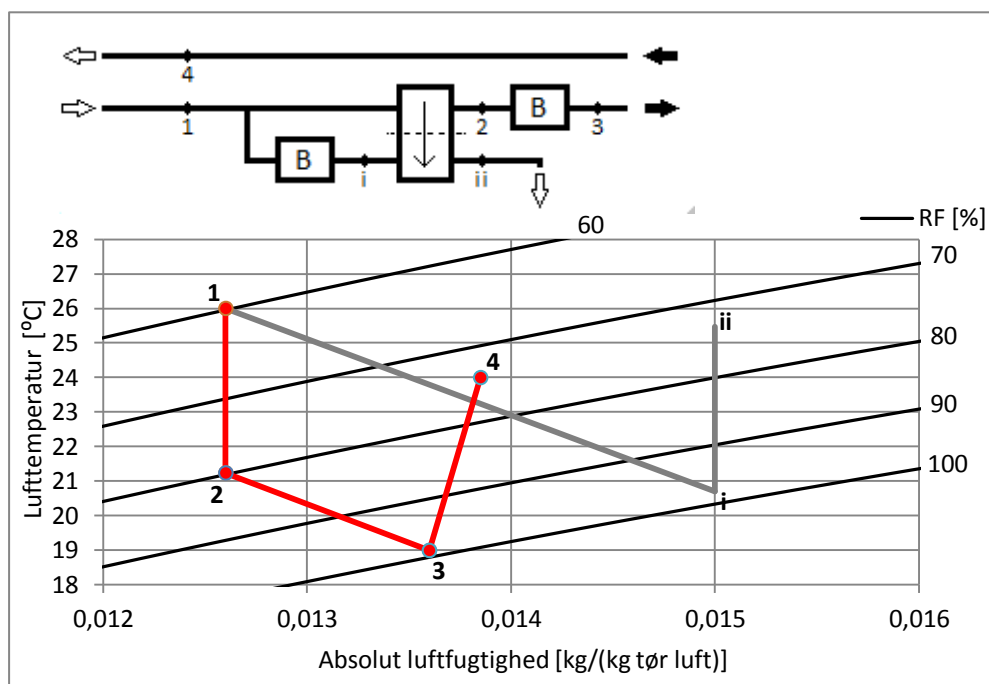
Figur 2.4 Luftens tilstandsændring ved standardtilfældet for systemtype I

Udeluften (1) afkøles og befugtes af befugteren B før (2), hvorefter fraluften opvarmes og befugtes pga. rumbelastningen. Figur 2.5 viser luftens tilstandsændring ved standardtilfældet for systemtype II, der er et indirekte FKS, også kaldet IFKS.



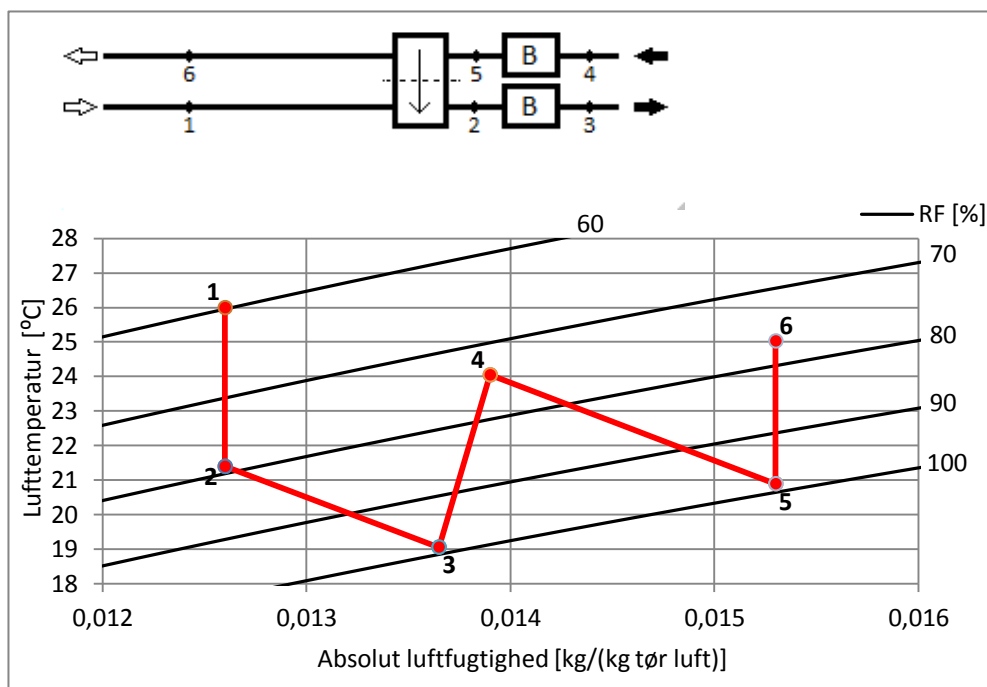
Figur 2.5 Luftens tilstandsændring ved standardtilfældet for systemtype II

Systemtype II adskiller sig fra systemtype I ved at udeluften (1) opdeles i to luftstrømme, hvor der på den ene installeres en befugter, og den anden derefter afkøles igennem en sensibel varmeveksler mellem de to luftstrømme. Den absolutte luftfugtighed stiger derfor ikke ved denne systemtype, hvilket kan være formålstjenestelig, men systemets ulempe er at det altid vil køle mindre end systemtype I pga. varmevekslerens temperaturvirkningsgrad på 90 %. Figur 2.6 viser luftens tilstandsændring ved standardtilfældet for systemtype III, der er et kombineret IFKS og DFKS.



Figur 2.6 Luftens tilstandsændring ved standardtilfældet for systemtype III

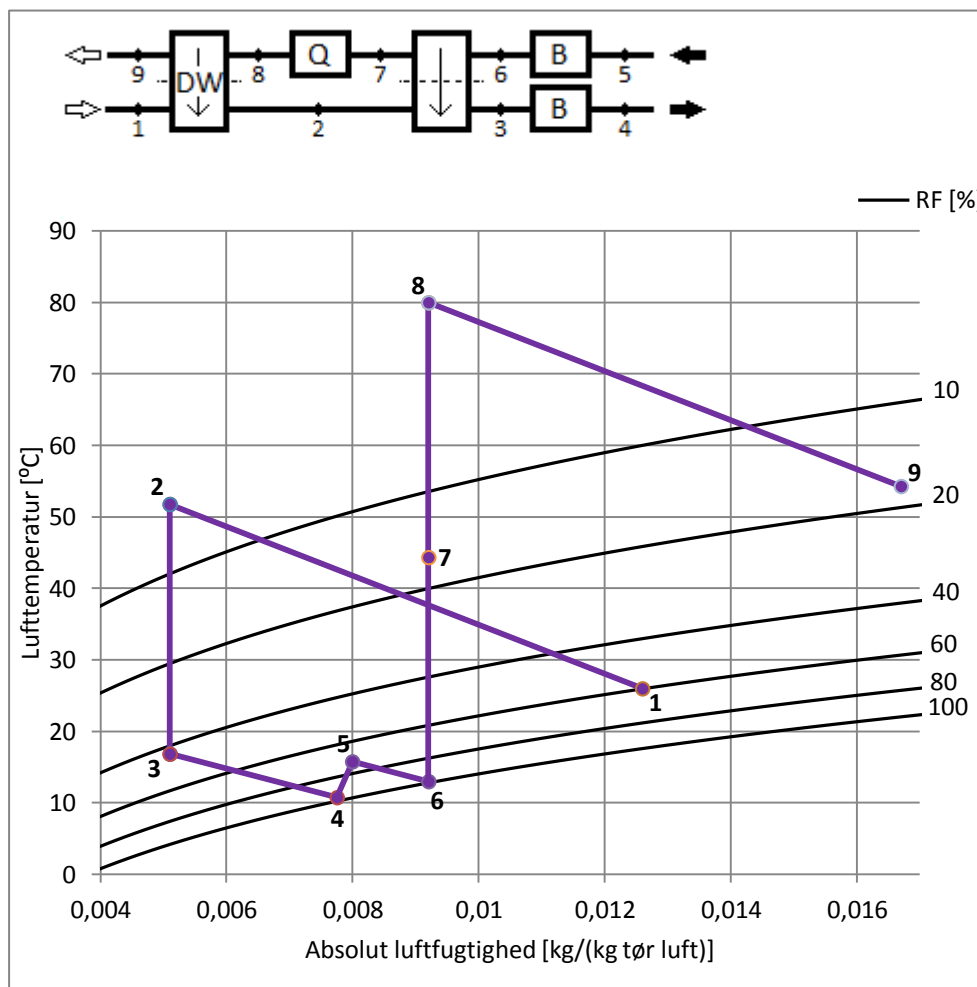
Tilstandsændringen af udeluften (1) til (2) er som ved systemtype II, hvorefter tilluften (3) befugtes og afkøles af befugteren, efter samme princip som ved systemtype I. Systemtype III køler mere end systemtype I og II, og medfører en mindre stigning i den absolutte luftfugtighed end systemtype I. Figur 2.7 viser tilstandsændringen ved standardtilfældet for systemtype IV, der også er et kombineret IFKS og DFKS.



Figur 2.7 Luftens tilstandsændring ved standardtilfældet for systemtype IV

Udeluften (1) afkøles af varmeveksleren før (2), hvorefter den befugtes og afkøles af befugteren (3). Fraluften (4) befugtes og afkøles af befugteren før (5), hvorefter den opvarmes af varmeveksleren før (6). Systemtype IV adskiller sig fra systemtype III ved at der varmeveksles med fraluftsiden, så systemtypen bliver direkte påvirket af den termiske belastning i rumluften, hvilket betyder at denne systemtypes funktion skal beregnes iterativt, da rumluften er afhængig af systemtypens funktion og omvendt. I situationer hvor fraluften (4) har lavere vådtermometertemperatur end udeluften (1), er den IFK på systemtype IV mere effektiv end den IFK på systemtype III, og så er systemtype IV bedst.

Figur 2.8 viser tilstandsændringen ved standardtilfældet for systemtype V, der også er et kombineret IFKS og DFKS, hvor det bemærkes at afbildningsområdet for figuren er anderledes end ved de forgående figurer.



Figur 2.8 Luftens tilstandsændring ved standardtilfældet for systemtype V

Udeluften (1) opvarmes og affugtes af desiccant wheel DW før (2), hvorefter den afkøles af varmeveksleren før (3) og derefter afkøles og befugtes den af befugteren før (4). Fraluft (5) afkøles og befugtes af befugteren før (6), hvorefter den opvarmes af varmeveksleren før (7) og af en varmeplade før (8), og derefter afkøles og befugtes den af DW før (9). Det ses at luftens tilstandsændring er større ved dette system end ved systemtyperne I til IV.

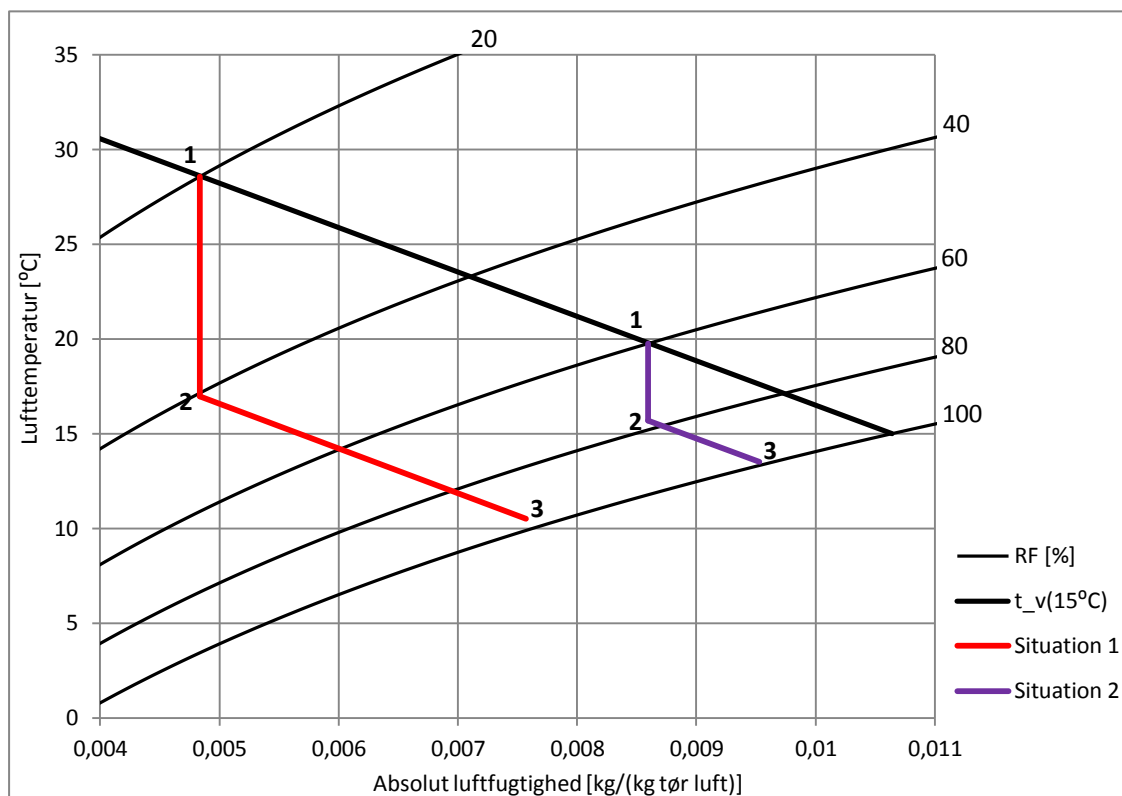
DW i systemtype V skal regenereres med varmt luft for at opnå en høj fugtabsorption, som nærmere beskrevet i afsnit 2.1.3, og det er derfor nødvendigt at opvarme luften. Spildvarme eller solvarme kan med fordel udnyttes til dette. Solfangere har især potentiale i bygninger hvor kølingsbehovet opstår pga. solindstråling, da problem og løsning så følger hinanden.

Den relative fugtighed i rumluften RF_{rum} bør ikke overskride 70 % i længere perioder, da det kan forårsage problemer med skimmelsvamp og husstøvmider (DS/CEN/CR 1752 2001), og det ses at denne fugtgrænse ikke er overholdt ved standardtilfældet for systemtype I, III, IV og V. Systemtype II giver ikke problemer ved standardtilfældet, men under andre forhold kan dette system også give problemer. Da alle systemtyper kan give problemer med for høj RF_{rum} , bør en styring af systemerne som sikre imod dette overvejes.

2.2.3 Systemtypernes afhængighed af udeforhold

Der er stor forskel på de forskellige systemtypers funktion. Effektiviteten af systemtype I-III påvirkes kun af udeluften og anlægsopbygningen, hvorimod systemtype IV og V også påvirkes af rumluften. Hvis befugter- og varmevekselvirkningsgraden var 100 %, så ville udeluftens vådtermometertemperatur t_v kunne bruges til at beskrive den maksimale afkøling af udeluften ved systemtype I og II, da lufttemperaturen efter befugtning (og varmeveksling) ville være lig t_v . Det er dog ikke praktisk muligt, så med en virkningsgrad på mindre end 100 %, er der forskel på afkølingen ved forskellige tilstande af udeluften, selvom de har ens t_v .

Figur 2.9 viser afkølingsforløbet for systemtype II og III ved to situationer, hvor udeluften har forskellig tilstand men samme t_v på 15 °C, for dermed at give et eksempel på hvor stor en forskel der kan være på den mulige afkøling af tilluften. Det bemærkes at tilluften findes i (2) ved systemtype II og i (3) ved systemtype III.



Figur 2.9 Tilstandsændring fra udeluft til tilluft ved systemtype II (punkt 1-2) og ved systemtype III (punkt 1-3) ved situation 1 og 2, og med konstant vådtermometertemperatur t_v i udeluft på 15 °C

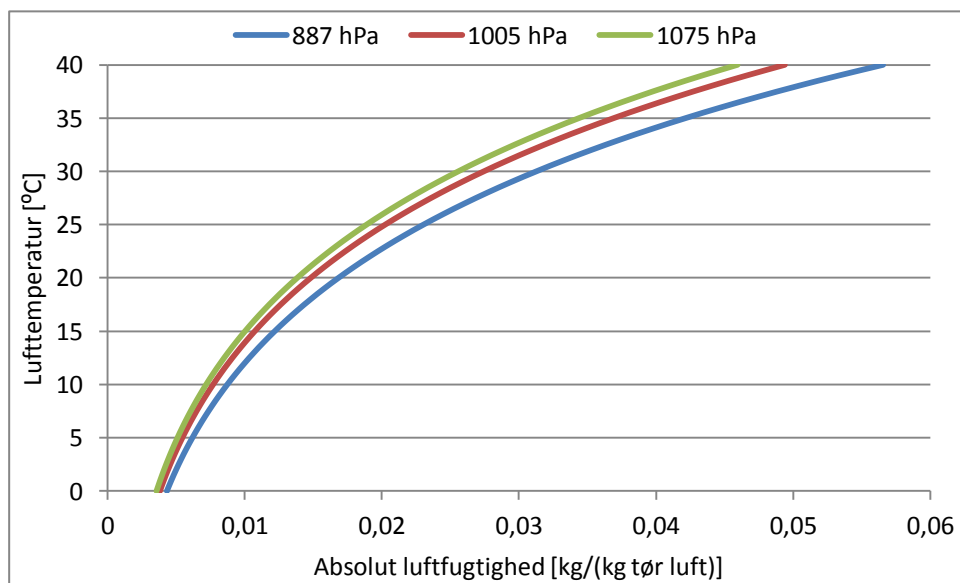
Systemtype II kan afkøle tilluften (2) til 17 og 15,7 °C ved hhv. situation 1 og 2, så systemtypen kan afkøle tilluften mere ved lavere lufttemperatur, hvilket skyldes at virkningsgraderne er 90 og 95 % for hhv. varmeveksleren og befugteren. Systemtype III kan afkøle tilluften (3) til 10,5 og 13,5 °C ved hhv. situation 1 og 2, hvilket skyldes at systemtypen først afkøler udeluften som ved systemtype II, hvorefter den afkøler den afkølede luft ved yderligere befugtning, hvor den følger vådtermometertemperaturen i (2), på hhv. 10,2 og 13,4 °C. Tilluftstemperaturen for de resterende

systemtyper ved de to situationer kan ses i Tabel 2.1, hvor rumbelastningen og virkningsgraderne er som ved standardtilfældet.

	Systemtype:				
	I	II	III	IV	V
Situation 1	15,7	17,0	10,5	8,2	2,0
Situation 2	15,3	15,7	13,5	13,7	4,5

Tabel 2.1 Tilluftstemperatur ved situation 1 og 2 med rumbelastning og virkningsgrader som ved standardtilfældet for systemtype I-V

Systemtype III, IV og V har hhv. 22, 40 og 56 % lavere lufttemperatur ved situation 1 end ved situation 2, hvorimod systemtype I og II har hhv. 3 og 8 % højere lufttemperatur ved situation 1 end ved situation 2. Resultaterne viser tydeligt at tilluftstemperaturen varierer ved konstant t_v , så det er ikke tilrådeligt at finde kølingspotentialet ud fra n. størst forekommende t_v , men udeluftens t_v er en vigtig parameter ved beregning af de fem systemtyper, ligesom udeluftens temperatur og fugtighed. Det atmosfæriske tryk indvirker også på systemtyperne, da luften kan indeholde mere vand ved lavere tryk, hvilket kan ses i Figur 2.10.



Figur 2.10 100 % relativ luftfugtighed ved et atm. tryk på hhv. 887, 1005 og 1075 hPa

Det atmosfæriske tryk på 887, 1005 og 1075 hPa er hhv. min., maks. og middel, fundet ud fra det europæiske vejrdato, som præsenteres i afsnit 3.

[Tom side]

3 Definering af anvendt vejrdato

For at undersøge kølingspotentialer for fordampningskøling FK for en given lokalitet, skal vejrforholdene være kendte. I Danmark findes dimensionerende vejrforhold for kølingssystemer i (DS 469 2013) og i andre lande findes tilsvarende standarder. USA har f. eks. igennem ASHRAE angivet dimensionerende vejrforhold for FKS ud fra den 1 % højst forekommende vådtermometertemperatur over et referenceår, hvilket svarer til den 88. værste time i året. Fælles for de dimensionerende vejrforhold, uanset hvilket land de gælder for er at de er lavet til at dimensionere et kølingssystem, så et godt indeklima kan sikres i det meste af året. Systemtypernes afhængighed af udeforholdene er meget varierende, som beskrevet i afsnit 2.2.3, så f.eks. den 1 % højst forekommende rumlufttemperatur findes ikke nødvendigvis ved den 1 % højst forekommende udetemperatur eller vådtermometertemperatur.

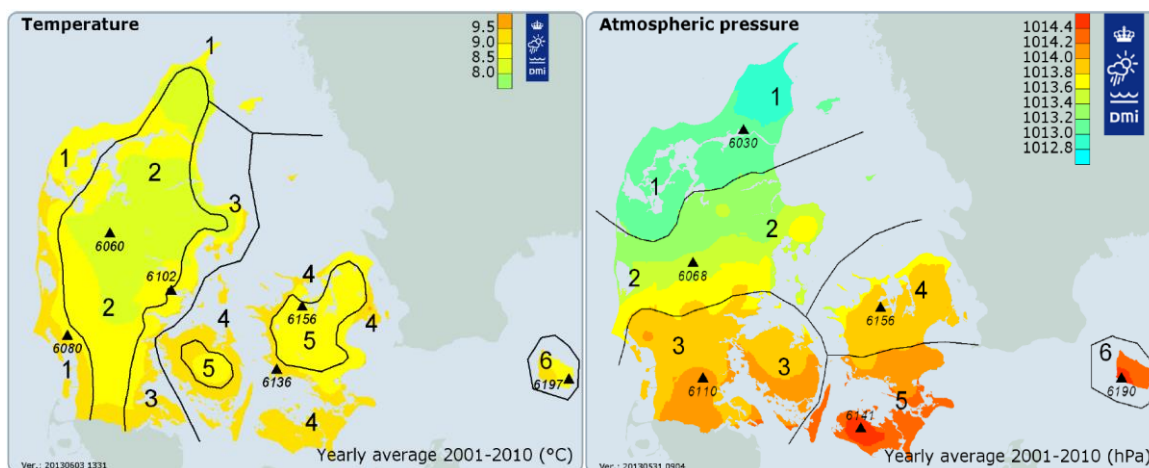
Selvom de dimensionerende vejrforhold måske er egnede til dimensionering af kølingssystemer, er de uegnede til at beskrive kølingspotentialer for et FKS, da det kun undersøges hvorvidt et krav kan overholdes i en bestemt del af året og ikke hvor mange timer af året kravet overholdes. Antallet af timer hvor et krav er overholdt er interessant, da det kan vise om et FKS er langt fra eller tæt på at overholde et krav, og det er derfor mere anvendeligt når et kølingspotentialer skal findes. Timebaseret vejrdato anvendes derfor for udvalgte byer til bestemmelse af kølingspotentialer for systemtyperne i dette projekt.

Afsnittet er underinddelt i to afsnit der omhandler vejrdato for hhv. Danmark og Europa. Vejrfiler for 15 danske og 123 europæiske byer, med hhv. DNK15 og EU123 som kaldenavn, er fundet. De anvendte filer er nummereret og navngivet efter en by, hvor bynavnet hovedsagelig anvendes som reference i rapporten. I tilfælde hvor det er praktisk at referere til fil-nummeret, gøres dette ved <Kaldenavn(Fil-nr.)>, så fil-nr. 3 skrives DNK15(3), fil-nr. 3 til 6 skrives DNK15(3-6) og fil-nr. 3 og 6 skrives DNK15(3;6), for Danmark.

3.1 Danske vejrfiler

Det danske Design Reference Year DRY benyttes til bestemmelse af vejrfiler for Danmark. Det nuværende danske DRY er lavet ud fra vejrdato fra år 2001 til 2011, hvor den mest gennemsnitlige måned er udvalgt til at repræsentere hver måned i referenceåret. Til forskel fra det tidligere danske DRY er det inddelt i zoner for hver vejrfparameter, så en vejrfil for en bestemt lokalitet kan sammensættes af vejrdato fra forskellige zoner, men det indeholder også et datasæt der skal anvendes til energiberegning for at få byggetilladelse. (Wang, et al. 2013)

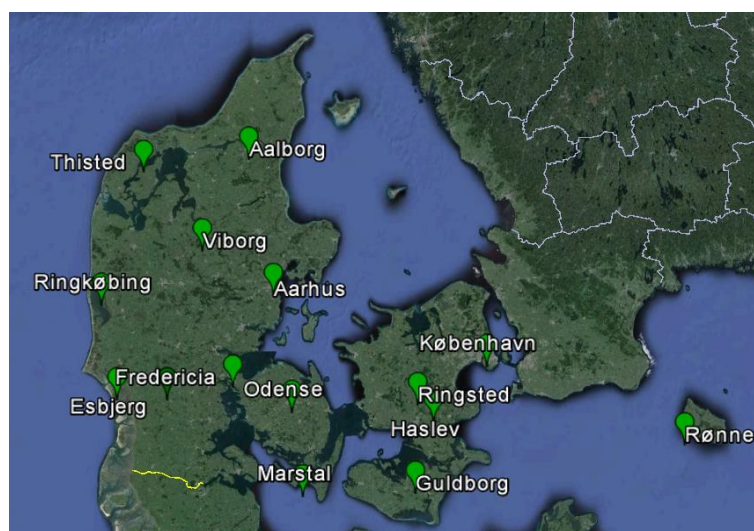
Eftersom kølingspotentialer for FKS'er afhænger af udeluftens temperatur, relative fugtighed og det atmosfæriske tryk, medtages zonerne for disse vejrfparametre. Zonerne for lufttemperatur t_u og relativ luftfugtighed RF_u er fuldstændig sammenfaldende og kaldes herefter for t_u/RF_u -zoner. Figur 3.1 viser de seks zoner for lufttemperatur (t_u/RF_u -zoner) og det atmosfæriske tryk.



Figur 3.1 Zoner for lufttemperatur (tv) og for atmosfærisk tryk (th) (Wang, et al. 2013)

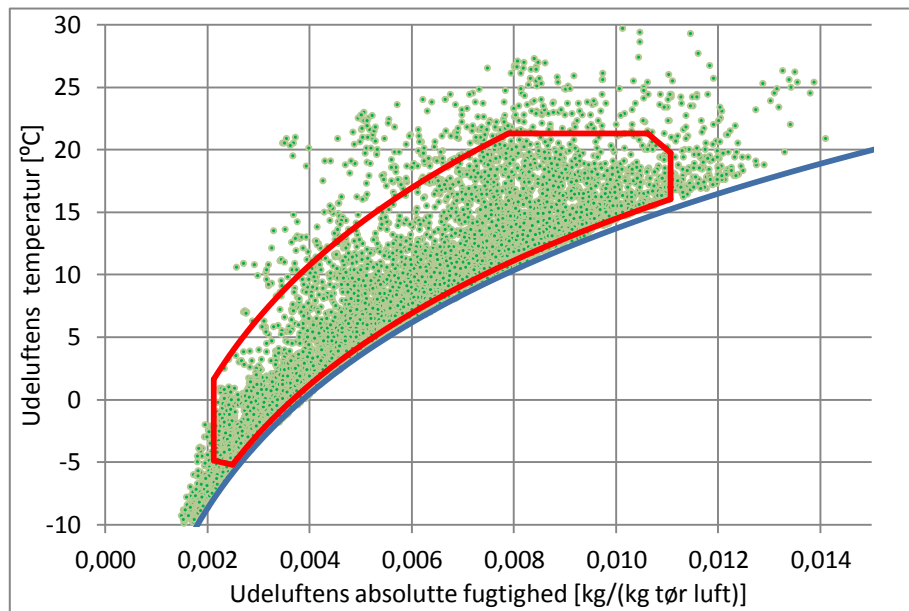
Variationen i det atmosfæriske tryk over t_u/RF_u -zonerne formodes ikke at være betydelende for kølingspotentiallet, men zonerne for det atmosfæriske tryk medtages for at eftervise dette.

15 separate vejrfiler konstrueres ud fra de seks t_u/RF_u -zoner og de seks zoner for atmosfærisk tryk. Hver vejrfil navngives efter en by, og nummereres efter bynavn i alfabetisk rækkefølge. Figur 3.2 viser de udvalgte byer, som ikke er udvalgt efter et bestemt mønster, men det ses at Danmarks fem største byer er repræsenterede og at disse er placeret i hver deres t_u/RF_u -zone.



Figur 3.2 Danmarkskort over 15 byer der repræsenterer en vejrfil

Det førnævnte datasæt til energiberegning består af data fra den 5. t_u/RF_u -zone og den 4. zone for det atmosfæriske tryk, der repræsenteres af Ringsted. Det er altså umiddelbart Ringsted som skal benyttes ved sammenligning med ældre danske DRY-filer og andre vejrfiler som antages for værende gældende for hele landet. Figur 3.3 viser udeluftens tilstand for hver time ved Thisted, som et eksempel på variationen imellem hver time af året, hvor området mellem 2,5 og 97,5 procentilen af timerne er angivet.



Figur 3.3 Udeluftens tilstand ved hver af årets timer for Thisted

Thisted har sjældent temperaturer over 21 °C og under -5 °C og den relative luftfugtighed er normalt mellem 49 og 95 %, hvilket er anderledes end f. eks. Ringsted der sjældent har temperaturer over 22 °C og under -5 °C, og hvor den relative luftfugtighed normalt er på mellem 46 og 100 %.

4 Definering af belastningstilfælde

I dette afsnit defineres de belastningstilfælde der bruges til den videre resultatbehandling. Belastningstilfældene defineres fordi systemtype IV og V er direkte afhængige af tilstandsændringen i rumluften, samt for at muliggøre en beregning af maks. luftfugtighed i tilluften ud fra maks. accepteret luftfugtighed i rumluften, så der kan sættes en begrænsning på de befugtere der ændrer på rumluftens absolutte luftfugtighed.

Belastningstilfældene gælder tilnærmelsesvis for mange lokaletyper, således at resultaterne for kølingspotentialer for fordampningskølingssystemerne kan anvendes bredt, men hvor det er fundet nødvendigt, er der taget udgangspunkt i et kontorlokale med 3 m loftshøjde. Antallet af mulige belastningstilfælde er begrænset af beregningstiden, der for nogle systemtyper er lang grundet mængden af vejrdata og iterative beregningsprocesser, og derfor udvælges 8 belastningstilfælde til videre beregning.

4.1 Termisk belastning

Kølingsbehovet i et lokale afhænger af den termiske belastning, som normalt inddeles i en in- og ekstern del, hvor den interne del kommer fra f. eks. personer, apparater og belysning, og den eksterne del kommer fra f. eks. solindstråling og udetemperatur.

Den interne del kan f. eks. fastsættes ud fra (SBI 202 2002) for forskellige lokaletyper, men det kan den eksterne del ikke, da der er mange ukendte variable, der ikke afhænger af lokaletype. Den eksterne termiske belastning afhænger f. eks. af solindstråling, der afhænger af vinduesareal, -orientering og -afskærmning osv. Den eksterne belastning afhænger altså af bygningens udformning, konstruktion og geografiske placering.

Da den termiske belastning ikke kan fastsættes, sættes denne i stedet til hhv. 20, 40 og 60 Watt pr. kvadratmeter gulvareal, da disse termiske belastninger antages for værende dækkende for et stort antal lokaler i forskellig udformede, konstruerede og geografisk placerede bygninger.

4.2 Fugtblastning

Rumluftens fugtighed er vigtig ved beregning af et FKS, både for at opnå en præcis beregning af systemtype IV og V, hvor fraluftens tilstand påvirker tilluftens tilstand, men også for at sikre et acceptabelt indeklima.

Alle kilder til fugttillførsel i lokalet skal derfor defineres, hvilket er umuligt når lokalets præcise brug er ukendt, så derfor tages der udgangspunkt i et enkeltmandskontor med 0,1 person pr. kvadratmeter og et aktivitetsniveau på 1,2 met, med deraf følgende fugtafgivelse på 50 g vand pr. time pr. person. Personbelastningen for et enkeltmandskontor er større end for et storrumskontor (DS/CEN/CR 1752 2001), så det antages at fugtblastningen er højt sat ift. kontorbyggeri.

4.3 Ventilationsform

For at finde de termiske belastningers indvirkning på rumlufttemperaturen, samt for at udregne fugtblastningen i rumluften, skal ventilationsform og luftskifte fastsættes. Opblandings- og

fortrængningsventilation er de ventilationsprincipper som findes interessante til komfort ventilation. For begge ventilationsprincipper skal det valgte indeklimaniveau overholdes i opholdszonen, hvilket for opblandingsventilationen betyder at fraluften skal overholde det valgte indeklimaniveau, da rumluften herfor normalt antages for fuldt opblandet.

Det antages at opblandingsventilation er mere udbredt end fortrængningsventilation, så opblandingsventilation anvendes ved den videre beregning. For at beregne det nødvendige luftskifte ved de termiske belastninger på hhv. 20, 40 og 60 W/m², angivet i afsnit 4.1, gøres følgende antagelser:

- Loftshøjde på 3 m
- Min. accepteret indblæsningstemperatur på 17 °C
- Maks. accepteret fraluftstemperatur på 26 °C
- Luftens densitet sættes til 1,2 kg/m³
- Luftens specifikke varmekapacitet sættes til 1007 J/(kg K)

Loftshøjden er sat til 3 m, hvilket antages repræsentativt for lokaler i kontorbyggeri, hvilket vælges da der tages udgangspunkt i et enkeltmandskontor, hvor det er nødvendigt. Min. accepteret tilluftstemperatur sættes til 17 °C for at undgå termisk diskomfort og maks. fraluftstemperatur sættes til 26 °C, da dette er den højst acceptable operative rumtemperatur jf. (DS 474 1993). Det antages at lufttemperaturen er nogenlunde lig den operative temperatur.

Luftens densitet og specifikke varmekapacitet antages for værende konstante, selvom de afhænger af lufttemperaturen og totaltrykket. De angivne værdier herfor passer ved en lufttemperatur på 20 °C og et totaltryk på 1013 hPa.

De fundne luftskifter oprundes til nærmeste heltal og giver da 3, 5 og 7 h⁻¹ for hhv. 20, 40 og 60 W/m². Tabel 4.1 viser den tilluftstemperatur, der skal overholdes for at undgå fraluftstemperaturer højere end 26 °C, for alle variationer af de tre luftskifter og de tre termiske laster.

	3 [h ⁻¹]	5 [h ⁻¹]	7 [h ⁻¹]
20 [W/m ²]	19,4	22	23,2
40 [W/m ²]	12,8	18,1	20,3
60 [W/m ²]	6,1	14,1	17,5

Tabel 4.1 Tilluftstemperatur ved en maksimal fraluftstemperatur på 26 °C

Tilluftstemperaturen ville være 17 °C på diagonalen, hvis de anvendte luftskifter ikke var oprundet til nærmeste heltal, hvilket ville være ønskeligt, hvis fokus var på fugtbelastningen i rumluften, da denne ville være den eneste forskel på de tre tilfælde, men fokus er på den termiske belastning.

En maks. tilluftstemperatur på 6,1, 12,8 og 14,1 °C kan nemt føre til termisk diskomfort, men det er muligt at udforme ventilationssystemet så det ikke giver problemer, ved f. eks at indblæse igennem

et perforeret nedhængt loft (Anker Hviid og Svendsen 2013), og derudover kunne noget af den termiske belastning forekomme i ventilationssystemet før indblæsningsarmaturet. Tilfældet med tilluftstemperatur på 12,8 og 14,1 °C medtages til den videre beregning, imens tilfældet med tilluftstemperatur på 6,1 °C ikke medtages.

4.4 Udvalgte belastningstilfælde

Tabel 4.2 viser de udvalgte belastningstilfælde, temperaturstigningen i rumluften Δt_{rum} , luftskifte, samt termisk- og fugtbelastning.

Belastningstilfælde [#]	Δt_{rum} [°C]	Luftskifte [h ⁻¹]	Termisk belastning [W/m ²]	Fugtbelastning [g/(kg tør luft)]
1	6,6	3	20	0,46
2	4	5	20	0,28
3	2,8	7	20	0,20
4	13,2	3	40	0,46
5	7,9	5	40	0,28
6	5,7	7	40	0,20
7	11,9	5	60	0,28
8	8,5	7	60	0,46

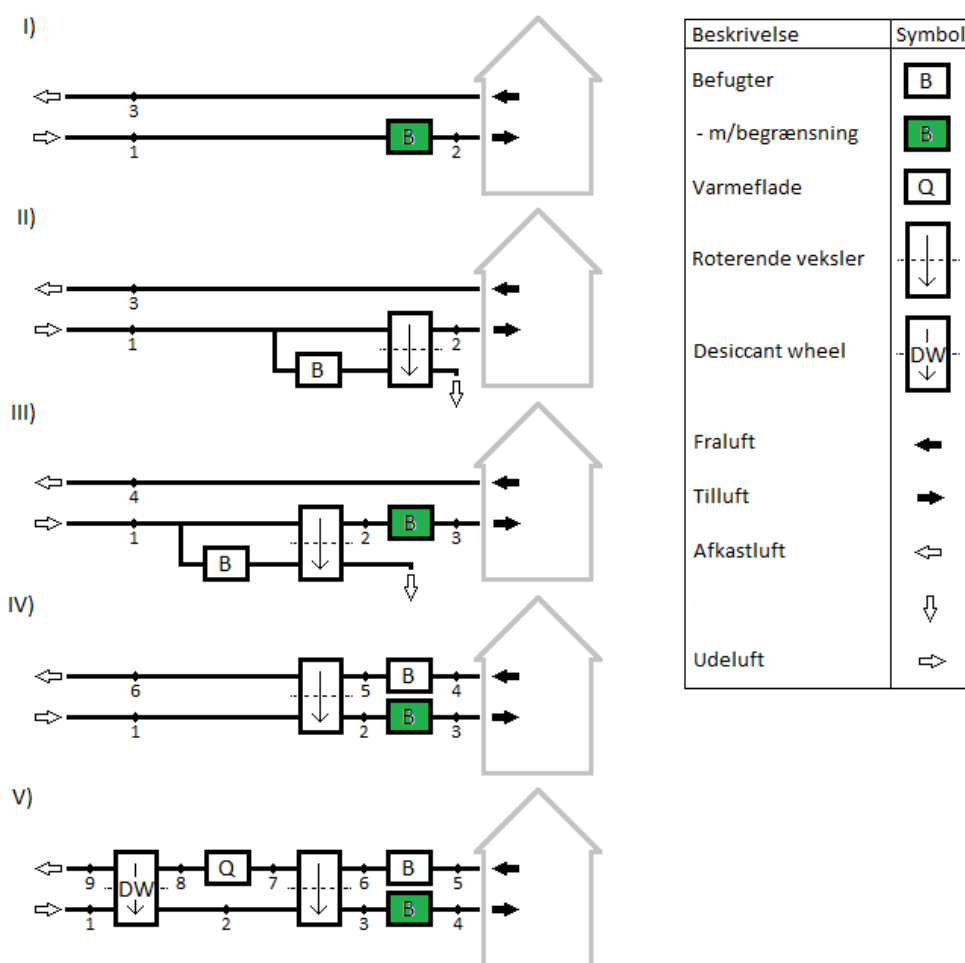
Tabel 4.2 Udvalgte belastningstilfælde

Det bemærkes at belastningstilfældene er nummeret efter den termiske belastning (overordnet) og luftskiftet (underordnet), så nummereringen har ingen betydning ift. hvilket tilfælde der kræver mindst/mest køling, hvilket også ses på Δt_{rum} , der beskriver den temperaturstigning som belastningstilfældene medfører i rumluften.

[Tom side]

5 Designkriterier

I dette afsnit fastsættes designkriterierne for beregning af kølingspotentialer for fordampningskøling FK ud fra de systemtyper, vejrfiler og belastningstilfælde, der er beskrevet i afsnit 0, 3 og 4, og yderligere antagelser beskrives. Designkriterierne er forsøgt udformet så de passer til et bredt udvalg af bygnings- og lokaletyper med forskellig anvendelse, men der tages udgangspunkt i et enkeltmandskontor. Figur 5.1 viser de fem udvalgte systemtyper, som er nærmere beskrevet i afsnit 2.2.



Figur 5.1 Principskitse af udvalgte systemtyper, hvor befugtere der begrænses ift. RF i rumluften er angivet (grøn)

Befugtere som øger den absolutte luftfugtighed af rumluften begrænses, så de ikke er medvirkende til at få dennes relative luftfugtighed til at overstige det maks. accepterede fugtniveau på 70 % (DS/CEN/CR 1752 2001), og begrænsningen forkortes "fugtbegrænsning" efter behov. Grænsen kan godt overskrides pga. indirekte FK, som er indeholdt i systemtype II, III, IV og V, men her indsættes der ingen grænse, da andre mekaniske kølingssystemer med tørkøling, ville få de samme problemer, samt at FKS'erne fortrinsvis sammenlignes med disse.

Systemtype N defineres som et referencesystem uden køling, hvor tilluften er lig udeluften, med det formål at undersøge hvor meget de fem FKS'er kan forbedre det termiske indeklima.

Der anvendes vejrfiler for 15 danske og 123 andre europæiske byer, hvor vejrdato er angivet på timebasis, hvilket giver cirka 1,2 mio. forskellige indgange til beregning. Sammenholdt med en beregningstid på 2-3 s for hver indgang ved nogle systemtyper, må antallet af beregninger begrænses. For at begrænse antallet af beregninger, udføres disse kun når udeluftens temperatur adderet med rumluftens temperaturstigning er højere end 26 °C, der som tidligere nævnt er den maks. acceptable operative temperatur i rumluften (DS 474 1993).

De 15 danske byer ligger geografisk tæt på hinanden, generelt meget tættere end de 123 europæiske byer, hvilket er interessant, da det danske data dermed kan bruges til at undersøge hvor stor forskel der kan være på kølingspotentialer over et mindre område, og dermed vise hvor lokalt vejrdato behøver at være for at give præcise resultater. Sagt med andre ord, så beskriver nogle af de europæiske vejrfiler formodentlig områder der er større end Danmark, hvilket måske er for unuanceret ift. korrekt dimensionering af et FKS.

De udvalgte otte belastningstilfælde, nærmere beskrevet i afsnit 4, anvendes, og der gøres følgende antagelser:

- Befugtervirkningsgrad på 95 % og temperaturen af det vand der anvendes til befugtning antages at være lig den befugtede luftblandings vådtermometeretemperatur.
- Varmevexler overfører kun sensibel varme og har en virkningsgrad på 90 %
- Kanalvægge antages adiabatisk, så der sker ingen energioverførsel igennem disse, hvilket også gælder for de andre enheder i ventilationssystemet, og der er ingen in- eller eksfiltration.
- Den iterative beregning af rumluftens tilstand ved systemtype IV og V stoppes når der ikke sker ændring på første decimal.
- Desiccant wheel med hjultype III og regenereringslufttemperatur på 80 °C anvendes ved systemtype V.

6 Beregningsmetode

Kølingspotentialer af et FKS kan beskrives ud fra dets evne til at sikre et acceptabelt termisk indeklima under dimensionerende udeforhold. I dette projekt anvendes timebaseret vejrdato for et gennemsnitligt år til at beskrive udeforholdene og der foretages, som minimum, beregning for hver time, så snart udetemperaturen adderet med temperaturstigningen i rumluften overskrider 26 °C. Dette bevirker at der regnes på et forskelligt antal timer for hver by ved hvert belastningstilfælde, men det bevirker også at der spares den del beregninger, der findes unødvendige, eftersom rumlufttemperaturer på mindre end eller lig med 26 °C ikke anses for værende problematiske.

Beregningerne foretages hovedsagelig i Matlab, hvor et script er opsat for systemtype I, III, IV og V for hhv. de danske og de andre europæiske byer, hvilket kan findes på bilagsDVD_2 sammen med de beregnede resultater. Beregningen foretages vha. Excel ved systemtype II, hvor der er et ark for hhv. de danske og de europæiske byer. De forskellige scripts og ark indeholder kommentarer til beregningsgangen.

Beregningerne er opsat så den lavest mulige rumluftstemperatur ved hver systemtype under de givne designkriterier findes. Dette betyder at der godt kan findes rumluftstemperaturer under 26 °C og at tilluftstemperaturen godt kan være for lav ved disse rumluftstemperaturer, men dette gennemgås ikke i resultatbehandlingen, da det antages at systemtyperne blot reguleres så de ikke kører for meget. Altså anses rumluftstemperaturer under eller lig 26 °C for værende uproblematiske.

Fugtbegrænsningen styrer efter den relative fugtighed i rumluften RF_{rum} , der maks. må være 70 %, som nærmere beskrevet i afsnit 5, og det bemærkes igen at det kun er befugteren på tilluftssiden der begrænses. Hvis RF_{rum} er over 70 % udregnes en ny befugtereffektivitetsgrad ud fra en RF_{rum} på 70 %, og denne effektivitetsgrad benyttes i stedet for den oprindelige, men sættes lig nul hvis den er mindre end nul. Situationer hvor befugtereffektivitetsgraden skal være mindre end nul for at sikre en RF_{rum} på 70 % kan forekomme pga. høj fugtighed i udeluften eller den indirekte fordampningskøling der forekommer ved nogle af systemtyperne (som ikke er begrænset).

Beregning af vådtermometeretemperatur skal ske numerisk, da ligningen herfor ikke kan løses analytisk, hvilket også gælder for beregningen af lufttemperaturen efter Desiccant Wheel ved systemtype V. Systemtype IV og V påvirkes direkte af rumluftens tilstand, som påvirkes af systemtypen, så ved disse systemtyper findes rumluftens tilstand iterativt vha. en overordnet løkke.

Udover rumluftstemperaturen findes rumluftens absolutte og relative fugtighed også, samt tilluftens temperatur og absolutte fugtighed, og ved systemtype V findes den energimængde som forbruges til opvarmning af regenereringsluften også. Disse data er gemt i tekstfiler, så der er en fil for hver systemtype ved hver belastningstilfælde for hhv. Danmark og Europa. De europæiske filer indeholder 123 kolonner og 8760 rækker, da der er 123 europæiske byer og 8760 timer på et år. Antallet af rækker og dermed timer er det samme for Danmark, men der er kun 15 kolonner, da der kun er 15 danske byer. Disse tekstfilers indhold samt navngivning er beskrevet nærmere i bilag A.

I (DS 474 1993) anbefales det at den operative temperatur i opholdszonen ikke overstiger 26 og 27 °C i hhv. 100 og 25 timer over et år, og i de frivillige lavenergiklasser 2015 og 2020 skal disse grænser overholdes jf. (Energistyrelsen 2010). Den operative temperatur antages for værende lig rumlufttemperaturen, så det er interessant at undersøge hvorvidt denne anbefaling kan overholdes for hver systemtype ved hvert belastningstilfælde.

Timer hvor rumlufttemperaturen overstiger 26 °C kaldes også for timer med overtemperatur. 26 °C er den maks. acceptable rumlufttemperatur ved et aktivitetsniveau på 1,2 met og 0,5 clo (DS 474 1993), og derfor fokuseres der mere på antallet af timer over 26 end 27 °C.

Antallet af timer over 26 °C er interessant, men det beskriver ikke hvor meget temperaturen er over 26 °C i hver time. Derfor findes antallet af gradtimer over 26 °C, som i dette projekt også benævnes overgradstimer OGT. Overgradstimerne findes ved at summere differensen imellem rumlufttemperaturen og de 26 °C for hver time af året hvor rumtemperaturen er over 26 °C. Metoden er nærmere beskrevet i (prEN 15251 2006) annex F.

Antallet af timer og gradtimer over 26 °C er fine redskaber til at beskrive kølingspotentialer for et FKS, men de beskriver ikke et realistisk tilfælde ved de valgte designkriterier, da de anvendte belastningstilfælde holdes konstante over alle timer af året. Derudover gælder anbefalingerne til termisk indeklima kun i brugstiden og denne er ved resultatbehandlingen sat til 100 % af årets timer. Antallet af timer og gradtimer over 26 °C har derfor deres begrænsning ift. beskrivelse af kølingspotentialer over hele året, hvilket også gælder for de resterende beregnede parametre.

Da de definerede belastningstilfælde 1-8 anses for at beskrive dimensionerende belastninger, vil det beregnede antal af timer og gradtimer over 26 °C overskride det reelle antal timer/gradtimer. De hundrede timer med højest rumlufttemperatur antages at forekomme indenfor brugstiden og med belastning som ved det givne belastningstilfælde. Det anses derfor for værende rimeligt at eftertjekke hvorvidt anbefalingerne fra DS 474 overholdes.

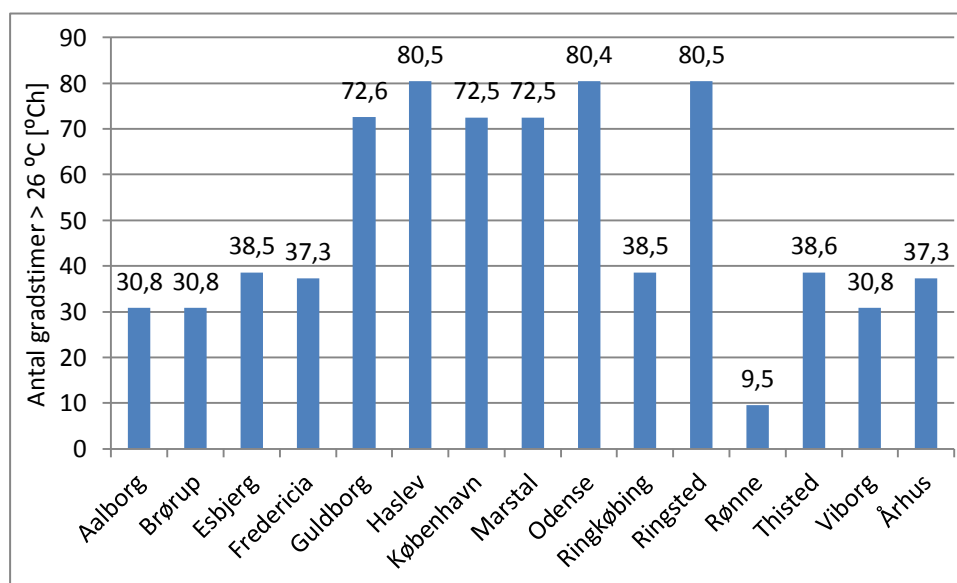
I dette projekt beskrives kølingspotentialer for FKS'erne altså hovedsagelig ud fra deres evne til at overholde anbefalingen fra DS 474, og overgradstimerne anvendes hovedsagelig til at sammenligne forskellige byer og belastningstilfælde.

7 Beregnet kølingspotentiale

I dette afsnit fremvises fundne resultater for Danmark og resten af Europa. Afsnittet er opdelt i et underafsnit for de 15 danske byer og et for de 123 europæiske byer. Udover at finde kølingspotentialet for de danske byer, bruges disse også til at vise hvor stor en variation der kan være på et geografisk lille område og derudover sammenlignes de danske byer med IWEC-filen for København, der repræsenterer en af de 123 europæiske byer. Ligesom de danske byer bruges de europæiske også til andet end at finde kølingspotentialet, da det først undersøges om Köppen-Geiger klimaklassificeringen kan anvendes til at beskrive kølingspotentialet og til at finde repræsentative byer. Yderligere anvendes udvalgte europæiske byer til at undersøge hvorvidt den relative luftfugtighed i rumluften kan holdes på et acceptabelt niveau for de seks systemtyper ved de forskellige belastningstilfælde.

7.1 Danmark

Der er foretaget beregninger for de 15 danske byer, der repræsenterer hver deres DRY-fil, som beskrevet i afsnit 3.1. Figur 7.1 viser antallet af overgradstimer OGT for systemtype I ved det 1. belastningstilfælde for de 15 byer.



Figur 7.1 Antal af gradtimer over 26 °C for systemtype I ved 1. belastningstilfælde for de 15 danske byer

Det ses at byerne Aalborg, Brørup og Viborg, samt Fredericia og Århus har samme antal overgradstimer, hvilket tilnærmelsesvis også gælder for Guldborg, København og Marstal, Haslev, Odense og Ringsted, samt Esbjerg, Ringkøbing og Thisted. Fælles for byerne med næsten samme antal overgradstimer er at de deler t_u / RF_u -zone, men ikke zone for atmosfærisk tryk.

Variationen i det atmosfæriske tryk over de forskellige t_u / RF_u -zoner er altså ikke særlig betydende for systemtype I ved 1. belastningstilfælde. For at vise at dette gælder for alle 8 belastningstilfælde ved alle seks systemtyper, udregnes middel og maks. afvigelse i antal af overgradstimer for byerne som deler t_u / RF_u -zone. Den maksimale afvigelse imellem byerne pr. kombinationsmulighed, altså otte

belastningstilfælde multipliceret med seks systemtyper, er fundet i excelarket "Gradtimer DNK15" på bilagsDVD_1. Tabel 7.1. viser den størst forekommende afvigelse samt den gennemsnitlige afvigelse for de byer der deler t_u/R_{F_u} -zone.

Byer i samme t_u/R_{F_u} -zone:	Middel afvigelse i OGT [$^{\circ}\text{Ch}$]	Maks. afvigelse i OGT [$^{\circ}\text{Ch}$]
Aalborg, Brørup og Viborg	0,1	1,5
Esbjerg, Ringsted og Thisted	0,2	1,8
Fredericia og Århus	0,1	1,4
Guldborg, København og Marstal	0,1	1,7
Haslev, Odense og Ringsted	0,2	2,2
Rønne	-	-

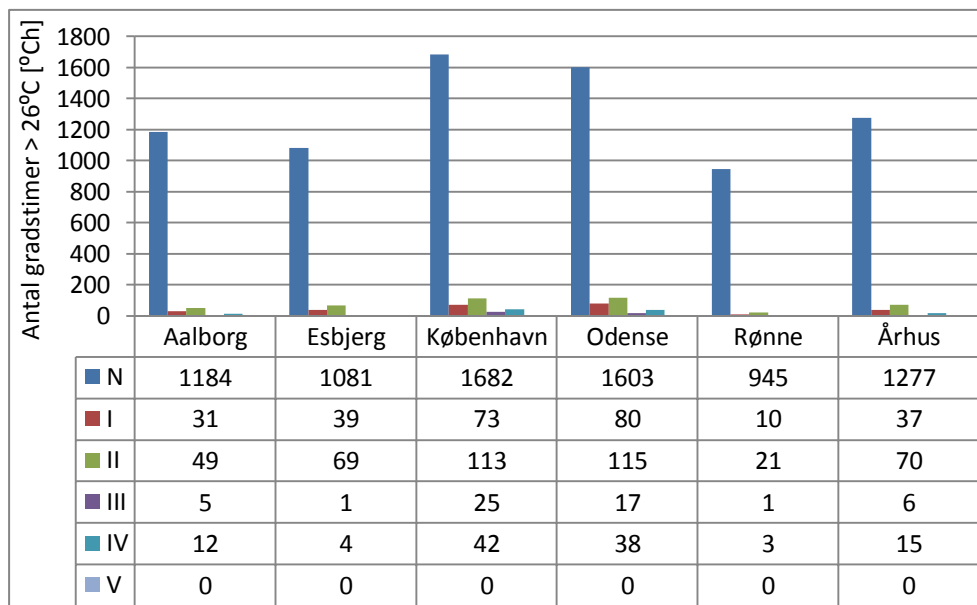
Tabel 7.1 Middel og maks. afvigelse i overgradtimer OGT ved alle belastningstilfælde og systemtyper for de byer som deler t_u/R_{F_u} -zone

Det ses at den største maksimale afvigelse i antal af overgradtimer sker imellem Haslev, Odense og Ringsted og at denne afvigelse er på 2,2 $^{\circ}\text{Ch}$, hvilket er en negligibel afvigelse, så det konkluderes at den atmosfæriske trykforskel over de enkelte t_u/R_{F_u} -zoner er negligerbar.

Derfor fremvises der herefter resultater for de fem største danske byer, Aalborg, Esbjerg, København, Odense og Århus, samt Rønne, eftersom disse seks byer dækker de seks t_u/R_{F_u} -zoner. Det bemærkes at Odense ligger i samme t_u/R_{F_u} -zone som Ringsted, der som beskrevet i afsnit 3.1, dækker de zoner der skal bruges til energiberegning, og derfor antages det at Odense er den by som bedst repræsenterer Danmark.

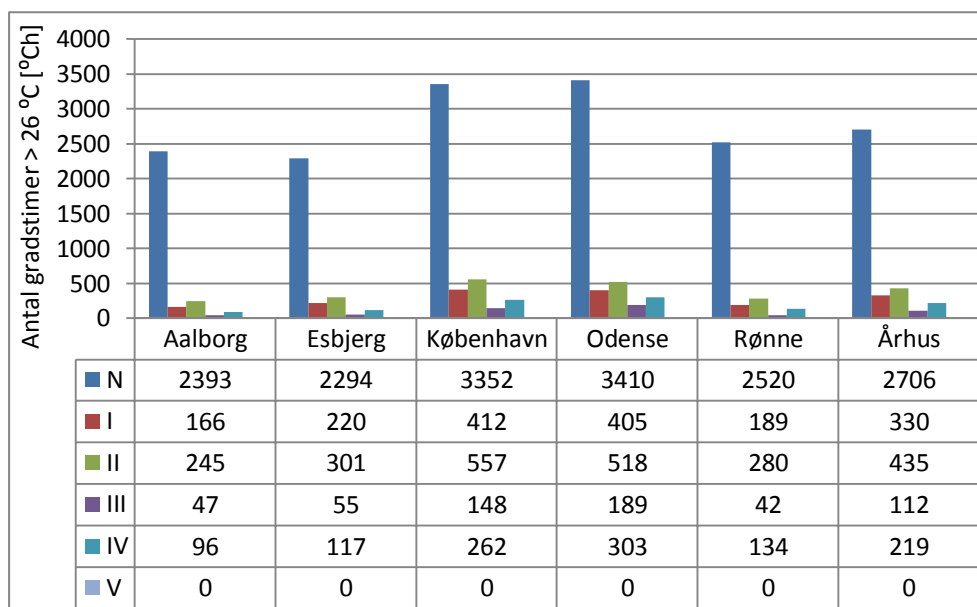
7.1.1 Variation imellem de danske byer

Det er interessant at undersøge variationen i antallet af overgradtimer imellem de danske byer, ved at vise variationen ved byer med denne kortere geografiske afstand, kan der beskrives hvilken usikkerhed der kan forventes ved interpolation af kølingspotentialet imellem de 123 europæiske byer. Figur 7.2 viser antallet af overgradtimer for udvalgte danske byer ved det 1. belastningstilfælde for alle seks systemtyper.



Figur 7.2 Antal overgradstimer for udvalgte danske byer for alle systemtyper ved det 1. belastningstilfælde

Rønne og København har hhv. det mindste og det største kølingsbehov, hvilket ses på systemtype N der beskriver mekanisk ventilation uden køling. Variationen imellem byerne afhænger også af den valgte systemtype, hvor det ses at Odense ved systemtype I og II har det højeste antal overgradstimer, men at København har det højeste antal ved systemtype III og IV. Figur 7.3 viser antal overgradstimer ved det 8. belastningstilfælde for alle systemtyper og udvalgte byer.



Figur 7.3 Antal overgradstimer for udvalgte danske byer ved det 8. belastningstilfælde

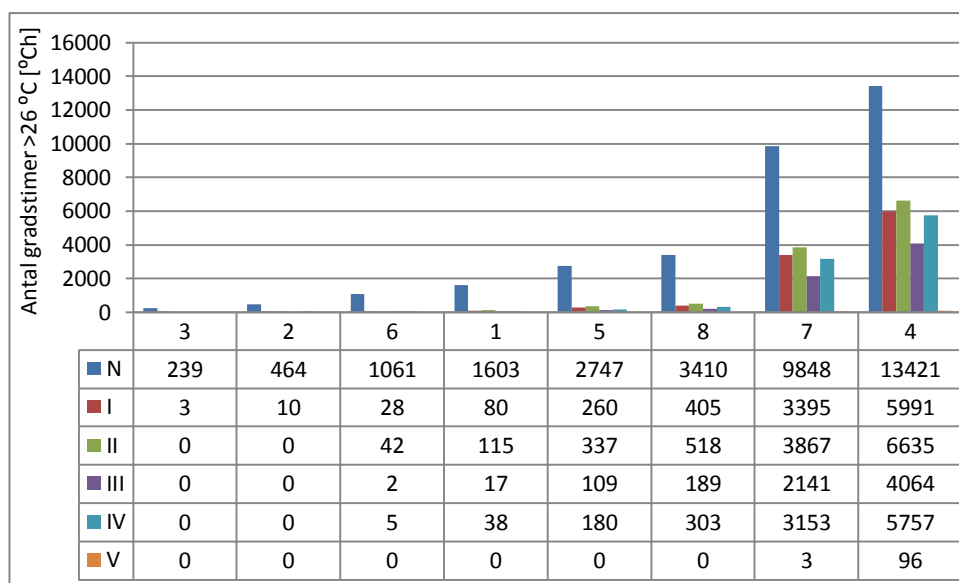
Det ses at antallet af overgradstimer er noget større end ved det 1. belastningstilfælde og at der også her er variation imellem byerne, men at det ikke følger helt samme mønster som ved det 1. belastningstilfælde. Esbjerg og Odense har nu hhv. det laveste og det højeste antal overgradstimer

ved systemtype N, og København og Odense har det højeste ved hhv. systemtype I og II, og systemtype III og IV, hvilket er modsat situationen ved det 1. belastningstilfælde.

Det ses også at Århus ved systemtype III og IV har over dobbelt så mange overgradstimer som Aalborg, og at den også ved systemtype I og II har væsentlig flere. Dette er interessant, eftersom der er under 70 km imellem de målestationer hvorfra data for disse byers t_u/RF_u -zoner er indhentet. Forskellen skyldes sandsynligvis Århus' kystnære placering, der generelt medfører højere luftfugtighed med deraf følgende lavere FK effektivitet.

7.1.2 Variation imellem de otte belastningstilfælde

Figur 7.4 viser antallet af overgradstimer ved alle otte belastningstilfælde for Odense, der som tidligere nævnt er den mest repræsentative by for Danmark.

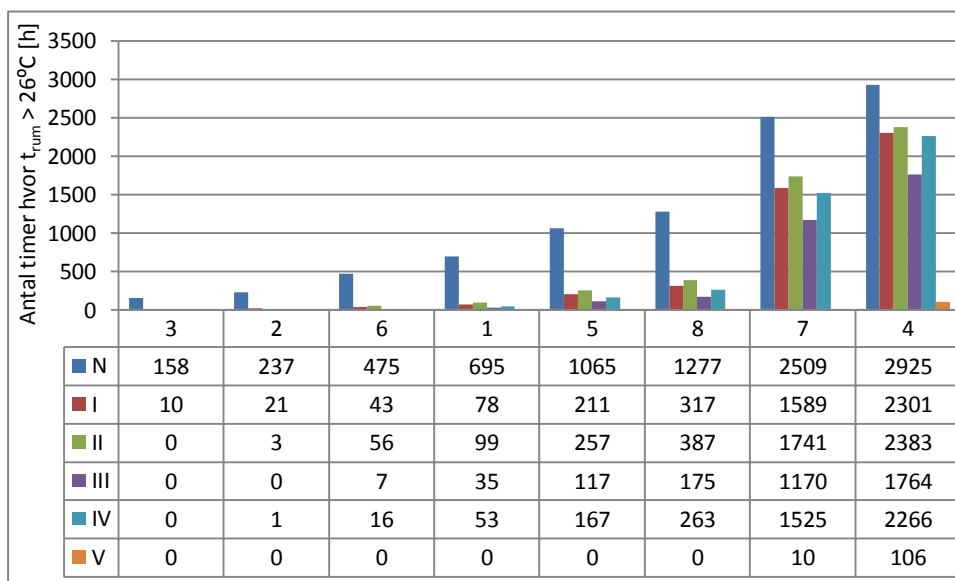


Figur 7.4 Antal overgradstimer ved alle systemtyper og belastningstilfælde for Odense, hvor belastningstilfældene er sorteret efter den temperaturstigning de medfører i rumluften Δt_{rum} , fra mindst til størst.

Det ses at antallet af overgradstimer følger størrelsen af rumlufttemperaturstigningen. Derudover ses det at systemtype V ikke kan sikre nul overgradstimer ved det 7. og 8. belastningstilfælde. Det bemærkes yderligere at systemtype II er bedre end systemtype I ved 2. og 3. belastningstilfælde, hvilket skyldes den begrænsning der er på systemtype I ift. maks. accepteret relativ luftfugtighed i rumluften RF_{rum} .

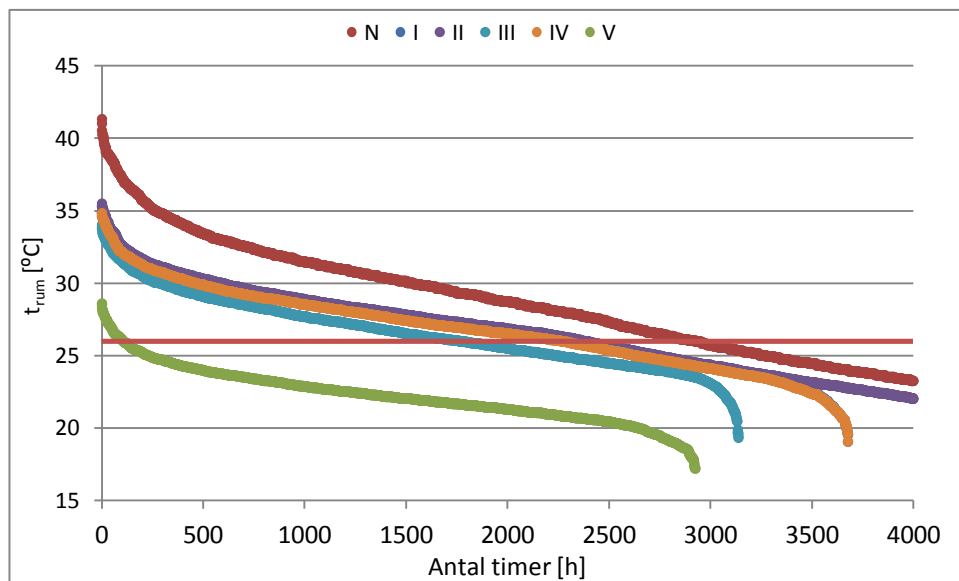
Det bemærkes derfor også at der ved disse belastningstilfælde kan være problemer med for høj RF_{rum} ved systemtype II, III og IV, men dette undersøges ikke nærmere for de danske byer, da problemet umiddelbart kun opstår i en kortere perioder og kan undgås med korrekt styring. Korrekt styring er i denne forbindelse en neddrogning af befugterens eller varmevekslerens virkningsgrad, så antallet af overgradstimer øges, hvilket dog maks. bør give samme antal overgradstimer som ved systemtype I.

Figur 7.5 viser antallet af timer med overtemperatur ved alle systemtyper og belastningstilfælde for Odense, så sammenhængen imellem antallet af overgradstimer og timer med overtemperatur for Odense, og tilnærmelsesvis resten af Danmark, kan vises.



Figur 7.5 Antal timer med overtemperatur ved alle systemtyper og belastningstilfælde for Odense, hvor belastningstilfældene er sorteret efter den temperaturstigning de medfører i rumluften Δt_{rum} , fra mindst til størst.

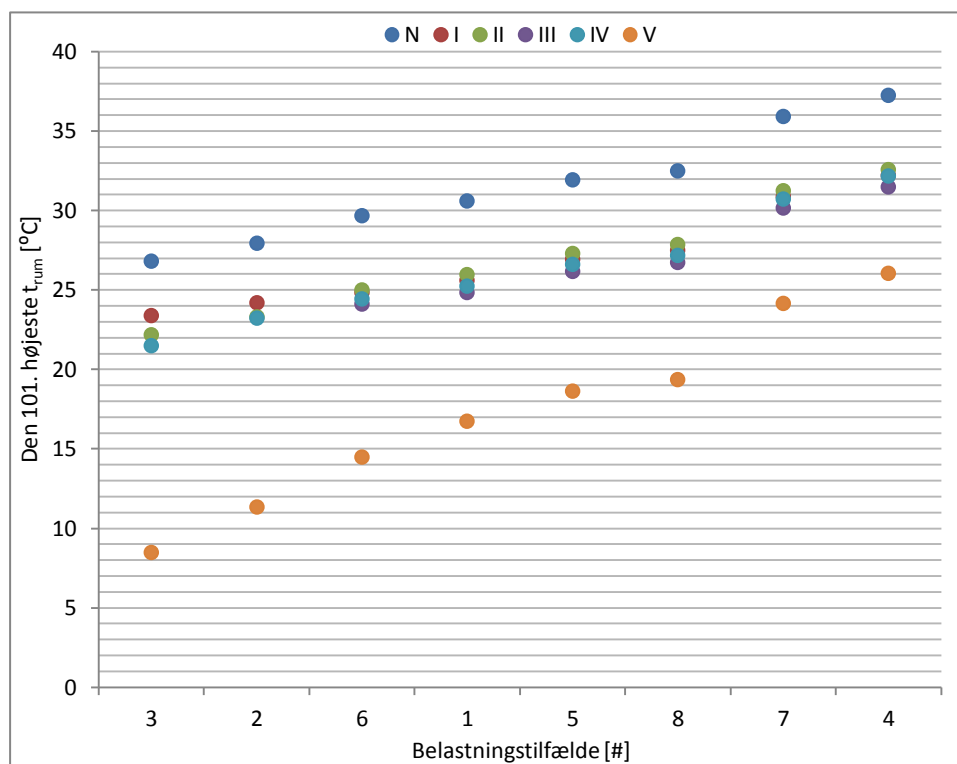
Ved systemtype N er der flere overgradstimer end timer med overtemperatur, hvilket viser at rumlufttemperaturen Δt_{rum} gennemsnitlig er mere end en °C over de 26 °C for denne systemtype. Dette er ikke tilfældet for systemtype I, II, III, IV og V ved hhv. 3-6, 2-6, 6-5, 2-1 og 7-4 belastningstilfældene, så her er Δt_{rum} gennemsnitlig mindre end en °C over 26 °C. Figur 7.6 viser rumlufttemperaturen t_{rum} ved det 4. belastningstilfælde for alle systemtyper, sorteret fra største til mindste, for dermed som eks. at vise hvor stor en overtemperatur der forekommer.



Figur 7.6 Rumlufttemperatur t_{rum} for det 4. belastningstilfælde ved alle systemtyper for Odense, sorteret fra største til mindste

Som i de forgående figurer ses det at alle FKS'er er bedre end systemtype N og at der er forskel på de fem FKS'er. Systemtype V er klart den bedste, efterfulgt af systemtype III, IV, I og II. Forskellen imellem systemtype I og IV er meget lille ved det 4. belastningstilfælde, eftersom systemtype IV kører som systemtype I når varmeveksling med afkølet fraluft ikke medfører øget køling. Det bemærkes at antallet af timer hvor beregningen har kørt for hver systemtype ikke er ens for systemtyperne, hvilket skyldes at systemtype II og N har kørt for alle timer, systemtype I og IV har kørt når $t_u + \Delta t_{rum} > 24\text{ °C}$, systemtype III har kørt når tilluftstemperaturen fra systemtype II + $\Delta t_{rum} > 26\text{ °C}$, og systemtype V har kørt når $t_u + \Delta t_{rum} > 26\text{ °C}$.

Eftersom DS 474 anbefaler maks. 100 timer over 26 °C , er det interessant at finde den 101. højest forekommende t_{rum} ved hvert belastningstilfælde, da størrelsen af en evt. overskridelse så kan vises. Figur 7.7 viser den 101. højeste t_{rum} ved alle belastningstilfælde for Odense.



Figur 7.7 Den 101. højeste t_{rum} ved alle belastningstilfælde for Odense

Den 101. højeste t_{rum} varierer en del imellem de forskellige systemtyper, og det ses igen at systemtype II er bedre end systemtype I ved 3. og 2. belastningstilfælde pga. fugtbegrænsningen.

7.1.3 Sammenligning med IWEC-fil for København

I resultatfremvisningen for Europa er Danmark repræsenteret med en IWEC-fil for København. Det findes interessant at undersøge hvorvidt denne IWEC-fil giver sammenlignelige resultater med DRY-filen for København, eftersom disse filer begge skal beskrive et repræsentativt år for København. Tabel 7.2 viser antallet af overgradstimer for både DRY og IWEC-filen ved alle otte belastningstilfælde og seks systemtyper.

	1		2		3		4		5		6		7		8	
	DRY	IWEC	DRY	IWEC	DRY	IWEC	DRY	IWEC	DRY	IWEC	DRY	IWEC	DRY	IWEC	DRY	IWEC
N	1.682	807	548	212	300	103	12.155	9.236	2.752	1.420	1.160	522	8.887	3.352	6.273	1.794
I	73	1	18	0	12	0	4.848	2.763	256	33	29	0	2.838	412	1.316	75
II	113	5	7	0	2	0	5.442	3.211	365	55	38	0	3.257	557	1.605	114
III	25	0	6	0	2	0	3.115	1.518	85	8	14	0	1.685	148	624	24
IV	42	0	11	0	3	0	4.635	2.581	150	20	19	0	2.595	262	1.121	49
V	0	0	0	0	0	0	75	5	0	0	0	0	15	0	0	0

Tabel 7.2 Antal overgradstimer ved DRY og IWEC-filen for København ved de otte belastningstilfælde og seks systemtyper

Det ses at IWEC-filen giver langt færre overgradstimer end DRY-filen, så der er stor forskel imellem disse vejrfiler, selvom de begge skal repræsentere et gennemsnitligt år for København. IWEC-filen er lavet ud fra vejrdato indsamlet imellem '82 og '99 og DRY-filen er lavet ud fra vejrdato indsamlet imellem '01 og '11, og vejrdatoene er derudover ikke indsamlet på den samme geografiske placering. Det kunne være interessant at undersøge denne forskel nærmere, men projektgruppen finder det for værende udenfor dette projekts fokus.

Det konkluderes derfor at der kan forekomme store afvigelser på vejrdato for det samme område og dermed også store afvigelser ved beregning af kølingspotentialer for et fordampningskølingssystem, så det er vigtigt at være opmærksom på dette.

7.1.4 Overholdelse af anbefaling fra DS 474

Som nævnt i afsnit 6 anbefaler (DS 474 1993) at den operative temperatur ikke overstiger 26 og 27 °C i mere end hhv. 100 og 25 timer om året, og det er et krav ved lavenergiklasse 2015 og 2020 jf. (Energistyrelsen 2010), og det bemærkes at den operative rumtemperatur antages at være nogenlunde lig rumlufttemperaturen. Tabel 7.3 viser de otte belastningstilfælde sorteret efter temperaturstigning i rumluften Δt_{rum} med den største temperaturstigning øverst, repræsenteret ved det 4. belastningstilfælde.

Δt_{rum}	Belastningstilfælde	Luftskifte	Termisk belastning	Fugtbelastning
[°C]	[#]	[h ⁻¹]	[W/m ²]	[g/(kg tør luft)]
13,2	4	3	40	0,46
11,9	7	5	60	0,28
8,5	8	7	60	0,2
7,9	5	5	40	0,28
6,6	1	3	20	0,46
5,7	6	7	40	0,20
4	2	5	20	0,28
2,8	3	7	20	0,2

Tabel 7.3 Belastningstilfælde, sorteret efter temperaturstigning i rumluften

Antallet af timer med overtemperatur følger temperaturstigning i rumluften, så en større temperaturstigning medfører et større antal timer med overtemperatur. Hvis systemtype I eksempelvis kan sikre at anbefalingen fra DS 474 overholdes ved det 1. belastningstilfælde, kan systemtypen også overholde anbefalingen ved det 6., 2. og 3. belastningstilfælde.

Tabel 7.4 viser det belastningstilfældenr., som hver systemtype maks. kan sikre at anbefalingen kan overholdes for, ved de danske byer. Tabellen er farvegraderet, fra hvid, hvor ingen belastningstilfælde kan overholde anbefalingen, til mørkegrøn, hvor alle belastningstilfælde kan.

Vejrfil	Bynavn	N	I	II	III	IV	V
1	Aalborg	0	1	1	8	5	4
2	Brørup	0	1	1	8	5	4
3	Esbjerg	0	1	6	8	5	4
4	Fredericia	0	1	6	5	1	4
5	Guldborg	0	1	6	1	1	7
6	Haslev	0	6	6	1	1	7
7	København	0	1	6	1	1	7
8	Marstal	0	1	6	1	1	7
9	Odense	0	6	6	1	1	7
10	Ringkøbing	0	1	6	8	5	4
11	Ringsted	0	6	6	1	1	7
12	Rønne	0	1	1	8	5	4
13	Thisted	0	1	6	8	5	4
14	Viborg	0	1	1	8	5	4
15	Århus	0	1	6	5	1	4

Tabel 7.4 Det værste belastningstilfælde hvor DS 474 kan overholdes ved de seks systemtyper for de 15 danske byer

Des ses at systemtyperne ikke kan sikre et anbefalingen overholdes ved det samme belastningstilfælde for de 15 danske byer, hvilket skyldes den førnævnte variation imellem disse. Systemtype III, der er det næstmest effektive system ift. nedkøling af udeluften, kan sikre et acceptabelt termisk indeklima i Aalborg, Brørup, Esbjerg, Ringkøbing, Rønne, Thisted og Viborg ved det 8. belastningstilfælde, samt sikre et i Århus og Fredericia ved det 5. belastningstilfælde.

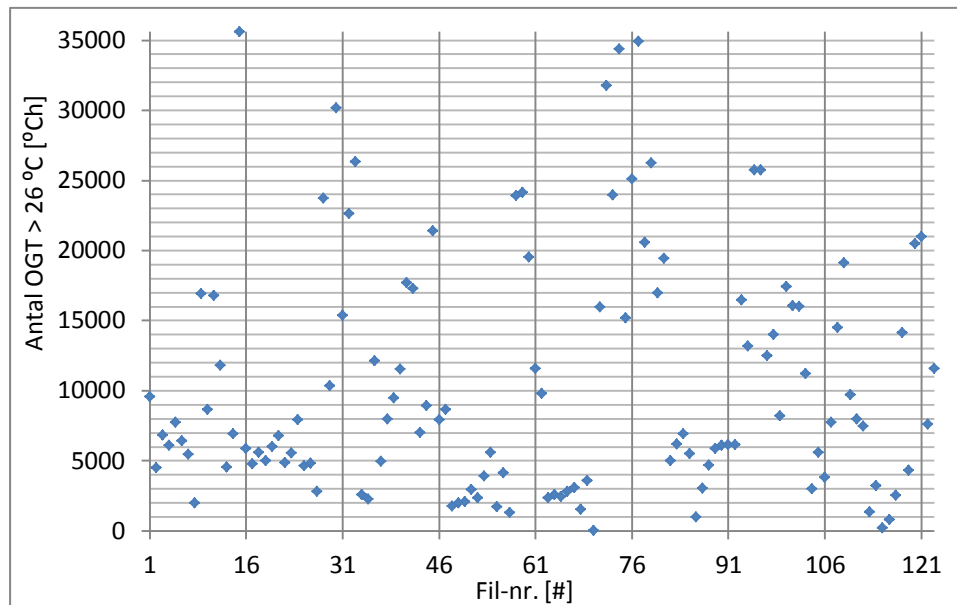
Systemtype III kan sikre at anbefalingen er overholdt ved det 1. belastningstilfælde for de fynske og sjællandske byer, så disse byer er lidt værre stillet end de jyske og den bornholmske by. Systemtype V kan sikre at kravene er overholdt ved det 4. belastningstilfælde ved de jyske og den bornholmske by, og ved det 7. belastningstilfælde for de fynske og sjællandske byer. Systemtype V er dermed det bedste system, men det bemærkes at dette system fordrer opvarmning af regenereringsluften for at fungere optimalt.

Yderligere ses det at systemtype N, der repræsenterer et system uden FK, ikke kan sikre at anbefalingen overholdes ved nogen af belastningstilfældene, overhovedet.

[Tom side]

7.2 Europa

Figur 7.8 viser antallet af overgradstimer ved det 4. belastningstilfælde med systemtype I for alle 123 europæiske byer, hvor byerne vises efter fil-nr., angivet i bilag A.



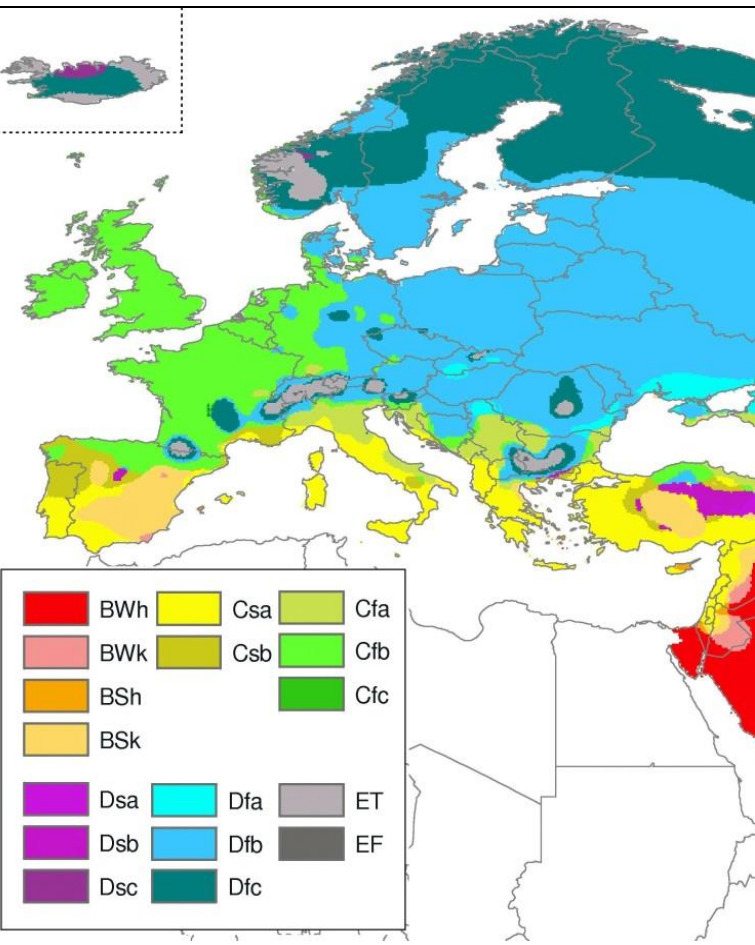
Figur 7.8 Antallet af overgradstimer ved det 4. belastningstilfælde for systemtype I

Det ses at der er store variationer imellem byerne og det er derfor ønskeligt at finde en metode til inddeling af byerne, og derfor undersøges det om Köppen-Geiger klimaklassificeringen kan anvendes. Köppen-Geiger klassificeringen inddeler klimaet i fem overordnede klimazoner med flere underzoner og underunderzoner, ud fra lufttemperatur og relativ luftfugtighed, hvilket er umiddelbart er passende for FKS'er, da udeluftens temperatur og relative fugtighed er betydende ved disse.

Udover at en inddeling er praktisk ift. resultatfremvisning, så er det også interessant at undersøge hvorvidt andre byer end de 123 kan beskrives ud fra inddelingen.

7.2.1 Anvendelse af Köppen-Geiger klimaklassificeringen

Det undersøges om Köppen-Geiger klimaklassificeringen kan bruges til at kategorisere kølingspotentialer for FK for de 123 europæiske byer. Köppen-Geiger klassificeringen inddeler klimaet i fem overordnede klimazoner med flere underzoner og underunderzoner, ud fra lufttemperatur og nedbørsmængde. Det undersøges hvorvidt der er tilstrækkelig lav variation indenfor en klimazone til at Köppen-Geiger klimaklassificeringen kan bruges til at beskrive kølingspotentialer for andre europæiske byer i samme klimazone, samt finde en repræsentativ by for hver klimazone og derved overskueliggøre resultatfremvisningen for de 123 europæiske byer. Klimazonerne med tilhørende beskrivelse samt kort over Europa med disse indtegnet kan ses i Tabel 7.5.

1.	2.	3.	Beskrivelse:	Europakort med indtegnede klimazoner:
A	f m w		Tropisk Regnskov Monsun Savanne	
B	W S		Tørt Ørken Steppe	
C	h k s w f		Meget varmt Koldt	
			Tempereret	
			Tør sommer	
			Tør vinter	
			Ingen tør årstid	
D	a b c s w f		Meget varm sommer	
			Varm sommer	
			Kold sommer	
			Koldt	
			Tør sommer	
E	a b c d T F		Tør vinter	
			Ingen tør årstid	
			Meget varm sommer	
			Varm sommer	
			Kold sommer	
			Meget kold sommer	
			Polarisk	
			Tundra	
			Frost	

Tabel 7.5 Köppen-Geiger klimazoner modificeret ud fra (Peel, Finlayson og McMahton 2007)

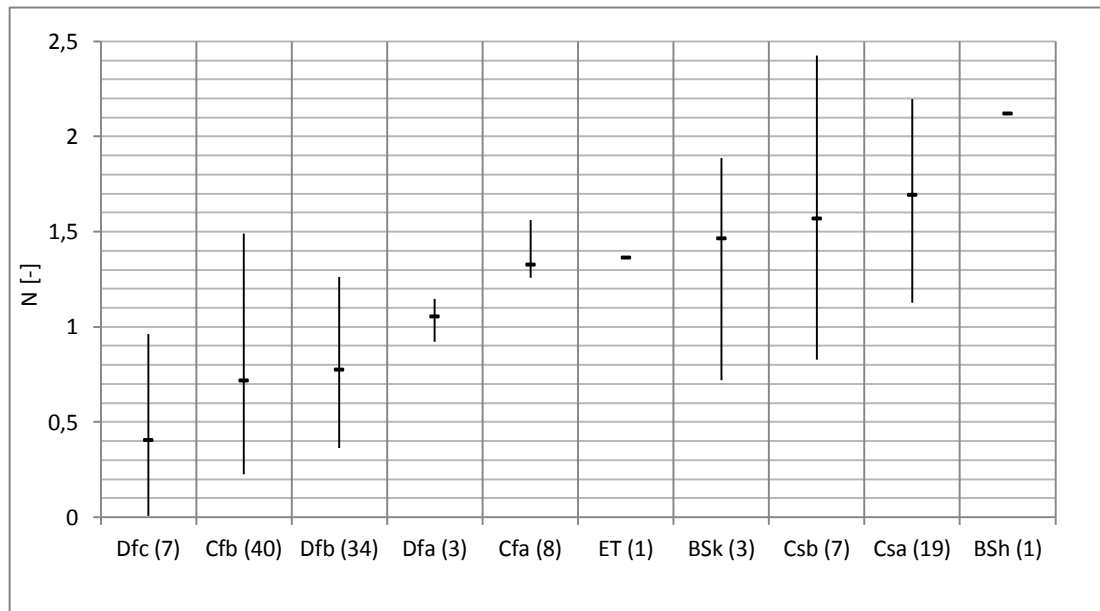
For at sammenligne byerne og de forskellige klimazoner findes et forholdstal ud fra antallet af overgradstimer for det 4. belastningstilfælde ved systemtype I. Det 4. belastningstilfælde vælges fordi alle byer har overgradstimer her, og der derved ikke kan opstå et forkert forholdstal pga. byer med nul overgradstimer, der ikke er lige langt fra at have overgradstimer. Forholdstallet er beregnet med ligning 7.1.

$$N_{by} = \frac{OGT_{by}}{OGT_{byer}} \quad 7.1$$

Hvor:

- N_{by} Forholdstallet for en by [-]
- OGT_{by} Antal overgradstimer for en by [-]
- $\overline{OGT}_{byer}$ Gennemsnitligt antal overgradstimer for alle byer [-]

Figur 7.9 viser maksimum-, minimum- og middelforholdstallet for de 10 forskellige klimazoner, sorteret efter middelværdien fra lav til høj. Tallet i parentes angiver antallet af de 123 byer som er indeholdt i hver zone, og i bilag A kan klimazonen for hver by findes.



Figur 7.9 Min., maks. og middel af forholdstallet N for hver klimazone, samt antallet af byer i hver zone angivet i parentes

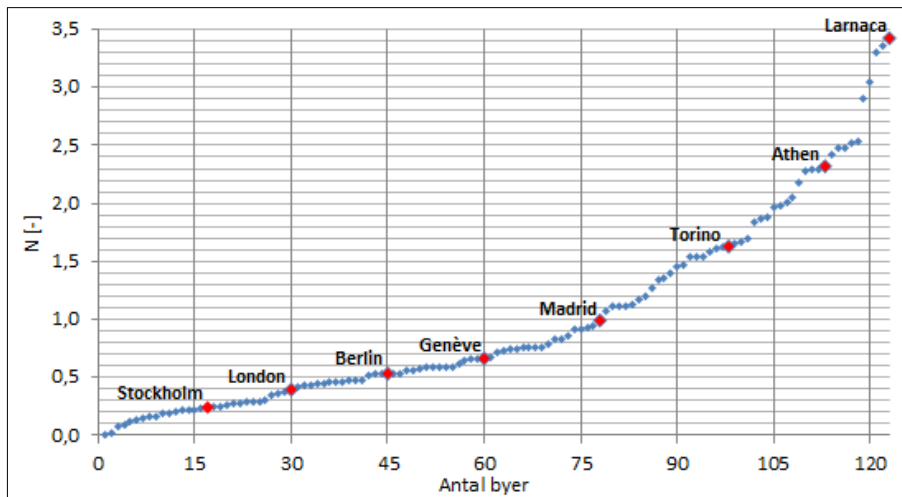
Det ses at der er en stor variation imellem min. og maks. ved de fleste af klimazonerne og at zonerne overlapper hinanden. Maks. for klimazonen Dfc er f. eks. større end min. for klimazonen Csb, selvom middel af Csb er dobbelt så stor som middel af Dfc.

Det bemærkes at antallet af byer i hver klimazone er for lav til at fastslå om der er en direkte sammenhæng imellem antallet af overgraddstimer og klimazonerne med sikkerhed, men de fundne resultater indikerer at den interne variation i hver zone er for stor til at kølingspotentialet kan beskrives ud fra denne. Klimazonerne er også uanvendelige til at finde repræsentative byer, eftersom de gennemsnitlige byer for nogle af zonerne har næsten ens forholdstal, hvilket med en by for hver zone giver en dårlig repræsentation af de 123 byer.

Der arbejdes derfor ikke videre med klimazonerne, så kølingspotentialet for et FKS beskrives ikke ud fra disse, og repræsentative byer findes i stedet ud fra forholdstallet N.

7.2.2 Udvælgelse af repræsentative byer

Figur 7.10 viser de repræsentative byer, der er fundet ud fra forholdstallet N ved først at sortere byerne efter denne, mindst til størst, og derefter udvælge cirka hver 15. by, alt efter hvilken kendt storby der ligger tættest på.



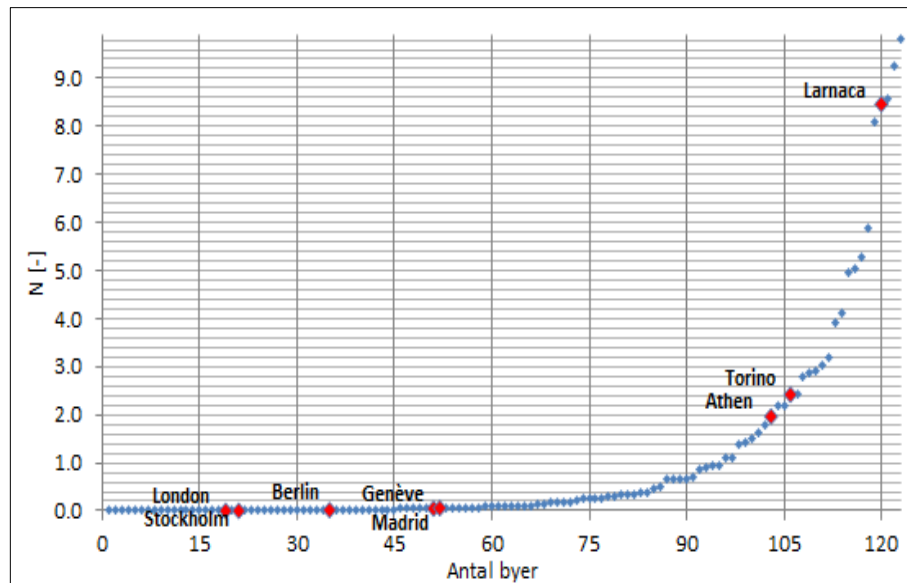
Figur 7.10 Byer sorteret efter forholdstallet N for systemtype I ved det 4. belastningstilfælde, mindst til størst, med de udvalgte repræsentative byer markeret med navn og farve (rød)

Den mest kendte by defineres ud fra projektgruppens mening, hvilket dog ikke anses for værende problematisk, eftersom de repræsentative byer benyttes til eksempler og at kølingspotentialer derefter defineres for alle byer. Tabel 7.6 viser de udvalgte repræsentative byer, deres fil-nr., det land de tilhører, placering i Europa samt N.

Fil-nr.	Land	Bynavn	Placering	N [-]
117	SWE	Stockholm	Nordeuropa	0,2
56	GBR	London	Nordeuropa	0,4
18	DEU	Berlin	Vesteuropa	0,5
14	BEL	Genève	Vesteuropa	0,7
29	ESP	Madrid	Sydeuropa	1,0
80	ITA	Torino	Sydeuropa	1,6
59	GRC	Athen	Sydeuropa	2,3
15	CYP	Larnaca	Vestasien	3,4

Tabel 7.6 Repræsentative europæiske byer

Det bemærkes at Stockholm har det 15. laveste forholdstal N og at min. N dermed ikke er repræsenteret, hvorimod maks. N repræsenteres ved Larnaca. Derudover bemærkes det at N er lavet ud fra systemtype I ved det 4. belastningstilfælde, så den viste rækkefølge er passer kun herfor. Systemtype V er f. eks. anderledes, som det ses i Figur 7.11, hvor forholdstallet N er beregnet for denne systemtype ved det 4. belastningstilfælde.



Figur 7.11 Byer sorteret efter forholdstallet N for systemtype V ved det 4. belastningstilfælde, mindst til størst, med de udvalgte repræsentative byer markeret med navn og farve (rød)

London og Stockholm, samt Genève og Madrid har næsten ens forholdstal N . Det ses at de byer med lavt N er godt repræsenterede, hvorimod de med højt N ikke er så godt repræsenterede, men de repræsentative byer fastholdes og bruges til eksempler i de kommende afsnit.

7.2.3 Variation imellem systemtyper og repræsentative byer

Ved de europæiske byer følger antallet af overgradstimer temperaturstigningen i rumluften t_{rum} , ligesom ved de danske byer. Tabel 7.7 viser som forventet stor variation imellem de udvalgte byer ved ens belastningstilfælde og systemtype.

Bynavn	Systemtype	Belastningstilfælde [#]							
		3	2	6	1	5	8	7	4
Stockholm	N	203	372	847	1.274	2.104	2.562	7.173	9.904
	I	0	0	0	0	9	34	1.197	2.525
	II	0	0	0	0	33	81	1.529	3.056
	III	0	0	0	0	2	8	445	1.167
	IV	0	0	0	0	5	14	870	2.169
	V	0	0	0	0	0	0	0	2
London	N	341	606	1.259	1.804	2.803	3.343	8.609	12.032
	I	0	0	1	7	71	147	2.088	4.113
	II	0	0	6	29	148	260	2.572	4.750
	III	0	0	0	0	1	9	895	2.209
	IV	0	0	0	0	9	32	1.699	3.741
	V	0	0	0	0	0	0	0	1
Berlin	N	1.342	1.875	3.039	3.908	5.485	6.311	13.579	17.623
	I	2	5	14	65	302	491	3.296	5.546
	II	0	2	57	179	537	783	4.040	6.500
	III	0	0	0	1	17	49	1.368	2.765
	IV	0	0	0	3	45	119	2.307	4.579
	V	0	0	0	0	0	0	0	14
Genève	N	1.583	2.286	3.714	4.761	6.573	7.501	15.173	19.256
	I	4	13	36	136	520	787	4.338	6.908
	II	0	4	101	305	832	1.162	5.153	7.914
	III	0	0	1	5	72	142	2.087	3.940
	IV	0	0	2	16	132	242	3.270	5.900
	V	0	0	0	0	0	0	1	43
Madrid	N	7.482	9.261	12.517	14.647	18.058	19.715	31.894	37.799
	I	63	101	233	524	1.225	1.658	6.783	10.304
	II	42	153	623	1090	2.089	2.665	8.756	12.651
	III	2	4	6	12	63	123	1.958	3.825
	IV	2	5	8	16	72	142	2.817	5.916
	V	0	0	0	0	0	0	6	52
Torino	N	2.431	3.632	6.134	7.892	10.821	12.259	23.154	28.419
	I	591	870	1.284	2.044	3.757	4.685	12.701	16.935
	II	132	423	1.477	2.438	4.276	5.264	13.579	17.918
	III	125	314	666	1.104	2.393	3.141	10.049	13.863
	IV	105	471	826	1.436	3.024	3.916	12.055	16.438
	V	0	0	0	0	0	2	685	2.123
Athen	N	9.744	12.759	18.131	21.487	26.645	29.059	45.708	53.424
	I	674	940	1.404	2.545	4.985	6.345	18.093	24.123
	II	182	582	2.178	3.664	6.598	8.148	20.631	26.841
	III	97	208	367	703	1.773	2.458	10.334	15.275
	IV	47	227	426	916	2.335	3.233	13.955	20.431
	V	0	0	0	0	2	3	450	1.723
Larnaca	N	11.381	14.985	21.335	25.320	31.422	34.266	54.069	62.975
	I	3.500	4.388	5.467	7.513	11.586	13.581	28.415	35.598
	II	1.310	2.833	6.277	8.849	13.213	15.301	30.715	38.102
	III	1.104	2.026	3.072	4.337	7.407	9.001	21.505	27.784
	IV	918	2.461	3.475	5.184	8.845	10.721	25.728	33.325
	V	0	0	1	3	31	76	3.497	7.420

Tabel 7.7 Antal overgradstimer ved alle systemtyper og belastningstilfælde for de repræsentative byer

Det ses at Madrid har flere overgradstimer end Torino ved systemtype N og færre ved systemtype I-V, så udeluften er varmere og mere tør i Madrid end den er i Torino. Derudover bemærkes det at systemtype IV er bedre end systemtype III ved det 3. belastningstilfælde for Torino og Athen, hvilket viser at systemtype IV kan være bedre end systemtype III, som tidligere beskrevet i afsnit 2.2.2.

Det ses antallet af overgradstimer ved systemtype I og II som ventet stiger med rækkefølgen af byerne, og det er også tilfældet ved systemtype III og IV med undtagelse af Madrid, som har færre end Genève ved disse systemtyper, og Athen der, med undtagelse af det 7. og 4. belastningstilfælde, har færre end Torino. Athen har også færre overgradstimer end Torino ved systemtype V, som det også blev vist vha. forholdstallet N for denne systemtype (kun beregnet for det 4. belastningstilfælde).

Systemtype III-V fungerer bedst ved lavt fugtindhold, som tidligere beskrevet i afsnit 2.2.3, hvilket er medvirkende til at Athen kan have færre overgradstimer end Torino. At Madrid har færre end Genève kan begrundes på samme måde.

I bilag B og C kan en tilsvarende tabel for de repræsentative byer med hhv. antal timer med overtemperatur og den 101. højeste rumlufttemperatur findes. Disse tabeller viser cirka det samme ift. systemtypernes funktion, men antallet af timer med overtemperatur kan derudover bruges til sammenligning med antallet af overgradstimer, så man kan få en idé om hvor meget temperaturen overskrider de 26 °C.

7.2.4 Relativ luftfugtighed i rumluft ved repræsentative byer

Det er, som beskrevet i afsnit 2.2.2, vigtigt at sikre at den relative fugtighed i rumluften RF_{rum} ikke bliver for høj, da dette kan give problemer med husstøvmider og skimmelsvamp, og det anbefales generelt at holde den under 70 % (DS/CEN/CR 1752 2001). Det er derfor interessant at undersøge RF_{rum} ved de forskellige systemtyper og belastningstilfælde for de udvalgte europæiske byer, da FK ændrer på luftens tilstand ved enten at øge den relative luftfugtighed, eller både den relative og absolutte luftfugtighed, og derfor kan medvirke til at RF_{rum} overskrider de 70 %.

Systemtype I, der er et direkte FKS, kan ikke give problemer med fugtigheden, da befugteren på dette system er begrænset så denne ikke kan øge RF af tilluften mere end at RF_{rum} holdes under eller lig de 70 %. Hvis RF_{rum} ved denne systemtype er over 70 % skyldes det at der indblæses udeluft, så det må accepteres ligesom ved naturlig ventilation, medmindre der installeres en affugter eller luften opvarmes. Systemtype I bliver derfor ikke undersøgt nærmere, da systemtypen ikke kan få RF_{rum} til at overstige de 70 %.

Systemtype II, der er et indirekte FKS, kan give problemer ift. maks. RF_{rum} , da der ikke er nogen begrænsning på denne, hvilket er valgt af projektgruppen, eftersom andre mekaniske kølingssystemer med "tør køling" vil få de samme problemer som denne. Systemtype II undersøges derfor nærmere.

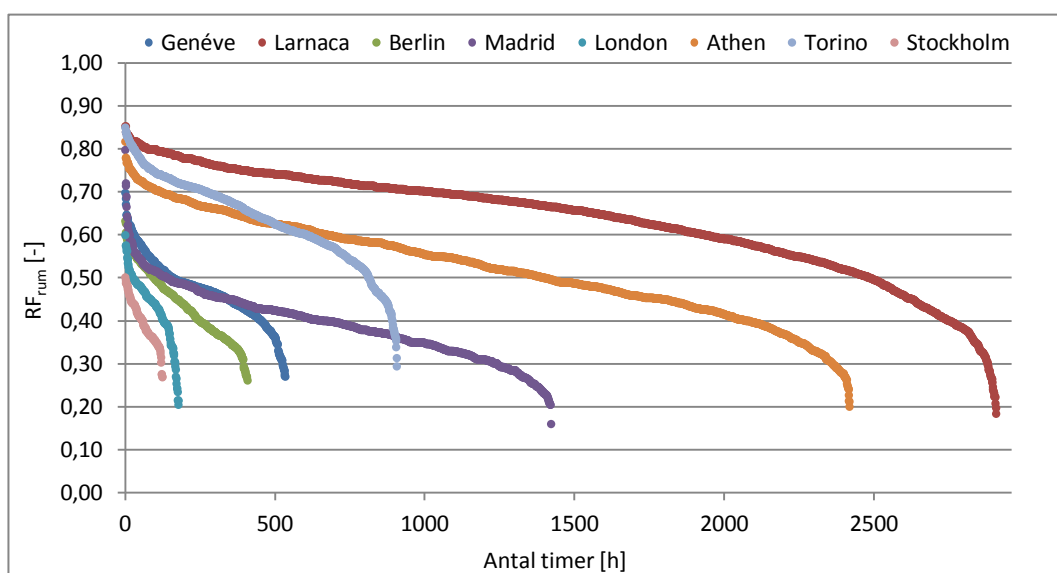
Systemtype III er et kombineret indirekte og direkte FKS som indeholder to befugtere, hvoraf den ene, som bruges til direkte FK og derfor kan ændre på den absolutte luftfugtighed, er begrænset som

ved systemtype I. Den indirekte del er ikke begrænset og er identisk med systemtype II, så i dette henseende er systemtype III lig systemtype II, og det er derfor nok at undersøge systemtype II.

Systemtype IV er også et kombineret indirekte og direkte FKS, hvor den indirekte del sidder på fraluften i stedet på tilluften. Dette system kan give problemer, så det bliver også undersøgt nærmere.

Systemtype V er også et kombineret indirekte og direkte FKS, med enhederne placeret som ved systemtype IV, men det har derudover et desiccant wheel, der fungerer som affugter, og sikrer imod at denne systemtype giver problemer.

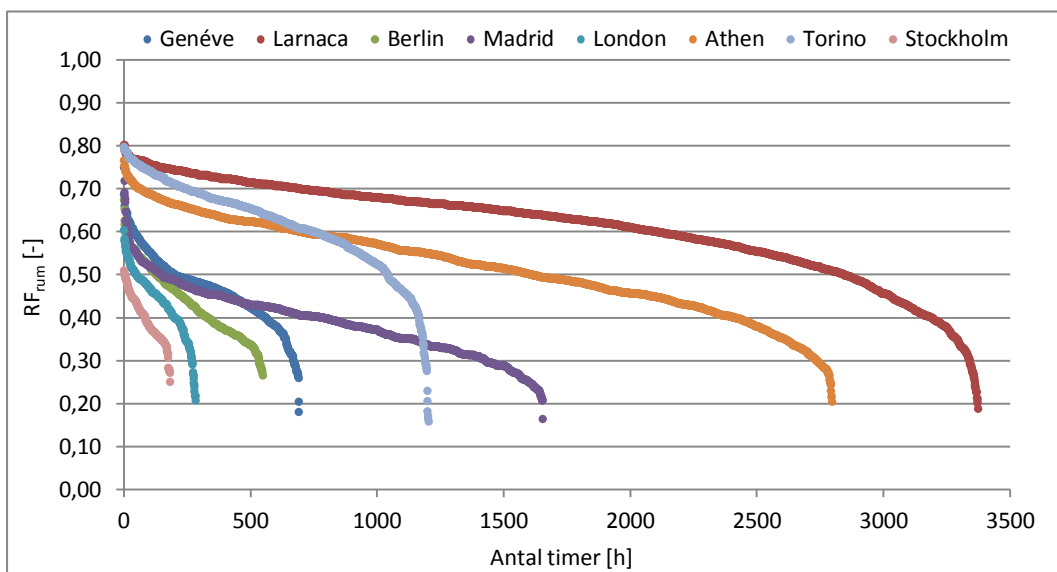
Det er altså tilstrækkeligt at undersøge RF_{rum} ved systemtype II og IV, da systemtype I og V ikke kan give problemer ift. maks. RF_{rum} , og systemtype III ikke kan give flere problemer end systemtype II. Eftersom den anvendte beregningsmetode giver den lavest mulige rumlufttemperatur t_{rum} omregnes RF_{rum} , så når t_{rum} er under 26 °C sættes lig den lig 26 °C og RF_{rum} udregnes herfor. Figur 7.12 viser RF_{rum} for de repræsentative byer ved systemtype II (& III) for de timer hvor systemet er aktiveret ved det 3. belastningstilfælde, sorteret efter RF_{rum} fra størst til mindst.



Figur 7.12 RF_{rum} for de timer hvor systemtype II (& III) er aktiveret ved det 3. belastningstilfælde for de udvalgte europæiske byer, sorteret fra størst til mindst

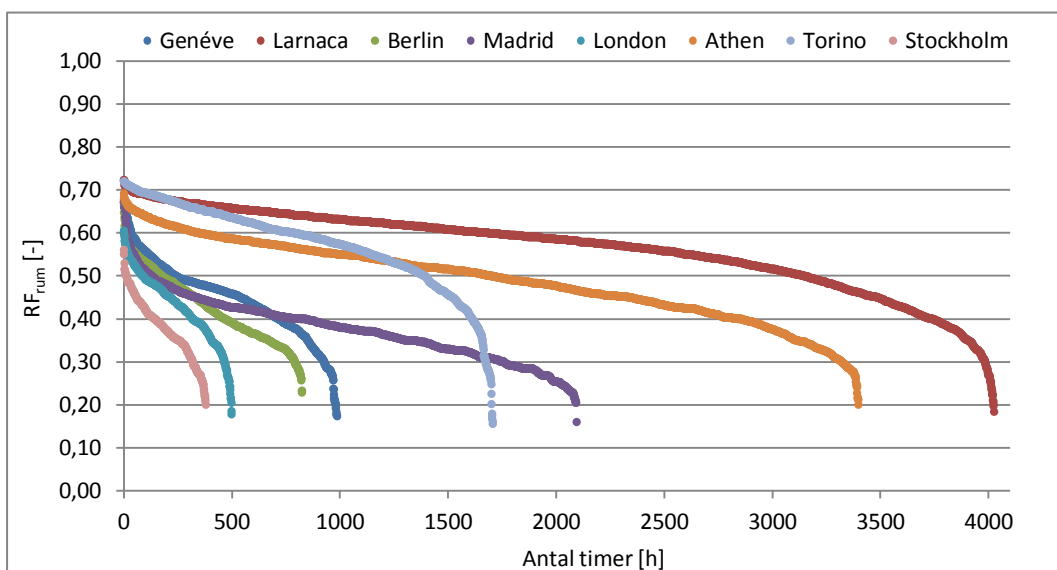
Det ses at antallet af timer med RF_{rum} over 70 % varierer meget imellem de forskellige byer, ligesom selve antallet af timer hvor systemtypen er aktiveret også varierer. Det bemærkes at RF_{rum} kun overskrider de 70 % for Larnaca, Athen og Torino, hvilket forekommer i hhv. 1019, 120 og 274 timer, så det er kun ved disse byer, og byer der er sammenlignelige med disse, at der kan opstå problemer for systemtype II (& III) ved det 3. belastningstilfælde.

Figur 7.13 viser RF_{rum} for de repræsentative byer ved systemtype II (& III) for de timer hvor systemet er aktiveret ved det 2. belastningstilfælde, sorteret efter RF_{rum} fra størst til mindst.



Figur 7.13 RF_{rum} for de timer hvor systemtype II (& III) er aktiveret ved det 2. belastningstilfælde for de udvalgte europæiske byer, sorteret fra størst til mindst

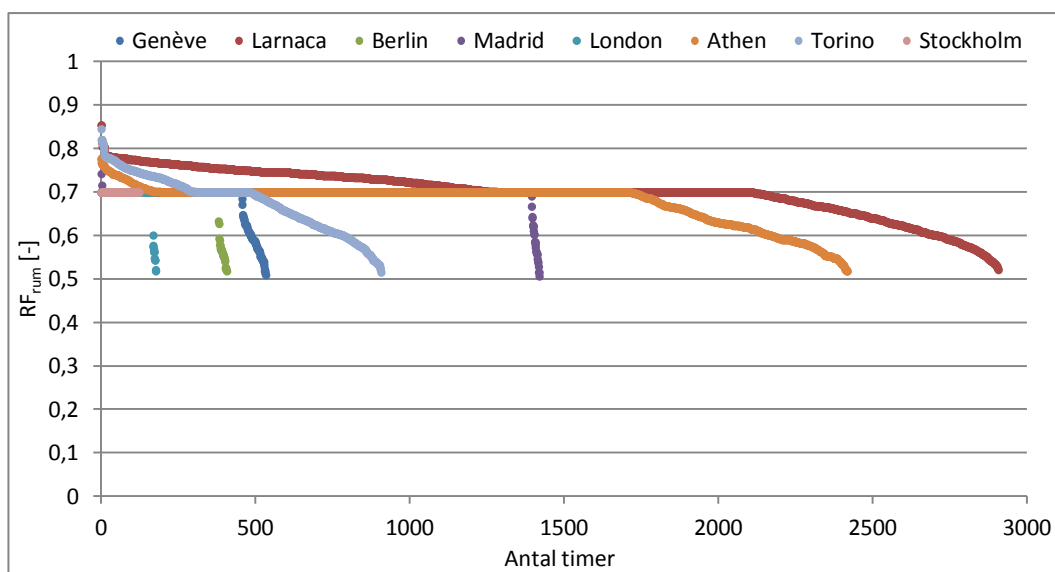
Det ses at antallet af timer med RF_{rum} over 70 % er mindre end ved det 3. belastningstilfælde, imens at antallet af timer hvor systemtypen er aktiveret stiger. Larnaca, Athen og Torino har stadig timer med RF_{rum} på over 70 %, men antallet er reduceret til hhv. 693, 66 og 242 timer. Figur 7.14 viser RF_{rum} for de repræsentative byer ved systemtype II (& III) for de timer hvor systemet er aktiveret ved det 6. belastningstilfælde, sorteret efter RF_{rum} fra størst til mindst.



Figur 7.14 RF_{rum} for de timer hvor systemtype II (& III) er aktiveret ved det 6. belastningstilfælde for de udvalgte europæiske byer, sorteret fra størst til mindst

Det er nu kun Larnaca og Torino der har timer med RF_{rum} på mere end 70 %, i hhv. 28 og 61 timer. Ved det 1. belastningstilfælde er der ingen timer med RF_{rum} på mere end 70 %, da temperaturstigningen i rumluften Δt_{rum} er for stor til at det er muligt, så det er ikke nødvendigt at tjekke RF_{rum} ved de resterende belastningstilfælde.

Figur 7.15 viser RF_{rum} for de repræsentative byer ved systemtype IV for de timer hvor systemet er aktiveret ved det 3. belastningstilfælde, sorteret efter RF_{rum} fra størst til mindst.



Figur 7.15 RF_{rum} for de timer hvor systemtype IV er aktiveret ved det 3. belastningstilfælde for de udvalgte europæiske byer, sorteret fra størst til mindst

Især ved Athen ses det at begrænsningen på den direkte FK del i systemtype IV virker i mange timer, men at der er timer hvor RF_{rum} er over de 70 %. Det sker for Larnaca, Athen og Torino med hhv. 1256, 171 og 294, hvilket er flere timer for hver af de tre byer end ved systemtype II (& III) for det 3. belastningstilfælde.

Ved det 2. belastningstilfælde har Larnaca, Athen og Torino hhv. 189, 2 og 57 timer med RF_{rum} over 70 %, og ved det 6. belastningstilfælde har ingen af byerne problemer. Resultaterne fra dette afsnit kan opsummeres til:

- Der kan være problemer med RF_{rum} på over 70 % ved det 3., 2. og 6. belastningstilfælde ved systemtype II og III for byer der ligner Larnaca, Athen og Torino vejrmæssigt.
- Der kan være problemer med RF_{rum} på over 70 % ved det 3. belastningstilfælde ved systemtype IV for byer der ligner Larnaca, Athen og Torino vejrmæssigt, og ved det 2. belastningstilfælde for byer der ligner Larnaca og Torino vejrmæssigt.
- De fire nord- og vesteuropæiske byer har ikke problemer ift. RF_{rum} , så byer der ligner disse vejrmæssigt, har ikke problemer ift. RF_{rum} .

Antallet af timer med RF_{rum} på over 70 % følger ikke antallet af overgradstimer, da Athen har flere overgradstimer end Torino, men færre timer med høj RF_{rum} .

RF_{rum} for systemtype II (& III) ved det 3., 2. og 6. belastningstilfælde findes i excelarket "Tjek af RF_{rum} ved systemtype II (& III)" på bilagsDVD_1 for de resterende europæiske byer. RF_{rum} for systemtype IV ved det 3., 2. og 6. belastningstilfælde for de resterende europæiske byer, findes hhv. i excelarket "Tjek af RF_{rum} ved systemtype IV for 3. belastningstilfælde", "Tjek af RF_{rum} ved systemtype

IV for 2. belastningstilfælde” og ” Tjek af RF_{rum} ved systemtype IV for 6. belastningstilfælde” på bilagsDVD_1.

7.2.5 Overholdelse af DS 474 anbefaling

For at opnå en overskuelig og sammenlignelig resultatfremvisning anvendes anbefalingerne fra (DS 474 1993), nærmere beskrevet i afsnit 6, til at beskrive kølingspotentialet for de europæiske byer selvom de ikke gælder for andre europæiske lande end Danmark. Tabel 7.8 viser de otte belastningstilfælde sorteret efter temperaturstigning i rumluften Δt_{rum} med den største først.

Δt_{rum}	Belastningstilfælde	Luftskifte	Termisk belastning	Fugtbelastning
[°C]	[#]	[h ⁻¹]	[W/m ²]	[g/(kg tør luft)]
13,2	4	3	40	0,46
11,9	7	5	60	0,28
8,5	8	7	60	0,2
7,9	5	5	40	0,28
6,6	1	3	20	0,46
5,7	6	7	40	0,20
4	2	5	20	0,28
2,8	3	7	20	0,2

Tabel 7.8 Belastningstilfælde, sorteret efter temperaturstigning i rumluften

Antallet af timer med overtemperatur følger, som tidligere vist, temperaturstigning i rumluften Δt_{rum} , så en større temperaturstigning medfører et større antal timer med overtemperatur. Denne sammenhæng benyttes til resultatfremvisningen, som ved afsnit 7.1.4.

Tabel 7.9 viser det belastningstilfældenr., som hver systemtype maks. kan sikre at anbefalingen kan overholdes for, ved de nordeuropæiske byer. Tabellen er farvegraderet, fra hvid, hvor ingen belastningstilfælde kan overholde anbefalingen, til mørkegrøn, hvor alle belastningstilfælde kan.

Fil-nr.	Land	Bynavn	N	I	II	III	IV	V
27	DNK	København	0	5	5	8	8	4
34	FIN	Helsinki	0	5	1	8	8	4
35	FIN	Tampere	0	8	8	8	8	4
48	GBR	Aberdeen	2	5	5	8	8	4
49	GBR	Aughton	2	8	5	8	8	4
50	GBR	Belfast	6	8	8	8	8	4
51	GBR	Birmingham	0	8	1	8	8	4
52	GBR	Finningley	0	1	1	8	5	4
53	GBR	Hemsby	2	1	1	5	1	4
54	GBR	Jersey Channel Islands	3	1	1	8	5	4
55	GBR	Leuchars	2	8	8	8	8	4
56	GBR	London	0	1	1	8	8	4
57	GBR	Oban	2	8	8	8	8	4
63	IRL	Belmullet	1	8	8	8	8	4
64	IRL	Birr	3	8	8	8	8	4
65	IRL	Clones	2	8	5	8	8	4
66	IRL	Dublin	2	8	8	8	8	4
67	IRL	Kilkenny	3	8	5	8	8	4
68	IRL	Malin	1	8	8	8	8	4
69	IRL	Valentia Observatory	6	8	8	8	8	4
70	ISL	Reykjavik	8	4	4	4	4	4
86	NOR	Bergen	0	8	8	8	8	4
87	NOR	Oslo	0	1	1	5	5	4
113	SWE	Göteborg	0	8	8	8	8	4
114	SWE	Karlstad	3	5	5	8	8	4
115	SWE	Kiruna	6	7	8	4	7	4
116	SWE	Östersund Froson	0	8	8	7	8	4
117	SWE	Stockholm	0	8	5	8	8	4

Tabel 7.9 Maks. belastningstilfælde der kan overholde anbefaling fra DS 474 ved de seks systemtyper for de nordeuropæiske byer

Anbefalingen kan overholdes vha. de forskellige systemtyper ved de fleste belastningstilfælde for mange af de nordeuropæiske byer. Selv systemtype N, der beskriver et system uden køling, kan overholde anbefalingerne ved nogle af byerne, faktisk helt op til det 8. belastningstilfælde for Reykjavik. For alle nordeuropæiske byer kan alle belastningstilfælde overholde anbefalingen ved systemtype V. Den næstbedste systemtype, systemtype III, kan overholde anbefalingerne ved det 8. belastningstilfælde for de fleste byer, og kan som minimum overholde det 1. belastningstilfælde.

Tabel 7.10 viser det belastningstilfældenr., som hver systemtype maks. kan sikre at anbefalingen kan overholdes for, ved de vesteuropæiske byer.

Fil-nr.	Land	Bynavn	N	I	II	III	IV	V
1	AUT	Graz	0	3	2	6	6	7
2	AUT	Innsbruck	0	1	6	8	8	4
3	AUT	Linz	0	6	2	5	5	4
4	AUT	Salzburg	0	6	2	8	5	4
5	AUT	Wien	0	6	2	5	1	4
6	BEL	Brussels	0	3	2	1	6	7
7	BEL	Oostende	0	1	6	5	1	4
8	BEL	Saint Hubert	3	8	8	8	8	4
14	CHE	Genève	0	6	2	5	1	4
18	DEU	Berlin	0	1	6	8	5	4
19	DEU	Bremen	0	6	2	5	1	4
20	DEU	Dusseldorf	0	1	6	8	5	4
21	DEU	Frankfurt	0	2	2	1	1	7
22	DEU	Hamborg	0	6	2	1	1	7
23	DEU	Køln	0	1	6	8	5	4
24	DEU	Mannheim	0	2	2	1	1	7
25	DEU	München	0	1	6	8	5	4
26	DEU	Stuttgart	0	1	6	8	8	4
36	FRA	Bordeaux	0	0	3	6	6	7
37	FRA	Brest	3	1	1	5	1	4
38	FRA	Clermont-Ferrand	0	6	2	1	1	4
39	FRA	Dijon	0	0	3	2	3	8
40	FRA	Lyon	0	0	3	6	2	7
41	FRA	Marseille	0	0	0	3	3	8
42	FRA	Montpellier	0	0	0	0	0	8
43	FRA	Nancy	0	0	3	6	6	7
44	FRA	Nantes	0	2	2	1	6	7
45	FRA	Nice	0	0	0	0	0	8
46	FRA	Paris	0	6	2	1	1	7
47	FRA	Strasbourg	0	0	3	2	3	8
83	NLD	Amsterdam	0	6	2	1	1	7
84	NLD	Beek	0	2	2	1	1	7
85	NLD	Groningen	0	3	2	6	6	7

Tabel 7.10 Maks. belastningstilfælde der kan overholde anbefaling fra DS 474 ved de seks systemtyper for de vesteuropæiske byer

De vesteuropæiske byer er dårligere stillet end de nordeuropæiske, og det ses at systemtype N kun kan sikre at anbefalingen overholdes ved det 3. belastningstilfælde for Saint Hubert og Brest. Systemtype V er stadig effektiv, og kan som minimum sikre at anbefalingen overholdes ved det 8. belastningstilfælde. Det bemærkes at systemtype V, som den eneste kan sikre at anbefalingen overholdes ved nogen af belastningstilfældene for byerne Montpellier og Nice.

Tabel 7.11 viser det belastningstilfældenr., som hver systemtype maks. kan sikre at anbefalingen kan overholdes for, ved de østeuropæiske byer.

Fil-nr.	Land	Bynavn	N	I	II	III	IV	V
9	BGR	Plovdiv	0	0	0	0	3	8
10	BGR	Sofia	0	6	2	5	1	4
11	BGR	Varna	0	0	3	3	3	8
13	BLR	Minsk	0	1	6	5	1	4
16	CZE	Ostrava	0	2	2	1	1	7
17	CZE	Prag	0	1	6	5	5	4
61	HUN	Debrecen	0	0	0	2	2	8
62	HUN	Szombathely	0	0	3	6	6	7
82	LTU	Kaunas	0	6	2	1	1	7
88	POL	Kolobrzeg	0	1	1	8	5	4
89	POL	Krakow	0	2	2	1	1	7
90	POL	Poznan	0	2	2	1	1	7
91	POL	Warszawa	0	6	2	1	1	7
98	ROU	Bucharest	0	0	0	3	2	8
99	ROU	Cluj-Napoca	0	2	2	1	6	7
100	ROU	Constanta	0	0	0	0	0	8
101	ROU	Craiova	0	0	0	0	3	8
102	ROU	Galati	0	0	3	3	3	8
103	ROU	Timisoara	0	2	2	1	1	7
104	RUS	Arkhangelsk	0	6	6	5	1	4
105	RUS	Moskva	0	6	2	1	1	4
106	RUS	Saint-Petersburg	0	1	6	8	1	4
107	RUS	Samara	0	3	2	6	6	7
110	SVK	Bratislava	0	3	2	1	6	7
111	SVK	Kosice	0	2	2	1	1	7
122	UKR	Kiev	0	0	2	6	6	7
123	UKR	Odessa	0	0	2	2	2	8

Tabel 7.11 Maks. belastningstilfælde der kan overholde anbefaling fra DS 474 ved de seks systemtyper for de østeuropæiske byer

De østeuropæiske byer minder lidt om de vesteuropæiske. Systemtype III overholder ikke anbefalingerne ved nogen af belastningstilfældene for Constanta, men overholder ellers som minimum ved det 3. belastningstilfælde. Systemtype V overholder som minimum anbefalingerne ved det 8. belastningstilfælde for alle byerne.

Tabel 7.12 viser det belastningstilfældennr., som hver systemtype maks. kan sikre at anbefalingen kan overholdes for, ved de sydeuropæiske byer.

Fil-nr.	Land	Bynavn	N	I	II	III	IV	V
12	BIH	Banja	0	0	3	3	3	8
28	ESP	Barcelona	0	0	0	0	0	8
29	ESP	Madrid	0	0	3	5	5	4
30	ESP	Palma	0	0	0	0	0	1
31	ESP	Santander	0	2	2	6	2	7
32	ESP	Sevilla	0	0	0	0	0	8
33	ESP	Valencia	0	0	0	0	0	8
58	GRC	Andravida	0	0	0	0	0	8
59	GRC	Athen	0	0	0	0	3	8
60	GRC	Thessaloniki	0	0	3	6	2	8
72	ITA	Brindisi	0	0	0	0	0	3
73	ITA	Genova	0	0	0	0	0	8
74	ITA	Messina	0	0	0	0	0	5
75	ITA	Milan	0	0	3	3	3	8
76	ITA	Napoli	0	0	0	0	0	8
77	ITA	Palermo	0	0	0	0	0	1
78	ITA	Pisa	0	0	0	0	0	8
79	ITA	Rom	0	0	0	0	0	8
80	ITA	Torino	0	0	0	0	0	8
81	ITA	Venedig	0	0	0	0	0	8
92	PRT	Braganca	0	1	2	8	8	4
93	PRT	Coimbra	0	0	0	2	2	8
94	PRT	Evora	0	2	2	5	1	4
95	PRT	Faro	0	0	3	3	3	8
96	PRT	Lajes	0	0	3	3	3	8
97	PRT	Porto	0	2	2	1	1	7
108	SRB	Belgrade	0	0	0	2	2	8
109	MNE	Podgorica	0	0	3	6	2	8
112	SVN	Ljubljana	0	6	2	5	1	4

Tabel 7.12 Maks. belastningstilfælde der kan overholde anbefaling fra DS 474 ved de seks systemtyper for de sydeuropæiske byer

Systemtype III kan ikke sikre at anbefalingen kan overholdes for nogen af belastningstilfældene ved de fleste af de italienske byer, men det kan systemtype V, der kan overholde anbefalingen ved de fleste belastningstilfælde, med undtagelse af Brindisi, hvor systemtypen kun kan overholde anbefalingen ved det 3. belastningstilfælde. Madrid, som er en af de repræsentative byer, brugt i de forgående afsnit, er bedre stillet end de andre spanske byer, da systemtype V kan overholde anbefalingen ved det 4. belastningstilfælde.

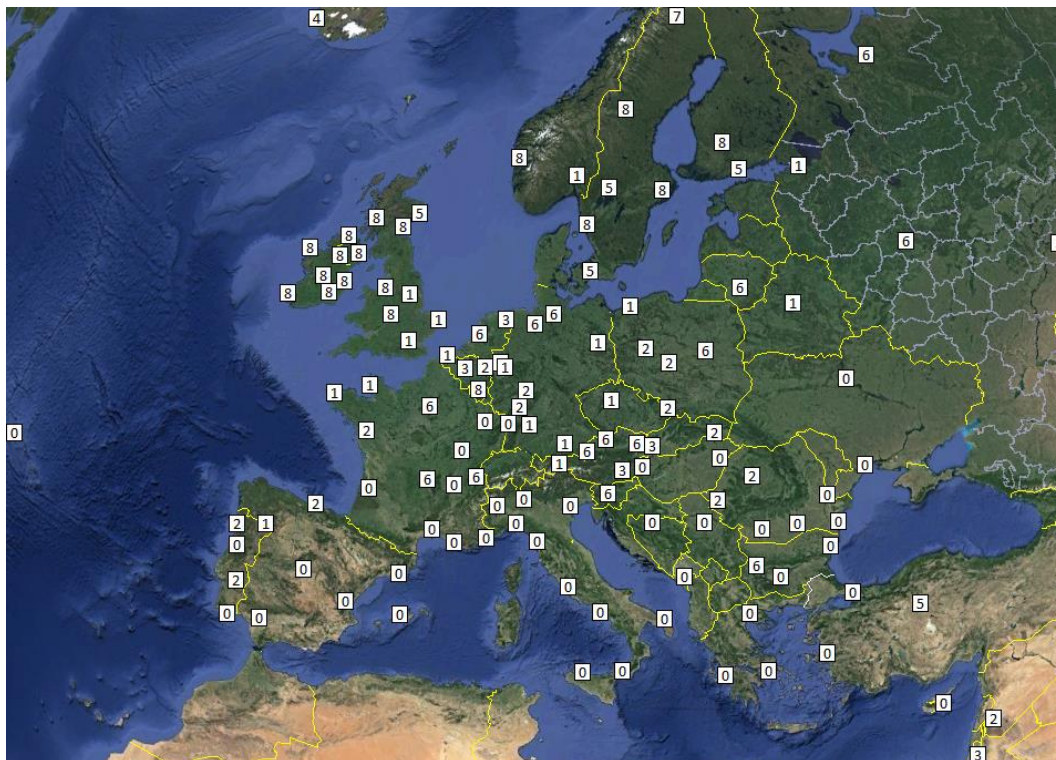
Tabel 7.13 viser det belastningstilfældenr., som hver systemtype maks. kan sikre at anbefalingen kan overholdes for, ved de vestasiatiske byer.

Fil-nr.	Land	Bynavn	N	I	II	III	IV	V
15	CYP	Larnaca	0	0	0	0	0	5
71	ISR	Jerusalem	0	3	2	6	6	7
118	SYR	Damaskus	0	2	2	1	1	4
119	TUR	Ankara	0	5	1	8	8	4
120	TUR	Istanbul	0	0	0	0	0	8
121	TUR	Izmir	0	0	0	2	2	8

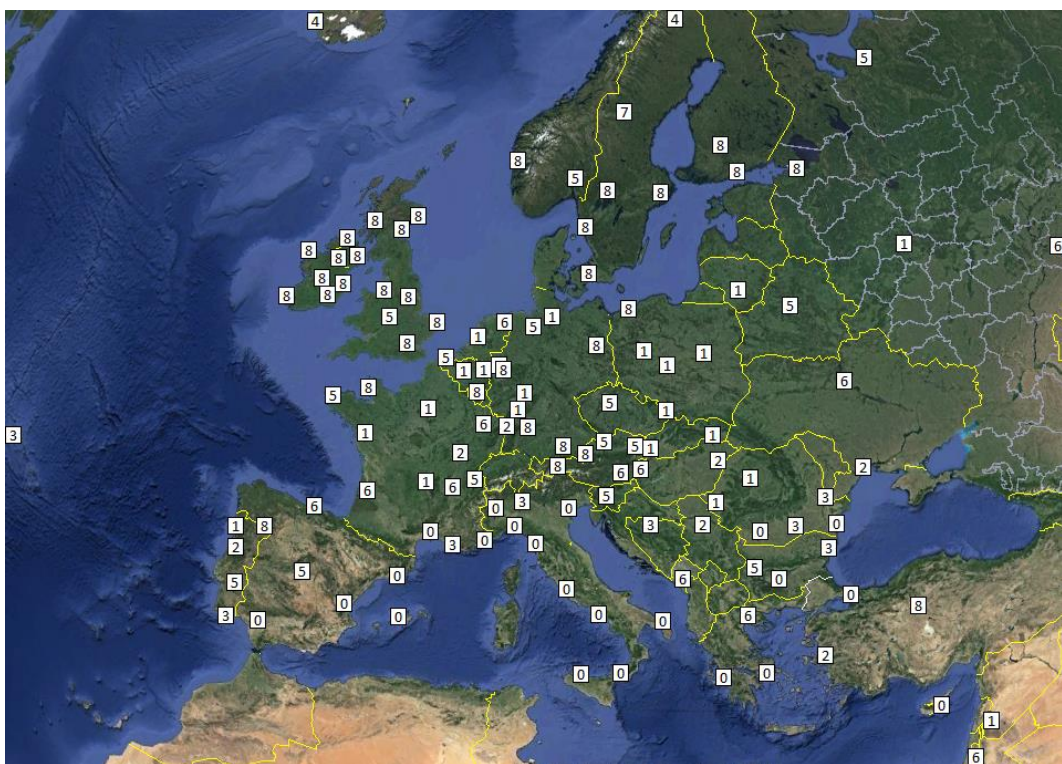
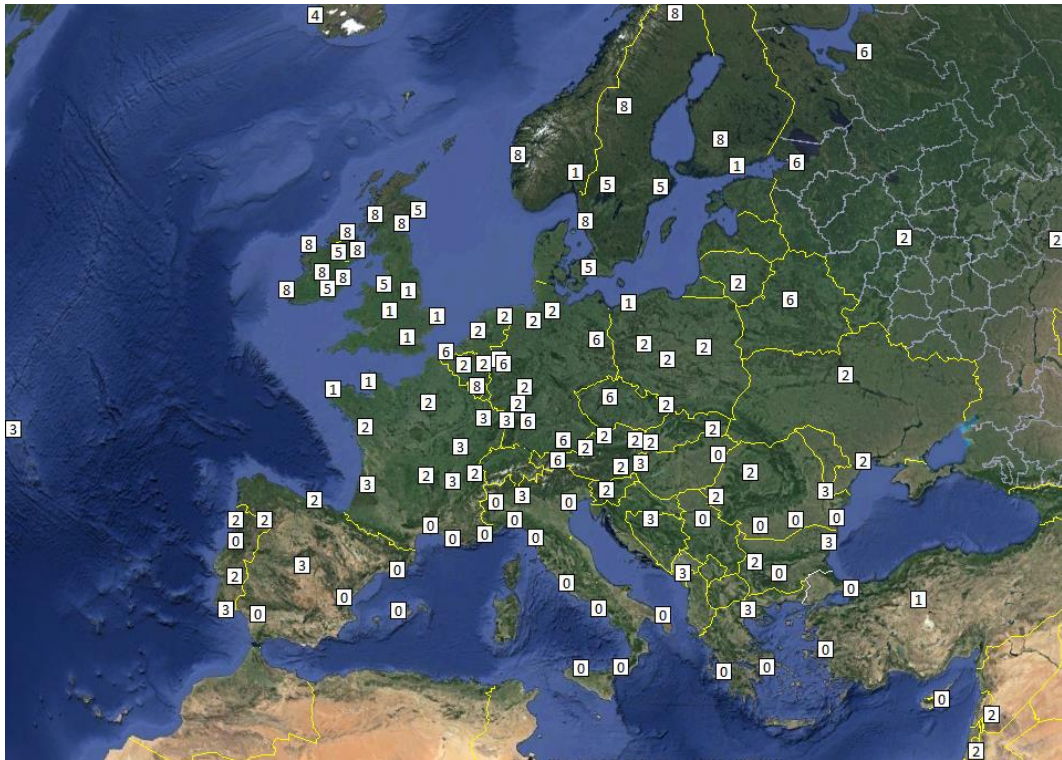
Tabel 7.13 Maks. belastningstilfælde der kan overholde anbefaling fra DS 474 ved de seks systemtyper for de vestasiatiske byer

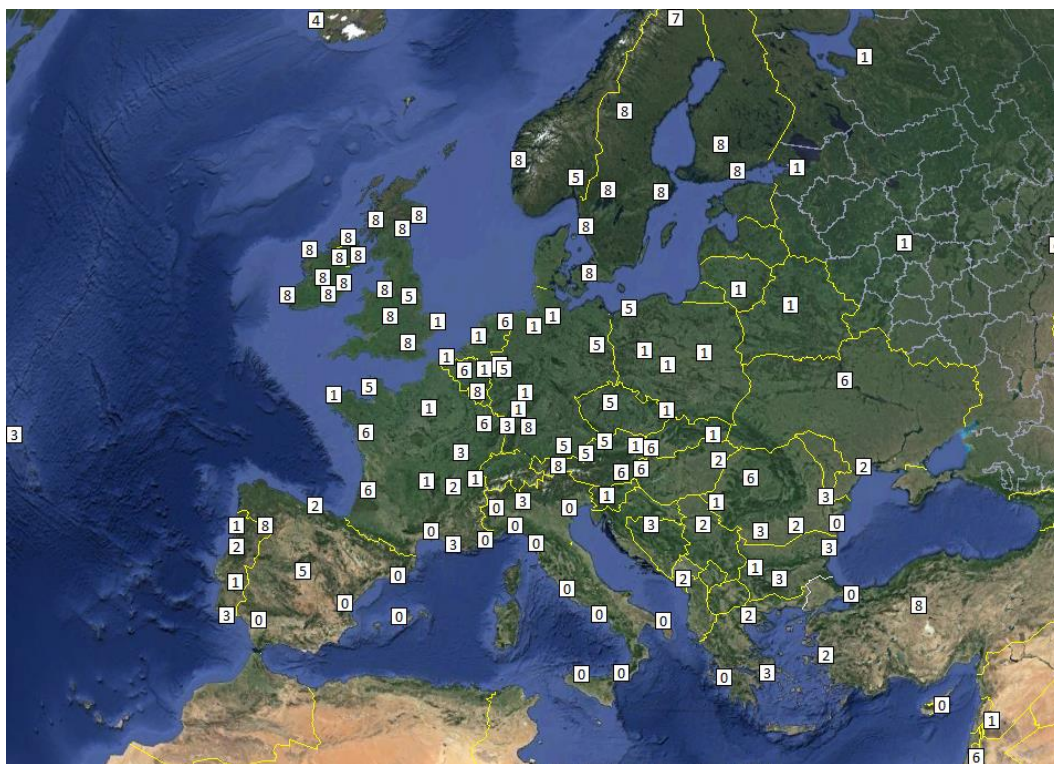
Det ses at Larnaca er den af de vestasiatiske byer som har sværest ved at overholde anbefalingen, og at en by som Ankara er bedre stillet, da systemtype III og V kan sikre at anbefalingen overholdes ved hhv. det 8. og det 4. belastningstilfælde.

Figur 7.16 til 7.20 viser det maks. belastningstilfælde der kan overholde anbefalingen fra DS 474 ved hhv. systemtype I til V, for de 123 europæiske byer på et europakort.

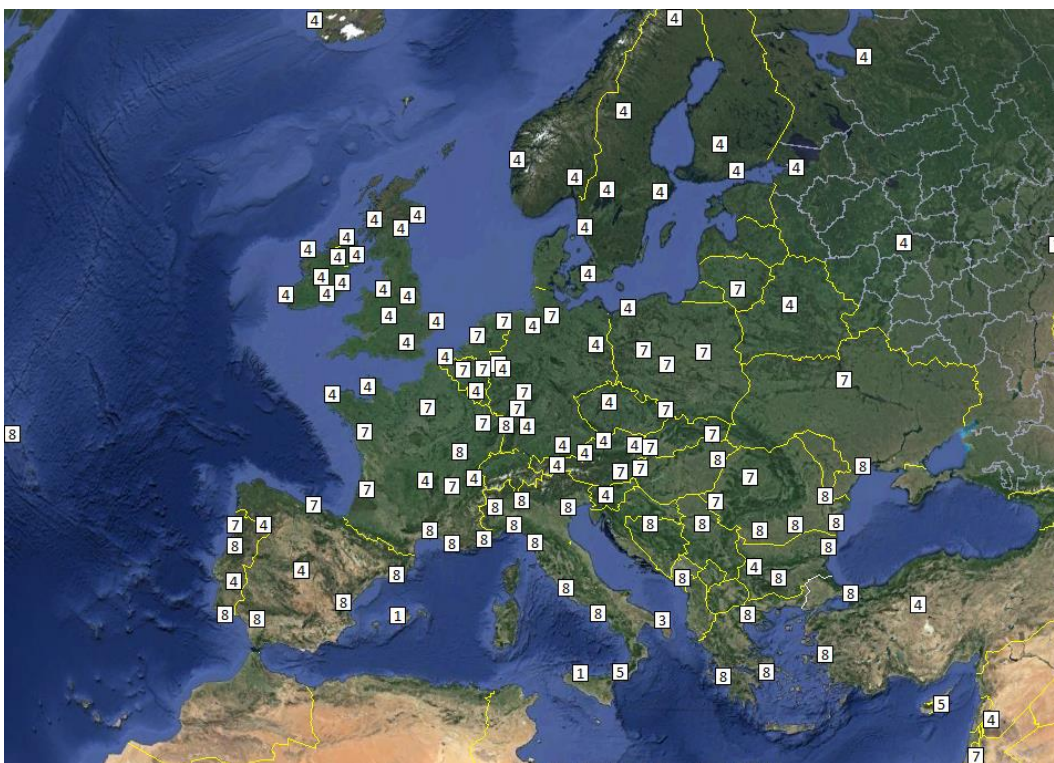


Figur 7.16 Maks. belastningstilfælde der kan overholde anbefaling fra DS 474 ved systemtype I





Figur 7.19 Maks. belastningstilfælde der kan overholde anbefaling fra DS 474 ved systemtype IV



Figur 7.20 Maks. belastningstilfælde der kan overholde anbefaling fra DS 474 ved systemtype V

8 Parametervariation

Resultaterne vist i forgående afsnit kan kun opnås under de givne designkriterier, hvoraf nogle er nemmere at fastlægge/opnå end andre. Det kunne eksempelvis være interessant at finde kølingspotentialer over flere år for hver by, i stedet for blot at anvende vejrdata for et repræsentativt år, for dermed at vise hvilke afvigelser der kan forventes fra de fundne resultater, men i mangel på tid (især beregningstid) og vejrdata, gøres der ikke noget i dette henseende.

Der fokuseres i stedet på de enheder der indgår i FKS'erne, hvor det ønskes at undersøge hvor meget virkningsgraden af befugter η_{befugter} og varmeveksler η_{veksler} , indvirker på kølingspotentialer, og derudover undersøges indvirkningen af den valgte type desiccant wheel DW og regenereringstemperatur t_{reg} for systemtype V. Tabel 8.1 viser de variationer der er lavet for hver systemtype, hvor den variation der svarer til designkriterierne fra afsnit 5 er markeret (grøn).

Systemtype:	I	II - IV		V			
Variation	η_{befugter}	η_{befugter}	η_{veksler}	η_{befugter}	η_{veksler}	t_{reg}	DW
[#]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[°C]	[#]
1	95	95	90	95	90	40	1
2	90	95	80	95	90	40	2
3	85	85	90	95	90	40	3
4	80	85	80	95	90	60	1
5				95	90	60	2
6				95	90	60	3
7				95	90	80	1
8				95	90	80	2
9				95	90	80	3
10				95	80	40	1
11				95	80	40	2
12				95	80	40	3
13				95	80	60	1
14				95	80	60	2
15				95	80	60	3
16				95	80	80	1
17				95	80	80	2
18				95	80	80	3
19				85	90	40	1
20				85	90	40	2
21				85	90	40	3
22				85	90	60	1
23				85	90	60	2
24				85	90	60	3
25				85	90	80	1
26				85	90	80	2
27				85	90	80	3
28				85	80	40	1
29				85	80	40	2
30				85	80	40	3
31				85	80	60	1

32				85	80	60	2
33				85	80	60	3
34				85	80	80	1
35				85	80	80	2
36				85	80	80	3

Tabel 8.1 Variationsnummer for de forskellige variationer ved systemtype I-V

Det ses at befugterens virkningsgrad η_{befugter} varierer mellem 95 og 85 % for alle systemtyper, og at en virkningsgrad på 90 og 80 % også undersøges ved systemtype I. Det understreges at en virkningsgrad på 95 % ikke er urealistisk, men variationen viser kølingspotentialer for en mindre effektiv befugter. (ASHRAE 2011)

Varmevekselvirkningsgraden η_{veksler} varierer mellem 90 og 80 %, hvor de 80 % formodes at beskrive en mere realistisk virkningsgrad end de 90 %, der er sat i den høje ende af hvad varmevekslere kan præstere. Der findes mange varmevekslere som er testet og godkendt med η_{veksler} på 80 %, både roterende og modstrøms. (EXHAUSTO u.d.)

Der haves kun koefficienter for tre DW hjul typer til den simple beregningsmodel, der benyttes ved beregning af DW virkningsgrad, så derfor varierer der imellem disse typer. Regenereringstemperaturen varierer mellem 40, 60 og 80, da beregningsmodellen er testet og fundet brugbar ved disse regenereringstemperaturer (Beccali, et al. 2002), og det vurderes til at være et passende interval.

Parametervariationen foretages kun for det 5. belastningstilfælde, Δt_{rum} på 7,9 °C og fugtbelastning på 0,28 g/(kg tør luft) i rumluften, for dermed at opnå en passende beregningstid. Parametervariationen er foretaget for alle byer ved systemtype I-III, men er ved systemtype IV og V kun udført for udvalgte byer, eftersom beregningstiden for disse systemtyper er ret lang. Tabel 8.2 viser de udvalgte europæiske byer og deres geografiske placering.

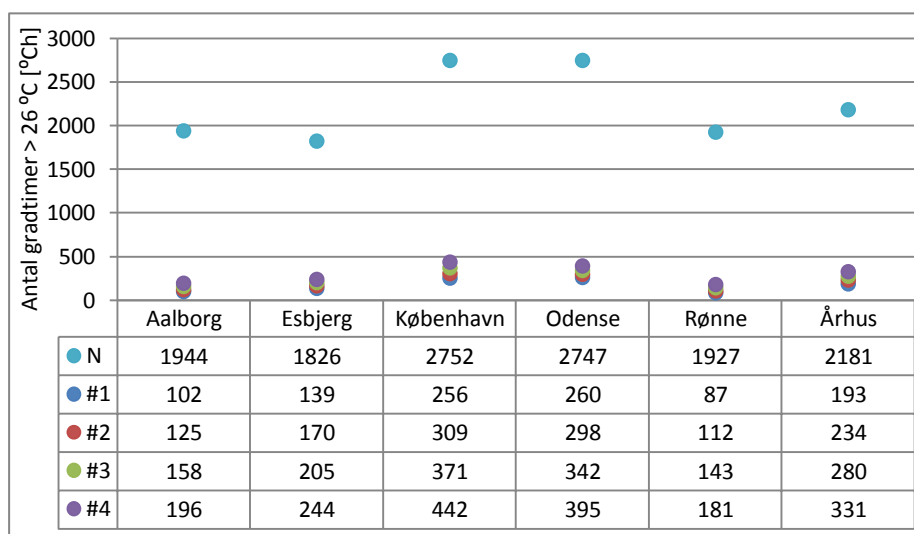
Land	Bynavn	Placering
DNK	Aalborg	Nordeuropa
DNK	Esbjerg	Nordeuropa
DNK	København	Nordeuropa
DNK	Odense	Nordeuropa
DNK	Rønne	Nordeuropa
DNK	Århus	Nordeuropa
SWE	Stockholm	Nordeuropa
GBR	London	Nordeuropa
DEU	Berlin	Vesteuropa
BEL	Genève	Vesteuropa
ESP	Madrid	Sydeuropa
ITA	Torino	Sydeuropa
GRC	Athen	Sydeuropa
CYP	Larnaca	Vestasien

Tabel 8.2 Udvalgte byer

Der vises kun resultater for parametervariationen ved de udvalgte byer for de forskellige systemtyper, men resultater for systemtype I-III kan findes for alle byer på bilagsDVD_1. De danske byer repræsenterer de t_u / RF_u -zoner som det danske DRY er opdelt i, som nærmere beskrevet i afsnit 3.1. De repræsentative europæiske byer, fundet i afsnit 7.2.2, er udvalgt til at repræsentere resten af Europa.

8.1 Danmark

Figur 8.1 viser antallet af overgradstimer for de fire variationer ved systemtype I for de udvalgte danske byer, hvor variationsnummer 1, 2, 3 og 4 dækker over en befugtervirkningsgrad η_{befugter} på hhv. 95, 90, 85 og 80 %.

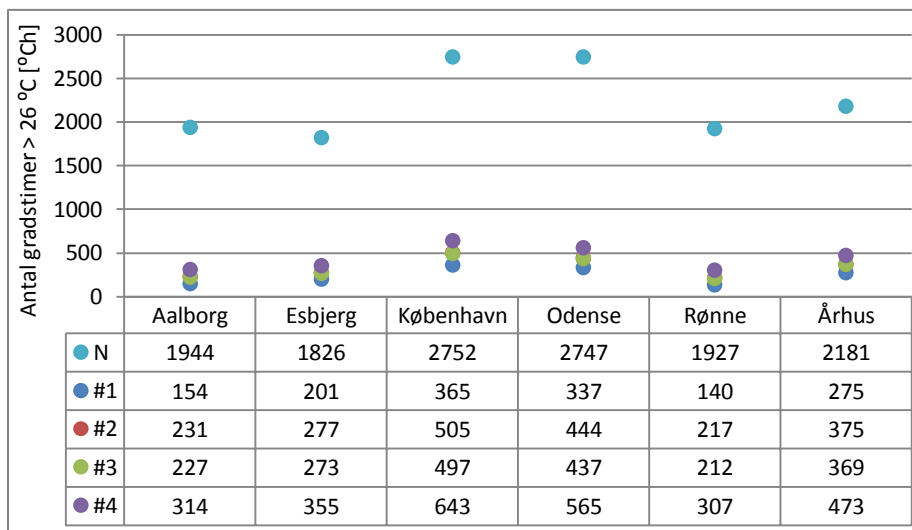


Figur 8.1 Antal overgradstimer for systemtype I ved de fire variationer for de udvalgte byer

Ift. systemtype N, der beskriver et system uden køling, bliver systemet med en befugtervirkningsgrad η_{befugter} på 85 % (#3) mellem 2,9 og 4,2 % dårligere end med en η_{befugter} på 95 % (#1). En mindre ændring af η_{befugter} fra 95 til 90 % (#1 og #2) medfører at systemet bliver mellem 1,2 og 1,9 % dårligere ift. systemtype N. Variation 1, 2, 3 og 4 kan fjerne hhv. 91-95, 89-94, 87-93 og 84-90 % af overgradstimerne ift. systemtype N, så selv med den laveste η_{befugter} er systemtype I meget bedre end systemtype N.

Yderligere kan det bemærkes at systemtype I med η_{befugter} på 80 % (#4) kan sikre Aalborg imod overtemperaturer næsten lige så godt som η_{befugter} på 95 % (#1) kan sikre Århus. Der er under 70 km imellem målestationerne for de t_u / RF_u -zoner som disse byer repræsenterer, nærmere beskrevet i afsnit 3.1, så et præcist kendskab til vejrforholdene er meget vigtigt - måske vigtigere end et præcist kendskab til η_{befugter} .

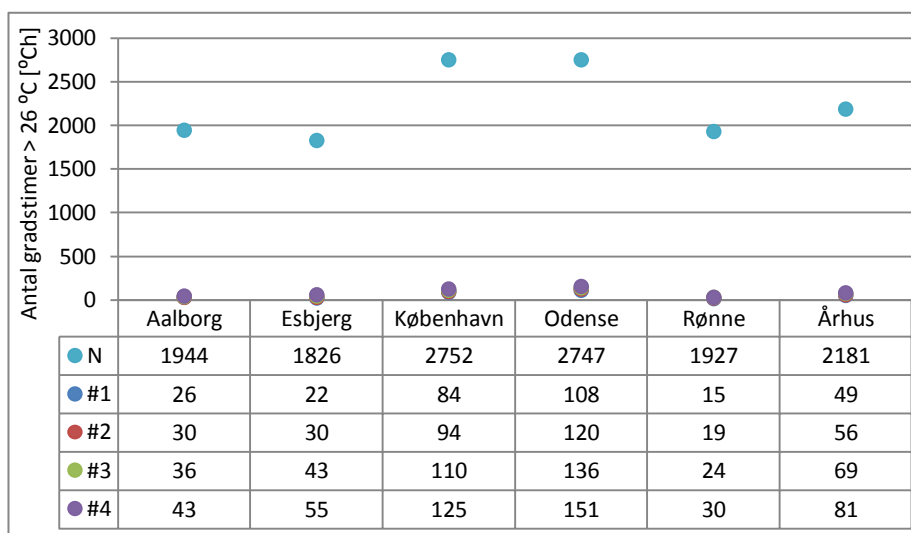
Figur 8.2 viser antallet af overgradstimer for systemtype II ved de fire variationer for de udvalgte danske byer, hvor variationsnummer 1, 2, 3 og 4 står for en befugtervirkningsgrad η_{befugter} på hhv. 95, 95, 85 og 85, samt en varmevekselvirkningsgrad η_{veksler} på hhv. 90, 80, 90 og 80.



Figur 8.2 Antal overgradstimer for systemtype II ved de fire variationer for de udvalgte byer

Variation 1, 2, 3 og 4 har hhv. 87-93, 82-89, 82-89 og 77-84 % færre overgradstimer end systemtype N. Forskellen imellem Aalborg og Århus er ved dette system også i samme størrelsesorden som forskellen imellem systemvirkningsgraden for de fire variationer, hvilket viser at der lokalt kan være store forskelle i overgradstimer og at det derfor er vigtig at have præcist kendskab til vejrf forholdene.

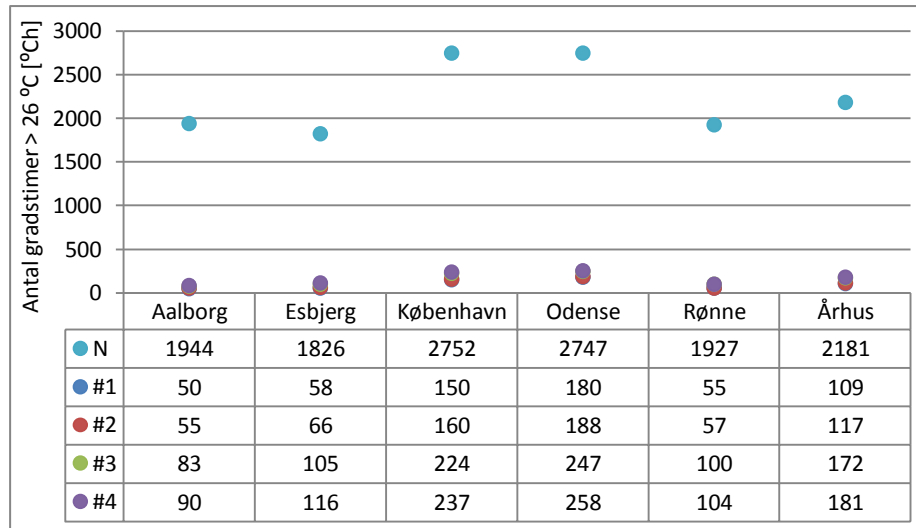
Figur 8.3 viser antallet af overgradstimer for systemtype III ved de fire variationer for de udvalgte danske byer, hvor variationsnummer 1, 2, 3, og 4 dækker over de samme variationer som ved systemtype II.



Figur 8.3 Antal overgradstimer for systemtype III ved de fire variationer for de udvalgte byer

Det ses at variation 1, 2, 3 og 4 har hhv. 96-99, 96-99, 95-99 og 95-99 % færre overgradstimer end systemtype N, der er kølingspotentiale ved alle variationer. Det bemærkes yderligere at Aalborg kan opretholde et bedre termisk indeklima end Århus med selv det dårligste system. Forskellen pga. vejrf forhold er i samme størrelsesorden, endda større, end forskellen grundet varierende systemvirkningsgrader.

Figur 8.4 viser antallet af overgradstimer for systemtype IV ved de fire variationer for de udvalgte danske byer, hvor variationsnummer 1, 2, 3, og 4 dækker over de samme variationer som ved systemtype II og III.



Figur 8.4 Antal overgradstimer for systemtype IV ved de fire variationer for de udvalgte byer

Det ses at η_{veksler} er mindre betydende ved systemtype IV end ved systemtype II og III. Dette skyldes hovedsagelig at der varmeveksles med afkølet fraluft, som er blevet opvarmet i rummet, så kølingspotentialer er mindre end når der varmeveksles med afkølet udeluft, hvilket også ses ved at systemtype III virker bedre, selvom begge er IFK/DFK-systemer. Herudover bemærkes det at systemtype IV i nogle perioder kører som systemtype I, da varmeveksleren på systemtype IV kun anvendes når det giver øget køling af tilluften. Forskellen mellem Aalborg og Århus er som ved de andre systemtyper interessant, da det ligesom ved systemtype III kan bemærkes, at Aalborg kan opretholde et bedre termisk indeklima end Århus med selv det dårligste system.

Tabel 8.3 viser antallet af overgradstimer for systemtype V ved de 36 variationer for de udvalgte byer.

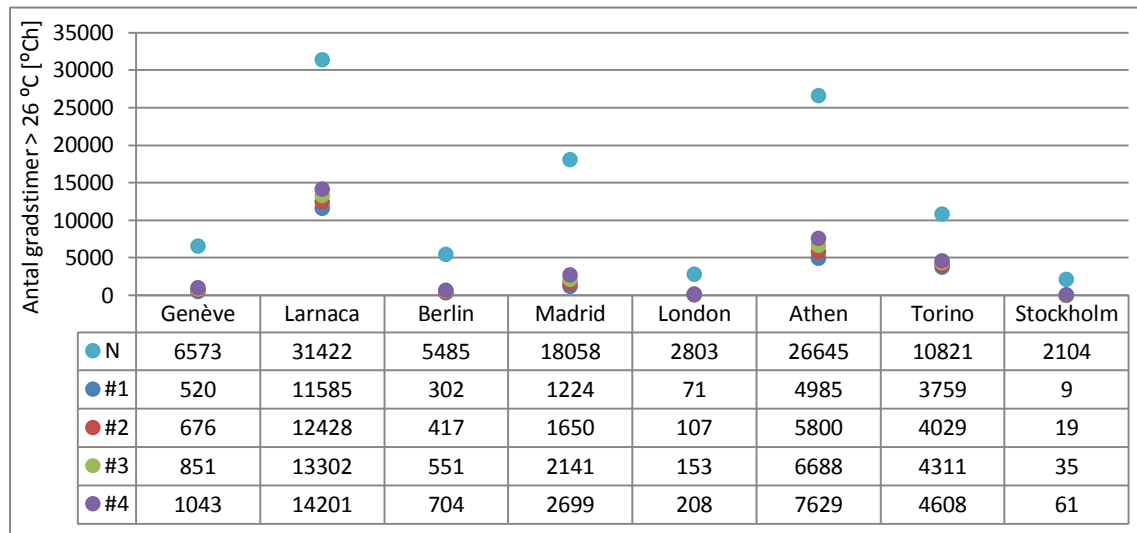
Variation	η_{befugter}	η_{veksler}	t_{reg}	DW	Aalborg	Esbjerg	København	Odense	Rønne	Århus
[#]	[%]	[%]	[°C]	[#]	[Bynavn]					
1	95	90	40	1	11	7	34	31	1	9
2	95	90	40	2	19	15	51	59	4	18
3	95	90	40	3	5	3	23	13	0	4
4	95	90	60	1	0	0	2	0	0	0
5	95	90	60	2	0	0	3	0	0	0
6	95	90	60	3	0	0	1	0	0	0
7	95	90	80	1	0	0	0	0	0	0
8	95	90	80	2	0	0	0	0	0	0
9	95	90	80	3	0	0	0	0	0	0
10	95	80	40	1	26	25	66	78	7	30
11	95	80	40	2	41	51	108	126	19	63
12	95	80	40	3	15	11	41	45	3	13
13	95	80	60	1	0	0	7	0	0	0
14	95	80	60	2	1	0	13	1	0	1
15	95	80	60	3	0	0	4	0	0	0
16	95	80	80	1	0	0	2	0	0	0
17	95	80	80	2	0	0	5	0	0	0
18	95	80	80	3	0	0	1	0	0	0
19	85	90	40	1	24	22	62	74	6	26
20	85	90	40	2	37	44	99	116	15	54
21	85	90	40	3	14	10	40	42	2	13
22	85	90	60	1	0	0	4	0	0	0
23	85	90	60	2	0	0	6	0	0	0
24	85	90	60	3	0	0	3	0	0	0
25	85	90	80	1	0	0	0	0	0	0
26	85	90	80	2	0	0	2	0	0	0
27	85	90	80	3	0	0	0	0	0	0
28	85	80	40	1	51	68	136	157	30	87
29	85	80	40	2	84	109	217	245	68	164
30	85	80	40	3	33	38	87	101	12	45
31	85	80	60	1	2	1	17	5	0	3
32	85	80	60	2	9	5	31	29	1	9
33	85	80	60	3	1	0	11	0	0	1
34	85	80	80	1	0	0	6	0	0	0
35	85	80	80	2	2	0	16	5	0	3
36	85	80	80	3	0	0	4	0	0	0

Tabel 8.3 Antal overgradstimer for systemtype V ved de 36 variationer for de udvalgte byer

Der er nul eller tæt på nul overgradstimer ved mange af variationerne for systemtype V, hvilket viser hvor effektivt denne systemtype er ift. de andre systemtyper. Ved variation af DW hjulypen ses det at hjulype 3 altid er bedre end hjulype 1 og 2, og at hjulype 1 altid er den næstbedste, hvilket også er forventelig jf. afsnit 2.1.3. Derudover ses det at systemtype V med DW hjulype 3 og t_{reg} på 40 °C er bedre end systemtype III når η_{befugter} og η_{veksler} holdes ens for de to systemtyper.

8.2 Europa

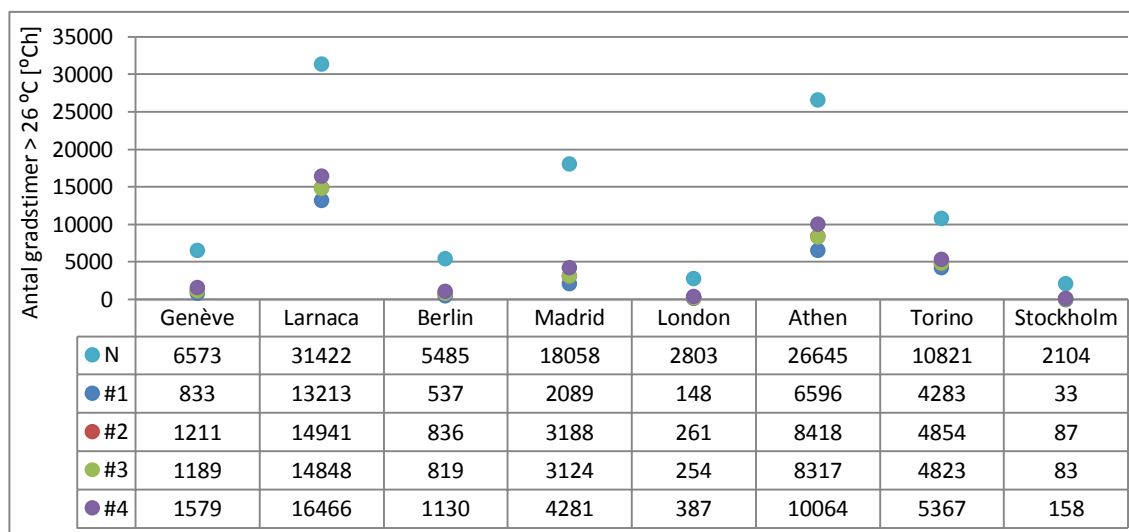
Figur 8.5 viser antallet af overgradstimer for de fire variationer ved systemtype I for de udvalgte europæiske byer, hvor variationsnummer 1, 2, 3 og 4 dækker over en befugtervirkningsgrad η_{befugter} på hhv. 95, 90, 85 og 80 %.



Figur 8.5 Antal overgradstimer for systemtype I ved de fire variationer for de udvalgte europæiske byer

Variation 1, 2, 3 og 4 har hhv. 63-100, 60-99, 58-98 og 55-97 % færre overgradstimer end systemtype N, hvor den største og den mindste reduktion sker ved hhv. Stockholm og Larnaca. Ift. systemtype N har (#3) mellem 1,2 og 6,4 % flere overgradstimer end (#1), så en η_{befugter} på 85 % er ringere end en på 95 %, men ikke mere end at der stadig er kølingspotentiale.

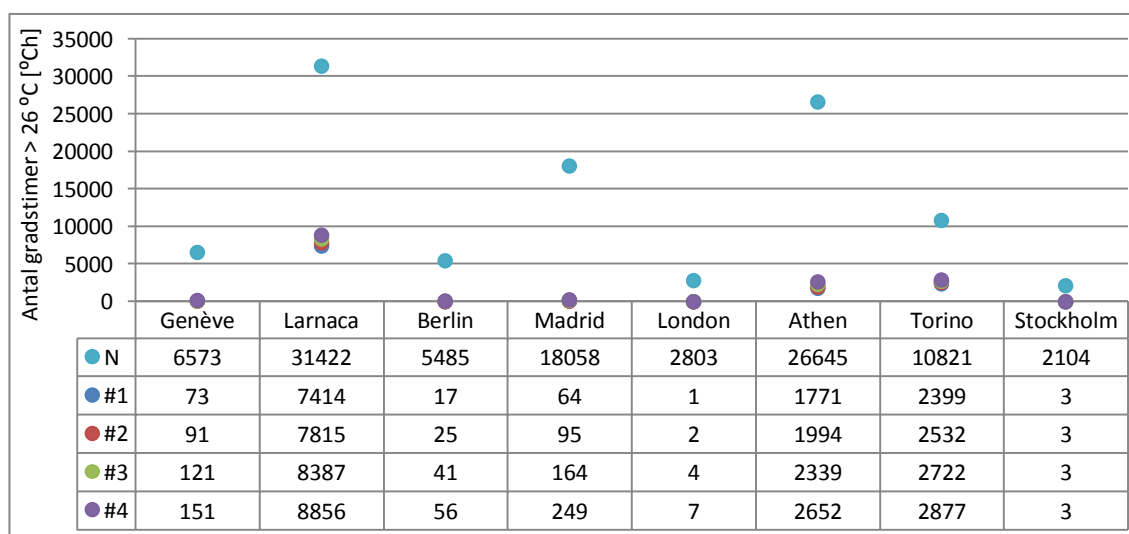
Figur 8.6 viser antallet af overgradstimer for de fire variationer ved systemtype II for de udvalgte europæiske byer, hvor variationsnummer 1, 2, 3 og 4 står for en befugtervirkningsgrad η_{befugter} på hhv. 95, 95, 85 og 85, samt en varmevekselvirkningsgrad η_{veksler} på hhv. 90, 80, 90 og 80.



Figur 8.6 Antal overgradstimer for systemtype II ved de fire variationer for de udvalgte europæiske byer

Variation 1, 2, 3 og 4 har hhv. 58-98, 52-96, 53-96 og 48-92 % færre overgradstimer end ved systemtype N, og det er ligesom ved systemtype I Stockholm og Larnaca der hhv. opnår den største og mindste procentmæssige reduktion. Ift. systemtype N har (#2) mellem 2,5 og 6,8 % flere overgradstimer end (#1), så selvom en η_{veksler} på 80 % er ringere end en på 90 % er der stadig kølingspotentiale. Ift. systemtype N har (#3) mellem 2,4 og 6,5 % flere overgradstimer end (#1), så ændringen af η_{veksler} fra 90 til 80 % betyder lidt mere end ændringen af η_{befugter} fra 95 til 85 % ved systemtype II.

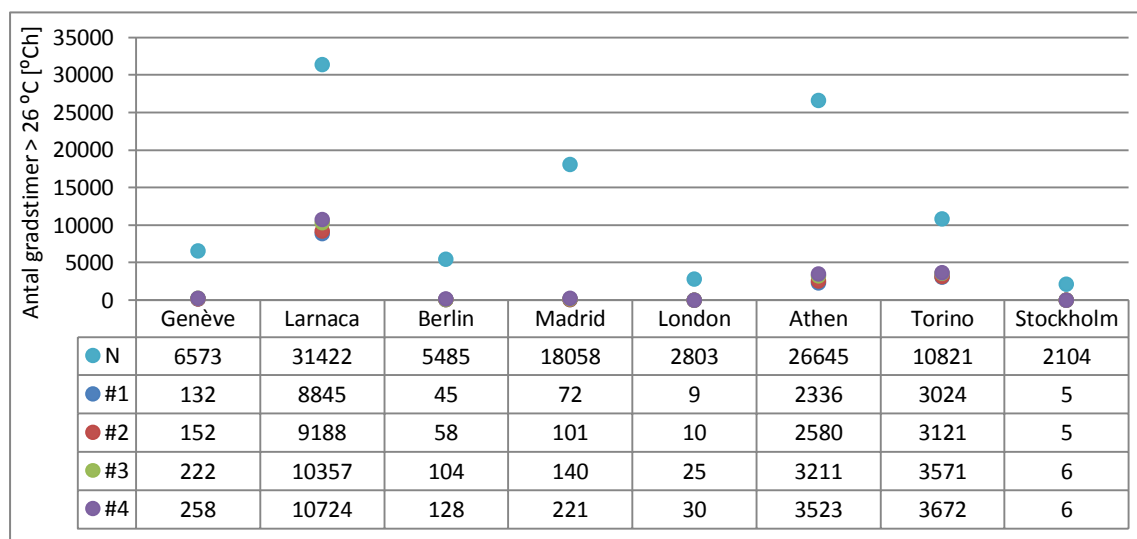
Figur 8.7 viser antallet af overgradstimer for systemtype III ved de fire variationer for de udvalgte europæiske byer, hvor variationsnummer 1, 2, 3, og 4 dækker over de samme variationer som ved systemtype II.



Figur 8.7 Antal overgradstimer for systemtype III ved de fire variationer for de udvalgte europæiske byer

Figuren viser at systemtype III er bedre end systemtype I og II ved ens η_{veksler} og η_{befugter} . Variation 1, 2, 3 og 4 har hhv. 76-100, 75-100, 73-100 og 72-100 % færre overgradstimer end systemtype N, og ligesom ved systemtype I og II er det Stockholm og Larnaca der hhv. opnår den største og mindste reduktion. Ift. systemtype N har (#2) mellem 0 og 1,3 % flere overgradstimer end (#2), så betydningen af at ændre η_{veksler} til 80 i stedet for 90 % er ikke så stor som ved systemtype II. Ift. systemtype N har (#3) mellem 0 og 3,1 % flere overgradstimer end (#1), så ændringen af η_{befugter} fra 95 til 85 % betyder mere end ændringen af η_{veksler} fra 90 til 80 %.

Figur 8.8 viser antallet af overgradstimer for systemtype IV ved de fire variationer for de udvalgte europæiske byer, hvor variationsnummer 1, 2, 3, og 4 dækker over de samme variationer som ved systemtype II og III.



Figur 8.8 Antal overgradstimer for systemtype IV ved de fire variationer for de udvalgte europæiske byer

Systemtypen er bedre end systemtype I og II, men dårligere end systemtype III, ved ens η_{veksler} og η_{befugter} . Variation 1, 2, 3 og 4 har hhv. 72-100, 71-100, 67-100 og 66-100 % færre overgradstimer end systemtype N, hvor hhv. den største og mindste reduktion er repræsenteret af Larnaca og Stockholm, som ved systemtype I-III. Ift. systemtype N har (#2) mellem 0 og 1,1 % flere overgradstimer end (#1), hvorimod (#3) har mellem 0,1 og 5,1 % flere overgradstimer end (#1), så ændringen af η_{befugter} fra 95 til 85 % betyder mere end ændringen af η_{veksler} fra 90 til 80 %.

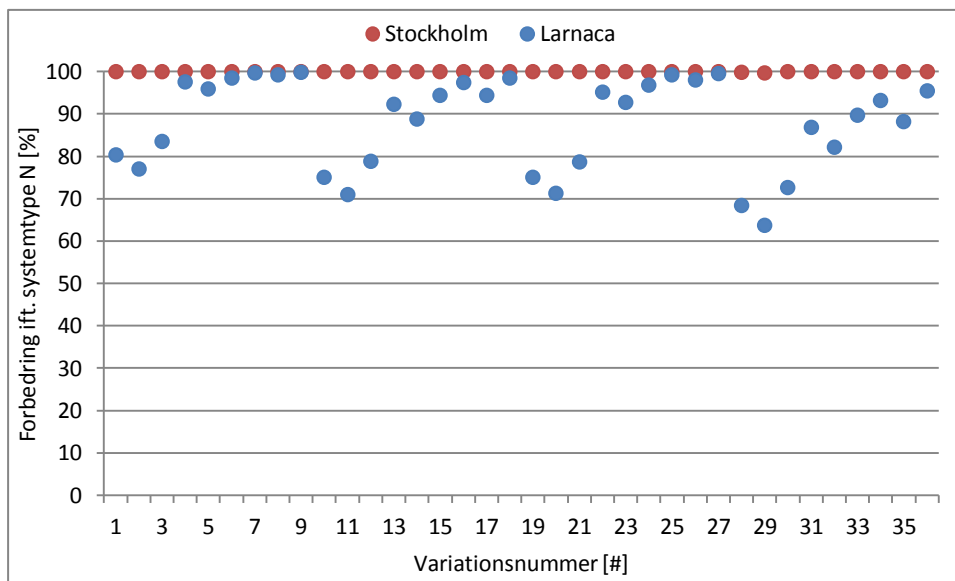
Tabel 8.4 herunder viser antallet af overgradstimer for systemtype V ved de 36 variationer for de udvalgte europæiske byer.

Variation	η_{befugter}	η_{veksler}	t_{reg}	DW	Geneva	Larnaca	Berlin	Madrid	London	Athens	Torino	Stockholm
[#]	[%]	[%]	[°C]	[#]	[Bynavn]							
1	95	90	40	1	15	6.160	7	69	0	1.352	1.356	0
2	95	90	40	2	32	7.214	16	109	1	1.801	1.745	0
3	95	90	40	3	5	5.143	3	39	0	991	1.019	0
4	95	90	60	1	0	750	0	1	0	33	55	0
5	95	90	60	2	0	1.268	0	2	0	80	134	0
6	95	90	60	3	0	463	0	1	0	15	25	0
7	95	90	80	1	0	68	0	0	0	3	1	0
8	95	90	80	2	0	213	0	0	0	5	12	0
9	95	90	80	3	0	31	0	0	0	2	0	0
10	95	80	40	1	59	7.815	27	177	1	2.143	2.033	0
11	95	80	40	2	111	9.109	58	270	5	2.824	2.557	1
12	95	80	40	3	29	6.655	12	110	0	1.602	1.586	0
13	95	80	60	1	0	2.398	0	5	0	265	345	0
14	95	80	60	2	1	3.487	0	9	0	511	616	0
15	95	80	60	3	0	1.729	0	3	0	150	215	0
16	95	80	80	1	0	807	0	2	0	36	74	0
17	95	80	80	2	0	1.756	0	3	0	144	241	0
18	95	80	80	3	0	456	0	1	0	14	29	0
19	85	90	40	1	49	7.824	22	149	1	2.072	1.987	0
20	85	90	40	2	90	9.026	46	221	4	2.681	2.463	1
21	85	90	40	3	23	6.673	10	91	0	1.550	1.548	0
22	85	90	60	1	0	1.496	0	3	0	107	173	0
23	85	90	60	2	0	2.261	0	4	0	225	312	0
24	85	90	60	3	0	1.012	0	2	0	55	94	0
25	85	90	80	1	0	240	0	0	0	6	14	0
26	85	90	80	2	0	630	0	1	0	20	49	0
27	85	90	80	3	0	118	0	0	0	4	4	0
28	85	80	40	1	156	9.918	84	362	10	3.254	2.912	2
29	85	80	40	2	263	11.390	161	526	31	4.118	3.558	5
30	85	80	40	3	91	8.584	42	244	3	2.526	2.354	0
31	85	80	60	1	2	4.126	1	18	0	681	800	0
32	85	80	60	2	12	5.590	5	49	0	1.156	1.291	0
33	85	80	60	3	1	3.214	0	8	0	439	544	0
34	85	80	80	1	0	2.140	0	4	0	206	321	0
35	85	80	80	2	1	3.685	0	8	0	542	740	0
36	85	80	80	3	0	1.430	0	3	0	100	180	0

Tabel 8.4 Antal overgradstimer for systemtype V ved de 36 variationer for de udvalgte europæiske byer

DW type 3 er bedst og type 1 er næstbedst, præcist som ved de danske byer, og som det var forventet jf. afsnit 2.1.3. Systemtype V med DW type 3 og t_{reg} på 40 °C er bedre end systemtype III så længe η_{veksler} og η_{befugter} holdes konstant for de to systemtyper, som det også er tilfældet ved de danske byer. Ift. systemtype N har (#3) mellem 0 og 16,3 % flere overgradstimer end (#9), så ændring af t_{reg} kan have stor betydning for systemtypen.

For systemtype V er det også Larnaca og Stockholm der hhv. har den mindste og største reduktion i antallet af overgradstimer ift. systemtype N. Figur 8.9 viser den procentmæssige forbedring for de to byer.



Figur 8.9 Procentvis forbedring af antal overgradstimer ved systemtype V ift. systemtype N for Stockholm og Larnaca

Det ses at Stockholm har 100 % færre overgradstimer ved de fleste variationer ift. systemtype N, da der ikke forekommer overgradstimer ved disse. Larnaca har mellem 64 og 99,9 % færre overgradstimer ift. systemtype N. Ift. systemtype N har (#18) mellem 0 og 1,4 % flere overgradstimer end (#9), hvorimod (#27) har mellem 0 og 0,3 % flere overgradstimer end (#9), så en ændring af η_{veksler} fra 90 til 80 % betyder mere end en ændring af η_{befugter} fra 95 til 85 %.

[Tom side]

9 Excelark til beregning af rumforhold ved systemtype N-V

Excelarket "Rumforhold beregner" på bilagsDVD_1 er udarbejdet til beregning af rumluftens mulige tilstand ved de seks systemtyper under selvvalgte designparametre. Arket er tænkt som et hjælpeværktøj ved dimensionering af fordampningskølingssystemer, da forskellige designparametres indvirkning på de forskellige systemtyper hurtigt kan undersøges. Arket virker under de samme grundlæggende antagelser som blev anvendt til beregning af de i afsnit 7 viste resultater. Arket er altså lavet for rum med opblandingsventilation og fuld opblanding, og det er muligt at sætte en begrænsning på de befugtere der kan øge den absolutte fugtighed i rumluften, kontrolleret efter samme. Figur 9.1 viser de parametre som skal defineres af brugeren (på figuren sat efter standardtilfældet, defineret i afsnit 2.2.1).

	A	B	C	D
1	Parametre:			
2	t _u	26 [°C]		
3	x _u	0 [g/(kg tør luft)]		
4	RF _u	0.60 [-]		
5	p _{sta}	101300 [Pa]		
6	t _{reg}	80 [°C]		
7	DW type (1, 2 eller 3)	3 [#]		
8	η _{varmeveksler}	0.90 [-]		
9	η _{befugter}	0.95 [-]		
10	Δt _{rum}	5 [°C]		
11	Δx _{rum}	0.25 [g/(kg tør luft)]		
12	Maks. accepteret RF _{rum}	1.00 [-]		
13	Maks. accepteret t _{rum}	26 [°C]		
14	Min. accepteret t _{tilluft}	17 [°C]		
15				

Figur 9.1 Inputparametre til beregning af rumforhold ved systemtype N-V

Fra toppen defineres først udeluftens temperatur t_u og fugtighed RF_u, samt det atmosfæriske tryk p_{sta}, hvorefter regenereringstemperaturen t_{reg} ved desiccant wheel samt dennes hjultype angives (er kun relevant for systemtype V). Dernæst angives virkningsgraden af varmeveksler η_{varmeveksler} og befugter η_{befugter}, hvorefter temperatur- og fugtstigningen i rumluften defineres (hhv. Δt_{rum} og Δx_{rum}).

Derefter defineres den maks. accepterede relative fugtighed og temperatur af rumluften, hvorefter den min. accepterede tilluftstemperatur angives. Den maks. accepterede relative fugtighed af rumluften kan godt overskrides, da der kun sættes begrænsning på de befugtere som kan øge dennes absolutte fugtighed, og den maks. accepterede rumlufttemperatur og min. accepterede tilluftstemperatur benyttes udelukkende til, med farve, at vise hvorvidt disse krav er overholdt ved de valgte input.

Figur 9.2 viser de beregnede resultater for rumforholdene ved systemtype N-V for de valgte inputparametre – inputparametrene er i dette tilfælde sat lig standardtilfældet.

15							
16	Resultater for systemtype:	N	I	II	III	IV	V
17	t_rum	31.0	25.70	26.2	24.0	24.0	15.1 [°C]
18	x_rum	12.9	15.2	12.9	13.9	13.9	7.6 [g/(kg tør luft)]
19	RF_rum	0.46	0.73	0.60	0.74	0.74	0.72 [-]
20	t_tilluft	26.0	20.7	21.2	19.0	19.0	10.1 [°C]
21	x_tilluft	12.6	15.0	12.6	13.6	13.6	7.4 [g/(kg tør luft)]
22	RF_tilluft	0.60	0.98	0.80	0.99	0.99	0.96 [-]
23	Maks. relativ fejl pga. iterativ beregning	-	9E-09	9E-09	9E-09	5E-07	4E-05 [%]
24							
25	Sekundære resultater:						
26	t_vu	20.4 [°C]					
27	RF_u	0.60 [-]					
28	x_u	12.6 [g/(kg tør luft)]					

Figur 9.2 Resultater for rumforholdende ved systemtype N-V for de valgte inputparametre, samt sekundære resultater såsom udeluftens vådtermometertemperatur, samt relative og absolutte fugtighed.

Det bemærkes at t_{rum} ved systemtype N og II overskrider den maks. accepterede t_{rum}, og at tilluftstemperaturen t_{tilluft} er under den min. accepterede t_{tilluft}, så disse er markeret. Den maks. relative fejl pga. iterativ beregning beskriver den maksimalt forekommende fejl i resultaterne, pga. den iterative beregningsmetode der benyttes, og for de tilfælde projektgruppen har undersøgt med arket er denne fuldstændig negligibel.

Udover de ovenstående antagelser bemærkes det at systemtype IV kører som systemtype I i de tilfælde hvor varmeveksling med fraluften ikke bidrager til øget køling. Beregningsmetoden er nærmere beskrevet i excelarket, hvor der er indsat hjælpende funktioner og kommentarer.

10 Diskussion

Projektets formål er at undersøge potentialet for fordampningskøling i Europa og definere potentialet ud fra om det er teknisk muligt at op nå et acceptabelt indeklima vha. fordampningskøling. Anlægs- og driftsøkonomi overvejes ikke, ligesom energi- og vandforbrug ved de forskellige FKS'er heller ikke undersøges nærmere. Det kunne være interessant at undersøge disse aspekter, men det ligger uden for projektets formål.

Den anvendte beregningsmetode tager ikke højde for at de in- og eksterne termiske belastninger varierer over året, såvel som at fugtbelastningen også varierer, og derudover tages der ikke højde for akkumuleret varme i rummet. Det kan diskuteres hvorvidt det er bedre at beregne kølingspotentialet for et rum, hvor alle belastninger er kendte, da beregningen herved giver mere realistiske resultater, men en ulempe ved denne beregningsmetode er at resultaterne herfra er meget specifikke og kun gælder for dette rum, samt rum med lignende belastningsprofiler.

En anden mulig beregningsmetode er at holde tilluft og fraluft temperaturen konstant på f. eks. hhv. 17 og 26 °C, bibeholde den termiske belastning og fugtbelastningen, og beregne det nødvendige luftskifte for at opnå disse temperaturer for hver systemtype. Fordelen ved denne metode er at de otte belastningstilfælde bliver reduceret til tre, hvorved beregningstiden bliver reduceret, om end selve beregningstiden pr. input er længere (metoden blev afprøvet sent i projektet - beregningstiden var ca. 5/8-dele). En ulempe ved denne beregningsmetode er at den kun giver luftskiftet og at det kan være vanskeligt at sammenholde dette luftskifte med krav i standarder, såvel som at finde rumlufttemperaturen ved et alternativt luftskifte.

Udover selve beregningsmetoden kan designparametrene der anvendes ved denne også diskuteres, da både belastningstilfældene og systemtyperne kunne være fastsat anderledes. Ved systemtyperne gælder det især virkningsgraderne for befugter og varmeveksler, da disse måske er sat lidt højt ift. dagens standard.

I projektet er der sat begrænsning på den direkte fordampningskøling, så ingen af de undersøgte systemtyper kan øge den absolutte fugtighed, medmindre at RF_{rum} er under 70 %. Den indirekte fordampningskøling der anvendes ved nogle af systemtyperne er ikke begrænset, så disse kører uafhængig af RF_{rum} . Dette er gjort for at gøre FKS'erne sammenlignelige med andre mekaniske kølingssystemer med tør køling. Det kunne være interessant at undersøge effekten af en begrænsning på den indirekte fordampningskøling. Det er ikke nødvendigvis en ulempe at fugtigheden øges, da for lav fugtighed giver et dårligt indeklima, med støv, statisk elektricitet og tørre slimhinder, så i nogle situationer er køling ved befugtning at foretrække.

Alle beregninger er foretaget under antagelse af opblandingsventilation med fuldopblanding, hvorved rumluftens tilstand er lig fraluftens, selvom fortrængningsventilation også er et muligt ventilationsprincip. Ved fortrængningsventilation opstår der en temperatur- og fugtgradient fra gulv til loft, så udformningen af fugtbegrænsningen er anderledes end ved opblandingsventilation, hvilket også gælder for den evaluerede rumlufttemperatur, der skal findes i opholdszonen.

Fortrængningsventilationen blev fravalgt grundet beregningstiden, men det kunne være interessant at undersøge hvorledes det virker sammen med fordampningskøling.

De anvendte desiccant wheels med tilhørende virkningsgrader er fra 2002 og det formodes at der sidenhen er sket produktudvikling, så disse kan muligvis fås med bedre fugtabsorption og lavere varmegenvinding, hvilket kunne gøre systemtype V endnu mere attraktiv.

Under antagelse af at fugtbelastningen i rumluften er negligibel, kan de fundne resultater for de forskellige belastningstilfælde anvendes ved flere forskellige kombinationer af luftskifte og termisk belastning, da det under denne antagelse er tilstrækkeligt at kende temperaturstigningen i rumluften.

11 Konklusion

Potentialet for brug af fordampningskøling, i projektet benævnt kølingspotentialet, varierer imellem de 138 undersøgte europæiske byer og imellem de fem undersøgte fordampningskølingssystemer. Det er ikke muligt at konkludere hvilket fordampningskølingssystem der er bedst, da de har forskellige fordele og ulemper, og fordi vigtige aspekter, såsom vand- og energiforbrug, ikke undersøges.

Fordampningskølingssystemernes effektivitet er meget afhængig af udeluftens temperatur og fugtighed, så kølingspotentialet afhænger derfor af byernes geografiske placering, hvilket fører til den konklusion at et præcist kendskab til disse vejrrparametre er vigtigt for korrekt dimensionering af et fordampningskølingssystem. Der er f. eks. fundet stor forskel på kølingspotentialet imellem to forskellige vejrfiler for København med forskellig målingsperiode og målestationer, selvom begge er lavet for den samme by og skal repræsentere vejrrdata for et gennemsnitligt år.

Alle fordampningskølingssystemerne øger den relative luftfugtighed og nogle øger også den absolutte luftfugtighed, og derfor er det undersøgt om systemtyperne ville kunne øge fugtigheden i rumluften til et ikke acceptabelt niveau. Det kan heraf konkluderes at systemtyperne ved nogle af byerne, ikke kan holde den relative fugtighed i rumluften under 70 %, uden en fugtbegrænsning.

Köppen-Geiger klimaklassificeringen, der inddeler verden i forskellige klimazoner ud fra lufttemperatur og nedbørsmængde, kan ikke umiddelbart anvendes til at beskrive kølingspotentialet, da der over hver klimazone er stor variation, men antallet af byer i hver klimazone er for lavt til at fastslå det med sikkerhed.

Ud fra parametervariationerne fra de forskellige systemtyper ses det at der også er kølingspotentiale ved et mindre effektivt system. Det ses eksempelvis også af parametervariationen at desiccant wheel hjul type 3 er den mest effektive.

Et Excelark er udviklet som et hjælpeværktøj til at teste andre designparametre end de i projektet anvendte.

12 Litteratur

- Alliance for Water Efficiency. *Alliance for Water Efficiency*. u.d.
http://www.allianceforwaterefficiency.org/evap_cooling_intro.aspx (senest hentet eller vist den 24. Juni 2014).
- Anker Hviid, Christian, og Svend Svendsen. »Experimental study of perforated suspended ceilings as diffuse ventilation air inlets.« *Energy and Buildings* 56, 2013: 160-168.
- ASHRAE. *ASHRAE Handbook - Fundamentals*. ASHRAE, 2009.
- . *ASHRAE Handbook - HVAC Applications*. ASHRAE, 2011.
- . *International Weather for Energy Calculations (IWECC Weather Files) Users Manual and CD-ROM*. Atlanta: ASHRAE, 2001.
- Beccali, M., R. Butera, R. Guanella, og R.S. Adhikari. »Simplified models for the performance evaluation of desiccant wheel dehumidification.« *International journal of energy research*, 2002: 17-29.
- Brohus, Henrik. *Undervisningsmateriale (slideshow) omkring fortrængningsventilation*. Henrik Brohus, 2011.
- California Energy Commission. *Evaporative Cooling*. u.d.
http://www.consumerenergycenter.org/residential/heating_cooling/evaporative.html (senest hentet eller vist den 26. Juni 2014).
- Capros, P., L. Mantzos, N. Tasios, A. De Vita, og N. Kouvaritakis. »EU energy trends to 2030.« *European commission > ... > Energy Trends 2030*. 2009.
http://ec.europa.eu/energy/observatory/trends_2030/doc/trends_to_2030_update_2009.pdf (senest hentet eller vist den 14. August 2014).
- DANVA. *Vand i tal*. 2011. file:///C:/Users/Hede/Downloads/danva_2011-11-29.pdf (senest hentet eller vist den 26. Juni 2014).
- DS 447. *Ventilation i bygninger - Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer*. Dansk Standard, 2013.
- DS 469. *Varme- og køleanlæg i bygninger*. Dansk standard, 2013.
- DS 474. *Norm for specifikation af termisk indeklima*. Dansk standard, 1993.
- DS/CEN/CR 1752. *Ventilation i bygninger - Projekteringskriterier for indeklimaet*. Dansk Standard, 2001.
- Energistyrelsen. *Bygningsreglementet*. 2010. <http://www.bygningsreglementet.dk> (senest hentet eller vist den 1. Juni 2014).

- Erhvervsstyrelsen. *Strategi for reduktion af energiforbruget i bygninger*. u.d.
<http://erhvervsstyrelsen.dk/file/43439/reduktion-af-energiforbruget-i-bygninger.pdf> (senest hentet eller vist den 26. Juni 2014).
- EXHAUSTO. *Product information/DK/VEX200*. u.d.
http://www.exhausto.dk/~media/Global/PDF/Product_information/DK/VEX200_proinfo_dk.pdf?la=da-DK (senest hentet eller vist den 6. Juni 2014).
- Hansen, H. E., P. Kjerulf-Jensen, og Ole B. Stampe. *Grundlæggende klimateknik, grundbog*. Danvak ApS, 2006.
- Heidarinejad, Ghassem, Mohammad Heidarinejad, Shahram Delfani, og Jafar Esmaeelian. »Feasibility of using various kinds of cooling systems in a multi-climates country.« *Energy and Buildings* 40, 2008: 1946-1953.
- Lindab. *Teori - opblandings- og fortrængningsventilation*. u.d.
http://itsolution.lindab.com/LindabWebProductsDoc/pdf/Comfort/NO/04_teori_NO.pdf (senest hentet eller vist den 19. Juni 2014).
- National Weather Service Regional Office. *rhTdRfomWetBulb.pdf*. u.d.
<http://www.crh.noaa.gov/images/epz/wxcalc/rhTdFromWetBulb.pdf> (senest hentet eller vist den 6. juni 2014).
- Palmer, J. D.; P. E.; C. E. M. *Evaporative Cooling Design Guidelines Manual*. Teknisk rapport, Energy Conservation and Management Division Energy, Minerals and Natural Resources Department, 2002.
- Pardo, Nicolas, Konstantinos Vatopoulos, Anna Krook Riekkola, og Alicia Perez. »Methodology to estimate the energy flows of the European Union heating and cooling market.« *Energy*, 1. April 2013: 339-352.
- Peel, M. C., B. L. Finlayson, og T. A. McMahton. »Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification.« *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2007: 1633-1644.
- prEN 15251. *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildingsaddressingindoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. BSI, 2006.
- Saman, Wasim, Frank Bruno, og Ming Liu. *Technical background research on evaporative air conditioners and feasibility of rating their water consumption*. Institute for Sustainable Systems and Technologies, 2009.
- SBi 202. *By og Byg Anvisning 202 - Naturlig ventilation i erhvervsbygninger*. Statens byggeforskningsinstitut, 2002.

- Smitha, S.Th., V.I. Hanbya, og C. Harphamb. »A probabilistic analysis of the future potential of evaporative cooling systems in a.« *Energy and Buildings* 43, 2011 : 507–516.
- U.S. Department of Energy. *Evaporative coolers*. 1. Juli 2012.
<http://energy.gov/energysaver/articles/evaporative-coolers> (senest hentet eller vist den 26. Juni 2014).
- . *Weather data*. 1. Oktober 2013.
http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data2.cfm/region=6_europe_wmo_region_6.
- UN. *Composition of macro geographical (continental) regions, geographical sub-regions, and selected economic and other groupings*. 31. Oktober 2013.
<http://unstats.un.org/unsd/methods/m49/m49regin.htm#europe> (senest hentet eller vist den 22. Juli 2014).
- Wang, Peter Grunnet, Mikael Scharling, Kristian Pagh Nielsen, Claus Kern-Hansen, og Kim Bjarne Wittchen. *2001-2010 Danish Design Reference Year*. Danish Meteorological Institute, 2013.
- WMO. *World Meteorological Organization*. u.d.
http://www.wmo.int/pages/members/region6_en.html (senest hentet eller vist den 18. Juni 2014).

13 BilagsDVD'ernes indhold

BilagsDVD_1 og BilagsDVD_2 findes bagerst i rapporten. BilagsDVD_2 indeholder rådata anvendt til resultatafsnittet og de Matlab scripts der benyttes til beregning af dette, og BilagsDVD_1's indhold er beskrevet i tabellen herunder.

Navn:	Type:	Beskrivelse/indhold
Rapport	Pdf	Elektronisk udgave
Vejrdata info	Excelark	Indeholder information omkring det anvendte vejrdato, samt resultatbehandling for Köppen-Geiger og forholdstallet N
Timer med overtemperatur for EU123	Excelark	Samling af rådata for antal timer med overtemperatur for hver systemtype og belastningstilfælde for EU123, samt resultatbehandling og figurer benyttet i rapporten
Timer med overtemperatur for DNK15	Excelark	Samling af rådata for antal timer med overtemperatur for hver systemtype og belastningstilfælde for DNK15, samt resultatbehandling og figurer benyttet i rapporten
T _{rum} (101. højeste)	Excelark	Samling af rådata for den 101. højeste t _{rum} for DNK15 og EU123, samt resultatbehandling og figurer benyttet i rapport
Rumforhold beregner	Excelark	Excelark, ment som et hjælpeværktøj til at undersøge andre designparametre end de i projektet anvendte
Parametervariation for alle systemtyper	Excelark	Samling af rådata fra parametervariationen for antal overgradstimer for hver systemtype og belastningstilfælde for DNK15 og EU123, samt resultatbehandling og figurer benyttet i rapporten
Minimum luftskifte ved varierende belastning	Excelark	Beregning af min. luftskifte ud fra de termiske laster
Gradtimer EU123	Excelark	Samling af rådata for antal overgradstimer for hver systemtype og belastningstilfælde for EU123, samt resultatbehandling og figurer benyttet i rapporten
Gradtimer DNK15	Excelark	Samling af rådata for antal overgradstimer for hver systemtype og belastningstilfælde for DNK15, samt resultatbehandling og figurer benyttet i rapporten
DW type test	Excelark	Excelark benyttet til udvælgelse af det bedste desiccant wheel
Vejrdata	Mappe	Indeholder anvendt vejrdato i oprindelig form for DNK15 og EU123, samt diverse excelark (benyttet til resultatfremvisning).
Tjek af RF _{rum}	Mappe	Indeholder excelark benyttet til undersøgelse af RF _{rum} for systemtype II (& III) og IV for det 3., 2. og 6. belastningstilfælde for de repræsentative europæiske byer
Parametervariation	Mappe	Indeholder rådata for parametervariationen og de Matlab scripts der er benyttet til beregning af disse, samt nogle der er benyttet til resultatbehandling
Figurer	Mappe	Div. Figurer benyttet til rapport

Bilag A – Anvendte vejrfiler

Dette bilag omhandler de fundne vejrfiler for de 15 danske og de 123 andre europæiske byer (DNK15 og EU123). De vejrfilerne for de 15 danske er lavet ud fra det danske DRY og repræsenterer en zone i dette, og de 123 europæiske er fundet på (U.S. Department of Energy 2013) i filformatet IWECC. Tabel A.1 viser relevant information omkring de 15 danske vejrfiler, sorteret efter filnummer.

Fil nr.:	Land:	Bynavn:	Placering:	K-G:	Fil nr.:	Land:	Bynavn:	Placering:	K-G:
1	DNK	Aalborg	Nordeuropa	Dfb	9	DNK	Odense	Nordeuropa	Dfb
2	DNK	Brørup	Nordeuropa	Cfb	10	DNK	Ringkøbing	Nordeuropa	Dfb
3	DNK	Esbjerg	Nordeuropa	Cfb	11	DNK	Ringsted	Nordeuropa	Dfb
4	DNK	Fredericia	Nordeuropa	Cfb	12	DNK	Rønne	Nordeuropa	Dfb
5	DNK	Guldborg	Nordeuropa	Cfb	13	DNK	Thisted	Nordeuropa	Dfb
6	DNK	Haslev	Nordeuropa	Cfb	14	DNK	Viborg	Nordeuropa	Dfb
7	DNK	København	Nordeuropa	Dfb	15	DNK	Århus	Nordeuropa	Dfb
8	DNK	Marstal	Nordeuropa	Dfb					

Tabel A.1 Filnummer, placering i Europa, samt Köppen-Geiger klimazone for de 15 danske byer, der hver repræsenterer en zone i det danske DRY

Tabel A.2 viser relevant information omkring de 123 europæiske vejrfiler (IWECC-filer), sorteret efter fil-nummer, hvor de enkeltes landes hovedstad eller største repræsenterede by er markeret med * efter fil-nummeret.

Fil nr.:	Land:	Bynavn:	Placering:	K-G:	Fil nr.:	Land:	Bynavn:	Placering:	K-G:
1	AUT	Graz	Vesteuropa	Dfb	63	IRL	Belmullet	Nordeuropa	Cfb
2	AUT	Innsbruck	Vesteuropa	Dfb	64	IRL	Birr	Nordeuropa	Cfb
3	AUT	Linz	Vesteuropa	Dfb	65	IRL	Clones	Nordeuropa	Cfb
4	AUT	Salzburg	Vesteuropa	Dfb	66*	IRL	Dublin	Nordeuropa	Cfb
5*	AUT	Vienna	Vesteuropa	Dfb	67	IRL	Kilkenny	Nordeuropa	Cfb
6*	BEL	Brussels	Vesteuropa	Cfb	68	IRL	Malin	Nordeuropa	Cfb
7	BEL	Oostende	Vesteuropa	Cfb	69	IRL	Valentia	Nordeuropa	Cfb
8	BEL	Saint Hubert	Vesteuropa	Cfb	70*	ISL	Reykjavik	Nordeuropa	Dfc
9	BGR	Plovdiv	Østeuropa	ET	71*	ISR	Jerusalem	Vestasien	Csa
10*	BGR	Sofia	Østeuropa	Dfb	72	ITA	Brindisi	Sydeuropa	Csa
11	BGR	Varna	Østeuropa	Cfa	73	ITA	Genova	Sydeuropa	Csa
12*	BIH	Banja	Sydeuropa	Dfb	74	ITA	Messina	Sydeuropa	Csa
13*	BLR	Minsk	Østeuropa	Dfb	75	ITA	Milan	Sydeuropa	Cfa
14*	CHE	Geneva	Vesteuropa	Dfb	76	ITA	Naples	Sydeuropa	Csa
15*	CYP	Larnaca	Vestasien	BSh	77	ITA	Palermo	Sydeuropa	Csa
16	CZE	Ostrava	Østeuropa	Dfb	78	ITA	Pisa	Sydeuropa	Csa
17*	CZE	Prague	Østeuropa	Dfb	79*	ITA	Rome	Sydeuropa	Csa
18*	DEU	Berlin	Vesteuropa	Dfb	80	ITA	Torino	Sydeuropa	Cfa
19	DEU	Bremen	Vesteuropa	Cfb	81	ITA	Venice	Sydeuropa	Cfa
20	DEU	Dusseldorf	Vesteuropa	Cfb	82*	LTU	Kaunas	Østeuropa	Dfb
21	DEU	Frankfurt	Vesteuropa	Cfb	83*	NLD	Amsterdam	Vesteuropa	Cfb
22	DEU	Hamburg	Vesteuropa	Cfb	84	NLD	Beek	Vesteuropa	Cfb
23	DEU	Koln	Vesteuropa	Cfb	85	NLD	Groningen	Vesteuropa	Cfb
24	DEU	Mannheim	Vesteuropa	Cfb	86	NOR	Bergen	Nordeuropa	Cfb
25	DEU	Munich	Vesteuropa	Dfb	87*	NOR	Oslo	Nordeuropa	Dfb
26	DEU	Stuttgart	Vesteuropa	Cfb	88	POL	Kolobrzeg	Østeuropa	Dfb
27	DNK	Copenhagen	Nordeuropa	Dfb	89	POL	Krakow	Østeuropa	Dfb
28	ESP	Barcelona	Sydeuropa	Csb	90	POL	Poznan	Østeuropa	Dfb
29*	ESP	Madrid	Sydeuropa	Csa	91*	POL	Warsaw	Østeuropa	Dfb
30	ESP	Palma	Sydeuropa	BSk	92	PRT	Braganca	Sydeuropa	Csb

31	ESP	Santander	Sydeuropa	Cfb	93	PRT	Coimbra	Sydeuropa	Csb
32	ESP	Sevilla	Sydeuropa	Csa	94	PRT	Evora	Sydeuropa	Csa
33	ESP	Valencia	Sydeuropa	BSk	95	PRT	Faro	Sydeuropa	Csa
34*	FIN	Helsinki	Nordeuropa	Dfb	96	PRT	Lajes	Sydeuropa	Csb
35	FIN	Tampere	Nordeuropa	Dfc	97*	PRT	Porto	Sydeuropa	Csb
36	FRA	Bordeaux	Vesteuropa	Cfb	98*	ROU	Bucharest	Østeuropa	Dfb
37	FRA	Brest	Vesteuropa	Cfb	99	ROU	Cluj-Napoca	Østeuropa	Dfb
38	FRA	Clermont-	Vesteuropa	Dfc	100	ROU	Constanta	Østeuropa	Cfa
39	FRA	Dijon	Vesteuropa	Cfb	101	ROU	Craiova	Østeuropa	Cfa
40	FRA	Lyon	Vesteuropa	Cfb	102	ROU	Galati	Østeuropa	Dfb
41	FRA	Marseille	Vesteuropa	Csb	103	ROU	Timisoara	Østeuropa	Dfa
42	FRA	Montpellier	Vesteuropa	Csb	104	RUS	Arkhangelsk	Østeuropa	Dfc
43	FRA	Nancy	Vesteuropa	Cfb	105*	RUS	Moscow	Østeuropa	Dfb
44	FRA	Nantes	Vesteuropa	Cfb	106	RUS	Saint-	Østeuropa	Dfb
45	FRA	Nice	Vesteuropa	Csa	107	RUS	Samara	Østeuropa	Dfb
46*	FRA	Paris Orly	Vesteuropa	Cfb	108*	SRB	Belgrade	Sydeuropa	Cfa
47	FRA	Strasbourg	Vesteuropa	Cfb	109*	MNE	Podgorica	Sydeuropa	Cfa
48	GBR	Aberdeen	Nordeuropa	Cfb	110*	SVK	Bratislava	Østeuropa	Dfb
49	GBR	Aughton	Nordeuropa	Cfb	111	SVK	Kosice	Østeuropa	Dfa
50	GBR	Belfast	Nordeuropa	Cfb	112*	SVN	Ljubljana	Sydeuropa	Dfc
51	GBR	Birmingham	Nordeuropa	Cfb	113	SWE	Goteborg	Nordeuropa	Dfb
52	GBR	Finningley	Nordeuropa	Cfb	114	SWE	Karlstad	Nordeuropa	Dfb
53	GBR	Hemsby	Nordeuropa	Cfb	115	SWE	Kiruna	Nordeuropa	Dfc
54	GBR	Jersey Channel	Nordeuropa	Cfb	116	SWE	Ostersund	Nordeuropa	Dfc
55	GBR	Leuchars	Nordeuropa	Cfb	117*	SWE	Stockholm	Nordeuropa	Dfb
56*	GBR	London	Nordeuropa	Cfb	118*	SYR	Damaskus	Vestasien	Csa
57	GBR	Oban	Nordeuropa	Cfb	119*	TUR	Ankara	Vestasien	BSk
58	GRC	Andravida	Sydeuropa	Csa	120	TUR	Istanbul	Vestasien	Csa
59*	GRC	Athens	Sydeuropa	Csa	121	TUR	Izmir	Vestasien	Csa
60	GRC	Thessaloniki	Sydeuropa	Csa	122*	UKR	Kiev	Østeuropa	Dfb
61*	HUN	Debrecen	Østeuropa	Dfb	123	UKR	Odessa	Østeuropa	Dfa
62	HUN	Szombathely	Østeuropa	Dfb					

Tabel A.2 Filnummer, placering i Europa, samt Köppen-Geiger klimazone for de 123 europæiske byer, der hver repræsenterer en IWEK-fil

Bilag B – Antal timer med overtemperatur for de repræsentative europæiske byer

Bynavn	Systemtype	Belastningstilfælde [#]							
		3	2	6	1	5	8	7	4
Stockholm	N	125	183	379	523	745	882	1868	2272
	I	0	0	0	0	23	63	737	1305
	II	0	0	0	2	59	111	892	1455
	III	0	0	0	0	4	14	358	781
	IV	0	0	0	0	8	22	627	1197
	V	0	0	0	0	0	0	0	4
London	N	179	284	499	648	878	1022	2267	2942
	I	0	0	3	15	98	174	1162	1859
	II	0	0	10	45	159	246	1328	1981
	III	0	0	0	0	4	20	658	1336
	IV	0	0	0	0	16	60	1065	1794
	V	0	0	0	0	0	0	0	4
Berlin	N	408	549	825	1021	1377	1560	2810	3310
	I	5	8	21	98	268	389	1386	2017
	II	0	8	85	174	378	495	1559	2195
	III	0	0	0	3	31	78	790	1344
	IV	0	0	1	6	85	167	1172	1927
	V	0	0	0	0	0	0	0	28
Genève	N	535	692	986	1226	1548	1727	2867	3303
	I	16	28	56	182	406	529	1623	2217
	II	0	15	136	290	522	659	1809	2338
	III	0	1	2	15	91	151	1140	1647
	IV	0	1	4	34	144	222	1491	2085
	V	0	0	0	0	0	0	2	68
Madrid	N	1422	1655	2094	2379	2722	3000	4117	4777
	I	79	110	223	406	668	846	2242	3044
	II	57	150	415	595	919	1128	2581	3324
	III	2	2	4	14	72	139	1081	1758
	IV	2	3	7	16	79	156	1497	2508
	V	0	0	0	0	0	0	4	69
Torino	N	908	1203	1707	2014	2430	2646	3777	4178
	I	456	605	821	1069	1505	1737	2913	3430
	II	151	374	865	1177	1632	1878	3033	3528
	III	147	278	508	757	1193	1424	2624	3147
	IV	152	400	599	878	1374	1610	2874	3382
	V	0	0	0	0	0	4	488	1100
Athen	N	2420	2796	3398	3685	4051	4318	5457	6194
	I	551	701	1024	1487	2209	2582	4270	4837
	II	220	535	1323	1853	2593	2879	4412	4945
	III	132	228	359	571	1054	1341	3357	4089
	IV	79	244	394	685	1296	1581	3964	4720
	V	0	0	0	0	2	2	380	1047
Larnaca	N	2909	3373	4025	4384	4833	5133	6461	6999
	I	1773	1982	2261	2729	3376	3623	5093	5730
	II	1085	1593	2452	2978	3581	3797	5287	5897
	III	931	1296	1624	2003	2638	2940	4410	5066
	IV	861	1450	1749	2206	2948	3229	4947	5657
	V	0	1	1	4	45	94	1666	2612

Tabel B.1 Antal timer med overtemperatur ved alle systemtyper og belastningstilfælde for de repræsentative byer

Bilag C – 101. højeste t_{rum} for de repræsentative europæiske byer

Bynavn	Systemtype	Belastningstilfælde [#]							
		3	2	6	1	5	8	7	4
Stockholm	N	26,5	27,7	29,4	30,3	31,6	32,2	35,6	36,9
	I	21,0	22,1	22,7	23,7	25,0	25,6	29,0	30,3
	II	20,4	21,6	23,3	24,2	25,5	26,1	29,5	30,8
	III	-	20,5	-	20,7	23,6	24,2	27,6	28,9
	IV	15,8	17,5	19,8	21,7	23,9	24,8	28,4	29,9
	V	5,7	8,0	11,0	13,3	15,6	16,5	21,8	23,7
London	N	27,1	28,3	30,0	30,9	32,2	32,8	36,2	37,5
	I	22,5	23,1	23,8	24,7	26,0	26,6	30,0	31,3
	II	21,3	22,5	24,2	25,1	26,4	27,0	30,4	31,7
	III	-	21,4	21,5	22,9	24,4	24,9	28,3	29,7
	IV	18,8	20,4	21,9	23,4	24,9	25,6	29,3	30,8
	V	8,1	10,5	12,9	14,8	16,6	17,5	22,5	24,4
Berlin	N	30,9	32,1	33,8	34,7	36,0	36,6	40,0	41,3
	I	23,9	24,4	25,0	26,0	27,3	27,9	31,3	32,6
	II	23,0	24,2	25,9	26,8	28,1	28,7	32,1	33,4
	III	-	22,4	23,0	23,9	25,2	25,8	29,2	30,5
	IV	20,6	21,8	23,1	24,4	25,8	26,4	30,2	31,6
	V	10,0	11,8	14,0	15,8	17,6	18,3	23,2	25,1
Genève	N	31,1	32,3	34,0	34,9	36,2	36,8	40,2	41,5
	I	24,5	25,0	25,6	26,5	27,8	28,4	31,8	33,1
	II	23,4	24,6	26,3	27,2	28,5	29,1	32,5	33,8
	III	-	23,1	23,8	24,6	26,0	26,5	29,9	31,2
	IV	21,6	22,7	23,8	25,0	26,4	27,0	30,8	32,3
	V	11,0	12,6	14,6	16,4	18,2	18,9	23,7	25,7
Madrid	N	37,8	39,0	40,7	41,6	42,9	43,5	46,9	48,2
	I	25,8	26,2	27,0	27,9	29,2	29,8	33,2	34,5
	II	25,3	26,5	28,2	29,1	30,4	31,0	34,4	35,7
	III	22,0	22,9	23,5	24,5	25,8	26,3	29,7	31,1
	IV	21,4	22,1	23,0	24,3	25,8	26,4	30,2	31,7
	V	11,3	12,6	14,6	16,3	18,0	18,8	23,6	25,6
Torino	N	31,5	32,7	34,4	35,3	36,6	37,2	40,6	41,9
	I	28,2	28,7	29,2	30,0	31,3	31,9	35,3	36,6
	II	26,5	27,7	29,4	30,3	31,6	32,2	35,6	36,9
	III	26,5	27,4	28,1	28,8	30,2	30,7	34,1	35,4
	IV	26,4	27,7	28,4	29,2	30,6	31,2	34,9	36,3
	V	17,7	18,7	20,0	21,5	23,1	23,8	28,3	30,1
Athen	N	35,8	37,0	38,7	39,6	40,9	41,5	44,9	46,2
	I	28,1	28,5	29,0	29,9	31,2	31,8	35,2	36,5
	II	26,7	27,9	29,6	30,5	31,8	32,4	35,8	37,1
	III	26,2	26,9	27,4	28,1	29,5	30,0	33,4	34,8
	IV	25,8	26,9	27,6	28,5	29,9	30,5	34,3	35,7
	V	16,7	17,8	19,2	20,7	22,4	23,1	27,7	29,5
Larnaca	N	35,4	36,6	38,3	39,2	40,5	41,1	44,5	45,8
	I	30,1	30,5	31,0	31,7	33,0	33,6	37,0	38,3
	II	28,4	29,6	31,3	32,2	33,5	34,1	37,5	38,8
	III	28,3	29,2	29,8	30,5	31,8	32,4	35,8	37,1
	IV	28,0	29,5	30,1	30,9	32,2	32,8	36,6	38,0
	V	20,1	21,0	22,2	23,6	25,2	25,9	30,4	32,1

Tabel B.1 101. højeste t_{rum} ved alle systemtyper og belastningstilfælde for de repræsentative byer