

STORA FRÅ

40 kJ/kg
9 kcal/kg

Kunskap
Klimat
Kyla



Luftbehandling med LCC i fokus

Innehållsförteckning

Stora K	1
Läsanvisning	1
Allmänt	2
Dimensioneringsförfarande	2
Formler	3
Mollierdiagrammet.....	4
Begreppsförklaringar.....	5
Alternativ 1. Optimerad beräkning	6
Luftflöde	6
Total kyleffekt	14
Sammanställning	21
Beräkningsblankett	21
Kostnadsanalys	22
Pay-off.....	22
Driftskostnad	22
Frikyla, aktiv kyla och kylåtervinning	25
Alternativ 2. Historisk överslagsberäkning	27
Bilaga 1. Mollierdiagram	29
Bilaga 2. Beräkningsblankett	30

Produktion:

Idé och manuskript: IV Produkt AB, Birger Karlsson

Grafisk formgivning: Sörman Information & Media AB

Artikelnummer: LK 12.08.30.02 SE

För återgivning av bilder och illustrationer krävs tillstånd av IV Produkts marknadsavdelning

ISBN 978-91-637-1688-1

Stora K

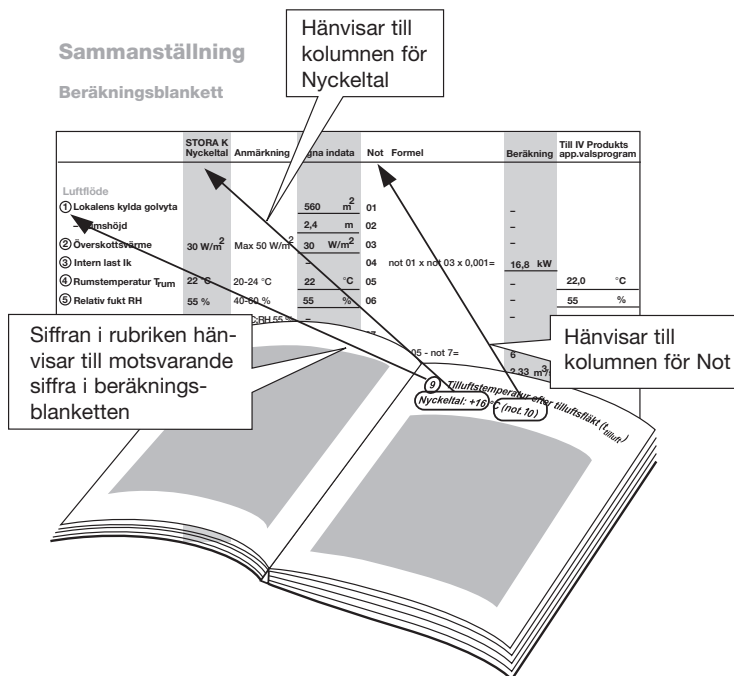
”Behovet av kyld luft ökar, med detta ställs högre krav på miljö, effekt och energiriktiga lösningar. De krav som vi dock i första hand ska ställa på inomhusklimatet i en byggnad är att rumstemperaturen ska ligga på en komfortabel nivå oberoende av vilket väder som råder utomhus.

Enhetsaggregat utformade som direktverkande kylsystem i ett luftbehandlingsaggregat möjliggör en sådan lösning, samtidigt som både det termiska klimatet och luftkvaliteten upprätthålls.

Genom att kombinera frikyla och kylåtervinning med en kylmaskin kan det totala effektbehovet för kyla och elkraft reduceras kraftigt.”

Läsanvisning

Sammanställning
Beräkningsblankett



	STORA K Nyckeltal	Anmärkning	Övriga indata	Not	Formel	Beräkning	Till IV Produkts app.valsprogram
Luftflöde							
① Lokalens kylida golvytan			560 m ²	01		—	
② Rumshöjd			2,4 m	02		—	
③ Överskottslast	30 W/m ²	Max 50 W/m ²	30 W/m ²	03		—	
④ Intern last lk				04	not 01 x not 03 x 0,001 =	16,8 kW	
⑤ Rumstemperatur T _{rum}	22 °C	20-24 °C	22 °C	05		22,0 °C	
⑥ Relativ fukt RH	55 %	40-60 %	55 %	06		55 %	
			6,39 m ³ /s				
				05 - not 7 =		1,33 m ³ /s	

Hänvisar till kolumnen för Nyckeltal

Hänvisar till kolumnen för Not

Siffran i rubriken hänvisar till motsvarande siffra i beräkningsblanketten

Tillluftstemperatur efter tilluftsbukt (N_{max})
(Nyckeltal: +10) °C (not 10)

Tilluftsbukt (N_{max})

Allmänt

Dimensioneringsförfarande

Inom ventilationsbranschen försöker vi att åstadkomma rätt klimat i de lokaler där människor och maskiner vistas.

För att människan skall må bra måste flera krav vara uppfyllda. Luften i rummet skall uppfylla vissa fordringar. Här behandlar vi frågeställningar på luften som temperatur och fukt.

Syftet med ”Stora K” är att på ett praktiskt och överskådligt sätt visa på hur vi räknar oss fram till ett optimalt val av kylmaskin som svarar mot det inneklimat vi behöver.

För att komma fram till en anläggnings totala kylbehov och luftflöde redovisar vi här två alternativa beräkningar.

Alternativ 1, ger oss en optimerad dimensionering, där vi kan analysera och jämföra alternativa antaganden, samt bedöma resultat som kapacitet, verkningsgrad, driftkostnad, pay-off, etc.

I detta alternativ kan vi själva skapa oss hållbara nyckeltal för framtida beräkningar.

Genomgående är att vi använder oss av luft som värme- och köldbärare samt känner till såväl verksamhetens art (kontor, butik, skola, datarum, vårdlokal, etc) som den betjänade lokalens kylida golvyta.

Alternativ 2, är en dimensioneringsmetod baserad på en historisk överslagsberäkning med hjälp av erfarenhetsvärden som nyckeltal.



Formler

För att beräkna anläggningens totala kyleffekt använder vi formeln:

$$P_t = q \times \Delta i \times \rho \times C_p$$

Total kyleffekt – är summan av sensibel och latent kyla.
Erforderlig kylmaskin dimensioneras för den totala kyleffekten.

Med sensibel menas kännbar, eller den kyla som åstadkommer en temperaturförändring vilken kan mätas med en termometer.

Med latent menas dold kyla som är involverat i tillståndsförändringar, t ex när vatten kondenseras ur luften utan att temperaturen förändras.

För att beräkna en anläggningens totala luftflöde använder vi formeln:

$$q = I_k / (\Delta T \times \rho)$$

$$P_t = q \times \Delta i \times \rho \times C_p$$

P_t = Totala kyleffekten i kW

q = Luftflöde i m³/s

Δi = $i_{DUT} - i_{KB}$ i kJ/kg torr luft.

där:

i_{DUT} = Uteluftens entalpi

i_{KB} = Tilluftens entalpi efter kylbatteri

ρ = Luftens densitet i kg/m³ (=1,2)

C_p = Luftens specifika värmekapacitet, kJ/kg (≈ 1,0)

$$q = I_k / (\Delta T \times \rho)$$

q = Luftflöde i m³/s

I_k = Internt kylbehov för överskottsvärme i kW

ΔT = $T_{rum} - T_{tilluft}$ i °C

där:

T_{rum} = Rumstemperatur

$T_{tilluft}$ = Tilluftstemperatur

ρ = Luftens densitet i kg/m³ (=1,2)

Mollierdiagrammet

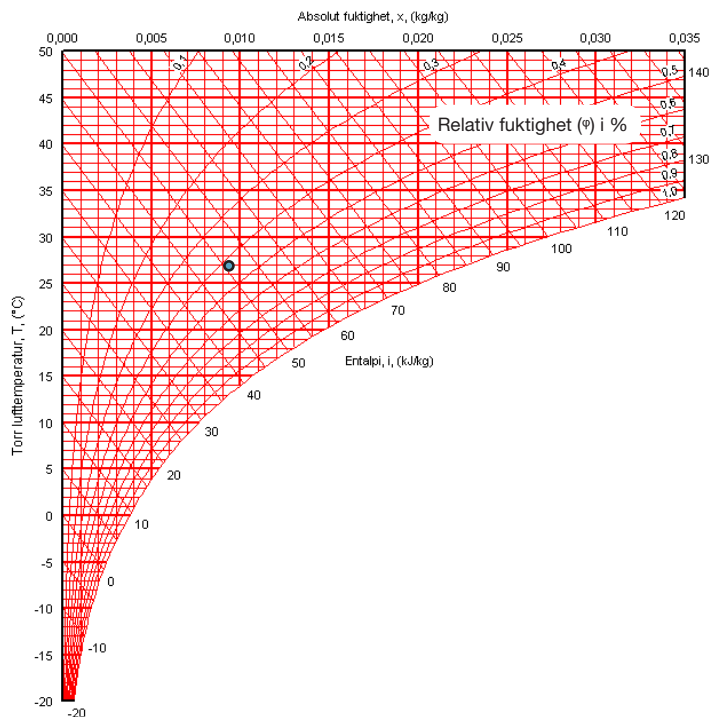
För att på ett överskådligt sätt kunna beskriva och förstå de tillståndsförändringar som sker med luften då vi koler respektive värmer den i följande processer, använder vi oss av ett Mollierdiagram.

Mollierdiagrammet har olika skalor och kurvor som illustrerar luftens tillstånd.

För de rumstillstånd vi i allmänhet behandlar inom området mellan 0 °C och 30 °C ligger densiteten för luften mellan 1,1 – 1,3 kg/m³.

Normalvärdet vid 20 °C ligger på 1,2 kg/m³ vilket man i praktiken alltid kan använda.

Mollierdiagram för fuktig luft, barometertryck 101,3 kPa



Bilaga 1 visar ett Mollierdiagram i större skala.

I detta förenklade Mollierdiagram visas:

- Torr lufttemperatur (T) i °C
- Absolut fuktighet (x) i kg/kg torr luft
- Relativ fuktighet (φ) i %
- Entalpi (i) i kJ/kg luft

Begreppsförklaringar

Torr lufttemperatur i °C (T) – är den temperatur vi avläser på en vanlig termometer vilken inte påverkas av förångning eller strålning.

Absolut fuktighet i kg/kg (x) – är vikten vattenånga per vikt torr luft.

Exempel: $T = 27\text{ °C}$
 $\varphi = 42\text{ %}$
 $x = 0,0093\text{ kg/kg}$

Relativ fuktighet i % (φ) – för att beskriva hur ”fuktig” eller hur ”torr” luften är vid en viss temperatur använder vi uttrycket relativ fuktighet. Relativ fuktighet är ett mått på hur mycket vattenånga luften innehåller i förhållande till hur mycket den kan innehålla vid samma torra temperatur.

Exempel: Torr temp. (T) av 27 °C med ett vatteninnehåll (x) på $0,0093\text{ kg/kg}$ har ett mätnadsinnehåll (x) på $0,0224\text{ kg/kg}$.

$$\varphi = \frac{0,0093}{0,0224} = 0,415 \text{ eller } 42\text{ %}$$

Entalpi i kJ/kg (i) – fuktig lufts värmeinnehåll

Exempel: $T = 27\text{ °C}$ och
 $\varphi = 42\text{ %}$ har
 Entalpi (i) = $50,9\text{ kJ/kg}$

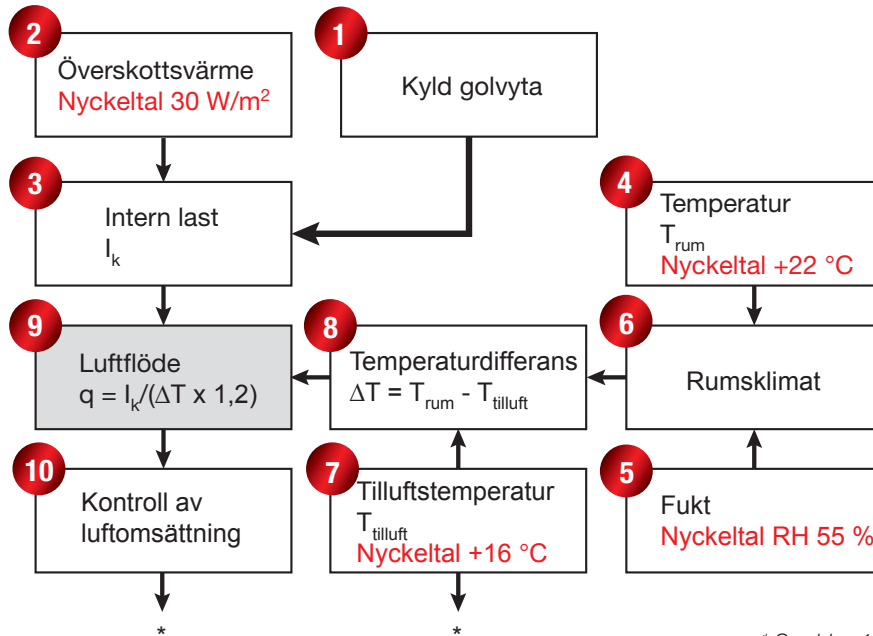
Daggpunktstemperatur i °C – är den yttemperatur vid vilken fukt börjar att kondensera på ytan. Högre fukthalt medför högre daggpunktstemperatur och omvänt.

Exempel: $T = 27\text{ °C}$ och
 $\varphi = 42\text{ %}$ har
 Daggpunktstemperatur = 13 °C



Alternativ 1. Optimerad beräkning

Luftflöde



* Se sidan 14

1 Kyld golvyta

Med kyld golvyta avses den totala golvytan som betjänas av den tillförda luften. Känner vi enbart till byggnadens totala golvyta, så kan som överslag för skolor, kontor, daghem och liknande byggnader antas att 70 % av den totala golvytan är lika med kyld golvyta.

2 Överskottsvärme

Nyckeltal: 30 W/m² (not.03)

För att bestämma lokalens värmebelastning finns det mycket avancerade beräkningsprogram där man tar hänsyn till vandrande skuggor, eftersläpning på grund av ackumulering i byggnadsstommen, etc. För att göra en snabb och praktiskt beräkning, om man ska titta på en del av en byggnad eller en enkel byggnad, kan värden enligt tabell 1 användas.

Exempel: Ett normalt kontorsrum med yttervägg mot NO och en kyld golvyta på 12 m²

Värmebelastning (se tabell 1)

1,6 m² 3-glasfönster med solskydd

1 st Personer

120 W Belysning lysrör

100 W Dator

Objekt		Yta-antal-effekt	Intensitet-koefficient			Värme-belastning W
			2-glas	3-glas	solskydd	
Fönster	NV.N.NO	1,6 m ²	330	300	x 0,35	168
	O, S	m ²	500	450	x 0,35	
	SV	m ²	520	470	x 0,35	
	V	m ²	450	400	x 0,35	
Yttervägg		m ²	12			
Yttertak	Undertak	m ²	18			
	Ej undertak	m ²	6			
Antal personer		1 st	115			115
Lysrör		120 W	1,2			144
Elförbrukare, datorer		100 W	1,0			100
Total värmebelastning i W						527

Tabell 1. Överslagsmässig kylbehovsberäkning

En tumregel kan vara att vid sammanlagring av värmebelastning utgå ifrån att solskydd finns för fönster och att solbelastning inte finns samtidigt med belysning.

Summa överskottsvärme blir då: $527 - 168 = 359 / 12 = 30 \text{ W/m}^2$

3 Intern last (I_k)

Den interna lasten är det värme som ska kylas bort från lokalen, orsakat av exempelvis belysning, personer, maskiner, sol etc. I_k = överskottsvärme (W/m^2) x kylad golvyta (m^2)

4 Temperatur (T_{rum})

Nyckeltal: +22 °C (not.05)

Ett mått på upplevelse av termisk komfort är det sk PPD indexet som ger den förväntade andelen otillfredställda bland en större grupp människor.

Inneklimatfaktor	Faktorvärde i kvalitetsklass		
	TQ1*	TQ2	TQ3
Operativ temperatur (t_o)			
Vinterfall			
- Högsta värde °C	23	24	26
- Optimalvärde °C	22	22	22
- Lägsta värde °C	21	20	18
Sommarfall			
- Högsta värde °C	25,5	26	27
- Optimalvärde °C	24,5	24,5	24,5
- Lägsta värde °C	23,5	23	22
Lufthastighet inom vistelsezon			
- Vinterfall m/s	0,15	0,15	0,15 (0,25)
- Sommarfall m/s	0,20	0,25	0,40

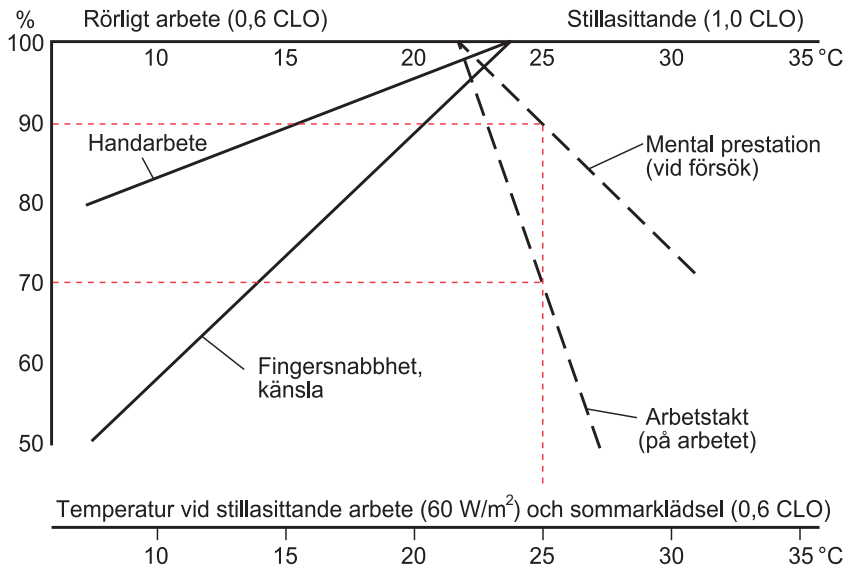
Tabell 2. Exempel på kravnivåer för termiska parametrar

* TQ1 bedöms bara kunna uppfyllas med individuell reglering av temperatur och luftflöde.

Klimatklass TQ1 är tänkt att ge mindre än 10 % missnöjda, medan klimatklass TQ2 ska motsvara 10 % missnöjda och klimatklass TQ3 20 %.



Försök har visat att rumstemperaturen har stor inverkan på människans prestationsförmåga. Det är påtagligt hur snabbt den mentala prestationen och arbetstakten minskar med ökande rumstemperatur.



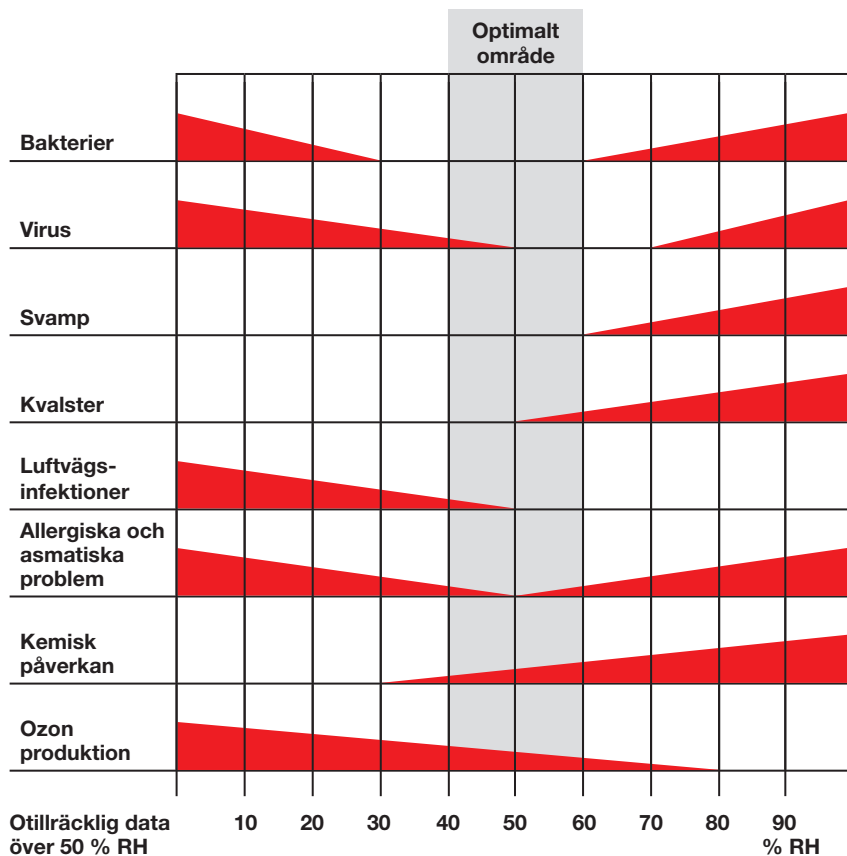
Inomhusklimat - produktivitet

För en person i vanligt kontorsarbete vid en rumstemperatur på +25 °C i förhållande till komforttemperaturen +22 °C sjunker arbetstakten till 70 % och den mentala prestationen till 90 %. Detta innebär att arbetsgivaren får ut 70 % av sina anställdas kapacitet vid den högre temperaturen.

5 Fukt

Nyckeltal: 55 % (not.06)

En rad forskningsrapporter som behandlar den relativa fuktighetens inverkan på människan, från bl a Sverige, Finland och Tyskland, visar att de negativa hälsoriskerna för människan är som lägst om den relativa fuktigheten inomhus kan hållas mellan 40 – 60 % RH.



Då vi i denna konstruktion inte har för avsikt att tillföra fukt, är det av stor vikt att vi vid kylning av uteluften inte bortför mer än nödvändigt med fukt.

6 Rumsklimat

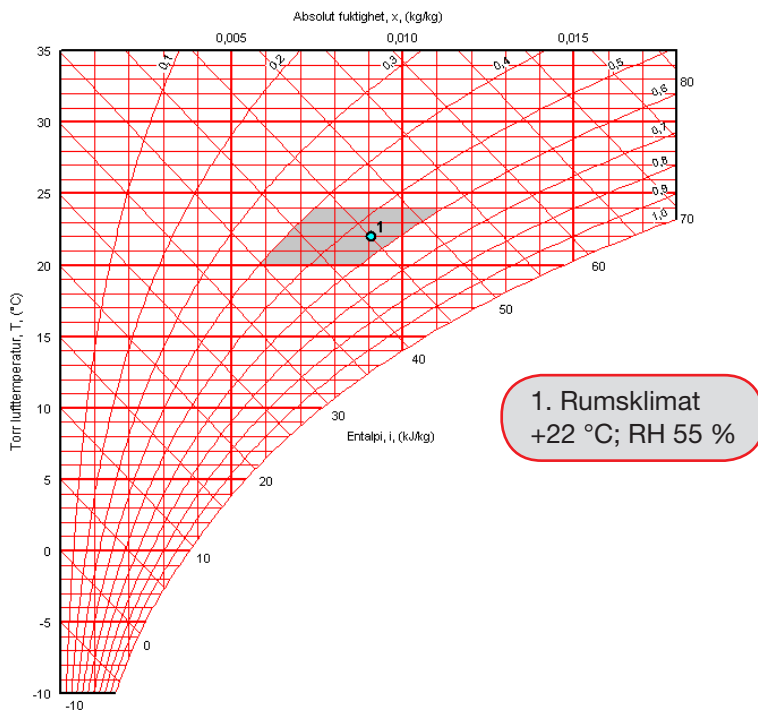
(+22 °C; RH 55 %)

Oberoende av vilken kombination av lufttemperatur, fuktighet etc man väljer, så är de individuella skillnaderna hur man uppfattar klimatet stora. Gränsen för vad man kallar sanitär olägenhet när det gäller temperatur i rumsmiljö ligger under +18 °C och över +28 °C.

Man ska dock skilja på bra komfort som ligger betydligt snävare, normalt inom intervallet +20 °C till +24 °C, vilket vi betraktar som lämpligt klimatområde för temperatur.

Undersökningar har visat att den maximala kombinationen endast kunde tillfredsställa 60 % av försökspersonerna. 20 % tyckte att det var för varmt och 20 % tyckte att det var för kallt. Vårt val blev +22 °C vid 55 % relativ fukt vilket vi ritar in i mollierdiagrammet.

Mollierdiagram för fuktig luft, barometertryck 101,3 kPa



7 Tilluftstemperatur efter tilluftsfläkt (T_{tilluft})

Nyckeltal: +16 °C (not.07)

För att vi ska kunna föra bort lokalens överskottsvärme krävs att vi tillför luft med lägre temperatur än rumstemperaturen.

Val av tilluftstemperatur styrs av flera parametrar, inblåsningssystem, val och placering av don, etc. Vanligen förekommande tilluftstemperatur är 15 – 18 °C.

Låga tilluftstemperaturer ger mer avfuktning och mindre nyttjande av uteluft för frikylning. Höga tilluftstemperaturer ger stora luftflöden och höga lufthastigheter.

Ett dimensionerande värde på tilluftstemperaturen kan +16 °C sägas vara. Att tillföra rummet luft av lägre temperatur kan vara förknippat med dragproblem.

Se till att inte undertemperera luften mer än 7 °C!

8 Temperaturdifferens (eller undertemperatur)

(max 7 °C)

Med temperaturdifferens eller undertemperatur avses den skillnad i grader Celsius som uppstår mellan rummets temperatur och den tillförda luftens temperatur.

9 Luftflöde

Erforderligt luftflöde bestäms av den dimensionerande internlasten och differensen mellan rummets och den tillförda luftens temperatur.

Det är således de termiska kraven, inte kraven på luftkvaliteten som är dimensionerande.

10 Kontroll av luftomsättning

(2,5-8 ggr/h)

Då vi bestämt luftflödet kontrollerar vi att luftomsättningen i lokalen ligger inom acceptabla värden.

Luftflödet i m³/h dividerat med rumsvolymen i m³ bör ligga mellan 2,5 och 8 ggr/h.

OBS!

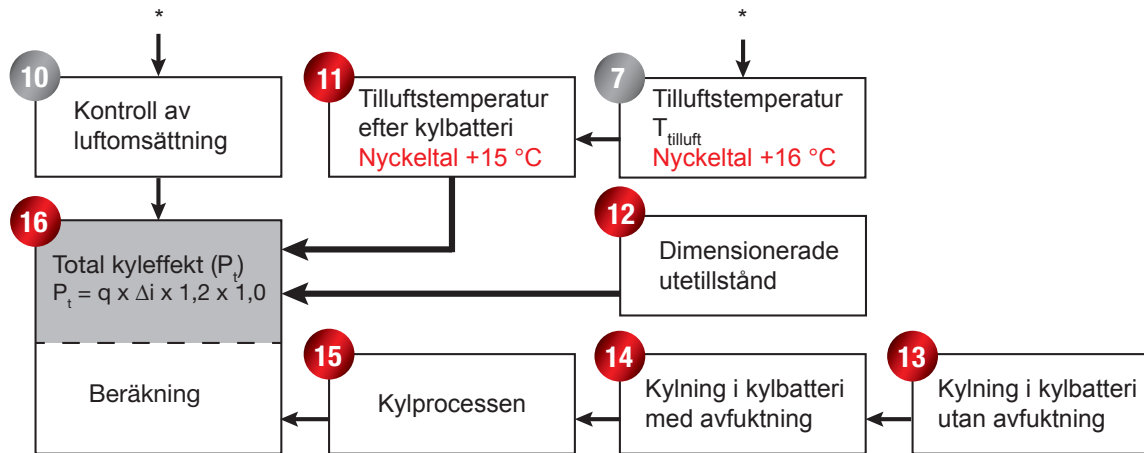
Blir luftomsättningen i lokalen större än 8 ggr, samtidigt som tilluftstemperaturen blir lägre än 15 °C är kylbehovet i lokalen större än vad som är lämpligt att kylas bort med luft som köldbärare.

Acceptera en högre rumstemperatur eller välj ett annat kylsystem.

Vid mindre än 2,5 luftomsättningar per timma har vi svårt för att kontrollera rumstemperaturen. Minska då på temperaturdifferensen genom att höja inblåsningstemperaturen så får man ett högre luftflöde och därmed fler luftomsättningar.

Överskrider vi 8 luftomsättningar per timma får vi svårt att tillföra luften till lokalen utan att förorsaka drag och buller. Minska på luftflödet genom att acceptera lägre tilluftstemperatur.

Total kyleffekt



* Se sidan 6

11 Tilluftstemperatur efter kylbatteri

Nyckeltal: +15 °C (not.11)

I de allra flesta anläggningar är tilluftsfläktens motor placerad i luftströmmen och avger värme till tilluften. Temperaturhöjningen kan beräknas då vi känner motoreffekten, normalt får vi en temperaturhöjning över fläktens motor på ca 1 °C.

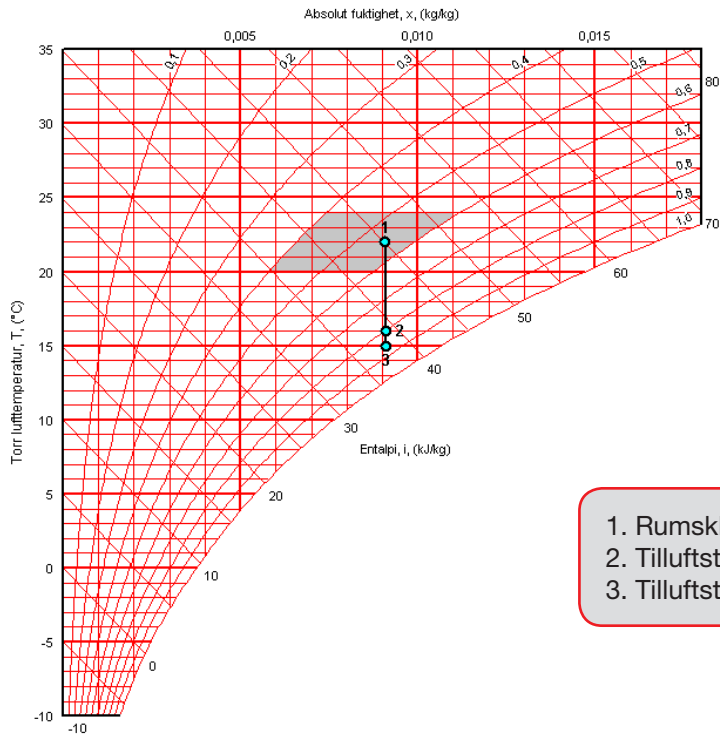
Lufttemperaturen efter kylbatteriet blir därför $16 - 1 \text{ °C} = 15 \text{ °C}$.

Vi tar nu hjälp av Mollierdiagrammet där vi ritar in processen. Vi utgår ifrån rumsklimatet +22 °C vid 55 % relativ fukt.

Då vår undertempererade luft värms i lokalen och all värmning sker vid konstant vatteninnehåll kommer följaktligen lufttemperaturen efter tilluftsfläkt, respektive kylbatteri att befinna sig på samma linje, dvs ca 0,009 kg.



Mollierdiagram för fuktig luft, barometertryck 101,3 kPa



1. Rumsklimat +22 °C; RH 55 %
2. Tilluftstemperatur efter tilluftsfläkt +16 °C
3. Tilluftstemperatur efter kylbatteri +15 °C

Kurvan i diagrammet ger oss den temperatur på tilluften som uteluften skall kylas till; +15 °C. Exakt var denna punkt kommer att hamna i den verkliga processen avgörs av:

- det dimensionerande utetillståndet
- vald förångningstemperatur i kylprocessen
- med eller utan kylåtervinning

12 Dimensionerande uteluftstillstånd

Ortens DUT sommar

Den dimensionerande temperatur och relativ fukt som vi ska kyla luften ifrån sommartid kan erhållas via statistik från Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, SMHI.

Nedanstående utdrag ur dessa data visar ortens högsta värden. Statistiken bygger på att värdena överskrider maximalt 50 timmar/år.

Ort	DUT 50 °C	Relativ fukt %
Borlänge	28	36
Linköping	27	42
Växjö	27	42
Örebro	27	42
Malmö	26	48
Halmstad	26	47
Stockholm	26	45
Sundsvall	26	41
Gävle	26	39
Jönköping	25	51
Kalmar	25	48
Östersund	25	46
Luleå	25	46
Umeå	24	48

Exempel

Dimensionerande värden
för Växjö är:

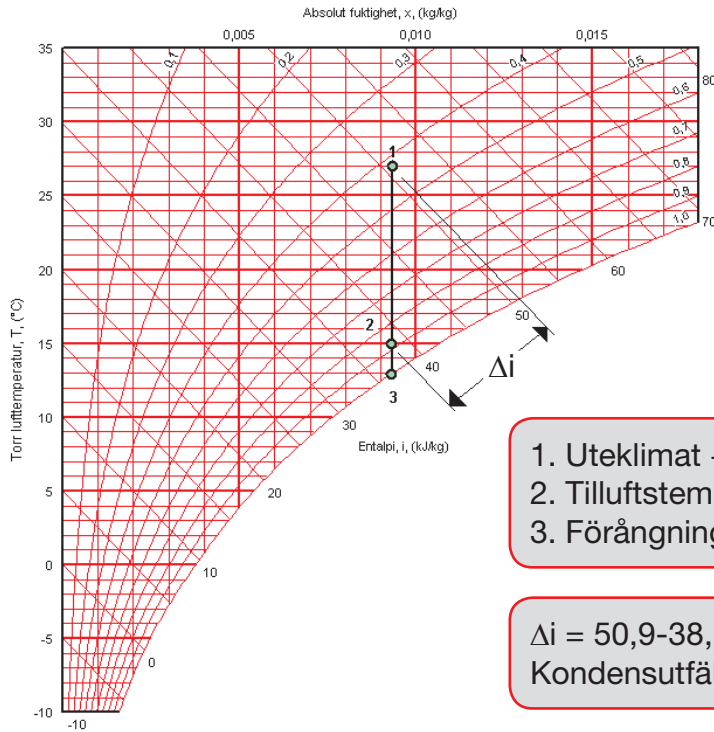
Temperatur = 27 °C

Relativ fukt = 42 %

13 Kylning i kylbatteri utan avfuktning

Vid kylning är förloppet beroende av batteriets yttemperatur. Är det inkommande köldmediets förångningstemperatur högre än den inkommande luftens daggpunkt sker ingen kondensutfällning och man har en så kallad ”torr kylning”. Kylningen sker i detta fall efter en vertikal linje i Mollierdiagrammet med konstant vatteninnehåll (x).

Mollierdiagram för fuktig luft, barometertryck 101,3 kPa



$\Delta i = \text{sensibel}$

1. Uteklimat +27 °C, RH 42 %
2. Tilluftstemperatur efter kylbatteri +15 °C
3. Förångningstemperatur +13 °C

$\Delta i = 50,9 - 38,1 = 12,8 \text{ kJ/kg luft}$
 Kondensutfällning $x = 0 \text{ kg/kg luft}$

Detta är den optimala kylprocessen, vilken vi vill efterlikna. Alltså, kylning utan kondensutfällning innebär ren sensibel kylning.

14 Kylning i kylbatteri med avfuktning, förångning 12 °C

Är förångningstemperaturen lägre än luftens daggpunkt blir förloppet mer komplicerat.

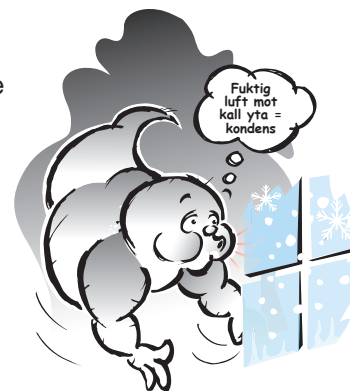
I ett direktverkande kylsystem är köldmediets temperatur ganska konstant genom hela batteriet. Kondensutfällningen i ett sådant system blir därför större ju lägre förångningstemperaturen är och vi talar här om att vi förutom sensibel kylning även får en latent kylning.

Själva förloppet i Mollierdiagrammet går ej att beskriva i hela sin fasförändring då det följer en krökt linje från luftens begynnelsestillstånd till önskad inblåsningstemperatur. Orsaken är att kyltans

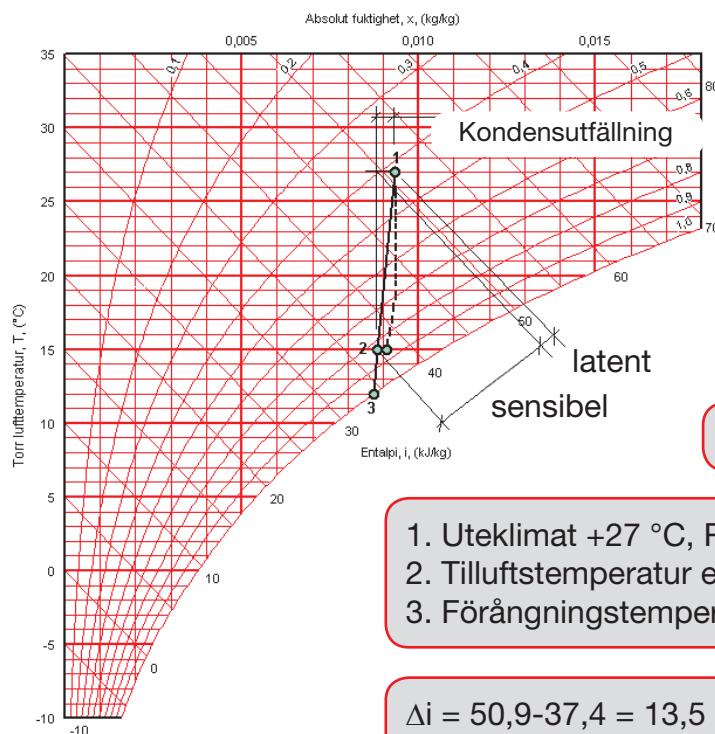
temperatur inte är konstant genom hela kylbatteriet utan oftast är högre på de första rörraderna än längre in. Även om köldmediets temperatur är konstant medför ett större värmefflöde, i den del av kylbatteriet där luften är varmast, att ytans temperatur är högre än längre in där luften är kallare.

Vi utför därför våra beräkningar efter det teoretiska förloppet där vi följer den räta linjen från uteluftens tillstånd mot förångningstemperaturen på mätnadslinjen.

Beräkningsmetoden ger oss dock en något högre kyleffekt än behovet.



Mollierdiagram för fuktig luft, barometertryck 101,3 kPa



$$\Delta i = \text{sensibel} + \text{latent}$$

1. Uteklimat +27 °C, RH 42 %
2. Tilluftstemperatur efter kylbatteri +15 °C
3. Förångningstemperatur +12 °C

$$\Delta i = 50,9 - 37,4 = 13,5 \text{ kJ/kg luft}$$

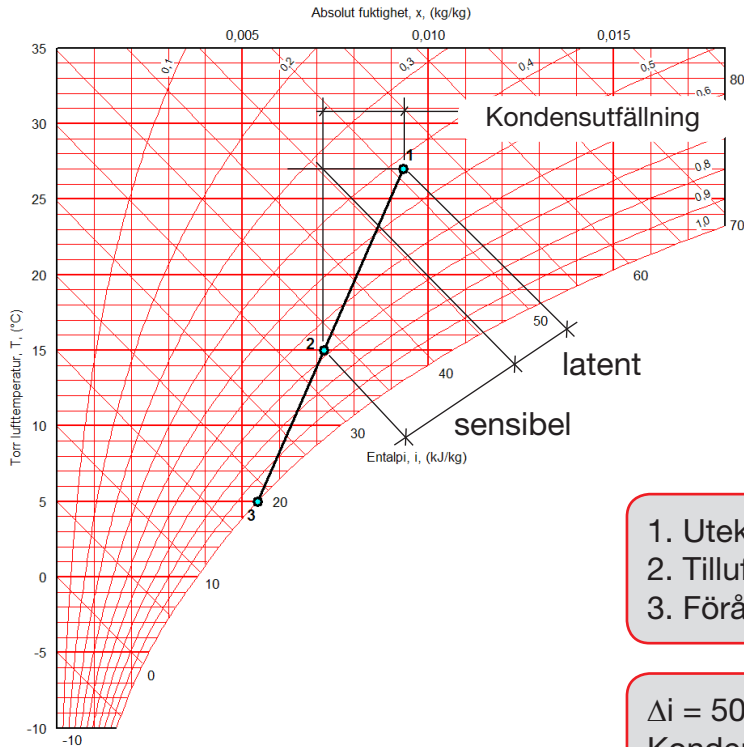
$$\text{Kondensutfällning } x = 0,0005 \text{ kg/kg luft}$$

Här kan vi utläsa att genom att sänka förångningstemperaturen från 13 till 12 °C ökar det totala kylkylbehovet med $(13,5 - 12,8) / 12,8 = 5,5 \%$.

Kylning i kylbatteri med avfuktning, förångning 5 °C

Kylanläggningar med en förångningstemperatur på +5 °C är av tradition vanligt förekommande. Låt oss därför studera även denna process i Mollierdiagrammet.

Mollierdiagram för fuktig luft, barometertryck 101,3 kPa



$$\Delta i = \text{sensibel} + \text{latent}$$

1. Uteklimat +27 °C, RH 42 %
2. Tilluftstemperatur efter kylbatteri +15 °C
3. Förångningstemperatur +5 °C

$$\Delta i = 50,9 - 33,2 = 17,7 \text{ kJ/kg luft}$$

$$\text{Kondensutfällning } x = 0,0021 \text{ kg/kg luft}$$

Vi får för samma projekterade temperatursänkning som vid kylning i kylbatteri utan avfuktning en kylmaskin med ca 40 % högre kyleffekt.

En onödigt stor kylmaskin får täta start och stopp vilket ger oss svårigheter med att reglera tilluftstemperaturen, samt äventyrar driftsäkerheten genom korta drifttider.

En ekonomisk och teknisk dimensionering har sin förångningstemperatur 3 – 5 °C lägre än luftens temperatur efter kylbatteriet.

15 Kylprocessen

För att få rätt mix av kyla och fukt ska följande krav ställas på kylutrustningen:

- Att den kan sänka lufttemperaturen utan att kondensera vatten.

Detta erhålls genom att dimensionera för en hög förångning.

Val av förångningstemperatur är avgörande för hur stor den totala kyleffekten blir. Hög förångningstemperatur ger som resultat:

- låg total kyleffekt
- låg anslutningseffekt för el
- låg energiförbrukning

16 Total kyleffekt ($P_{\dot{q}}$)

Med kännedom av det totala kylbehovet och luftflödet kan den totala kyleffekten beräknas.

- Det totala kylbehovet fås som en differens mellan uteluftens entalpi och den kylda luftens entalpi efter kylbatteriet.

Sammanställning

Beräkningsblankett

	Stora K Nyckeltal	Anmärkning	Egna indata	Not	Formel	Beräkning	Till IV Produkts produktvals-program
Luftflöde							
1 Lokalens kylda golvyta			560 m ²	01		-	
- Rumshöjd			2,4 m	02		-	
2 Överskottsvärme	30 W/m ²	Max 50 W/m ²	30 W/m ²	03		-	
3 Intern last I _k			-	04	not 01 x not 03 x 0,001 =	16,8 kW	
4 Rumstemperatur T _{rum}	22 °C	20-24 °C	22 °C	05		-	22,0 °C
5 Relativ fukt RH	55 %	40-60 %	55 %	06		-	55,0 %
6 Rumsklimat		22 °C; RH 55 %	-			-	
7 Tilluftstemperatur T _{tilluft}	16 °C	15-18 °C	16 °C	07		-	16 °C
8 Temperaturdifferens ΔT		5-7 °C	-	08	not 05 - not 07 =	6 °C	
9 Luftflöde q			-	09	not 04 / (not 08 x 1,2) =	2,33 m ³ /s	2,33 m ³ /s
10 Kontroll av luftomsättning		2,5-8 ggr/h	-	10	not 09 x 3600 / (not 01 x not 02) =	6,25 ggr/h	
Kyleffekt							
11 Tilluft efter kylbatteri			-			-	
- Temperatur	15 °C		15 °C	11		-	
- Entalpi		Enl.Mollierdiagram	37,4 kJ/kg	12		-	
12 Dimensionerade uteluftstillstånd			-			-	
- Ort		Enl. SMHI	Växjö	13		-	
- Temperatur		Enl. SMHI	27 °C	14		-	27 °C
- Relativ fukt		Enl. SMHI	42 %	15		-	42,0 %
- Entalpi Δi		Enl.Mollierdiagram	50,9 kJ/kg	16		-	
16 Total kyleffekt P _t			-	17	not 09 x (not 16 - not 12) x 1,2 x 1,0 =	37,8 kW	

Kostnadsanalys

Att installera och driva en kylanläggning har genom åren ansetts vara alltför kostnadskrävande och därmed setts som onödig lyx!

Vi skall genom några exempel försöka bringa klarhet i om så är fallet och i så fall varför.

Pay-off

Kan det vara möjligt att en installation av kyld luft kan betala sig? Låt oss se!

Med dagens ökande interna värmelaster från datorer, skrivare, kopieringsmaskiner etc så är det inte osannolikt att temperaturen inomhus är eller överstiger 25 °C i mer än 200 timmar/år.

Med hänvisning till tidigare analys av rumstemperaturen, kan man konstatera att arbetstakten sjunker till 70 % vid en rumstemperatur på 25 °C.

Antar vi en timkostnad per anställd på 300 kr inklusive avgifter, så blir förlusten $0,3 \times 200 \times 300 = 18\,000$ kr/anställd och år!

Om varje anställd disponerar en yta på 20 m² så innebär det att en investering på 900 kr/m² för kyld luft har betalat sig redan på ett år.

I vårt redovisade exempel på beräkningsblanketten har vi en lokal med en kyld golvyta på 560 m². Enligt ovanstående nyckeltal kan vi därför disponera 560×900 kr = 504 000 kr/år för installation av kyla!



Driftskostnad

Låt oss nu studera vad vår kylanläggning kan dra med sig för kostnader beträffande driften.

Vi förutsätter att ventilationsanläggningens luftflöde är detsamma för såväl kyl- som värmedrift och koncentrerar oss därför på merkostnaden vid kyl drift.

Vi jämför samtidigt de båda beskrivna alternativen med olika förångningstemperaturer.

Vårt alternativ vid +12°C förångning

Förutsättningar		
		Tilluft
Luftflöde		2,33 m ³ /s
Temperaturer	Kylfall	16 °C
Årsmedeltemperatur		6,4 °C
Drifttyp		Dagtid 09-21
Drifttid		4380 h
Energipris		1,2 kr/kWh
Förångningstemperatur		12 °C

Enligt vår beräkning krävs i detta fall en total kyleffekt på 37,8 kW och vi räknar med en verkningsgrad över kompressorn (COP) på 3,8 samt en tilluftsfläkt med motoreffekt lika med 3,0 kW.

Resultat		
Varaktighet		Kyla
Årskyla		7356 kJh/kg luft
Energifördelning		
Totalt behov		20568 kWh
Latent kylenergi (avfuktning av luft)		1413 kWh
Energi för drift		
Kompressorer	Totalt	5413 kWh
Driftskostnad		
Kyla	Totalt	6496 kr/år
Erforderliga effekter		
El till kyl drift		9,9 kW

Alternativet med +5 °C förångning

Förutsättningar		
		Tilluft
Luftflöde		2,33 m ³ /s
Temperaturer	Kylfall	16 °C
Årsmedeltemperatur		6,4 °C
Drifttyp		Dagtid 09-21
Drifttid		4380 h
Energipris		1,2 kr/kWh
Förångningstemperatur		5 °C

Enligt redovisat exempel i Mollierdiagrammet krävs här en total kyleffekt på $2,33 \times 17,7 \times 1,2 = 49,5$ kW.

Vi får samtidigt på grund av den lägre förångningstemperaturen en försämrad verkningsgrad, COP = 3,1, medan vi bibehåller tilluftsfläktens motoreffekt på 3,0 kW.

Resultat		
Varaktighet		Kyla
Årskyla		8078 kJh/kg luft
Energifördelning		
Totalt behov		22587 kWh
Latent kylenergi (avfuktning av luft)		3432 kWh
Energi för drift		
Kompressorer	Totalt	7286 kWh
Driftskostnad		
Kyla	Totalt	8744 kr/år
Erforderliga effekter		
El till kyldrifv		16,0 kW

Sammanfattning

Vi kan här se att den årliga kostnaden för drift av kylanläggningen är försvinnande liten och att den tillsammans med installationskostnaden inte bör ligga till grund för att inte installera kyld luft.

Vi kan i jämförelsen mellan exemplen även se att det finns ekonomi i att dimensionera sin anläggning för att kyla luft med hög förångningstemperatur.

Frikyla, aktiv kyla och kylåtervinning

Frikyla

Så länge utomhustemperaturen är lägre än eller lika med önskad rumstemperatur är det ett självklart alternativ att kyla med uteluft – ”frikyla”

Aktiv kyla

När inte uteluften räcker till för att hålla önskad inomhustemperatur behöver vi komplettera med tillförd kyleffekt – ”aktiv kyla” (lämpligen i form av ett direktverkande integrerat kompressorkylaggregat).

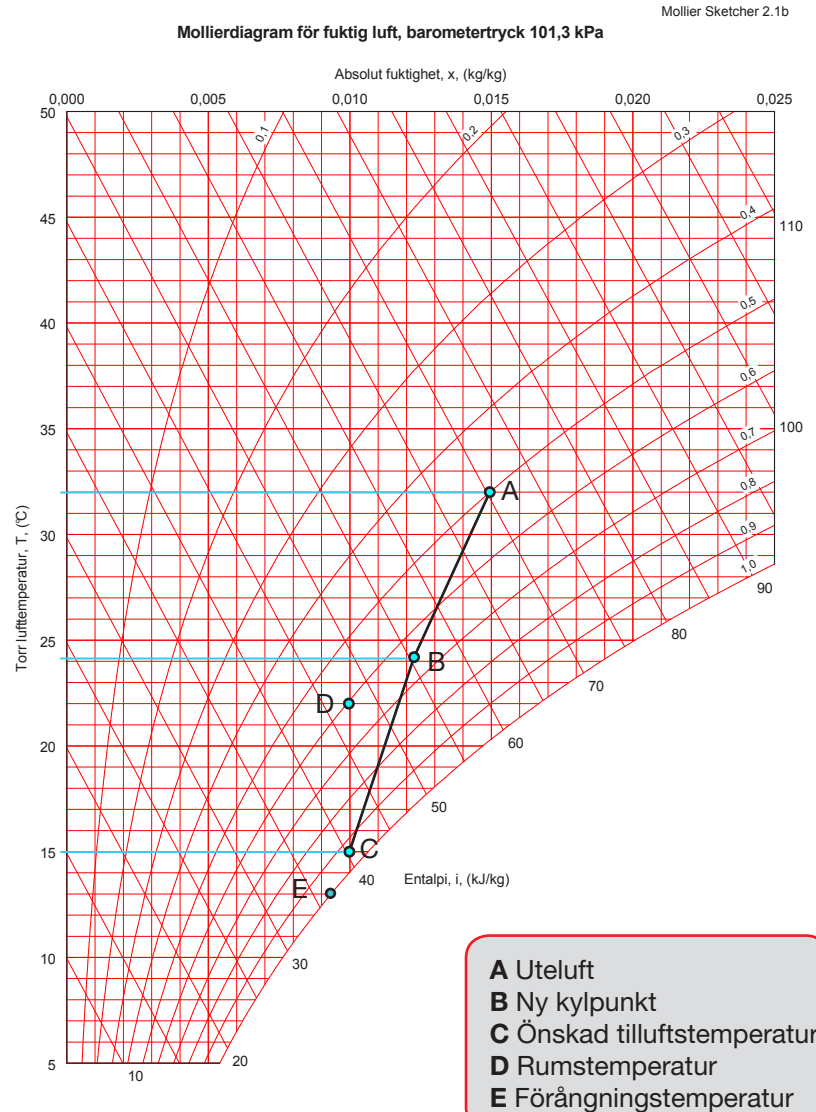
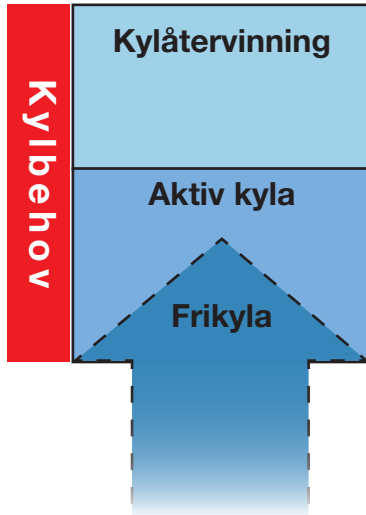
Kylåtervinning

De allra flesta luftbehandlingsaggregat levereras idag med någon form av värmeåtervinnare. Genom att placera kylaggregatets förångare på tilluftsidan och kondensorn på avluftsidan (det vill säga på varsin sida om värmeåtervinnaren) får vi möjlighet att också återvinna kyla i kombination med aktiv kyla.

Temperatur- och fuktåtervinning kapar kylaggregatets effektbehov samt säkerställer att vi har fungerande kyla när den behövs som bäst.



Princip visande kylprocess med frikyla, aktiv kyla och kylåtervinning i ett till- och frånluftsaggregat med hygroskopisk roterande värmväxlare.



Alternativ 2. Historisk överslagsberäkning

Att dimensionera behovet av luftflöde och kyleffekt har vi gjort under lång tid. Ofta nöjde vi oss med att utföra enkla överslagsberäkningar, med hjälp av erfarenhetsvärden (nyckeltal), för att bestämma en lokals behov av luftflöde och kyleffekt.

Nyckeltalen gav oss möjlighet att bestämma luftflöde och storlek på ventilationsaggregat med kylbatteri. Vi fick även på detta vis fram de uppgifter som behövdes för att dimensionera en kylmaskin.

Däremot kunde vi inte utläsa vad vårt antagande gav oss för resultat beträffande tilluftstemperatur, kapacitet för internlasten, COP, anslutningseffekt, etc.

Vanligen förekommande nyckeltal var att multiplicera lokalens kylda golvyta med:

Aggregatets luftflödesbehov	12 –15 m ³ /m ² /h
Kylmaskinens totala kyleffekt	80 – 85 W/m ² golvyta

Enligt vårt ”optimerade beräkningsexempel” med en kyld golvyta på 560 m² fick vi ett luftflöde på 2,33 m³/s och en total kyleffekt på 37,8 kW.

Vi ska nu se om den ”historiska överslagsberäkningen” kan gälla även för idag.



Låt oss räkna luftflödet efter $15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ och kyleffekten efter $85 \text{ W}/\text{m}^2$.

Luftflödet blir då: $560 \times 15 = 8400 \text{ m}^3/\text{h}$ eller $2,33 \text{ m}^3/\text{s}$ och kylmaskinens totala kyleffekt:
 $560 \times 85 = 47600 \text{ W}$ eller $47,6 \text{ kW}$.

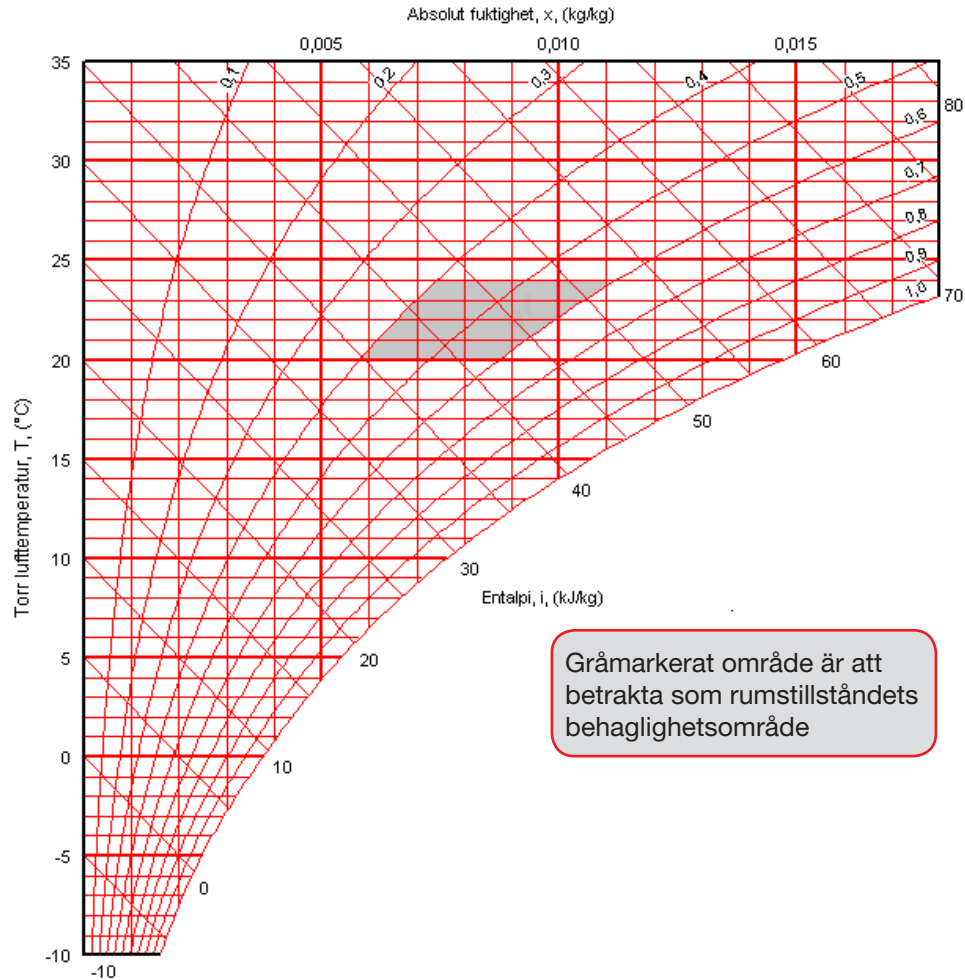
Som vi kan se hade vi kommit rätt på luftflödet om vi hade valt $15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ som nyckeltal.

Beträffande kyleffekten hade vi fått en allt för stor kylmaskin, vilket kan förklaras med att dåtida nyckeltal var baserade på att kylmaskinen hade en förångningstemperatur på $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ istället för som i vår optimerade beräkning $+10$ till $12 \text{ }^\circ\text{C}$.

Av detta kan vi se att nyckeltalen kan användas för snabba överslagsberäkningar, men är inte tillräckliga nog för den slutgiltiga dimensioneringen.

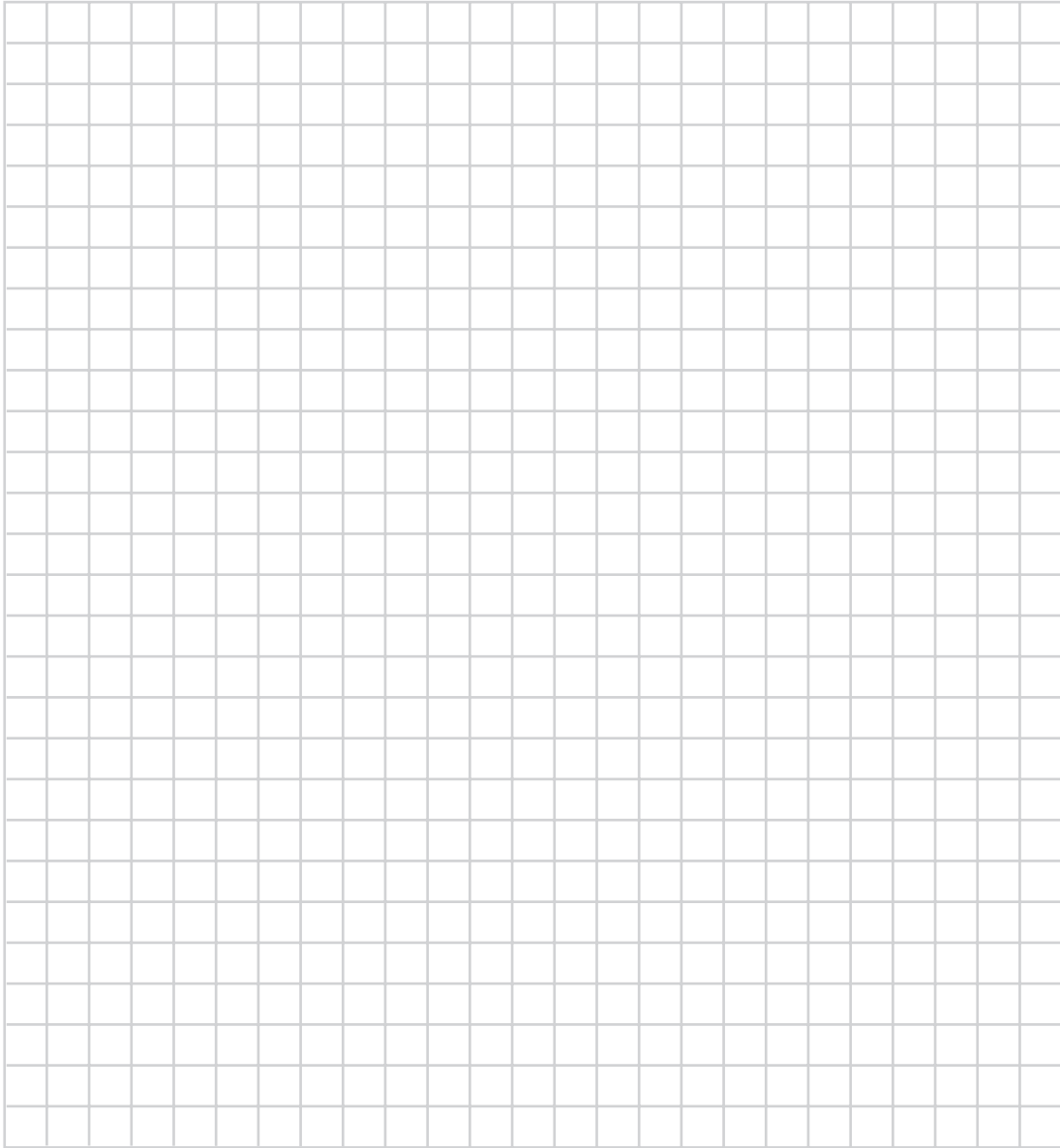
Bilaga 1. Mollierdiagram

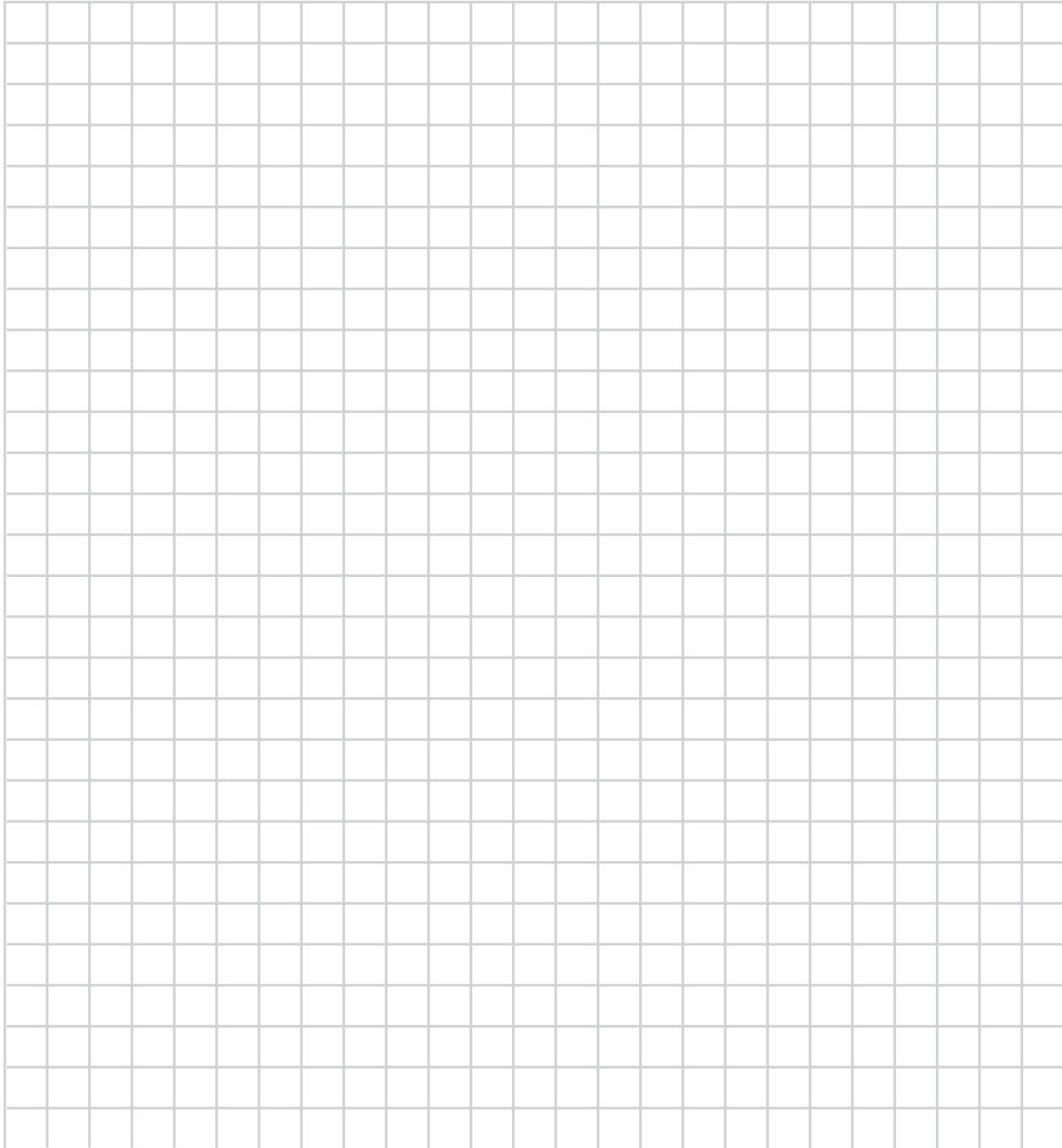
Mollierdiagram för fuktig luft, barometertryck 101,3 kPa



Bilaga 2. Beräkningsblankett

	Stora K Nyckeltal	Anmärkning	Egna indata	Not	Formel	Beräkning	Till IV Produkts produktvals-program
Luftflöde							
1 Lokalens kylda golvyta			m ²	01		-	
- Rumshöjd			m	02		-	
2 Överskottsvärme	30 W/m ²	Max 50 W/m ²	W/m ²	03		-	
3 Intern last I _k			-	04	not 01 x not 03 x 0,001 =	kW	
4 Rumstemperatur T _{rum}	22 °C	20-24 °C	°C	05		-	°C
5 Relativ fukt RH	55 %	40-60 %	%	06		-	%
6 Rumsklimat		22 °C; RH 55 %	-			-	
7 Tilluftstemperatur T _{tilluft}	16 °C	15-18 °C	°C	07		-	°C
8 Temperaturdifferens ΔT		5-7 °C	-	08	not 05 - not 07 =	°C	
9 Luftflöde q			-	09	not 04 / (not 08 x 1,2) =	m ³ /s	m ³ /s
10 Kontroll av luftomsättning		2,5-8 ggr/h	-	10	not 09 x 3600 / (not 01 x not 02) =	ggr/h	
Kyleffekt							
11 Tilluft efter kylbatteri			-			-	
- Temperatur	15 °C		°C	11		-	
- Entalpi		Enl.Mollierdiagram	kJ/kg	12		-	
12 Dimensionerade uteluftstillstånd			-			-	
- Ort		Enl. SMHI		13		-	
- Temperatur		Enl. SMHI	°C	14		-	°C
- Relativ fukt		Enl. SMHI	%	15		-	%
- Entalpi Δi		Enl.Mollierdiagram	kJ/kg	16		-	
16 Total kyleffekt P _t			-	17	not 09 x (not 16 - not 12) x 1,2 x 1,0=	kW	





Litteraturförteckning

VVS 2000, Tabeller och Diagram

SMHI

Luftbehandling 2, Gunnar Lilja, Liber förlag

Termisk komfort, Leif Davidsson, Ahlsell kyl

Klimatteknologi, Torkel Andersson, DELTAte

RAPPORT EFFEKTIV 200:1, Per-Erik Nilsson

”Behovet av kyld luft ökar, med detta ställs högre krav på miljö, effekt- och energiriktiga lösningar. De krav som vi dock i första hand ska ställa på inomhusklimatet i en byggnad är att rumstemperaturen ska ligga på en komfortabel nivå oberoende av vilket väder som råder utomhus. Enhetsaggregat utformade som direktverkande kylsystem i ett luftbehandlingsaggregat möjliggör en sådan lösning, samtidigt som både det termiska klimatet och luftkvaliteten upprätthålls. Genom att kombinera frikyla och kylåtervinning med en kylmaskin kan det - annars erforderliga - totala effektbehovet för kyla och elkraft kraftigt reduceras.”



Luftbehandling med LCC i fokus

IV Produkt AB, Box 3103, 350 43 Växjö
Tel: 0470-75 88 00 • Fax: 0470-75 88 76
info@ivprodukt.se • www.ivprodukt.se

ISBN 978-91-637-1688-1