



AFFUGTNING

Planlægningsvejledninger til tekniske byggetjenester og specialistplanlæggere

Befugtning
Affugtning
Fordampningskøling

 **condair**

	Side
FORORD	3
1. Termer og definitioner	4
1.1 Gasblandingen i luft	4
1.2 Luftfugtighed	4
1.3 Delvist tryk for vanddamp	4
1.4 Relativ luftfugtighed	4
1.5 Absolut luftfugtighed	4
1.6 Dugpunkttemperatur	4
1.7 Densitet	4
2. Molliers hx-diagram.....	6
3. Affugtning og tørremetoder	9
4. Kondensaffugter.....	11
4.1 Betjening af kondensaffugter	11
4.2 Størrelsesbestemmelse	11
4.3 Bemærkninger vedrørende planlægning, valg og drift af en kondensaffugter	12
5. Tørreanlæg med vandabsorberende midler	15
5.1 Betjening af tørreanlæg med vandabsorberende midler	15
5.2 Regenerering	16
5.3 Akkumuleret varme	16
5.4 Størrelsesbestemmelse	16
5.5 Bemærkninger vedrørende planlægning, valg og drift af et tørreanlæg med vandabsorberende midler	17
5.6 Oversigt	18
6. Beregningsgrundlag	
6.1 Specifikationer, der kræves til planlægning og design af affugtningssystemer i den industrielle og kommercielle sektor	19
6.2 Specifikationer, der kræves til planlægning og design af affugtere til swimmingpools	20
6.3 Skønsmæssigt design af et affugtningssystem	21
6.4 Grundlæggende metode til beregning af ydeevne for affugter/tørreanlæg	22
6.5 Beregning af ydeevne for affugter/tørreanlæg for at undgå at komme under dugpunktet	24
7. Regulering af affugtningssystemer	26
8. Anbefalede forhold i overensstemmelse med anvendelsesområder	28
9. Litteraturliste	30



FORFATTER:
Dipl. -Ing. Klaus Achenbach
Market Development Manager Central Europe

Planlægningsvejledninger til affugtningssystemer

INTRODUKTION

Disse vejledninger bør understøtte dig i dit valg af et passende affugtningssystem til professionelle anvendelser. De forklarer de grundlæggende principper ved de to mest almindelige affugtningssystemer – affugtning via kondensering og tørring via sorption. Viden om begrænsninger i drift og anvendelse gør det muligt at bestemme den optimale teknologi til de respektive affugtningssopgaver tidligt i planlægningsfasen. Derudover tilvejebringes der bemærkninger omkring, hvilke rammeforhold, der på forhånd skal afklares på stedet og hvilke

specifikationer, der kræves for at sikre korrekt design. Herefter præsenteres nogle prøveberegninger. Ved krævende affugtningssopgaver bør en specialist altid kontaktes, idet et mangfoldigt udvalgt af designs er i brug, og større affugtningssystemer giver rent faktisk enorme potentielle energibesparelser, når den korrekte konfiguration anvendes.

1. Termer og definitioner

1.1 Gasblandingen i luft

I naturen er luften altid fugtig. Fugtig luft består af tør luft og vanddamp. Den tørre luft er en gasblanding bestående af ca. 78 volumenprocent nitrogen, 21 volumenprocent oxygen og 1 volumenprocent argon.

1.2 Luftfugtighed

Termen "luftfugtighed" beskriver andelen af vand i gasblandingen i luft. Værdien for indholdet af vanddamp kan angives på forskellige måder. Kun de værdier, der er relevante for beregning og design af affugtningssystemer præsenteres her.

1.3 Delvist tryk for vanddamp

Alle gasser indeholdt i luften udøver et vist niveau af tryk i blandingen (delvist tryk). Det delvise tryk for vanddampen er således vanddampens delvise tryk p_p .

Som et resultat af vanddampens delvise tryk fordeles vanddampen jævnt i luften. Et højere indhold af vanddamp – ved den samme temperatur – betyder også et højere delvist tryk for vanddamp.

1.4 Relativ luftfugtighed

Relativ luftfugtighed ϕ repræsenterer forholdet mellem vanddampens delvise tryk p_p og mætningstrykket p_s ved en given temperatur. Dette muliggør direkte bestemmelse af den grad, i hvilken luften er mættet med vanddamp.

Den volumen af vanddamp, der kræves for mætning, er temperaturafhængig. Angivelse af fugtindhold som relativ luftfugtighed er således kun væsentligt, hvis temperaturen ligeledes angives.

$$P = \frac{p_p}{p_s} \text{ eller } \phi = \frac{p_p}{p_s} \times 100 \%$$

$$\text{ligeledes } \phi = \frac{x_p}{x_s}$$

1.5 Absolut luftfugtighed

Den absolutte luftfugtighed x , også kaldet fugtindhold, defineres som forholdet mellem luftfugtighed m_v og massen af tør luft m_{LUFT} .

$$x = \frac{m_p}{m_{LUFT}} \text{ i } \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg tør luft}}$$

Idet mætningstrykket p_s er temperaturafhængigt, kan den absolutte luftfugtighed x bestemmes fra de målbare dimensioner af relativ luftfugtighed ϕ ,

temperaturen t og det samlede tryk p i luften:

$$x = 0,622 \times \frac{\phi \times p_s}{P - p_s \times \phi}$$

Den absolutte luftfugtighed x afhænger af tryk og temperatur og repræsenterer en direkte måling af indholdet af vanddamp i et givent volumen af luft.

1.6 Dugpunkttemperatur

Dugpunkttemperaturen er den temperatur, ved hvilken der først afgives kondens fra en gasblanding (umættet, fugtig luft) under tilstedeværelse af isobarisk køling. I h_x -diagrammet (se side 7) ligger dugpunktet ved skæringspunktet for linjen $x = \text{konst.}$ med mætningslinjen.

Vanddamp kondenserer på overflader og vidder, hvis temperaturer er under dugpunkttemperaturen. For at affugte umættet luft skal temperaturen på den køligere overflade (=fordamperen) på en kondensaffugter altid være under dugpunkttemperaturen.

1.7 Densitet

Densiteten ρ angiver massen for et stof, der er indeholdt i et vist volumen. Densiteten for fugtig luft kan bestemmes som følger:

$$\rho = \frac{p_{AIR}}{R_{LUFT} \times T} + \frac{p_p}{R_p \times T} = \frac{p \times \phi \times p_s}{R_{LUFT} \times T} + \frac{\phi \times p_s}{R_p \times T}$$

For anvendelser over havoverfladen og i temperaturintervaller på 0-35 °C kan der imidlertid anvendes en værdi på 1,2 kg/m³ til at beregne med tilstrækkelig nøjagtighed.

2. Molliers hx-diagram

Molliers hx-diagram kan anvendes til at bestemme alle de nødvendige dimensioner til design af affugtningsystemer. Disse er:

A) Densitet ρ i kg/m^3

Yderst til venstre angives den relaterede densitet af fugtig luft i kg/m^3 for det respektive gyldige totale tryk i diagrammet.

B) Lufttemperatur t

Lufttemperaturen i $^{\circ}\text{C}$ vises på grundaksen, der løber vertikalt. For overskuelighedens skyld præsenteres her generelt kun ét, begrænset område fra ca. -20 til $+60$ $^{\circ}\text{C}$. Referencelinjen løber fra venstre mod højre med $t = \text{konstant}$ på basis af den temperaturværdi, der er anført på grundaksen.

C) Absolut luftfugtighed (fugtindhold) x

Absolut luftfugtighed i g/kg $t_{\text{øf}}$ luft vises på den øverste, horisontale akse. Derfra løber linjerne med $x = \text{konstant}$ vertikalt nedad.

D) Relativ luftfugtighed

De kurver, der er konstrueret på basis af forholdet mellem absolut indhold af vanddamp og mængden af temperaturafhængig mættet vanddamp, der løber fra nederst til venstre mod øverst til højre, beskriver linjerne for konstant luftfugtighed. Linjen $\phi = 100\%$ beskrives som en mætningslinje.

E) Delvist tryk for vanddamp p_p i mbar

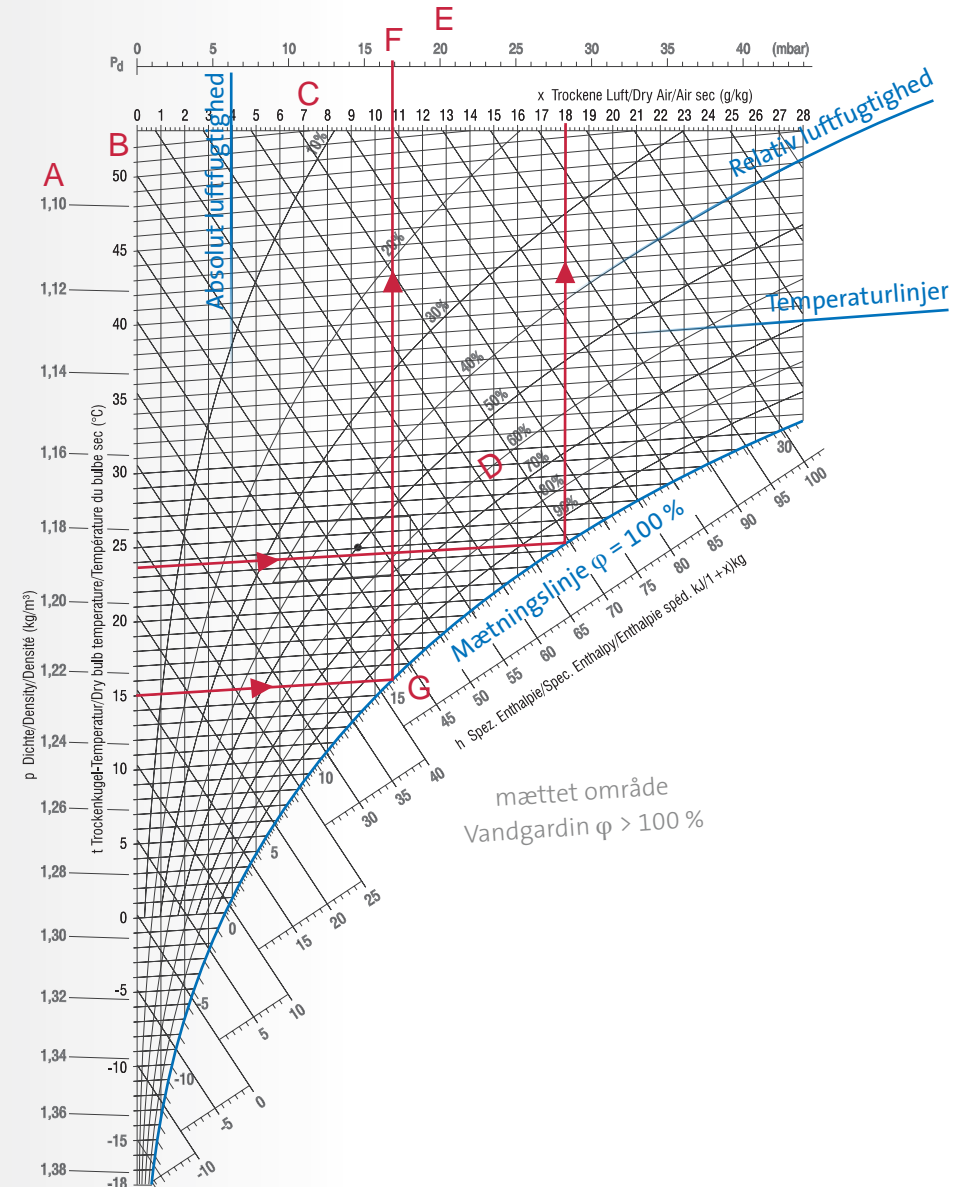
Det delvise tryk for vanddamp p_p i mbar kan bestemmes på de horisontale paralleller til den absolutte luftfugtighed x .

F) Mætningstryk p_s i mbar

Mætningstryk i p_s i mbar er resultatet af den horisontale referencelinje fra temperaturen ved skæringspunktet = 100% (mætningslinje)

G) Dugpunkttemperatur (Mætningstemperatur)

Skæringspunktet for en linje $x = \text{konstant}$ med mætningslinjen betegnes som dugpunktet. Den associerede temperatur, vist på den horisontale grundakse, der den dugpunkttemperatur, under hvilken kondensdannelse forekommer.



3. Affugtning og tørremetoder

Der anvendes primært to procedurer til affugtning:

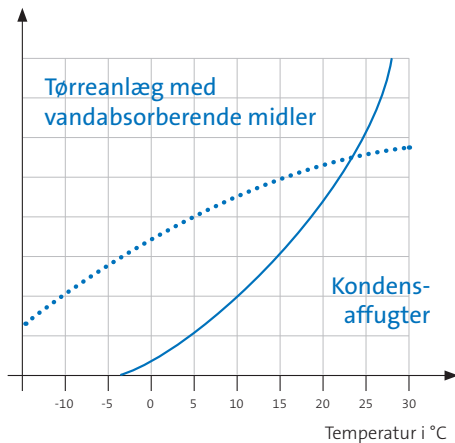
Tørring ved hjælp af sorption

Adsorption af vanddamp indeholdt i fugtig luft af hygroskopiske overflader (silicagelrotor).

Denne brochure henviser kun til affugtnings- og tørringsløsninger i enkeltstående systemer. Affugtning ved hjælp af overfladekølere forsynet med koldt vand, som anvendt i ventilationssystemer, berøres derfor ikke yderligere.

Affugtning via kondensering: Denne proces involverer afkøling af den fugtige luft til under dugpunktet ved at lede luftstrømmen over den kolde overflade på en varmeveksler (fordamper i et kølekredsløb).

Ydeevne for affugtning/tørring



Det medfølgende diagram viser driftskarakteristika for begge systemer:

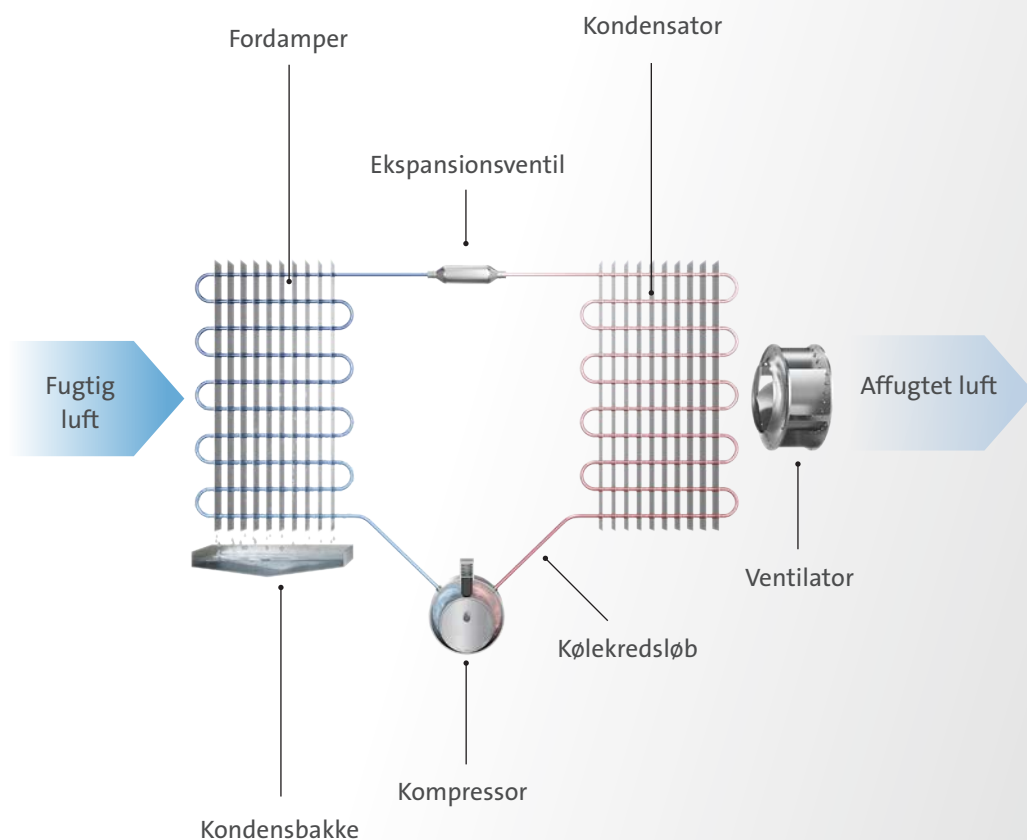


Swimmingpool,
Typisk område til brug af kondensaffugtere



Medicinalindustrien,
Typisk område til brug af tørreanlæg med vandabsorberende midler

Funktionsbeskrivelse af kondensaffugter



4. Kondensaffugtere:

Kondensaffugtere som brugsklare aggregater anvendes ofte i industrielle og kommercielle anvendelser og til affugtning af swimmingpools. Overalt, hvor niveauer af luftfugtighed skal holdes mellem 45 og 60 % relativ luftfugtighed, udgør kondensaffugtere en energibesparende og omkostningseffektiv løsning. Affugtere til swimmingpools er specielle typer af kondensaffugtere. De er beskyttet mod luft, der indeholder klor, ved hjælp af særlige midler (f.eks. belægning på varmevekslerne) og kan udstyres med yderligere varmevekslere til indendørs opvarmning, kondensatorer til poolvand osv. Begrænsende faktorer vedrørende det opnåelige endelige fugtindhold er hovedsagelig karakteristikaene ved det anvendte kølemiddel (tryk, temperatur) og det konstruktive layout for fordamper-varmeveksler (bypass-faktor). Generelt gælder følgende principper: kondensaffugtere kan sædvanligvis implementeres i temperaturintervaller mellem ca. +5 og +36 °C ved en opnåelig relativ luftfugtighed på 45 % relativ luftfugtighed

4.1 Betjening af en kondensaffugter

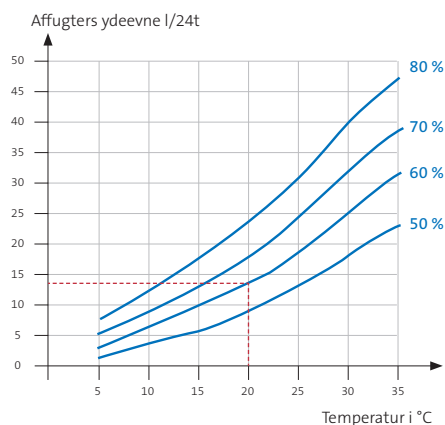
Grundlaget for enhver kondensaffugter er et lukket kølekredsløb, der fungerer i overensstemmelse med varmepumpeprincippet. En ventilator suger den omgivende fugtige luft ind. Denne

passerer først gennem et filter, der er installeret for at beskytte varmevekslerne, før den ledes over fordamperen. På denne kolde overflade nedkøles luften til under dens dugpunkt, hvor en stor del af den vanddamp, den indeholder, omdannes til kondens. Det vand, som er blevet til kondens, opsamles i en kondensbakke installeret under fordamperen, og ledes derefter direkte ind i udstrømningen eller opsamles i en tilsvarende beholder. Herefter passerer den luftstrøm, der nu er blevet affugtet, gennem kondensatoren, hvor den opvarmes ved hjælp af kondensvarmen fra kølekredsløbet. Overskudsvarmen fra ventilatoren og kompressoren absorberes delvist af den luftstrøm, der ledes via affugteren. Som et resultat heraf er den affugtede luft, der ledes ind i området, altid varmere end den var, da den kom ind i affugteren.

4.2 Størrelsesbestemmelse

Når den affugtningprocedure, der kræves for en specifik anvendelse, er blevet bestemt på basis af beregninger (se kapitel 6), kan den passende affugter vælges ved hjælp af dens tilsvarende diagram over ydeevne. Ydeevnen og graden af effektivitet for kondensaffugtere øges, efterhånden som temperaturen stiger, og reduceres, når temperaturen falder. Med hensyn til ydeevne angives generelt kun standardværdier ved 30 °C

og 80 % relativ luftfugtighed, til tider også ved 27 °C og 60 % relativ luftfugtighed, i den tekniske dokumentation.



I mange tilfælde angives kun den maksimalt mulige ydeevne for affugtning ved 35 °C og 80 % relativ luftfugtighed. Med hensyn til den specifikke pågældende anvendelse er disse specifikationer ofte utilstrækkelige til at muliggøre en estimering af de valgte systems egnethed til rent faktisk at levere den krævede ydeevne for affugtning under de forhold, det blev designet til. De fleste producenter leverer også diagrammer over ydeevne for at lette en tilstrækkelig præcis bestemmelse af den faktiske affugtningskapacitet under designforholdene.

Eksempel: I dokumentationen er det angivet, at en kondensaffugter har en ydeevne for affugtning på 40 l/24t ved 30 °C og 80 % relativ luftfugtighed. Ifølge beregningerne skal den affugter, der vælges, have en affugtningskapacitet på 20 l/24 t ved 20 °C og 60 % relativ luftfugtighed.

Den faktiske affugtningskapacitet under de krævede forhold er vist i producentens diagram over ydeevne.

Resultat: I stedet for den krævede ydeevne for affugtning på 20 l/24t har systemet kun en kapacitet på 13 l/24t under designforholdene. Systemet vil derfor være signifikant underdimensioneret. Dette eksempel tydeliggør, hvor vigtigt det er altid at bestemme den nødvendige ydeevne i relation til de krævede designforhold. Nu om dage vælger nogle producenter ikke at udstede diagrammer over ydeevne og i stedet på anmodning levere computergenererede dataark, der præsenterer alle relevante ydeevnedata specifikt relateret til projektet.

4.3 Bemærkninger vedrørende planlægning, valg og drift af kondensaffugtere

Kontrollér grænser for anvendelse:

Generelt er kondensaffugtere egnet til drift ved op til ca. 45 % relativ luftfugtighed og en temperatur på ca. 5-36 °C. For andre forhold end disse skal producenten kontaktes, eller der skal bruges et tørreanlæg med vandabsorberende midler.

Design: Ved design skal de krævede omgivende forhold altid inkluderes i °C og % relativ luftfugtighed.

Specifikationer for ydeevne:

Specifikationer for ydeevne er kun væsentlige, når de er specifikt relateret til de krævede designforhold. Til dette formål skal du anmode producenten om diagrammer over ydeevne eller computergenereret design.

Elforbrug:

Derudover er en sammenligning af elforbruget, der ændrer sig drastisk i kondensaffugtere afhængig af temperatur og luftfugtighed, kun nyttig og væsentlig, når denne er relateret til de respektive designforhold.

Temperaturstigning:

Alle kondensaffugtere afgiver varme udledt fra kølekredsløbet, ventilatormotorer og intern elektricitet tilbage i den omgivende luft, hvilket kan føre til en minimal stigning i omgivende temperatur eller til en enorm yderligere termisk belastning – afhængig af systemets størrelse.

I mange anvendelser kan denne effekt være fuldstændig ubetydelig eller endda ønsket (f.eks. i områder med swimmingpools), men i visse anvendelse kan den give problemer. Især i store anlæg og temperaturfølsomme anvendelser skal temperaturspektet derfor tages i betragtning i planlægningen.

Kvalitet af omgivende luft:

Kondensaffugtere er generelt egnet til drift under forhold med normal omgivende luft, f.eks. Ikke til aggressiv luft, der indeholder toksiske stoffer. Stoffer, såsom klor og ozon, kan angribe dele og hurtigt ødelægge systemerne. Affugtere til swimmingpools er således allerede som

standard beskyttet som klor ved hjælp af særlige foranstaltninger. Til industrikunder har visse producenter mulighed for at levere specialsystemer med en speciel beskyttende belægning, f.eks. for at beskytte mod syrer eller saltholdig luft.

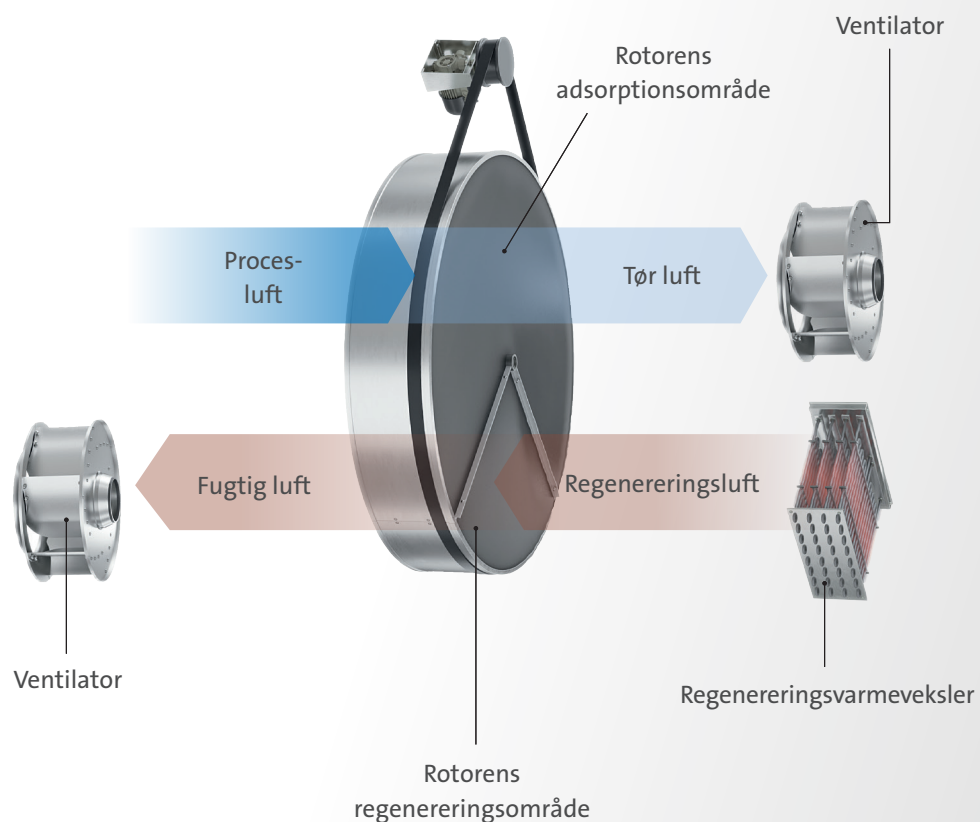
Installation: Kondensaffugtere findes i enten en mobil eller stationær version.

Mobilsystemer drives stort set altid med den tørre luft, der frigives til den omgivende luft, mens store, industrielle affugtere også kan tilsluttes til et netværk af ventilationskanaler. I dette tilfælde er det vigtigt at sikre tilstrækkeligt tilgængeligt tryk.

Kondens: I de fleste tilfælde udledes den kondens, der dannes, via udstrømningen. Især når det gælder højtydende systemer er det vigtigt at sikre tilslutning til et spildevandssystem ved hjælp af en vandlås,

Specialversioner: Specialiserede producenter leverer specialversioner, såsom temperaturneutrale modeller, specialbelægninger til brug under aggressive omgivende forhold, specielle typer af IP-beskyttelse, varmepakker og versioner til høj og lav temperatur.

Funktionsbeskrivelse af et tørreanlæg med vandabsorberende midler



5. Tørreanlæg med vandabsorberende midler

Tørreanlæg med vandabsorberende midler bruges overalt, hvor kondensaffugtere fysisk når deres grænser, og hvor overholdelse af niveauer for absolut luftfugtighed og vanddamp kræves. I denne teknologi angives niveauet af vanddamp ikke længere i % relativ luftfugtighed, snarere altid i absolut luftfugtighed x i g/kg af tør luft eller i den associerede dugpunkttemperatur i °C. Princippet med sorption henviser til visse stoffers evne til at binde vanddamp til deres overflade. Disse stoffers indre overflade har en skala på mellem 600 og 1000 g/m². I disse kemiske stoffers umiddelbare omgivelser findes et ekstremt lavt delvist tryk for vanddamp. På grund af termodynamikkens love spredes vanddamp fra områder med højere delvist tryk (i dette tilfælde fra omgivende luft) til områder med lavere delvist tryk (sorbent). Silicagel, aluminiumoxid eller af og til molekulære filtre anvendes som sorptionsmidler. Den yderligere undersøgelse fokuserer udelukkende på adsorption ved hjælp af silicagel, da dette er langt det mest anvendte sorptionsmiddel på HVAC-markedet.

5.1 Betjening af et tørreanlæg med vandabsorberende midler

Fugtig omgivende luft (procesluft) suges ud ved hjælp af en ventilator og ledes gennem en adsorptionsrotor. Adsorptionsrotoren består af en bølgeformet og fint lamelleret indvendig

del med en enorm indre overflade, der er belagt med den stærkt hygroskopiske silicagel. Hele rotorens tværsnit er inddelt i en tørrektor på 270 ° og en regenereringssektor på 90 °. Disse sektorer er isoleret fra hinanden. Ved hjælp af motoren foretager adsorptionsrotoren en kontinuerlig, langsom rotation, rotationshastigheden er i området 5-30 rotationer pr. time. Den luftstrøm, der skal tørres, ledes kontinuerligt gennem rotorens tørrektion. Under processen adsorberes den vanddamp, luftstrømmen indeholder, næsten helt. Rotorens regenereringsdel på 90 ° ledes ind i regenereringsluftens modstrøm der tidligere blev opvarmet til ca. 120 °C via en regenereringspakke. Som et resultat heraf tvinges adsorberende vanddamp bundet i rotoren ud igen og udledes udenfor med den fugtige luftstrøm. Regenereringsluftstrømmen udgør ca. 1/3 af procesluftstrømmen. Denne adsorptions-/desorptionsproces kan gentages, så ofte som det kræves, uden at graden af sorbentens effektivitet påvirkes i væsentlig grad. Silicagelens adsorptionskapacitet er så høj, at meget højere dugpunkter på -70 °C nemt kan opnås.

5.2 Regenerering

For at tvinge adsorberende vanddampe bundet i rotoren ud og udlede den, skal vedhæftningsstyrken på sorbentens overflade fjernes. For at gøre dette skal strømmen af regenereringsluft opvarmes i overensstemmelse hermed. Dette opnås ved hjælp af en opstrøms regenereringsvarmer. Med mindre tørreanlæg med vandabsorberende midler udføres regenereringsopvarmning altid ved hjælp af elektricitet. I tilfælde af større aggregater kan regenereringsvarmeren betjenes som følger:

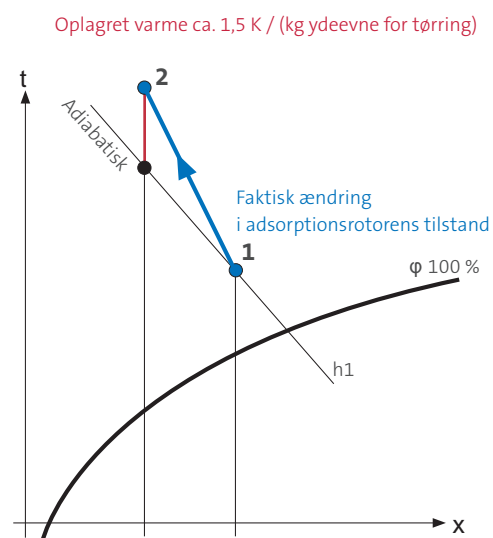
- Elektrisk (standard)
- Bruger damp
- Bruger varmt vand
- Kombination af elektrisk og PWW-varmepakke
- Kombination af elektrisk og damp eller varmepakke med varmt vand.

5.3 Oplagret varme

Det materiale, der er oplageret i rotoren, opvarmes via anvendelse af rotoren ved høje temperaturer på ca. 120 °C for at tvinge den adsorberende vanddamp, der er bundet i rotoren, ud. Ændringen i tørrektionen udføres derfor ideelt set ikke via en adiabatisk proces ved konstant entalpi. Den resterende varme i rotoren betegnes oplagret varme og fører til overophedning af den tørre luftstrøm med ca. 1,5 K pr. g/kg af ydeevnen for tørring. Hvis det antages, at mængden af oplagret varme udgør 1,3 K/g/kg, udgør denne overophedning, f.eks. i en tørringsproces på 12, 4,5 g/kg tør luft: $1,3 \text{ K/g/kg} \times (12 - 4,5) \text{ g/kg} = 9,75 \text{ K}$.

Dette er et vigtigt faktum at kende i vurderingen af integrering af et tørreanlæg med vandabsorberende midler i den samlede strategi vedrørende klima-anlæg i det område, der skal tørres. I producentens tekniske beregninger er der allerede taget højde for den oplagrede varme, og den faktiske temperatur for den tørre luftstrøm er angivet.

Følgende diagram viser ændringen i tilstanden for tørring via adsorption.

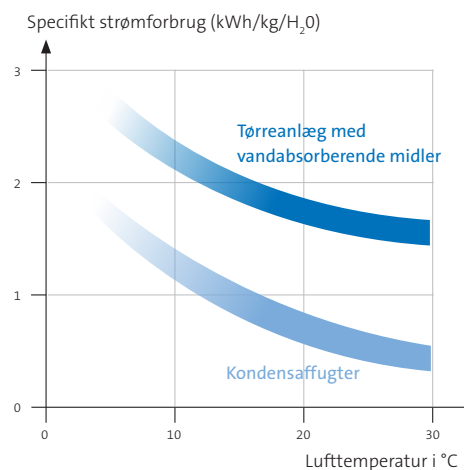


5.4. Størrelsesbestemmelse

Normalt anvendes tørreanlæg med vandabsorberende midler i meget mere følsomme områder end kondensaffugtere. Af denne årsag, og ud fra perspektivet om den højere varmeafgivelse og systemrelaterede, højere specifikke former for strømforbrug, skal dette altid beregnes ved hjælp af en computer.

5.5 Bemærkninger vedrørende planlægning, valg og drift af tørreanlæg med vandabsorberende midler

Anvendelsesområder: I modsætning til kondensaffugtere, hvis anvendelsesområdet er begrænset af systembegrænsninger for det respektive kølekredsløb, der anvendes, er tørreanlæg med vandabsorberende midler ikke underlagt begrænsninger med hensyn til temperatur og luftfugtighed. På grund af systemet er deres specifikke strømforbrug imidlertid altid højere end strømforbruget for en kondensaffugter. De skal derfor anvendes, hvor specielt lave niveauer af luftfugtighed i indblæsningsluften (< 6 g/kg) eller lave omgivende temperaturer berettiger til højere energiforbrug, eller hvor kondensaffugtere ikke længere er tilstrækkelige til affugtningsopgaven. Følgende diagram udarbejdet af Thiekötter repræsenterer en løselig sammenligning ud fra synspunktet om specifikt strømforbrug mellem kondensaffugtere, der drives ved hjælp af kølemidler, og tørreanlæg med vandabsorberende midler, der udelukkende drives ved hjælp af elektrisk regenerering.



Tilslutning: De forskellige luftstrømme fra tørreanlægget med vandabsorberende midler skal ledes gennem ventilationskanaler. Dette sker generelt ved hjælp af spiralkanaler. Den udgående kanal til fugtig luft skal altid være isoleret. Hvis ekstern luft bruges som procesluft, skal det sikres, at udtaget til fugtig luft er tilstrækkeligt langt væk fra udtaget til ekstern luft. Den fugtige luft skal altid ledes udad.

Regenerering: Større tørreanlæg med vandabsorberende midler giver mulighed for at bruge forskellige medier til regenerering af rotoren. For at opnå maksimal energieffektivitet skal medier på stedet, såsom damp, varmt eller koldt vand, anvendes til eller til at støtte regenereringen, hvis det er muligt.

Temperaturstyring: For at nå særligt lave niveauer af luftfugtighed i indblæsningsluften skal overfladeafkølere installeres opstrøms, om nødvendigt. I temperaturfølsomme områder skal indblæsningsluftens temperatur reguleres direkte via tørreanlægget ved hjælp af en efterkøler, om nødvendigt i kombination med en eftervarmingspakke. Ideelt bør producenten af tørreanlægget med vandabsorberende midler levere de krævede moduler således at de er klar til tilslutning og indbygning i tørreanlæggets kabinet. Når ubehandlet ekstern luft tørres, bør der tilvejebringes en forvarmer til beskyttelse mod frost.

Varmegenvinding: Ved anvendelse af større tørreanlæg med vandabsorberende

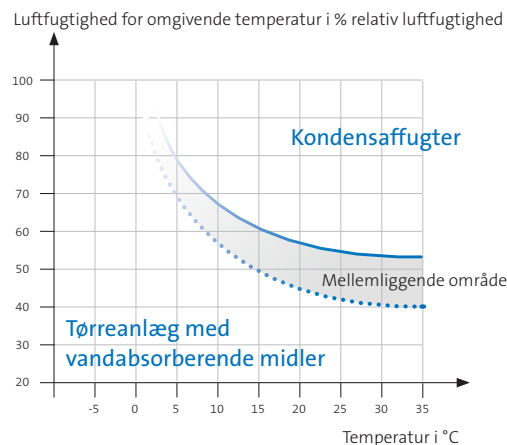
midler anbefales installation af en varmegenvindingsenhed på stedet i lyset af regenereringsvarmerens højere strømforbrug på grund af systemet. I denne proces vil den opvarmede fugtige luft, før den ledes udenfor, blive ledt gennem en krydsvarmeveksler, hvor den frigiver størstedelen af den varmeenergi, den indeholder, til den luftstrøm, der er nødvendig for regenerering. Som et resultat heraf kan regenereringsvarmerens strømforbrug reduceres væsentligt.

Luftafkølede kondensatorer: Under tilsvarende omgivende forhold kan en luftafkølet kondensator anvendes til den fugtige luft. Som et resultat heraf kan udledning af den fugtige luft via ventilationskanaler udelades. Dette er effektivt ved lave til middel omgivende temperaturer.

5.4. Oversigt

I de foregående kapitler er de fysiske grundlag for de to mest almindelige affugtningsteknikker blev forklaret, og der er angivet bemærkninger vedrørende planlægning og anvendelser.

I sidste ende skal beslutningen om, hvilket af de to systemer, der er mest egnede, træffes fra sag til sag.



Diagrammet herover giver en løst oversigt over de områder, hvor det giver mening af bruge tørreanlæg med vandabsorberende midler. Især med hensyn til affugtningsopgaver, der nærmer sig grænserne med hensyn til parametrene for temperatur og endelig luftfugtighed bør man altid kontakte en specialist for at få en yderligere vurdering og input til valg af det bedst egnede system.

6. Beregningsgrundlag

Formålet med enhver brug af affugtere er altid at styre fugtindholdet i luften. Nogle få formler og beregningsmetoder er tilstrækkelige til beregning. Hvilken beregningsmetode, der skal anvendes, afhænger i vid udstrækning af den planlagte anvendelse af affugtningssystemet. Mulige anvendelser kan inkludere:

- Enkel styring/reduktion af luftfugtigheden i omgivende luft, f.eks. i lagerbygninger, for at beskytte mod korrosion, i arkiver osv.
- Beskyttelse mod dannelse af kondens på kolde overflader, f.eks. rør og installationer i vandforsyningsområder, fødevarerindustrien osv.
- Tørring af produkter
- Sikring af optimale forhold i produktionsprocesser.
- Tørring af ekstern luft, inklusive Direkte temperaturstyring via tørreanlægget.
- Brug ved lavtemperaturområder, f.eks. skøjtebaner og kølerum

Udledning via fordampning af visse volumener af vanddamp, f.eks. i swimmingpools, mens også vandforsyning.

Der er nogle meget simple og ikke vigtige anvendelser, f.eks. styring af luftfugtighed i områder, der for det meste er lukkede og uden interne kilder til luftfugtighed eller særlige krav, hvor det egnede system rent faktisk kan bestemmes ved hjælp af en løselig beregning. Udover disse tilfælde bør anvendelse af affugtningssystemer i professionelle områder altid beregnes

og designes med omhu. Før de forskellige beregningstyper præsenteres, giver følgende kapital først en oversigt over de data, der kræves til beregning og design.

6.1 Specifikationer, der kræves til planlægning og design af affugtningssystemer i industrielle og kommercielle sektorer

Anvendelse/beskrivelse af affugtningsopgave:

Når der gives en nøjagtig specifikation af den planlagte anvendelse, kan den egnede affugtningsteknologi ofte bestemmes i det første trin.

Områdevolumen i m³

Målforskel efter affugtning i °C og % relativ luftfugtighed /krævet absolut endelig luftfugtighed i g/kg_{tør luft}

De mest ugunstige værdier for temperatur og luftfugtighed i °C og % relativ luftfugtighed for affugtning/ indledende luftfugtighed i g/kg_{tør luft}

Mekanisk ventilation: Hvis de er tilgængelige, specifikationer vedrørende volumenstrøm og forhold vedrørende indblæsningsluft (sommer).

Eksterne luftforhold om sommeren:

Er nødvendig til beregning af fugt introduceret af den eksterne luft, det være sig via EKST input eller indtrængen.

Placering af system: Kræves af producenten for at bestemme de ekstreme værdier for de eksterne luftforhold, hvis disse værdier ikke er angivet af kunden.

Højde over havets overflade: De termodynamiske rammeforhold ændres, efterhånden som den geodætiske højde stiger, dvs. med faldende lufttryk. Hovedsageligt relevant for følsomme anvendelser og meget højtliggende steder for installation.

Specifikation vedrørende intern fugt: Luftfugtighed afgivet af produkter, fra produktion, rengøringsprocesser osv.? Antal personer i området?

Åbne vidder med vand: Hvis de er tilgængelige, specifikation vedrørende vandtemperatur og vandoverflade til beregning af fordampning.

Klimaanlæg: Er der et temperaturstyringssystem på stedet? Hvor temperaturfølsom er denne anvendelse? Er efterkøling nødvendig?

Tørring af ekstern luft: Hvis ekstern luft skal tørres året rundt, skal vinterforholdene ligeledes angives sammen med de ekstreme forhold for sommertiden, da det kan være nødvendigt at installere en forvarmer til beskyttelse mod frost.

6.2 Specifikationer, der kræves til planlægning og design af affugtere til swimmingpools

Pooloverflade i m²

Områdevolumen i m³

Poolvands temperatur i °C

Omgivende temperatur i °C: Den omgivende temperatur bør altid være mindst 2 K over vandtemperaturen!

Typer af brug:

F.eks. bad i private hjem, terapibassin, spabad osv. Typen af brug har en væsentlig indflydelse på vandoverfladens bevægelse, og således på fordampning. Der tages højde for dette i beregningen via et tilsvarende aktivitetsindeks.

Varighed for brug i t/dag

Specifikationer vedrørende anvendt desinficeringsmetode:

Sammen med klorin bruges andre kemikalier, såsom ozon, i stigende grad til desinficering. Disse kan være meget aggressive mod de dele, der anvendes i affugtere, således at specielle belægning kræves.

Prøveberegning

6.3 Skønsmæssigt design af et affugtningsystem

Specifikation af ydeevne for affugter i overensstemmelse med områdevolumen

P_D [l/t] = Ydeevne for affugter
 V_A [m³] = Områdevolumen
 f = 2 til 3 bør bruges som tilnærmelsesvis faktor

$$P_D = \frac{V_A \times f}{1000}$$

For simple anvendelser uden særlige krav eller for en første løselig vurdering af systemets størrelse er det ofte ikke nødvendigt at lave detaljerede beregninger. Her er en simpel, løselig beregning på basis af personlig erfaring tilstrækkelig. Formlen kan anvendes på områder med luftfugtighed på op til 50 % relativ luftfugtighed.

Krævede specifikationer:

Områdevolumen V i m³

Tilstræbte omgivende forhold i °C og % relativ luftfugtighed

Faktorer baseret på erfaring:

$f = 1,5$ med en antaget luftudskiftning på ca. $0,3\frac{1}{t}$, f.eks. til lagerområder, kældre

$f = 2,0$ med en antaget luftudskiftning på $0,5\frac{1}{t}$, f.eks. til regulering af aircondition i området

$f = 4,0$ hvis større volumener af luftfugtighed skal udledes, f.eks. efter vandskade

Beregning:

Områdevolumen $V_A = 1200$ m³

lager, lav luftudskiftning, så $f = 1,5\frac{1}{t}$ kan anvendes

Omgivende forhold ca. 20 °C og 55 % relativ luftfugtighed

$$p_D = \frac{1200 \text{ m}^3 \times 1,5}{1000} = 1,8 \text{ l/t}$$

En affugter har en ydeevne på mindst 1,8 l/t ved 20 °C, og der kræves en luftfugtighed på 55 %.

Denne metode bør kun anvendes til løse estimater.

For komplekse affugtningsopgaver skal der anvendes en detaljeret beregning, der tager højde for alle de indre og ydre forhold.

Beregningsfaktorerne er baseret på personlig erfaring og kan være angivet forskelligt for hver producent.

Prøveberegning

6.4 Grundlæggende metode til beregning af ydeevne for affugter/tørreanlæg

For at styre luftfugtigheden i den omgivende luft skal alle indre og ydre mængder af fugt være kendte eller beregnes. Den krævede ydeevne for den kondensaffugter eller det tørreanlæg med vandabsorberende midler, der vælges, er et resultat af den samlede indre og ydre mængde.

Ydeevne for affugter

$$P_D = \dot{m}_{V \text{ samlet}} = \dot{m}_{V \text{ intern}} + \dot{m}_{V \text{ eksternal}}$$

$\dot{m}_{\text{ventilation}} [\text{g}_v/\text{t}]$ = indtrængen af vanddamp via ventilation

$P_D [\text{l}/\text{t}]$ = Ydeevne for affugter

$V [\text{m}^3]$ = områdevolumen

n = luftudskiftning $\frac{1}{t}$ eller $\frac{V_{\text{EKST}}}{V_{\text{OMRÅDE}}}$

$X_{\text{TGT}} [\text{g}_v/\text{t}]$ = Absolut luftfugtighed i ekstern luft ved målforholdene

$X_{\text{EKST}} [\text{g}_v/\text{t}]$ = Absolut luftfugtighed i ekstern luft om sommeren

Indtrængen af vanddamp via ventilation

$$\dot{m}_{H \text{ ventilation}} = p \times V \times n \times (X_{\text{EKST}} - X_{\text{TGT}})$$

Eksterne fugtmængder er f.eks. Mekanisk ventilation med andel af ekstern luft, indtrængen af ekstern luft via åbninger i bygningen, diffusion af vanddamp via murværk osv. Interne fugtmængder er således: Luftfugtighed afgivet af personer, åbne vidder med vand, luftfugtighed fra materialer, produktion og rengøringsprocesser osv.

Den luftfugtighed, der afgives af personer, er relateret til deres aktivitetsniveau og den omgivende temperatur. Se VDI 2078, tabel A1 for detaljer. Følgende værdier er f.eks. angivet for en omgivende temperatur på 20 °C:

$\dot{m}_{V \text{ Person}}$ ved aktivitetsniveau I til II (let, siddende eller stående): 35 g_v/t

$\dot{m}_{V \text{ Person}}$ ved aktivitetsniveau III (moderat højt): 110 g_v/t

$\dot{m}_{V \text{ Person}}$ ved aktivitetsniveau IV (højt): 185 g_v/t

Til beregning af mængden af vanddamp fra en stille, åben overflade af vand via fordampning (f.eks. i vandforsyningsområder) er følgende tilstrækkeligt nøjagtigt $\dot{m}_{VPR \text{ pool}} = \epsilon \times A \times (p_s - p_p)$.
 ϵ = empirisk bestemt fordampningskoefficient for en åben, stille vandvidde i g/(t x mbar x m²)
 A = Poolvandets overflade i m²

p_s = Mættet damptryk i mbar i forhold til poolvandets temperatur

p_p = Delvist tryk for vanddamp i mbar i forhold til omgivende temperatur

Om nødvendigt kan værdier for p_s og p_p hentes fra tilsvarende tabeller eller bestemmes ved hjælp af diagrammer. Alle andre interne og eksterne fugtmængder, f.eks. Luftfugtighed afgivet af produkter, produktionsprocesser, indtrængen via huller i isoleringen osv. Skal også bestemmes eller anmodes om fra kunden.

Eksempel:

I produktionsområdet ved industriel anvendelse skal der, for at beskytte maskiner og kontrolkabinetter, som er installeret her, opretholdes en luftfugtighed i den omgivende luft på maks. 50 % relativ luftfugtighed ved en temperatur på 20 °C. Der er en åben pool med en overflade på 250 m², der leverer ferskvand, som kræves af visse produktionsprocesser. Den maksimale vandtemperatur er 15 °C. Det samlede områdevolumen er 15.000 m³. 15 personer udfører ekstremt tunge fysiske aktiviteter i anlægget. Området forsynes med 12.000 m³/t ekstern luft via et ventilationssystem. Om sommeren skal designet imødekomme ekstreme værdier på 32 °C og 40 % relativ luftfugtighed. Derudover er der ingen interne mængder af fugt.

Krævede specifikationer:

$p = 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$

$V = 15.000 \text{ m}^3$

$n = 12.000 \text{ m}^3/15.000 \text{ m}^3 = 0,8$

$X_{\text{EKST}} = 12,1 \text{ g}_v/\text{kg}_{\text{tør luft}}$

$X_{\text{TGT}} = 7,36 \text{ g}_v/\text{kg}_{\text{tør luft}}$

Beregning:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{VPR \text{ ventilation}} &= 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 15.000 \text{ m}^3 \times 0,8 \text{ 1}/\text{t} \times (12,1 - 7,36) \text{ g}_v/\text{kg}_{\text{tør luft}} \\ &= 68.256 \text{ g}_v/\text{t} \end{aligned}$$

$\dot{m}_{VPR \text{ person}}$ ved aktivitetsniveau III (relativt højt) ved 20 °C
 $= 110 \text{ g}_v/(\text{t} \times \text{person}) \times 15 \text{ personer} = 1650 \text{ g}_v/\text{t}$

$A_{\text{pool}} = 250 \text{ m}^2$

$p_s = 17,04 \text{ mbar}$

$p_p = 11,7 \text{ mbar}$

$\epsilon = 5$

$$\dot{m}_{VPR \text{ pool}} = 5 \text{ g}/(\text{t} \times \text{mbar} \times \text{m}^2) \times 250 \text{ m}^2 \times (17,04 - 11,7) \text{ mbar} = 6675 \text{ g}_v/\text{t}$$

$$\begin{aligned} p_D = \dot{m}_{VPR \text{ samlet}} &= (\dot{m}_{VPR \text{ ventilation}} + \dot{m}_{VPR \text{ person}} + \dot{m}_{VPR \text{ pool}}) \\ &= (68.256 + 1650 + 6675) \text{ g}_v/\text{t} \\ &= 76.581 \text{ g}_v/\text{t} \\ &= 76,58 \text{ kg}/\text{t} \end{aligned}$$

Resultat: Det affugtningssystem, der skal vælges, skal have en ydeevne for affugtning på 76,58 kg/t eller 1838 kg/d ved 20 °C og 50 % relativ luftfugtighed.

6.5 Beregning af ydeevne for affugter/tørreanlæg for at undgå at komme under dugpunktet

Et område, hvor affugtningssystemer ofte anvendes til forebyggelse af kondens på kolde systemer, rør, beslag. I denne anvendelse er det tilstrækkeligt at forhindre, at temperaturen på de kolde dele kommer under dugpunktet.

Dette kan også udføres ved hjælp af dugpunktføleren, der monteres på den systemdel, der er i risikozonen. Affugtningssystemet træder kun i funktion, hvis der er risiko for, at den pågældende del kommer under dugpunkttemperaturen. Denne metode kan anvendes, hvis der ikke er yderligere fugtmængder til stede og der ikke kræves en generel reduktion i luftfugtigheden i den omgivende temperatur.

For at beregne dette tages måldugpunkttemperaturen i betragtning.

$$t_{DP,TGT} = t_s - 2$$

t_s [°C] = overfladetemperatur på den del, der skal beskyttes i °C.
I tilfælde af rør kan temperaturen på det medie, der flyder gennem rørene, bruges.

$t_{DP,TGT}$ [°C] = måldugpunkttemperatur. Skal være mindst 2 K under overfladetemperatur på den del, der skal beskyttes.

Eksempel: I et område af et vandforsyningsanlæg med et områdevolumen på 900 m³, en temperatur på 15 °C og en luftfugtighed i den omgivende temperatur på 80 % relativ luftfugtighed, skal det forhindres, at der opstår kondens i de rør, der bruges til koldt ferskvand. Vandtemperaturen er 9 °C. Området er vandtæt, og der er ingen andre fugtmængder.

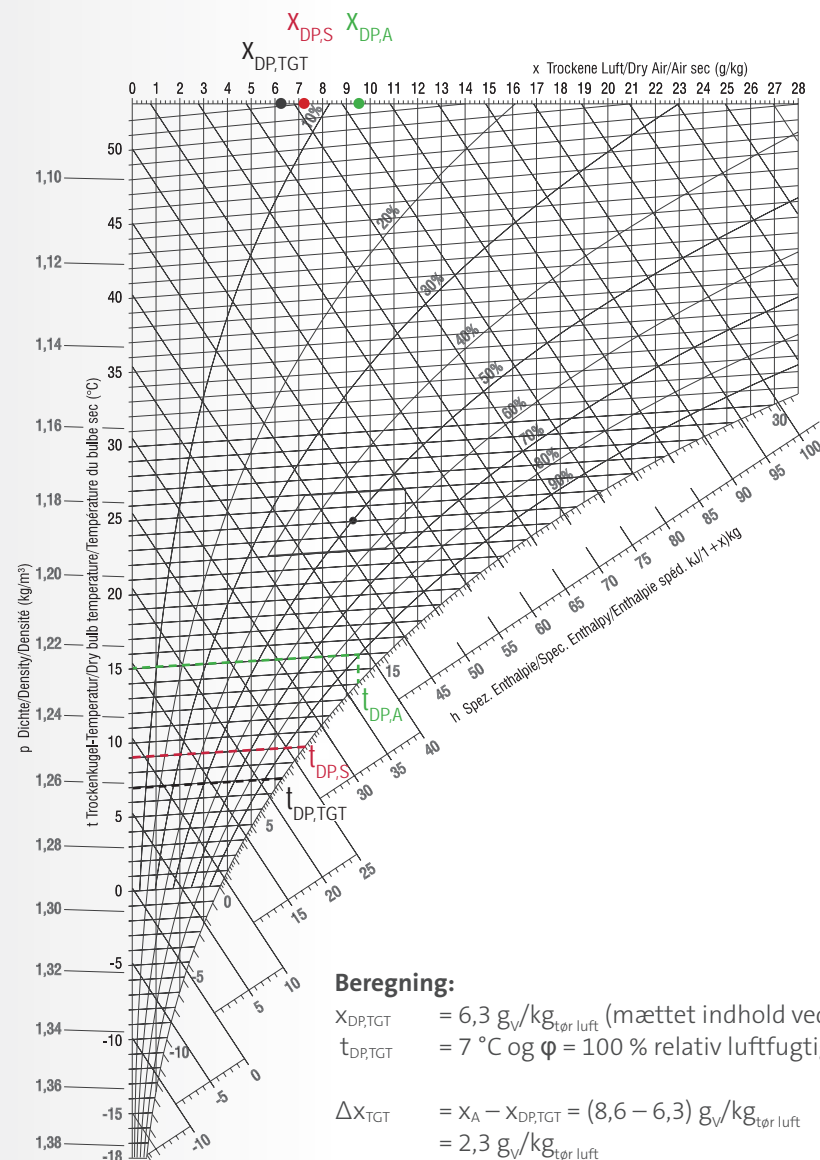
Krævede specifikationer:

$V_A = 900$ m³; $t_A = 15$ °C; $\phi_A = 80$ % relativ luftfugtighed, $t_s = 9$ °C (røroverfladens temperatur)

Følgende værdier er vist baseret på hx-diagrammet overfor:

$x_A = 8,6$ g_V/kg_{tør luft}
 $t_{DP,A} = 11,5$ °C (dugpunkttemperatur ved $t_A = 15$ °C og $\phi_A = 80$ % relativ luftfugtighed)
 $x_S = 7,2$ g_V/kg_{tør luft} (mættet indhold $t_s = 9$ °C og $\phi = 100$ % relativ luftfugtighed)
 På systemdelenes overflade kondenserer forskellen på $x_A - x_S$ fra:
 $\Delta x = x_A - x_S = (8,6 - 7,2)$ g_V/kg_{tør luft} = 1,4 g_V/kg_{tør luft}

For at undgå, at vanddamp bliver til kondens på systemdelene kræves en affugtning til en dugpunkttemperatur på 2 K under overfladetemperatur.



Beregning:

$x_{DP,TGT} = 6,3$ g_V/kg_{tør luft} (mættet indhold ved $t_{DP,TGT} = 7$ °C og $\phi = 100$ % relativ luftfugtighed.)

$\Delta x_{TGT} = x_A - x_{DP,TGT} = (8,6 - 6,3)$ g_V/kg_{tør luft}
 = 2,3 g_V/kg_{tør luft}

Dette giver en ydeevne for affugter på

$$\begin{aligned} PD &= 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 900 \text{ m}^3 \times (8,6 - 6,3) \text{ g}_V/\text{kg}_{\text{tør luft}} \\ &= 2484 \text{ g}_V/\text{t} \\ &= 2,48 \text{ kg}/\text{t}. \end{aligned}$$

Resultat: Det valgte affugtningssystem skal omfatte en ydeevne for affugtning på 2,48 kg/t eller 59,5 kg/d ved 15 °C og 80 % relativ luftfugtighed.

7. Energibesparende kontrol med dugpunkt- eller overfladefølere

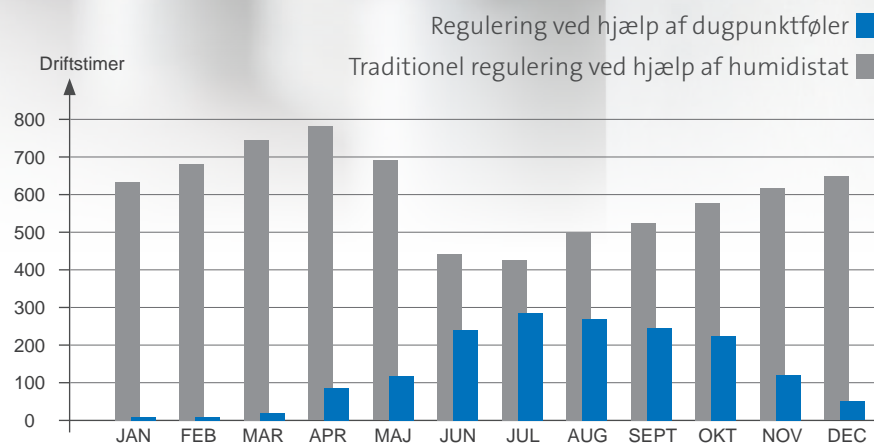
Luftfugtighed reguleres ikke direkte på grund af inertie, der, selv om den er karakteristisk i naturen, altid er til stede. Kompressor- og ventilatordrift aktiveres via tilsvarende måle- og reguleringsfunktioner i kondensaffugtere og registreringspakken og ventilatoren i tørreanlæg med vandabsorberende midler. Følgende muligheder er tilgængelige til stede til kontrol af affugtningsystemer uafhængigt af luftfugtighed:

Humidistat: Tilgængelig som elektronisk eller mekanisk version i mange forskellige modeller. Det er muligt både at tænde/slukke og aktivere kompressoren eller regenereringspakken uden at deaktivere ventilatoren.

Dugpunktføler: Affugtningssystemet aktiveres, når temperaturen falder til under dugpunkttemperaturen.

Kombineret temperatur-/luftfugtighedsføler: En yderligere temperaturkontrol, hvis der er behov for det.

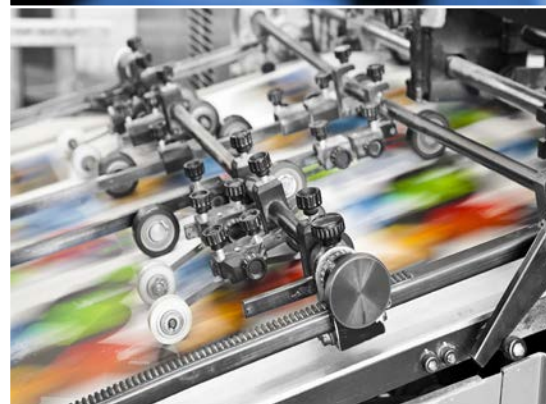
Eksemplet på den modsatte side, i hvilket dugpunkt og regulering af luftfugtigheden i omgivelserne sammenlignes under identiske forhold viser den enorme mulige energibesparelse, der er ved et professionelt design, der er skræddersyet til anvendelsen kombineret med den tilsvarende reguleringsstrategi.



Eksempel på reduktion i driftstimer ved hjælp af behovsoptimeret regulering i et vandværk

8. Anbefalede forhold i overensstemmelse med anvendelsesområder

Sektor	Anvendelsesområde	Relativ luftfugtighed	Temperatur
Antikviteter	Opbevaring og reparation	45-50 %	20-24 °C
Bilindustrien	Fremstilling	45-55 %	22-25 °C
	Billakeringsanlæg	50-55 %	22-25 °C
Bibliotek	Bogopbevaring	40-50 %	21-25 °C
	Læserum	35-55 %	21-25 °C
Hospital	Operationsstue	50-60 %	22-26 °C
	Patientstuer	40-50 %	20-22 °C
	Børneværelse	50 %	24 °C
Møbelindustrien	Opbevaring af lak	50-60 %	15-18 °C
	Møbelproduktion	40-50 %	18-22 °C
	Fremstilling af opspændingsplader	50-55 %	12-20 °C
	Opbevaring af træmøbler	50-55 %	12-18 °C
Mode	Garveri	65-70 %	10-20 °C
	Opbevaring af pelse	50-60 %	5-10 °C
	Spinderi/silke	50-65 %	20-25 °C
Museer	Malerier	40-55 %	18-24 °C
	Papirindustrien	Opbevaring	50-60 %
Lægemiddelindustrien	Rotationstryk	60 %	20-25 °C
	Silketryk	50-60 %	22-24 °C
	Forarbejdning (indbinding/skæring)	50-60 %	22-30 °C
	Opbevaring af råmaterialer	30-40 %	21-27 °C
	Penicillinproduktion	60 %	25 °C
Clean room-teknologi	Tabletmaskine	35-50 %	21-27 °C
	Elektronisk udstyr til mikroskopi	40-45 %	22 °C
	Waferproduktion	40-45 %	22 °C
Slikindustrien	Opbevaring af gær	60-75 %	0-5 °C
	Opbevaring af mel	50-60 %	15-25 °C
	Opbevaring af chokolade	60-65 %	18-21 °C
	Opbevaring af tørret frugt	50 %	10-13 °C
	Opbevaring af sukker	35 %	25 °C
Tobaksindustrien	Opbevaring af råtabak	60-65 %	21-23 °C



9. Litteraturliste

- [1] Henne, Erich: Luftbefeuchtung (befugtning), Oldenbourg Verlag München/Wien, 1995
- [2] Cerbe, Günter / Hoffmann, Hans-Joachim: Einführung in die Thermodynamik (Introduktion til termodynamik), Carl Hanser Verlag München/Wien 1996
- [3] Recknagel/Sprenger/Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik (Lille guide til varme- og airconditionteknologi), Oldenbourg Industrierlag GmbH München 2013
- [4] Reinmuth, Friedrich: Raumluftechnik (ventilationsteknologi), Vogel Verlag Würzburg, 1996
- [5] Siemens Building Technologies: Das h,x-Diagramm, Aufbau und Anwendung (hx diagrammet, struktur og anvendelse), Siemens Building Technologies AG
- [6] VDI-Richtlinie 2089 Blatt 1 (Sammenslutningen af tyske ingeniørers direktiv 2089 Folio 1) Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern (Teknisk bygningstjeneste for swimmingpools), VDI-Verlag Düsseldorf, 2010
- [7] VDI-Richtlinie VDI 2078 Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Sammenslutningen af tyske ingeniørers direktiv direktiv 2078 Beregning af termiske temperaturer og omgivelsestemperaturer), VDI-Verlag Düsseldorf, 2015
- [8] Steiner, Reinhard: Branchendokumentation 208 (Sektordokumentation 208) Luftentfeuchtung – Lufttrocknung (Affugtning – lufttørring), Offenbach 1988
- [9] DVGW-Merkblatt W 621: Entfeuchtung, Lüftung, Heizung in Wasserwerken (Tyske tekniske og videnskabelige sammenslutning for gas og vand faktablad W 621: affugtning, ventilation, opvarmning i vandsystemer), DVGW Eschborn, 1993
- [10] Werksunterlagen Condair GmbH, Garching (virksomhedsdokumentation fra Condair GmbH, Garching)
- [11] Werksunterlagen Cotes A/S (virksomhedsdokumentation Cotes A/S), Slagelse DK



© 10/2016 Rettigheder til tekniske ændringer og fejl forbeholdes.

Condair AG
Talstrasse 35-37, 8808 Pfäffikon SZ, Schweiz
www.condair.com; info@condair.com

