

Post-HBO opleiding Bouwfysica

Comfortinstallaties

1. Inleiding

Een architect zal een gebouw ontwerpen dat tot doel heeft een zo optimaal mogelijke omgeving te creëren voor de processen waarvoor het gebouw gebruikt zal gaan worden. Hierbij is het van belang dat zowel de creatieve doelstellingen één geheel vormen met de bouwkundige en technische ontwerpen.

Alleen dan kan een zo optimaal mogelijk ontwerp ontstaan.

Daarom is het van belang om de eisen welke worden gesteld aan de gebouwde omgeving nader te bekijken, want deze vormen de basis van het gehele ontwerp.

Beperken we ons tot de woon- en utiliteit gebouwen dan zal het comfort van de bewoners hier meestal het uitgangspunt zijn.

We zullen in dit reader niet ingaan op alle comfortparameters omdat deze voor het grootste deel behandeld worden binnen het thema “Klimaat & gezondheid” en “warmte, vocht en luchttransport”.

Daar waar nodig zullen er relaties worden gelegd.

Deze reader is samengesteld uit informatie uit de “kennisbank Bouwfysica”, eigen dictaten gemaakt voor diverse HBO en Post-HBO opleidingen aangevuld met informatie van leveranciers.

Cees Dingemans

Maarssen, augustus 2008

2 Ontwerpfilosofie

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: dr.ir. Peter van den Engel, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet

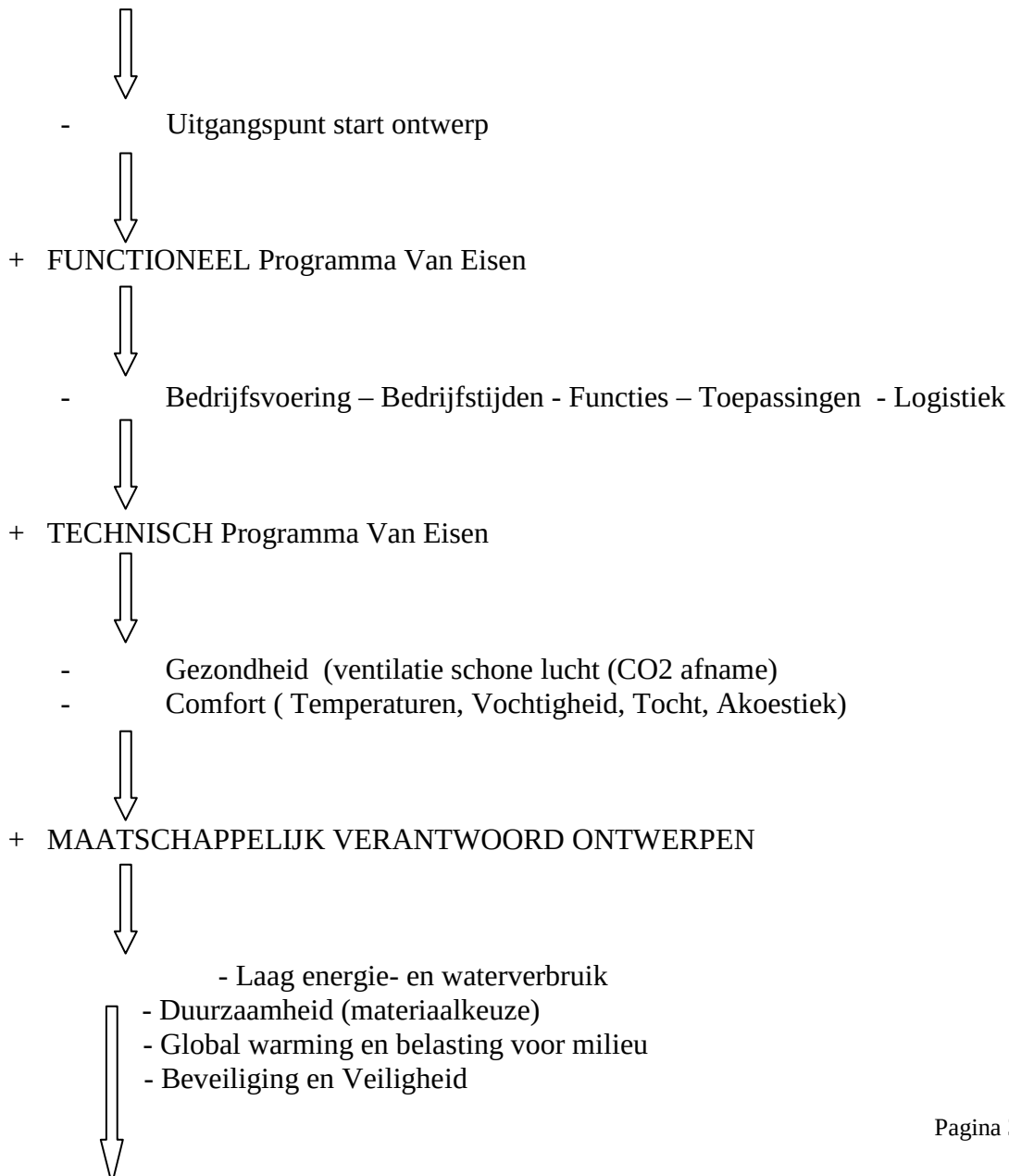
2.1 Inleiding

Het ontwerpen van een binnenklimaat staat niet op zichzelf. Het is een traject dat gekenmerkt wordt door het doen van juiste aannames van het gewenste comfortniveau, het maken van de juiste keuzes en veel overleg. De belangrijkste betrokken partijen hierbij zijn de opdrachtgever, de gebruiker, de architect, de constructeur, diverse autoriteiten, alsmede externe specialisten. Inbreng van allen maakt dat het een geïntegreerd ontwerp wordt. Van belang is dat men zich tijdens het ontwerpen moet realiseren dat een ontwerp veelal bestaat uit een compromis.

2.2 De ontwerpfilosofie

Om te zorgen voor een optimaal ontwerp waarin alle elementen een plaats krijgen, is het van belang de volgende stappen te volgen. Door deze stappen, tijdens het verkrijgen van een juiste ontwerpfilosofie, te bewandelen voorkomt men een verkeerde start. Hierdoor is de kans op een werkelijk geïntegreerd ontwerp het grootst.

+ METAFOOR van de Architect



+

SYSTEEMKEUZEN

2.3 De metafoor

Een geïntegreerd ontwerp heeft meestal plaats binnen een ontwerpteam. Naast de architect, nemen de constructeur, de installatieadviseur en de bouwfysicus een belangrijke plaats in. Tevens kan dit ontwerpteam worden aangestuurd door een gedelegeerd opdrachtgever, meestal in de vorm van een projectmanagementbureau. Inbreng van opdrachtgever en gebruiker zijn essentieel. Derden zoals nutsbedrijven, locale overheden en overige adviseurs dienen tevens te worden geconsulteerd.

De metafoor van de architect dient als uitgangspunt voor de start van het geïntegreerd ontwerp. Om dit abstracte beeld te onderkennen worden enige voorbeelden gegeven.

Een ecologisch ontwerp - groene daken eventueel half onder de grond - verdient een groene aanpak. Als een installatieadviseur gebruik zou maken van oliegestookte ketels doet hij het niet goed. Bouwkundig gezien moet worden gedacht aan oplossingen zoals binnenmuren opgetrokken uit leem.

Een transparant glazen gebouw vraagt niet in de eerste plaats om betonkernactivering als klimaatconcept maar om wering van zonnewarmte op een manier die mogelijk het architectonisch concept verstevigt.

2.4 Functioneel Programma van Eisen

Nu we de Metafoor kennen, is het zaak om het functioneel Programma van Eisen op te stellen; beter nog: om dit vast te stellen.

Als deze stap wordt overgeslagen, is de kans groot dat men tijdens het ontwerpproces het toekomstig gebruik uit het oog verliest. Door de eigen gedrevenheid en die van de overige ontwerppartners is de kans aanwezig om het groeiende ontwerp boven de functionaliteit uit te tillen. Tot op zekere hoogte is dit zelfs nodig om vernieuwing een reële kans te geven; aan de andere kant is een zekere alertheid noodzakelijk. Om dit gedurende het ontwerptraject van Voorlopig ontwerp via Definitief ontwerp tot Bestekgereed te blijven toetsen, dient er na iedere ontwerpfase een fasedocument te worden opgesteld. Hierin wordt onder andere aangegeven wat de afwijkingen zijn ten opzichte van de diverse Programma's van Eisen.

Naast de logistiek worden in dit programma de volgende zaken opgenomen: bezetting (vast aantal personen + bezoekers), bedrijfstijden (avondgebruik), verhuur (onderbemetering), gebruik van de ruimten, etc..

Enige voorbeelden die misvattingen onderstrepen, zijn: een Atrium hoeft geen buitenruimte met een dak erop te zijn. Als er modeshows worden gelopen, is de temperatuur wel degelijk van belang. Als men in het koffiebarretje toch friet staat te bakken, is er behalve een temperatuurprobleem ook een geurprobleem. Als de gemeente de sporthal van een school wil verhuren aan de plaatselijke professionele badmintonvereniging kan het gebruik van grote hoeveelheden ventilatielucht van invloed zijn op het spel. Kortom, de metafoor dient te worden onderbouwd door een juist functioneel programma van eisen.

2.5 Technisch Programma van Eisen

Het technisch programma van eisen is opgedeeld in de twee hoofdzaken: Gezondheid en Comfort. Beide zaken hebben expliciet met de systeemkeuze van de installaties te maken en moeten zorgvuldig worden onderkend.

2.5.1 Gezondheid

Gezondheid heeft te maken met het soort voedsel dat we tot ons nemen voor wat betreft kwaliteit en kwantiteit. Dit geldt tevens voor de lucht die we constant inademen. Naast onze gezondheid heeft deze lucht ook betrekking op het verdere functioneren. Ons lichaam gebruikt de zuurstof uit de lucht en ademt CO₂ uit. In ruimten waar veel mensen samen zijn, zal dan ook bij onvoldoende ventilatie het CO₂ gehalte toenemen. Hierdoor treedt er tevens concentratieverlies op.

Twee voorbeelden om dit aan te geven zijn de volgende:

1. Veel van de huidige schoollokalen met een ruim aantal leerlingen kampt met het probleem van te weinig verse luchttoevoer. Door de komst van het Bouwbesluit wordt momenteel wel een minimum niveau van ca. 20 m³/h per leerling gegarandeerd, hetgeen nog steeds als ontoereikend moet worden ervaren!
2. Bij functiewijziging van een kantoor in een vergaderzaal is men verbaasd dat men niet kan volstaan met het wisselen van de opschriften naast de deur. Een optimaal ontworpen kantoor voor twee personen (2 x 50m³ verse buitenlucht per persoon per uur) is uiteraard qua ventilatievoud niet geschikt voor een vergaderzaal; dit gezien het aantal personen en de verblijftijd.

Bij de systeemkeuze van het ventilatiesysteem zal dus zorgvuldig moeten worden overwogen of men dit met natuurlijke ventilatie (1) dan wel met mechanische ventilatie (2) zal uitvoeren.

1. Natuurlijke ventilatie door middel van te openen ramen of het aanbrengen van roosters in de gevel. Ingeval van geluidhinder van buiten naar binnen worden zogenaamde suskasten in de façade toegepast. De mate van luchtverplaatsing hangt af van het totale ontwerp vanaf toevoer t/m afvoer. Om een goede doorstroming te garanderen, is een lage luchtweerstand en een afvoerkanaal nodig zodat gebruik kan worden gemaakt van thermische trek. De hoeveelheid ventilatielucht blijft waarbij wel enigszins afhankelijk van over- en onderdruk van de gebouwszijde. Daar het vrijwel nooit windstil is in Nederland, is er altijd wel een zekere mate van ventilatie.
2. Combinatie met mechanische ventilatie
Door toepassing van mechanische afzuiging is er al een betere voorspelling te doen inzake de hoeveelheid ventilatielucht; echter het weggooien van energie moet worden voorkomen. Het gebruik van warmtepompen aangesloten op de luchtafvoer kan hier echter in voorzien. Bij mechanische ventilatiesystemen is de hoeveelheid ventilatielucht, mits goed geïmplementeerd, goed te garanderen. Indien mechanische toe- en afvoer wordt toegepast, kunnen ook warmteterugwinunits worden toegepast.

2.5.2 Comfort

Als de gezondheid van het gebouw wat betreft de ventilatie goed is voorzien, moet het binnenklimaat nog overeenkomstig het programma van wensen van een bijbehorend comfort te worden voorzien. Comfort betreft in zijn algemeenheid de volgende zaken;

- Lage temperaturen
- Hoge temperaturen
- Vochtigheid
- Tocht
- Akoestiek

Al deze zaken dienen in het technisch programma van eisen te worden vastgelegd en bepalen in grote lijnen het te verwachte comfort, alsmede het bijbehorende financiële kader (installatiebudget).

Het hiervoor genoemde programma van wensen is vaak een onofficieel en imaginair document dat zich in de hoofden van mensen afspeelt. Men zal zich als ontwerper vaak geplaatst voelen voor het dilemma van abstracte gevoelens; de opdrachtgever of gebruiker overvraagt snel en kan vaak de consequenties van de wensen niet overzien.

Het is dan ook te adviseren om de vele en diverse uitingen vast te leggen in het uiteindelijke programma van eisen. Hierdoor verkrijgt men een document met een officiële status in het ontwerpproces.

2.6 Maatschappelijk verantwoord ontwerpen

Momenteel dient er veel zorg te worden besteed aan duurzaam bouwen. Hier maakt het energieverbruik en de eventuele uitstoot van schadelijke stoffen deel van uit.

Het energieverbruik dient zo laag mogelijk te zijn en de uitstoot van schadelijke stoffen (emissies) moet worden voorkomen.

Tevens geldt dat alle materialen die ons klimaat onvriendelijk (zowel binnen als buiten) beïnvloeden, moeten worden geweerd.

Even een voorbeeld van wat er momenteel mis kan gaan in een woning of kantoor: de stof van de stoel waar je bij voorbeeld op zit, bevat mutagene materialen, zware metalen, gevaarlijke chemicaliën en verf. Door het schuiven op de stoel zullen er deeltjes vrijkomen die via de neus en de mond in het lichaam terechtkomen. Computers met giftige gassen, materialen als cadmium, lood en kwik. Plastic met broomsubstanties en andere toevoegingen. Verf en tapijtlijm. Dit is een vrije vertaling vanuit het boek “Cradle to Cradle” van de architect.

Moeten we niet toe naar gebouwen die zichzelf kunnen voorzien in de behoefte aan gezond water, voldoende energie en verse lucht? Momenteel is het steeds meer gebruikelijk om naast het energie- en waterverbruik ook de belasting voor en de effecten op het milieu in kaart te brengen.

2.7 Systeemkeuzen

Nu we de technische uitgangspunten kennen, is het zaak om die te vertalen in een juiste systeemkeuze. Zoals uit de colleges blijkt, is water een betere energiedrager dan lucht, zodat je geneigd bent heel snel voor een waterdragend systeem te kiezen. Dat is ook juist zolang de minimale hoeveelheid ventilatielucht maar blijft gewaarborgd. Hierbij een aantal voorbeelden waardoor men zich kan laten inspireren voor mogelijke toepassing.

- Woningen met een natuurlijke ventilatie met radiator- en of vloerverwarming.
- Kantoren met een minimaal ventilatievoud (volgens het Bouwbesluit) en verwarming of koeling door middel van inductie-units of klimaatplafonds.
- Auditoria, theaters en conferentiezalen, kortom ruimten met een groot aantal aanwezige personen (hoge bezettingsgraad) hebben een dusdanig hoog gehalte aan ventilatielucht nodig, dat deze tevens kan worden aangewend voor de drager van koeling en/of verwarming.
- Winkelcentra worden vaak uitgerust met een basisvoorziening die bestaat uit een ventilatiekanaal en een gekoeld- en warmwater aansluiting voor koeling en verwarming van de ruimten. De Interieurarchitect van de betreffende winkel moet dan gebruik maken van deze aangeboden basisvoorzieningen. Het ontwerp en de

installaties kunnen dan in samenhang met het interieur ontwerp, de installaties en in veel gevallen de bijbehorende huisstijl te worden gerealiseerd.

3. Integraal ontwerpen:

De hier voor genoemde stappen geven de fase van het ontwerpproces weer. Maar door de complexiteit van de huidige gebouwen wordt het steeds belangrijker om de diverse deelontwerpen op elkaar af te stemmen.

De integratie van deze delen kan op een goede wijze tot stand gebracht worden door zo lang mogelijk in functionaliteiten te blijven werken en denken.

Het onderstaande artikel van ir. Tim Zaal, lector Integraal ontwerpen van de Hogeschool Utrecht, geeft een goed beeld daarvan.

Hogeschool van Utrecht

FNT-Instituut voor Proces Innovatie

Leerstoel Integraal Ontwerpen

Nijenoord 1, 3552 AS Utrecht

Tel. 030-2388793/690

Integraal Ontwerpen in de Gebouwde Omgeving

Ir.T.M.E. Zaal, lector Integraal Ontwerpen

3.1 Samenvatting

Integraal Ontwerpen staat in het brandpunt van de belangstelling in de gebouwde omgeving. Integraal Ontwerpen staat voor een nieuwe denk- en werkwijze voor het ontwerpen en uitvoeren van gecompliceerde objecten. Integraal Ontwerpen maakt het onder meer mogelijk in de gebouwde omgeving de gang van zaken rond het aanbesteden van bouwobjecten drastisch te herzien en bovendien kan het grote besparingen te realiseren.

Centraal staat bij Integraal Ontwerpen het beheersen van het ontwerpproces en de daarbij behorende ondersteunende processen. In een goed ontwerp zijn niet alleen de technisch visuele aspecten verwerkt maar ook zaken als comfort en duurzaamheid. Juist deze maken het vertoeven in het gebouw aantrekkelijk zijn. Integraal Ontwerpen vereist werken in integrale bouwteams, die niet alleen het gebouw ontwerpen maar het ontwerp ook uitvoeren en onderhouden. Hierdoor is het mogelijk gebouwen te realiseren die niet alleen voldoen aan bouwtechnische eisen, maar ook zonder faalkosten en ontwerpfouten kunnen worden gerealiseerd.

Bij toepassen van de IO-werkwijze zijn besparingen mogelijk in de orde van 50% van deze faal- en ontwerpkosten. Goede gebouwen kennen eveneens een gezond werkklimaat met een lager ziekteverzuim met daardoor een hogere arbeidsproductiviteit, de opbrengsten hiervan liggen ook in de orde van vele miljarden per jaar. Het aantrekkelijke van de IO-werkwijze is dat de aanpak geen wezenlijk grote investeringen kent en dat het vooral gaat om een andere wijze van organiseren.

3.2 Wat is Integraal Ontwerpen?

Integraal Ontwerpen staat voor een nieuwe denk- en werkwijze voor het opzetten en uitvoeren van integrale ontwerpprocessen met de daarbij behorende uitvoerings- en gebruikspraktijk.

De denkwijze betreft de opzet van het ontwerpproces op basis van klantenwensen, levensduurdenken en systeemdenken. (zie figuur) Bij het levensduurdenken worden bij het ontwerp alle fases van de levenscyclus, zoals ontwerpen, maken, installeren en ingebruikstellen, onderhoud en hergebruiken, in ogenschouw genomen inclusief de daarbijbehorende levensduurkosten. Een ontwerpbeschouwing over de levenscyclus betekent eveneens dat aspecten als: maakbaarheid, ergonomie, energieverbruik, milieubelasting, duurzaamheid, onderhoudbaarheid, hergebruik, e.d. worden meegewogen.

Bij het systeemdenken worden de klantenwensen in eerste instantie vertaald in de te vervullen functies, in plaats van direct uit te gaan van oplossingen. Door een ontwerp in functies en subfuncties te definiëren is het mogelijk met functionele decompositiemodellen dit ontwerp op gestructureerde wijze vast te leggen in databases. Hierdoor is het mogelijk deze in databases gestructureerd opgeslagen kennis van het ontwerp op zeer elegante wijze onbeperkt her te gebruiken.

De werkwijze van Integraal Ontwerpen kenmerkt zich door het uitvoeren van het ontwerpproces door multi-disciplinaire teams, die samenwerken op de wijze van concurrent engineering. Dus niet achter elkaar (sequentieel) maar min of meer gelijktijdig (concurrent). Hierdoor krijgen alle fases van de levenscyclus met de daarbij behorende aspecten op de juiste afgewogen wijze hun plek. Hierbij worden op basis van gelijkwaardigheid de wensen (eisen) van de klant worden uitgewerkt.

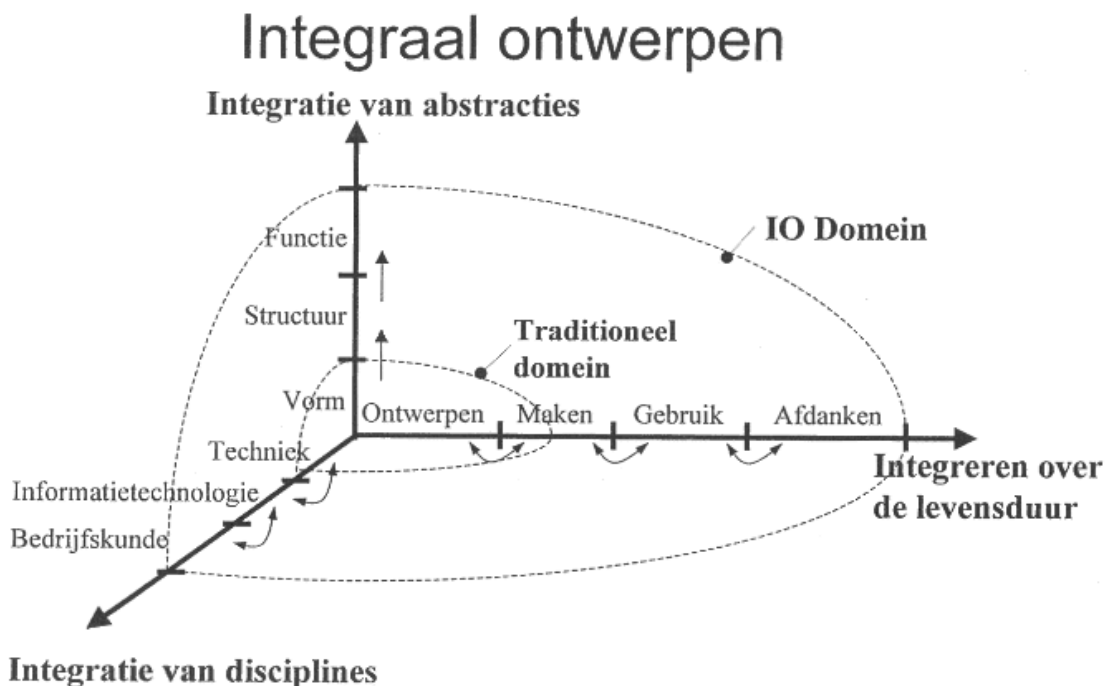
3.3 Voorstelling van Integraal Ontwerpen.

In de onderstaande figuur wordt de samenhang tussen de verschillende IO gebieden weergegeven. Herken hierin de volgende vlakken:

Functie-Life Cycle vlak: productontwikkel, realisatie en gebruiksvlak

Functie-Multidisciplinair vlak: structurings- en organisatievlak

Multidisciplinair-Life Cycle vlak: ondernemings- en marketingvlak, productdefinitie



Voor een klant of opdrachtgever betekent deze werkwijze, dat de wensen met betrekking tot het ontwerp op een gestructureerde wijze worden uitgewerkt. Hierbij wordt rekening gehouden met alle fases van de levenscyclus en wordt er gestreefd naar de beste oplossing tegen de laagst mogelijke levensduurkosten. Het scheppen van zo veel mogelijk waarde voor de klant staat hierbij voorop.

Bedrijven die voor deze gestructureerde aanpak kiezen krijgen daardoor vaak voor het eerst de mogelijkheid deze “kennis” (die is opgeslagen in een database) op een goede wijze her te gebruiken, met een zeer grote tijdwinst en vooral kostenbesparingen tot gevolg. Dit heeft niet alleen gevolgen voor de kostenbeheersing maar ook voor de winstpotentie van de bedrijven, want voor bedrijven staat het behalen van voldoende winst op de langere termijn voorop.

3.4 Traditionele bouwproces

Het huidige min of meer traditionele bouwproces kenmerkt zich door de grote verbrokkeling van de activiteiten en de slechte onderlinge afstemming van deze activiteiten. Daarnaast is er enorme focus op de laagste stichtingskosten van elk deel op zich, zonder een heldere samenhang en zonder een totaal kwaliteits- en gebruiksplaatje. Het lijkt wel alsof een ieder voor zich aan de gang is met gevolgen als: suboptimalisaties, afstemmingsverliezen, meerwerk, faalkosten en overschrijdingen van budgetten en tijd. En dan ook nog vaak een ontevreden klant. Over de oorzaken van deze situatie zullen we hier kort zijn, maar ze toch even noemen, namelijk de overheersing van de ontwerpers-(architect en adviseurs) en de uitvoerende partijen, zoals aannemers aan het begin van het bouwproces. Partijen die later, als de vaak jarenlange gebruiks- en onderhoudsfase van een gebouw aan de orde zijn, praktisch geheel uit het zicht zijn verdwenen.. Wat is de oorzaak van dit ongemak? Bij de architect is er vaak sprake van een eenzijdige gerichtheid op het vormgeven van de bouwkundige ruimte en het niet toelaten van gedachten omtrent het invullen van eisen die bijvoorbeeld installaties aan gebouwen stellen. Bij de aannemer is de hoofdsom van de ruwbouw, dus eigenlijk alleen het casco, het ijkpunt, mede vanwege de relatieve grootte van dit deel in de bouwsom. De zogenaamde marktwerking leidt dan wel tot de laagste aanneemprijs. Daardoor krijgt ook hier een modern installatieconcept (denk aan warmtepompen en aan warmtekracht, waarvan het toepassen grote gevolgen heeft voor de energiekosten en voor het comfortniveau) vaak niet de juiste aandacht. Andere betrokken partijen, zoals afwerkbedrijven, installatiebedrijven, bedrijven voor speciale installaties, e.d. komen pas heel laat in beeld en mogen/kunnen op basis van een vaak karig bestek en een zogenaamde scherpe prijs meedoen..

De voordelen van de traditionele aanpak zijn:

Elke partij die wil uitvoeren zal inschrijven tegen de laagst mogelijke prijs.

Elke partij zal streven te leveren een kwaliteit voor de afgesproken prijs

De nadelen van deze aanpak zijn:

Geen enkele partij zal streven werk te leveren tegen de hoogste kwaliteit

Elke partij gaat voor beperken van eigen verlies en loert juist op meerwerk

Er is geen sprake van een gezamenlijk geheel en toegevoegde waarde, dus “win-win” situatie

Er is geen greep van de opdrachtgever op het uiteindelijk gerealiseerde kwaliteit

3.5 Integraal Ontwerpen in de Gebouwde Omgeving

Wat kan Integraal Ontwerpen aan deze situatie verbeteren? Integraal Ontwerpen gaat zoals eerder gezegd uit van het idee dat er alleen een optimale uitkomst van een ontwerpproces kan worden bereikt als alle betrokken partijen op basis van gelijkwaardigheid van af het eerste begin aan het ontwerpproces kunnen deelnemen. Uiteraard staan hierbij het realiseren van de eisen en de wensen van de klant tegen de laagst mogelijke kosten voorop. Doch bij deze kosten staan niet alleen de initiële investeringskosten voorop (of wel de kapitaalskosten, de z.g. Capex) doch ook de gebruikskosten, de onderhoudskosten en het hergebruik (of wel de exploitatiekosten, de z.g. Opex) worden in ogenschouw genomen. Kortom er wordt gestreefd naar de laagst mogelijke ‘total cost of ownership’ (of Life Cycle Costs).

Mogen we dan niet meer bouwen tegen de laagste kosten, zonder dat moeilijke gedoe van lange termijn visie en toekomstige gebruikers en klanten. Natuurlijk mag dat en dat zal blijven gebeuren en is waarschijnlijk met de werkwijze van Integraal Ontwerpen nog goedkoper ook. Waarom? Omdat bij de werkwijze ook de wijze van uitvoeren van het bouwproces en het logistieke proces rond de bouwplaats in ogenschouw worden genomen. Ook hier zijn flinke besparingen mogelijk. Hoe vaak zegt een uitvoerder Niet: “als men het zo en zo maar had bekeken en ontworpen dan hadden we het goedkoper en sneller kunnen uitvoeren zonder verlies aan functionaliteit”. We kunnen de besparingen op ontwerpkosten schatten in de orde van grootte van ca 4 %, d.w.z. ook weer € 4 miljard op jaarbasis. Besparingen in deze orde van grootte zijn dus mogelijk door een uitgekiend ontwerpproces.

Zijn er ook nadelen aan de IO-aanpak? Eigenlijk niet. Wel wordt als nadeel genoemd de langere en duurdere ontwerptijd, die op zich wel meer gaat kosten dan nu gebruikelijk is. Doch deze extra inspanning zal zich in veelvoud terugbetalen gedurende de bouw- en de gebruiksfase van het gebouw (foutloos bouwen). Denk ook aan de energie en onderhoudskosten. Een goed doordacht integraal ontwerp betaalt zich verder ook terug door het systematisch vastleggen van ontwerp-kennis in databases. Hierdoor kunnen de ervaringen worden vastgelegd en het ontwerpproces verder worden geoptimaliseerd.

Een ander kritisch punt is het te vormen bouwteam, met name de regiefunctie van dit team is van cruciaal belang. De leden in zo'n team moeten echt als team opereren en gaan voor het best mogelijke resultaat tegen de laagste 'total cost of ownership'. Lukt dit niet dat zal ook het resultaat minder optimaal zijn.

In de min of meer egocentrische bouwwereld (met zeer vele naast elkaar werkende partijen) is men nog niet gewend op deze manier te werken, doch in de industriële wereld van de vliegtuigindustrie, de automobiellindustrie, de machinebouw of bij bedrijven als Philips, Océ, ASML, Stork, enz. is het niet meer mogelijk te werken zonder de beginselen van Integraal Ontwerpen. Een klant (in de toekomst) wil toch alleen betalen voor een bouwproduct dat voldoet aan zijn comfortwensen en kwaliteitseisen, dat foutloos wordt gerealiseerd tegen de afgesproken prijs en binnen de overeengekomen tijd.

Samengevat kan Integraal Ontwerpen in de Gebouwde Omgeving betekenen:

Ontwerp dat de klantenwensen optimaal invult; de klant krijgt dus wat er wordt verlangd.

Ontwerp met de juiste kostenplaatjes voor Capex en Opex; geldt ook voor degenen die alleen voor investeren tegen de laagste kosten gaan

Minimale ontwerp- en faalkosten

Verbeteren van de kwaliteit van het ontwerp, dus verhogen van de toegevoegde waarde voor een klant. D.w.z. de juiste kosten door een uitgekiend ontwerp voor de gewenste prestaties.

Croon Elektrotechniek (project Westerschelde tunnel)

De firma Croon heeft bij het ontwerpen en uitvoeren van haar deel van de Westerscheldetunnel gebruik gemaakt van de inzichten van Integraal Ontwerpen. En heeft tijdens het ontwerp besloten op basis van de geëiste functionaliteiten af te wijken van het bestek en op "eigen kosten" een geavanceerd bussysteem te installeren. De gevolgen van deze ontwerpkeuze waren geweldig positief in uitvoeringskosten, in montage tijds winst, in minder fouten en in flexibiliteit. Door dit bussysteem konden al tijdens de bouw fase additionele wensen zonder grote problemen worden ingepast en bovendien kunnen in de toekomst relatief gemakkelijk andere systeem aan dit bussysteem worden toegevoegd. De genoemde extra investering t.o.v. het bestek is al in de uitvoeringsfase meerdere keren terugverdiend!

3.6 Integraal Ontwerpen vereist een nieuwe werkwijze

Het toepassen van Integraal ontwerpen betekent een andere werkwijze voor zowel de opdrachtgever, de ontwerpers en de uitvoerders. Allereerst wordt nagegaan welke partijen van belang zijn voor het slagen van het project en vervolgens wordt uit deze partijen een bouwteam, bestaande uit ontwerpende en uitvoerende partijen, samengesteld. Hierbij zijn alle benodigde disciplines bij elkaar voor het bereiken van het optimale integrale resultaat, dus: bouwkundig, werktuigkundig en elektrotechnisch. Ook kan de opdrachtgever besluiten meerdere teams (met elk dus een eigen architect) een voorstel te laten uitwerken, om zo tot concurrentie te komen.

Zoals eerder gesteld moet zo'n bouwteam fungeren als een team. Dit betekent dat de teamleden met elkaar omgaan op basis van gelijkwaardigheid en de werkzaamheden van de teamleden op de wijze van concurrent engineering worden uitgevoerd, een werkwijze die hiervoor is uiteengezet. Het grote voordeel van deze methode is dat eisen en problemen van

verdere stappen al in een vroeg stadium worden beoordeeld en meegewogen zodat ze later niet kunnen leiden tot grote aanpassingen en vertragingen.

Daarnaast zal het traditionele bouwproces van idee, schetsontwerp, voorontwerp, definitief ontwerp, bestek maken, aanbesteden en uitvoeren nog eens goed tegen het licht wordt gehouden. Hoewel bij Integraal Ontwerpen in principe dezelfde weg wordt bewandeld, gaan we anders met de procesonderdelen om. Het bouwteam zal in eerste instantie het ontwerp maken en zal vervolgens na goedkeuring dit ontwerp ook uitvoeren. Dit is wel een *grote en essentiële breuk* met de huidige werkwijze. Een ander gevolg zal zijn dat de samenstelling van het bouwteam gedurende de procesgang steeds zal wijzigen. In de eerste fase zijn het de ontwerpers die de boventoon voeren en in de tweede fase de uitvoerders. Het moge duidelijk zijn dat aan de leden van het bouwteam hoge eisen worden gesteld op het gebied van houding en sociale vaardigheden, daar echt samenwerken in een teamverband vaak niet spontaan tot stand komt. Of een architect altijd wel leider moet zijn van zo'n bouwteam over de gehele periode van het bouwproces valt nog te bezien. In het geval van concurrentie door het werken met meerdere teams, dan zullen deze parallel aan dezelfde opdracht gaan werken.

Voor de spelers in het bouwspel is deze werkwijze een hele omschakeling. De opdrachtgever moet zich er van tevoren van vergewissen of er met één bouwteam (dat verschillende ontwerpen uitwerkt) of met meer bouwteams (die elk een ontwerp uitwerkt) wordt gewerkt. Welke vorm er ook wordt gekozen, voor al het voorbereidende ontwerpwerk van elk deelnemend team moet worden betaald. Dit houdt in dat het ontwerpproces wordt losgekoppeld van het uitvoerende deel en dat het ontwerp veel verder wordt uitgewerkt dan tot nu toe normaal is. Zo zullen bij het definitieve ontwerp niet alleen het bouwplan, het uitvoeringsplan en de begroting gereed zijn, maar ook de bouwkosten (investeringskosten) en de daarbij behorende levensduurkosten (denk aan de 'total cost of ownership').

Wat zijn nu de grote voordelen van deze aanpak? Voor de opdrachtgever zijn de voordelen dat er een bouwproduct wordt opgeleverd dat aan zijn wensen voldoet, dat in principe foutloos is, tegen de overeengekomen prijs, binnen de afgesproken tijd en tegen de laagst mogelijke cost of ownership (van de gekozen uitgangspunten). Tevens is voldaan aan zaken als: duurzaamheid, kosteneffectiviteit, energiezuinige aanpak, creëren van comfort en waarde. Voor de uitvoerende partijen betekent deze aanpak dat het realiseren van het beste integrale ontwerp centraal staat en niet alleen het najagen van de laagste stichtingskosten. Bovendien wordt door het samenwerken in teams de creativiteit van de teamleden veel meer geprikkeld, waardoor tot ontwerpen van een betere kwaliteit kan worden gekomen, die ook optimaal uitvoerbaar zijn. Tevens kan voor een deel van de uitvoerende partijen de relatie met de opdrachtgever worden bestendigd via langlopende onderhoudscontracten (dus design, built and construct, maintain).

Door gebruik te maken van de geëigende ICT-hulpmiddelen met databases kan ook worden gewerkt aan het gestructureerd vastleggen van kennis, die dan later bij andere projecten weer kan worden hergebruikt. De opbrengsten hiervan zijn nog nauwelijks te kapitaliseren, maar uitgewerkte voorbeelden laten besparingen zien van 15 tot 20% op de ontwerpkosten voor het bereiken van het zelfde resultaat. Een mooi voorbeeld hiervan is het recent opgeleverde Spoorwegmuseum te Utrecht, waarbij ruimschoots gebruik is gemaakt van deze middelen. Samengevat betekent het toepassen van de Integraal Ontwerpen werkwijze:

Voor de opdrachtgever: een ontwerp en een ontwerpuitvoering, die zo dicht mogelijk zijn eigen ideaalbeeld benaderen tegen een goede prijs/kwaliteit verhouding, bekende en beheersbare 'total costs of ownership', weinig of geen opleveringsellende.

Voor de opdrachtgever: het verkrijgen van een gebouw, waarvan de toegevoegde waarde op basis van de beschikbare financiën bekend is.

Voor de opdrachtgever het verkrijgen van een gebouw, waarin het voor de medewerkers goed toeven is door het goede binnenklimaat en het daaruit resulterende lage ziekteverzuim en hoge arbeidsproductiviteit.

Voor de uitvoerende partijen: transparantie m.b.t. de ontwerpkosten zodat alle aandacht kan worden besteed om te komen, al dan niet in concurrentie, tot het best mogelijke ontwerp in relatie tot de eisen en de wensen en de beschikbare financiële middelen.

Voor de uitvoerende partijen betekent het dat de kwaliteit voor de prijs kan gaan in plaats van de nu gangbare praktijk van prijs voor kwaliteit (met alle zure verhoudingen van dien).

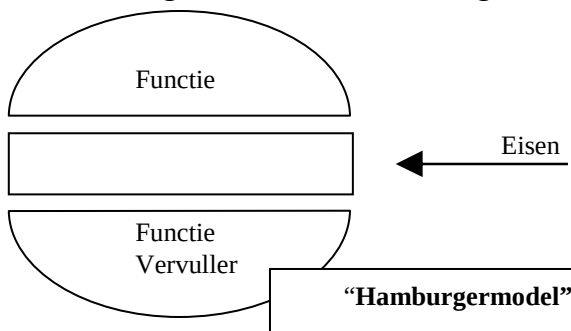
Voor de uitvoerende partijen betekent deze werkwijze ook een afscheid van de schimmige situatie van afspraken van rekenvergoedingen e.d.

Voor de werkwijze en de organisatie van betrokken partijen in het bouwproces betekent het toepassen van Integraal Ontwerpen een behoorlijke omschakeling in denken en handelen van de medewerkers. Scholing in de denkwijze van IO is voor deze medewerkers welhaast onontbeerlijk.

3.7 Integraal Ontwerpen vraagt om structureren.

Zoals in het hier voorafgaande al is aangestipt is dat het functiedenken een belangrijke rol speelt bij het vertalen van klantenwensen naar productspecificaties. We beginnen met het vertalen van klanten wensen in functies en bij deze functies worden de geëigende toepassingen/oplossingen ofwel de functievervullers gezocht. doormiddel van decompositiemodellen worden deze functies weer gesplitst in onderligggende sub of deelfuncties. Een hulpmiddel om deze functies goed te structureren is het

“Hamburgermodel”. Een Hamburger bestaat uit 3 delen. In het bovenste deel wordt de

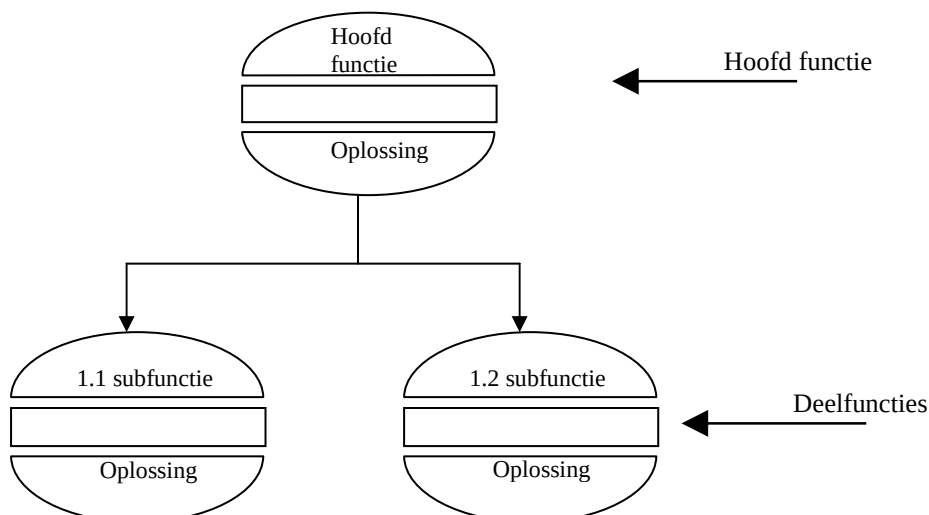


functie omschreven met een werkwoord. In het onderste deel wordt de functievervuller omschreven met een zelfstandig naamwoord en de ruimte tussen de twee helften wordt gebruikt om de eisen voor de betreffende functievervuller te omschrijven. Een hamburger wordt altijd opgesplitst in minimaal 2 nieuwe hamburgers. Wanneer dit niet meer mogelijk is heeft men te

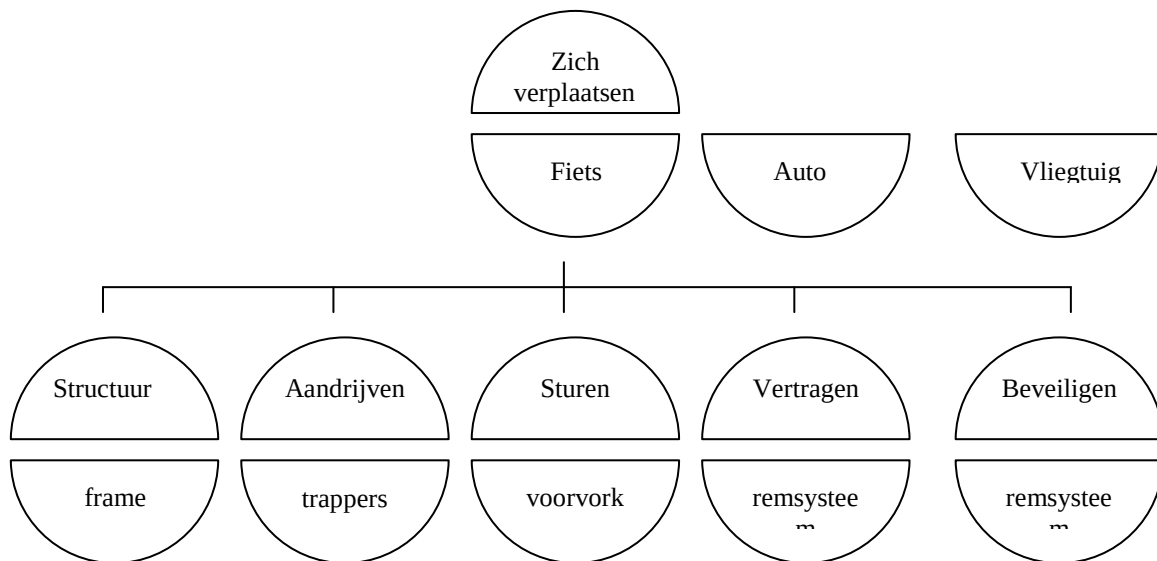
maken met een functie die samengevoegd kan worden of met het laagste niveau van het product.

Het hamburgermodel heeft verschillende niveaus. Men begint met een hoofdfunctie. Hierbij horen een aantal eisen. Aan de hand van deze eisen wordt een functievervuller bedacht. Deze functievervuller heeft ook een aantal (deel)functies. Deze (deel)functies zet men onder de functievervuller. Zo ontstaat er een piramide vorm met boven aan de piramide de hoofdfunctie en hieronder de deelfuncties. Men kan hiermee doorgaan tot het laagste niveau. Zo ontstaat er een overzicht van het product bestaande uit functies en functievervullers.

Hierbij kan men dus ook herkennen dat er voor de zelfde functies meerdere oplossingen mogelijk zijn en deze elk door de eisen van de functie worden bepaald. Met dit gegeven kan men de kennis gemakkelijk hergebruiken bij het maken van een nieuw ontwerp.



Het hierboven staande voorbeeld is het begin van een hamburgermodel. Men begint bij de hoofdfunctie en splitst deze op in deelfuncties. Hierbij is het van belang dat men blijft denken in functies en deze omschrijft met een werkwoord. Hieronder de eisen specificeren en daarbij weer een functievervuller kiezen.



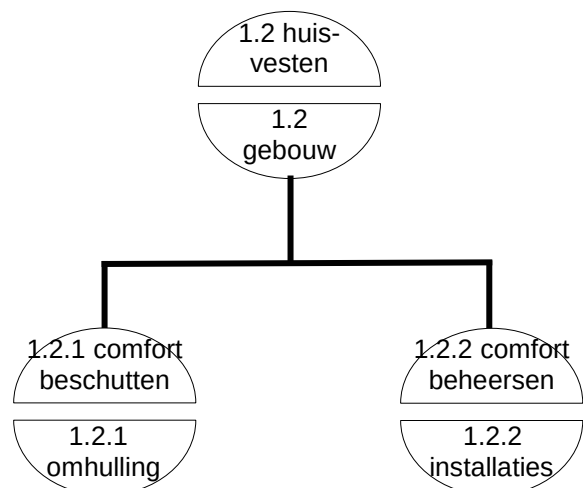
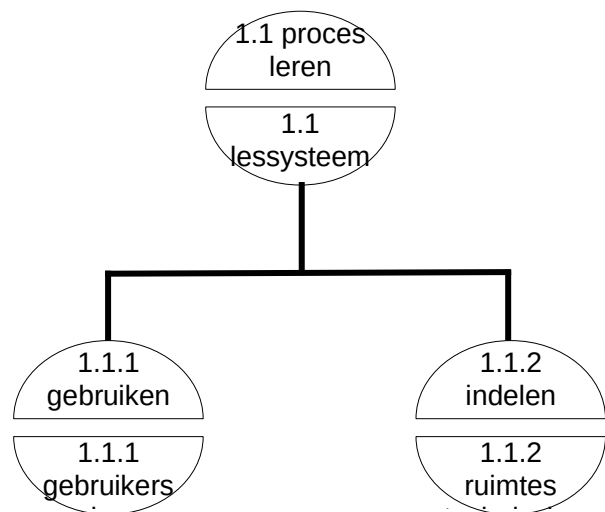
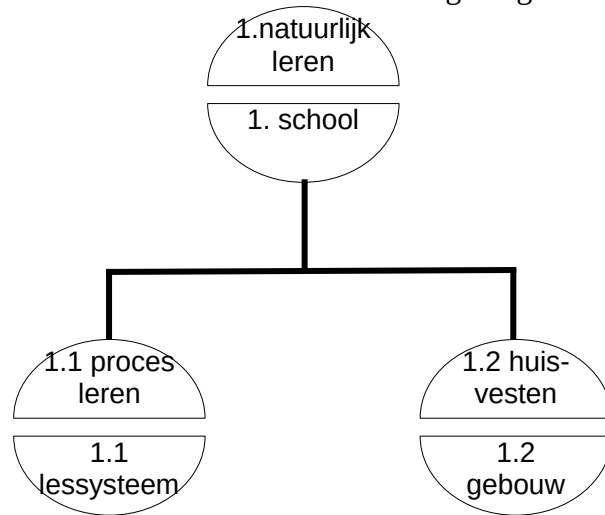
Hierboven is een voorbeeld te zien van de functie verplaatsen. Er zijn voor deze functie meerdere mogelijkheden, zoals auto, vliegtuig of trein. Deze mogelijke functievervullers moeten als halve hamburgers naast de gekozen functievervuller staan. Dit laatste laat zien wat de mogelijkheden waren en in het bijbehorende document kan men deze keuze nader toelichten. Dit doet men aan de hand van de eisen die gesteld worden, de zogenaamde functiespecificaties. Dit is het “vlees” van de hamburger.

De functie “verplaatsen” wordt vervuld door de functievervuller “fiets”. Deze heeft op zich weer (deel)functies nodig om te kunnen functioneren. In dit geval komen daar 5 deelfuncties uit met elk zijn eigen functievervuller. Deze kan wederom weer bestaan uit een aantal functies. Zo kan men doorgaan totdat men bij enkele onderdelen angekommen is.

Regels voor een goede functionele decompositie zijn:

- Er moet vanuit de vraag gedacht worden en niet vanuit de oplossing.
- De functie moet omschreven worden in een werkwoord met e.v. een zelfstandig naamwoord.
- De functievervuller moet omschreven worden met een zelfstandig naamwoord.
- Wanneer een functie verder uitgewerkt wordt moet deze minimaal bestaan uit 2 functies. Wanneer dit niet mogelijk is kan men de functies samenvoegen of het laagste niveau van het product is bereikt.

3.7 Voorbeeld Gebouwde Omgeving



4. Energie en energiebesparingen.

C.G.Dingemans

4.1 Inleiding:

De technische (klimaat) installaties in een gebouw hebben tot doel de verstorende factoren weg te nemen zodat er een binnenklimaat ontstaat waarbij de gebruiker zich goed voelt. We zullen daarom moeten kunnen bepalen hoe groot deze verstorende factoren zijn om zo te kunnen bepalen op welke wijze en met welke apparatuur we dit kunnen vereffenen. In de komende hoofdstukken zal in gegaan worden op deze apparatuur en hun eigenschappen. Nadat we bepaald hebben (zie vorige hoofdstuk) welke hoeveelheid aan lucht, of ander zaken uit (of aan) het gebouw moeten worden afgevoerd (toegevoerd) kunnen we keuzes maken over de wijze waarop dit moet gebeuren.

4.1.1 Energie behoeften.

Het ziet er naar uit, dat we in de komende jaren mondiaal gezien nog steeds een stijgende energiebehoefte zullen hebben, zelfs als we in de westerse wereld kans zien om de energieconsumptie te verminderen.

De wereldbevolking zal in de komende jaren alleen nog maar toenemen, zodat alleen vanuit dit oogpunt gezien al een grotere energiebehoefte nodig is.

Daarnaast zullen de ontwikkelingslanden zich steeds verder ontwikkelen wat automatisch ook betekent dat hun behoefte aan energie toe zal nemen.

Kijken we naar het onderstaande lijstje, dan kunnen we zien dat de laatste eeuwen de consumptie alleen maar is toegenomen.

Ontwikkeling van het energieverbruik.

-- Australopithecus (Ca. 1 milj.jr.v.Chr)	0,2 kW/pers continu.
-- Neanderthaler (Ca. 100.000 jr.v.Chr)	0,25 kW/pers continu.
-- Homo Sapiens (Ca. 5000 Jr.v.Chr)	0,5 kW/pers continu.
-- Middeleeuwen (Ca. 1400 Jr.n.Chr)	1,75 kW/pers continu.
-- Industriële mens (Engeland 1875)	3,7 kW/pers continu.
-- Technologische mens 1970(USA)	11,1 kW/pers continu.

Bovenstaande getallen zijn alleen bedoeld ter indicatie van de ontwikkelingen op het gebied van energiegebruik. De ontwikkelingen zijn nadat dit lijstje gemaakt is in een stroomversnelling gekomen.

4.1.2 Nu en Later.

Het functioneren van onze westerse economie staat of valt bij de beschikbaarheid van energie.

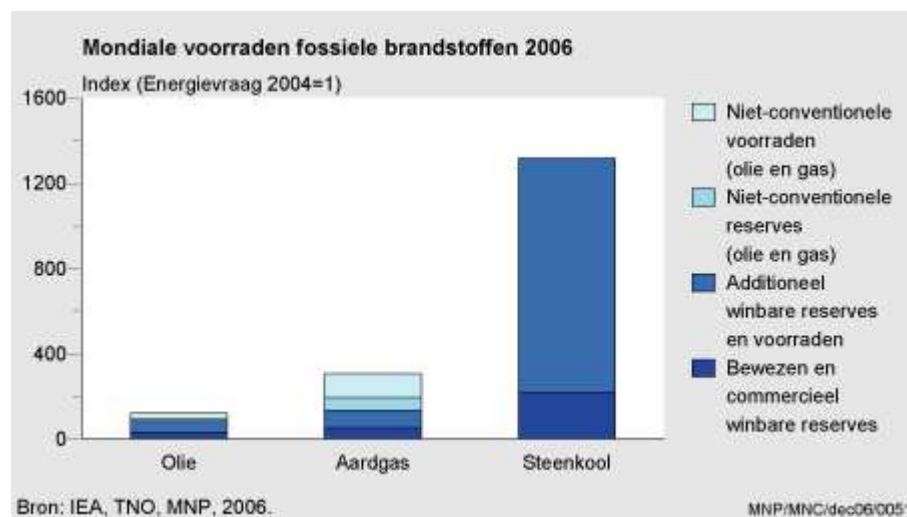
Onze economie zal niet meer kunnen functioneren als we niet kunnen blijven voorzien in de vraag naar deze energie. Het gevolg hiervan is dat de energie productie en de daarbij behorende grondstoffen wereldwijd de belangrijkste factor in de handel, en vaak ook in de politiek, is geworden. Het bezit van energiedragers blijkt tegenwoordig vaak al een enorm machtsmiddel te zijn.

Na de energie crisis van een aantal jaren geleden zijn we ook nog met de neus op de feiten gedrukt dat energievormen eindig blijken te zijn. Veel landen zijn daarom op zoek gegaan naar energiebronnen, die ze zelf kunnen beheeren en die ook als niet eindig kunnen worden beschouwd. Een land kan b.v. wel een olie voorraad hebben, maar als deze over 20 jaar uitgeput is dan staat een dergelijk land op de rand van de afgrond.

4.2 Mondiale voorraden energiedragers

(bron: [Milieu & NatuurCompendium](#))

De mondiale voorraden in de vorm van fossiele brandstoffen zijn, bij het verbruikstempo van 2004, gelijk aan nog eens 150 jaar olieverbbruik, 360 jaar gasverbbruik en 1320 jaar kolenverbbruik.



Voorraden fossiele brandstoffen

Bij het schatten van de voorraden fossiele brandstoffen wordt een onderscheid gemaakt tussen reserves, die geïdentificeerd en gemeten zijn, en waarvan bekend is dat ze technisch en commercieel winbaar zijn, en voorraden (resources), waarvan het bestaan en de winbaarheid minder zeker zijn. In 2004 was de vraag naar fossiele energie 165 EJ olie, 96 EJ aardgas en 116 EJ steenkool (1 EJ = 1 Exajoule = 10^{18} Joule) (IEA, 2006). Om de voorraden fossiele energie op een inzichtelijke manier in de grafiek te presenteren zijn deze gerelateerd aan de vraag naar energie in 2004. Het mondiale energieverbruik groeit echter jaarlijks en zal naar verwachting ook in de komende decennia blijven groeien. Het gevolg kan zijn dat deze voorraden in een (veel) kleiner aantal jaren dan aangegeven in de grafiek, verbruikt zullen worden.

4.2.1 Ontwikkelingen steenkoolvoorraden

Het overgrote deel van de mondiale voorraad aan fossiele brandstof bestaat uit steenkool. De steenkoolvoorraden zijn in vrijwel alle wereldregio's - behalve in het Midden-Oosten en in Latijns-Amerika - in ruime mate aanwezig. Het is de verwachting dat bij het huidige verbruikstempo van steenkool alleen al de bewezen en commercieel winbare voorraden voor circa 220 jaar kunnen voorzien in de huidige mondiale behoefte.

Daarnaast is er nog 2095 keer de vraag in 2004 aan niet winbare voorraden.

4.2.2 Ontwikkelingen olie- en gasvoorraden

De olie- en gasvoorraden hebben een kleiner aandeel in de totale mondiale voorraad aan energiedragers dan kolen. De conventionele voorraden aardgas en olie zijn voornamelijk te vinden in het Midden-Oosten en voor aardgas ook in de landen van de voormalige Sovjet-Unie. Niet-conventionele voorraden, zoals olie uit teerzanden en leisteenuolie en methaan uit ondergrondse kolenlagen, bevinden zich voornamelijk op het Amerikaanse continent. Deze voorraden zijn nog vele malen groter dan de conventionele voorraden. In welke mate de niet-conventionele olievoorraden zullen worden geëxploiteerd zal voornamelijk van de wereldmarktprijs afhangen. De komende decennia zijn er naar verwachting nog voldoende goedkopere voorraden beschikbaar.

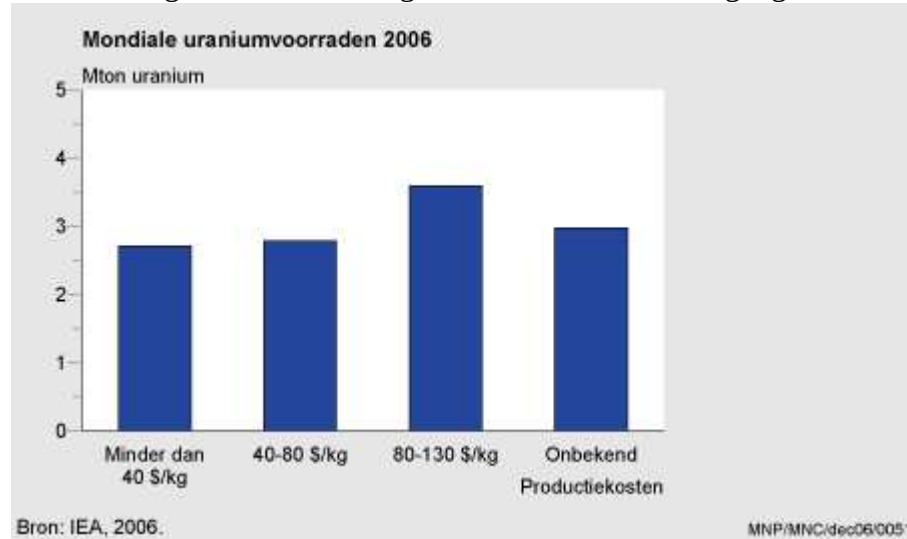
Er zijn mogelijk nog 47 keer de vraag naar olie in 2004 en 168 keer de vraag naar aardgas in

2004 aan additionele, niet-conventionele voorkomens. De zekerheid van deze schattingen is echter laag. Het is ook niet bekend of deze voorraden ooit winbaar zullen zijn.

4.2.3 Kernenergie

De brandstof voor de productie van kernenergie is uranium. De vraag voor uranium was in 2005 68.130 ton uranium. De conventionele uraniumvoorraden zijn bij het huidige verbruik genoeg voor enkele tientallen jaren.

Exploitatie van geologisch minder zekere, 'nog niet ontdekte' voorraden zou deze periode tot enkele honderden jaren kunnen verlengen. Wel zijn hiervoor aanzienlijke exploratie- en ontwikkelingsactiviteiten nodig. Uraniumertsen komen geografisch wijd verspreid voor.



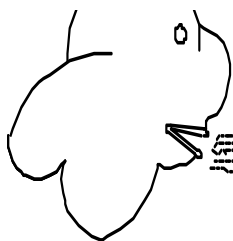
Thorium, een element dat veel meer voorkomt dan uranium, kan ook gebruikt worden als brandstof voor kernreactoren. De technologie hiervoor is echter nog niet ontwikkeld. Opwerking en alternatieve brandstofcyclussen kunnen ook bijdragen aan een grotere beschikbaarheid van uranium.

4.2.4 Waterkracht

Het mondiaal, technisch realiseerbare potentieel voor waterkracht is ongeveer 14.400 TWh/jaar (1 TWh = 1 Tera Wh = 10^{12} Wattuur = 3600 TJ) (WEC, 2001). Ongeveer 8000 TWh/jaar hiervan zijn commercieel haalbaar, waarvan 2600 TWh/jaar zijn ontwikkeld. Bij een belastingsfactor van nieuwe faciliteiten die gelijk is aan het bestaande gemiddelde, betekent de exploitatie van het gehele potentieel de constructie van 1,4 TW aan capaciteit. Dit is tweemaal zo veel als huidige capaciteit. (einde citaat "Natuur en Milieu compendium")

4.2.5 Wat nu?

a. We zullen ons zeer sterk moeten bezig houden met het zoeken naar energie vormen die gedurende veel langere tijd tot onze beschikking blijven.



We moeten dus zoeken naar "Blijvende energievormen".
Onder blijvende energie verstaan we een energie vorm die gedurende een zeer lange tijd (langer dan 100 jaar) beschikbaar zullen blijven.
Energiebronnen die korter beschikbaar zijn noemt men tijdelijke energiebronnen.
De keuze van 100 jaar is arbitrair, maar is ingegeven door het feit, dat men op een langere termijn onvoldoende

inschatting over de mondiale ontwikkelingen kan maken.

Een aantal mogelijkheden die op basis van de huidige kennis interessant kunnen worden zijn:

- Kernenergie.
- Waterkracht.
- Zonnewarmte.
- Windkracht.
- Aardwarmte.
- Getijdekracht.
- Oceaanwarmte
- Golfenergie.

De uiteindelijke oplossing zal hier gevonden moeten worden.

b. Naar verwachting zal het nog enige tijd duren voordat er op grote schaal oplossingen gevonden worden op het gebied van blijvende energiebronnen. Ons rest dan ook, slechts het zo zuinig mogelijk om gaan met de voorraden die we nog hebben.

We moeten ons daarbij wel realiseren dat het om uitstel gaat en dat we, wil het enig effect hebben, in ruime mate moeten besparen, aangezien de totale wereld behoefte nog stijgt. De stijging van de totale wereld behoefte wordt veroorzaakt door het grote aantal inwoners van de ontwikkelingslanden. Al deze landen zullen trachten op een hoger ontwikkelingspeil te komen met als gevolg ook een groter energie gebruik.

We zullen dus moeten proberen om zeer *Energie* bewust te werken of eigenlijk **Exergie** bewust.

4.2.6 Milieu.

We zien de laatste tijd een verschuiving op treden van inzicht rondom de reden waarom we zullen moeten besparen op het gebruik van fossiele brandstoffen.

Een veel gehoorde redenering is dat we steeds meer voorraden ontdekken welke uiteindelijk (tegen hogere kosten) winbaar zijn zodat we de tijd waarop we zonder fossiele brandstoffen komen te zitten steeds verder in de toekomst komt te liggen.

Maar wel worden we steeds vaker geconfronteerd met veranderingen in ons klimaat, veroorzaakt door de uit stoot van gebruik van fossiele brandstoffen.

Dit effect wordt steeds belangrijker en is naar inzicht van grote groeperingen het meest belangrijke criterium om op gebruik van fossiele brandstoffen te besparen.

4.3 Energiebesparing

4.3.1 Inleiding

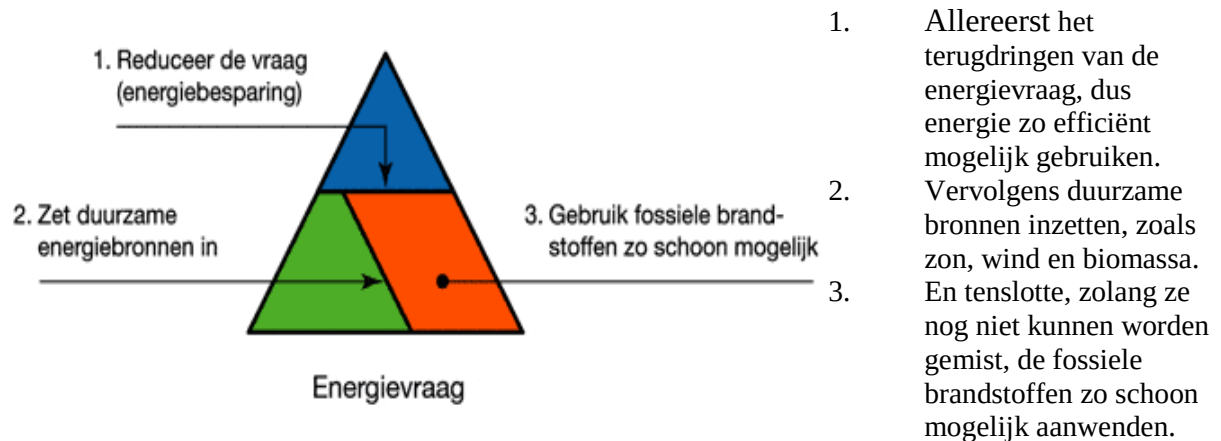
Uit voorgaande blijkt, dat energiebesparing in feite bittere noodzaak is willen we op termijn het milieu en onze economie in stand kunnen houden. Toch speelt tegenwoordig nog steeds de financiële factor de grootste rol.

Dit betekent, dat als we naar besparend systemen kijken we ook altijd het kostenplaatje er naast moeten zetten.

Dit heeft tot gevolg dat als we over energiebesparing praten, we vrijwel altijd praten over besparing van energie vormen waar we voor moeten betalen. In feite dus van Primaire (Fossiele) brandstoffen. Dit zijn die energiedragers, waarvan we op dit moment nog afhankelijk zijn en die eindig blijken te zijn.

4.3.2 Trias Energetica:

Energie brengt welvaart en bezorgt ons een prettig leven. Maar ons energiegebruik heeft ook nadelen - milieuvervuiling, klimaatverandering - die inmiddels ernstige vormen hebben aangenomen. Wat kan er aan gedaan worden?



Deze driestappen aanpak voor het invullen van onze energievoorziening wordt wel de **trias energetica** genoemd.

4.3.3 Verlagen van het energie gebruik.

Zien we kans om het directe verbruik van energie te beperken dan besparen we daarmee energie.

Voorbeeld: Voorzien we ons huis van een betere isolatie en zorgen we dat de deuren beter gesloten blijven, dan zal het huis op de gewenste temperatuur blijven bij een lager energie gebruik.

Omdat de meeste woningen met fossiele brandstoffen worden verwarmd gebruiken we dus in zijn totaliteit minder energie en we besparen op fossiele brandstof.

4.3.4 Energie hergebruiken

Een andere vorm van energiebesparing is het gebruiken van energie die we anders onbenut zouden laten.

Hierbij gaan we er van uit dat energie die voor een bepaalde toepassing niet meer bruikbaar is mogelijk nog bruikbaar is voor andere toepassingen.

Een belangrijk onderzoekshulpmiddel naar de toepassingsmogelijkheden is de Pinch-technologie.

Een verder doorgevoerde vorm van deze besparingen is het principe van warmtepompen.

4.3.5 Toepassen van duurzame energie bronnen.

We kunnen ook gebruik gaan maken van "alternatieve" vormen van brandstof.

Hierbij gaan we er dan van uit dat er bron van blijvende energie gebruikt wordt.

In dit geval is het niet absoluut noodzakelijk dat er in zijn totaliteit op energie bespaard wordt om toch van energie besparing te spreken.

Als we een gedeelte van de energiebehoefte invullen door gebruik te maken van blijvende energiebronnen besparen we uiteindelijk niet noodzakelijker wijs op het totale energie gebruik maar wel op het gebruik van de fossiele brandstoffen.

Een voorbeeld hiervan is een zonneboiler.

We gebruiken een bepaalde hoeveelheid warm water per dag. Voor het verwarmen hiervan is een zekere hoeveelheid energie nodig, die we op dit moment via elektriciteit uit fossiele brandstof verkrijgen.

Plaatsen we nu een zonne boiler en gebruiken we nog net zoveel warm water, dan zal er dus nog net zoveel energie voor het opwarmen nodig zijn als voorheen. Echter de elektriciteitsrekening wordt lager want een gedeelte van deze benodigde energie halen we uit de zonne straling.

Dus we gebruiken minder fossiele brandstof.

Dit noemen we ook energiebesparing. (Terwijl we nog net zoveel energie gebruiken als voorheen.)

4.3.6 Fossiele brandstoffen zo zinvol mogelijk gebruiken.

Blijkt dat we energie bespaard hebben, ver volgens zo veel mogelijk gebruik gemaakt hebben van duurzame energiebronnen en is er dan nog behoefte aan energie dan zullen we fossiele brandstoffen moeten toepassen.

Het is in dat geval van uiterst belang dat we de ze dan zo gebruiken dat we er een zo groot mogelijk rendement uit kunnen halen. (Willen we dit goed doen dan zullen we dit moeten afstemmen op het Energetisch rendement.)

4.3.7 Praktisch.

Veelal vinden we in de praktijk echter een combinatie van voorgaande opties.

In de volgende hoofdstukken zullen een aantal componenten en praktische uitvoeringen van energiebesparende systemen worden toegelicht.

5 Koellast en warmtelast.

Inleiding:

Het (thermisch) welbevinden van de gebruikers van een gebouw berust op het scheppen van een omgeving die voor een bepaald persoon op een bepaald moment het gewenste thermisch evenwicht tot stand kan brengen.

Dit thermisch evenwicht wordt constant verstoord door de volgende factoren:

- De mens zelf (Zie fanger)
- Gebouw externe factoren
- Gebouw interne factoren.

In de onderstaande hoofdstukken zullen we ingaan op deze factoren en bekijken hoe we deze op waarde kunnen inschatten.

5.1 Gebouw externe factoren:

Gebouwexterne factoren zijn de zaken welke van buiten het gebouw komen en het binnenklimaat beïnvloeden.

Naast het thermisch binnenklimaat, dat sterk wordt beïnvloed door het buitenklimaat, zullen ook factoren als externe geluidsbronnen of luchtkwaliteit (Denk b.v. aan een kantoorgebouw op Schiphol) hun invloed hebben op het binnenklimaat.

5.1.1 Geluid

Geluid zullen we zo veel mogelijk proberen buiten te sluiten met als gevolg dat we geluiddichte gevels moeten construeren.

Dat dit consequenties zal hebben voor de benodigde bouwkundige en installatietechnische voorzieningen en daarmee op de bouwkosten moge duidelijk zijn.

Tijdens andere lessen binnen deze cursus zal hier nader op ingegaan worden.

5.1.2. Luchtkwaliteit

De lucht binnen gen gebouw zal regelmatig verversd worden. Hierop wordt in andere delen van de cursus in gegaan.

Deze verversing zal tot stand gebracht worden door de toevoer van “verse” buitenlucht.

Hiervoor worden o.a. via het bouwbesluit normen gesteld.

Echter het buitenklimaat is niet overal van gelijke conditie en soms ook van een kwaliteit die niet geschikt geacht wordt om in te leven. Daarom zal ook hiervoor de benodigde voorzieningen opgenomen moeten worden in de technische installaties.

5.1.3 Buitenklimaat

Het buitenklimaat wordt bepaald door de grootheden luchttemperatuur, luchtvochtigheid, windsnelheid en zonnestraling. De luchttemperatuur en de windsnelheid bepalen de convectieve warmteoverdracht naar of van het gebouw.

De buitenluchttemperatuur varieert de hele dag. Berekent men het gemiddelde temperatuursverloop van een bepaalde dag over een groot aantal jaren dan blijkt dit ongeveer sinusvormig te zijn. De grafiek in figuur 4.1 laat dit zien voor een warme dag in de warmste maand van het jaar, voor een heldere en voor een bewolkte hemel.

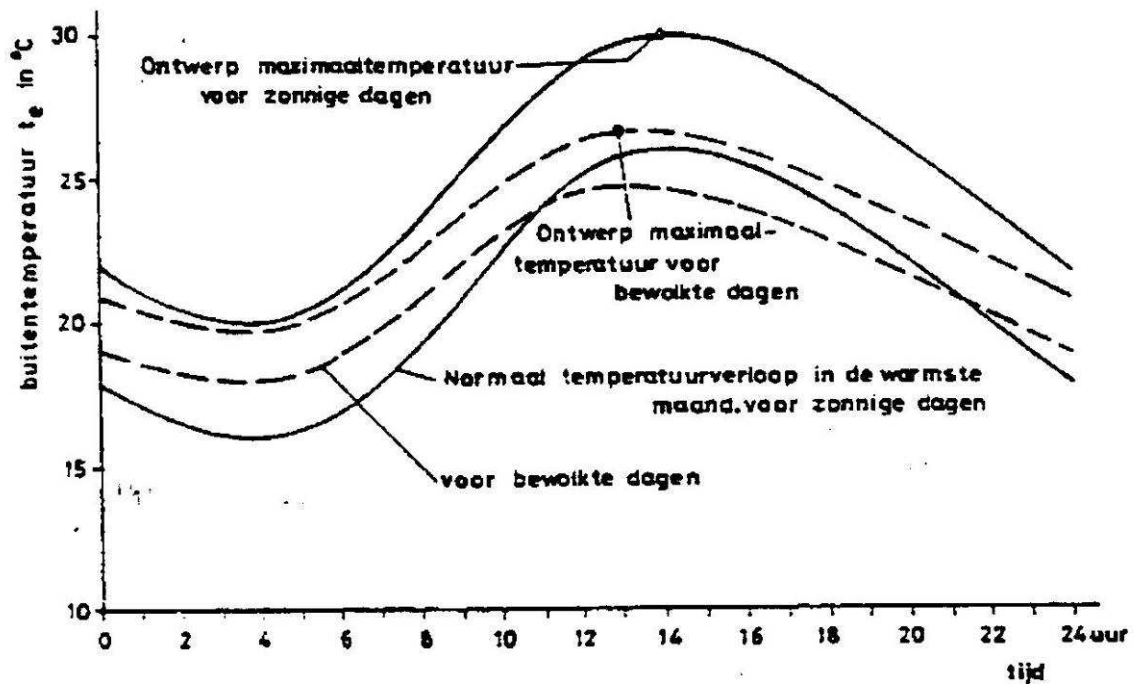


fig.4.1 buitenluchttemperatuur over een etmaal

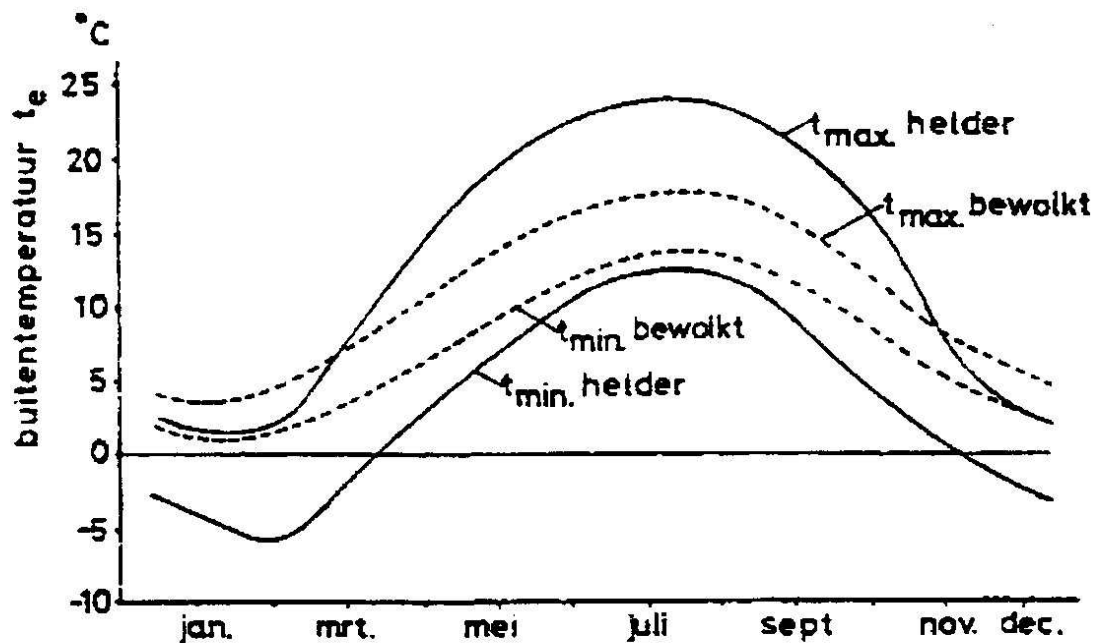


fig.4.2 gemiddelde luchttemperatuur per maand

Figuur 4.2 toont de grafiek van de maandelijks gemiddelde maximum en minimum temperatuur op heldere en bewolkte dagen. De minimum temperatuur voor Oost-Nederland is ongeveer -12°C , die voor West-Nederland -8°C . Omdat de gemiddelde windsnelheid in het westen hoger is dan in het oosten zal de convectieve transmissie ongeveer hetzelfde zijn.

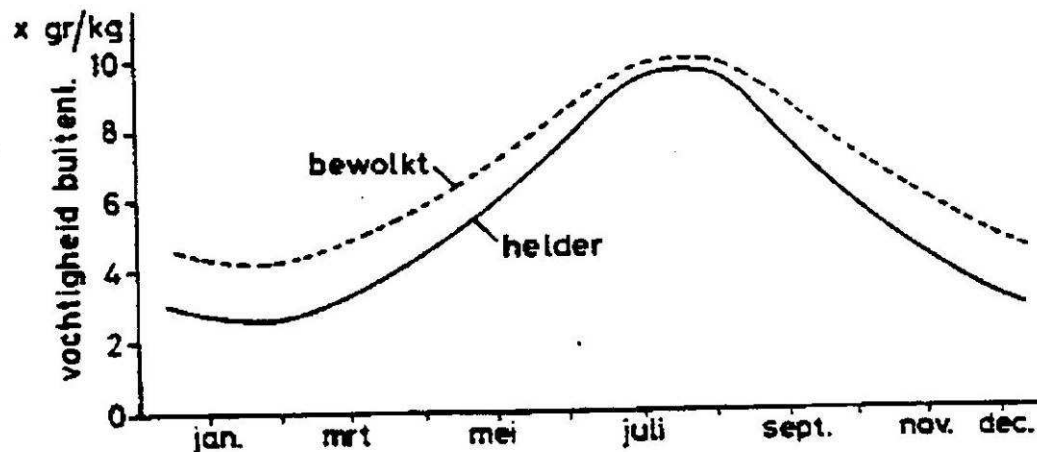


fig.4.3 gemiddelde luchtvochtigheid per maand

De luchtvochtigheid van de ventilatielucht bepaalt mede of de circulerende lucht in het gebouw bevochtigd dan wel gedroogd moet worden. Figuur 4.3 toont het verloop van de absolute vochtigheid in de buitenlucht over een heel jaar. We zien dat in de winter de absolute vochtigheid laag is. Door verwarmen daalt de relatieve vochtigheid, bevochtigen zal dan nodig kunnen zijn.

In de zomer is de absolute vochtigheid hoger, bovendien brengen personen vocht in het gebouw waardoor snel de relatieve vochtigheid onbehaaglijk hoog kan worden. Ontvochtigen van de ventilatie lucht is dan gewenst.

Invloed buitentemperatuur:

Via transmissie door wanden en door glas zal de buitentemperatuur invloed hebben op de binnentemperatuur. Hoe groter het temperatuursverschil, hoe groter de transmissieverliezen. In de praktijk zien we dat de huidige isolatie waarde van de wanden van de gebouwen dermate goed is dat deze steeds minder invloed hebben op het transmissieverlies.

We zien dat het gebruikte glas een steeds grotere rol gaat spelen. Daarom wordt er ook veel aandacht besteed aan z.g.n. "HR-glas" om op deze wijze een substantiële reductie van de transmissieverliezen te leveren.

We dienen ons goed te realiseren dat de oppervlakte temperatuur van de gebouwen niet gelijk hoeft te zijn aan de buitenlucht temperatuur. Deze kan hoger liggen door dat de straling van de zon het oppervlak zal verwarmen.

Ook zal de aangezogen ventilatielucht de buitenlucht temperatuur hebben en daardoor de hoogte daarvan bepalend zijn voor de benodigde verwarming of koeling.

Als laatste kennen we ook het begrip "infiltratie". We spreken van infiltratie als, veelal door winddrukverschillen aan beide kanten van het gebouw, er ongecontroleerde ventilatie op treedt via de openingen in de gevels.

Deze lucht moet dan opgewarmd of afgekoeld worden om geschikt te zijn voor gebruik binnen het gebouw.

De huidige bouwmethodes minimaliseren deze verliezen sterk.

5.1.4 zonnestraling

De zonnestraling beïnvloedt het binnenklimaat door binnentredende warmte via ramen in de gevel, maar ook vertraagd door het opwarmen van de muren en daken. De intensiteit van de zonnestraling is afhankelijk van de zonnestand dus van de datum en van het tijdstip, en van de bewolkingsgraad. Zowel in de winter als in de zomer beïnvloedt de zonnewarmte de

warmtehuishouding in het gebouw in hoge mate. In de winter en in het voorjaar kan de zuid gevel zodanig verwarmd worden dat de daaraan gelegen vertrekken gekoeld moeten worden, terwijl die aan de noord gevel verwarmd moeten worden. Ook in de zomer zal ten gevolge van de zon de warmtehuishouding per gevel verschillend zijn.

Om inzicht te krijgen in de invloed van de zonnewarmte op de warmtehuishouding van een gebouw wordt in de volgende hoofdstukken nader in gegaan op de onderwerpen zonnestraling, zonnestand, schaduw en zonnewering.

De zon is bij benadering als een zwarte straler te beschouwen met een oppervlakte temperatuur van ca 6000 K. De vrijkomende energie wordt in de vorm van elektro-magnetische straling uit gezonden.

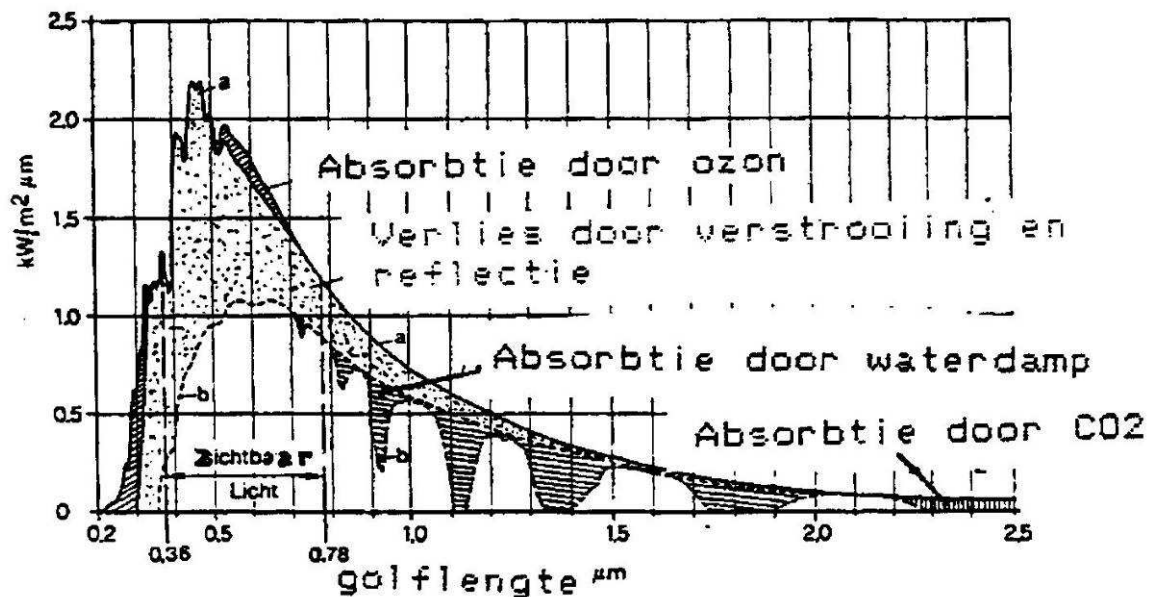


fig.5.1 spectrale verdeling van de zonnestraling
a net buiten de dampkring
b op zeeniveau

Figuur 5.1 toont de spectrale verdeling van deze straling. Lijn a geeft de waarde van de stralingsintensiteit net buiten de dampkring. De totale waarde bedraagt ongeveer 1350 W/m^2 , gemeten op een plat vlak loodrecht op de stralingsrichting. Men noemt deze waarde de zonneconstante (q_0).

In de dampkring neemt de stralingsintensiteit af door:

- verstrooiing door reflectie aan moleculen (O_2 , N_2 , O_3) en stofdeeltjes.
- absorptie door in lucht aanwezige ozon, waterdamp, CO_2 en stofdeeltjes.

Kromme b geeft de verdeling van de stralingsintensiteit weer op zeeniveau. In de grafiek is aangegeven welke stoffen verantwoordelijk zijn voor de afname van de stralingsintensiteit en bij welke golflengte.

Wat opvalt is dat door absorptie ozon vooral de kortgolvlige (UV) straling tegenhoudt en waterdamp en CO_2 de langgolvlige straling. De afname door reflectie geschiedt vooral in het zichtbare gebied. Getoonde grafiek is niet algemeen geldig.

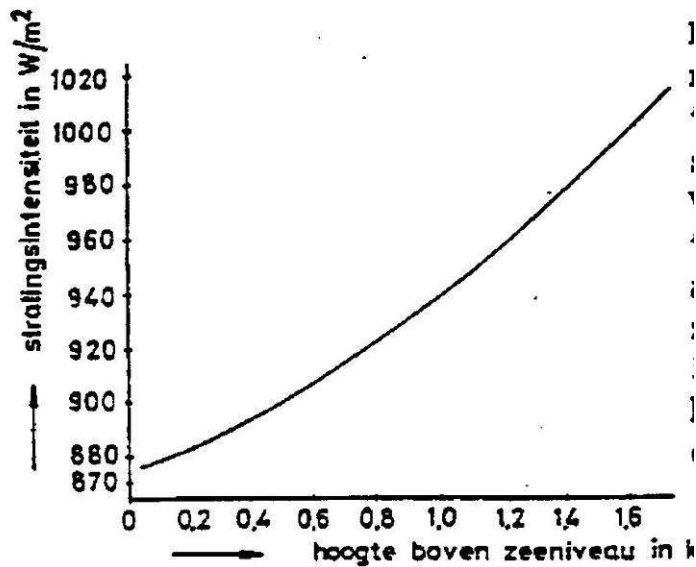


fig.5.2 stralingsintensiteit (q_n) als functie van de hoogte boven zeeniveau (21 juni, 12 uur zonnetijd)

Hoe langer de weg is die de zonnestralen door de dampkring moeten afleggen, des te meer zal de stralingsintensiteit afnemen. vandaar dat de stralingsintensiteit op een normaal vlak (q_0) afneemt naarmate de hoogte boven zeeniveau kleiner wordt. Figuur 5.2 geeft deze waarde voor een bepaalde dag en tijd, dus voor een bepaalde zonshoogte.

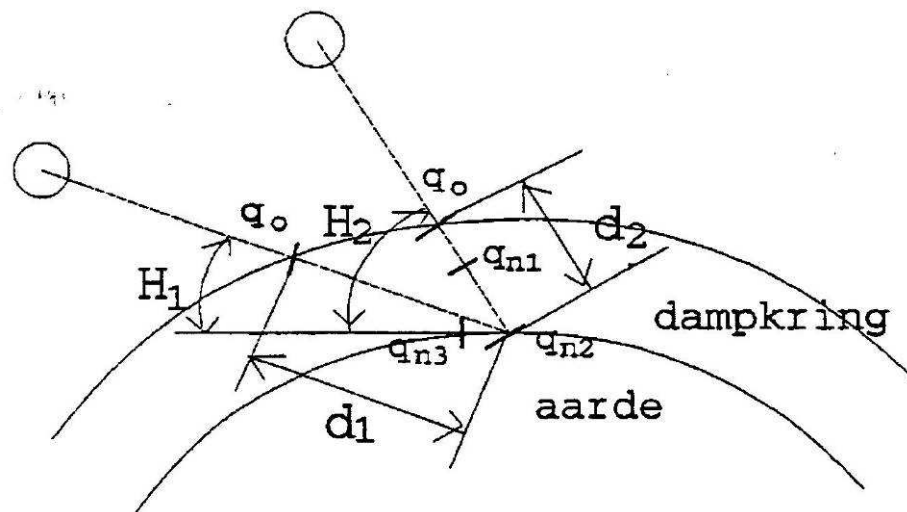


fig.5.3 de afgelegde weg van de zonnestralen in de dampkring is afhankelijk van de zonshoogte

Evenzo zal bij lage zonnestand genoemde stralingsintensiteit (q_n) kleiner zijn dan bij hoge zonnestand omdat de afgelegde weg in het eerste geval groter is.

Dus in figuur 5.3 is: $q_3 < q_2 < q_1 < q_0$

De absorptie en verstrooiing door zwevende deeltjes zal boven steden en industriegebieden groter zijn dan boven natuur- of landbouwgebieden.

De vermindering van de stralingsenergiestroom kan worden aangegeven met de troebelheidfactor (T).

Deze wordt groter naarmate de atmosfeer meer waterdamp en zwevende deeltjes bevat.

5.2 Gebouw interne factoren:

Waar voorheen de mens de grootste interne verstoorder was zien we de laatste decennia zijn er steeds meer andere factoren zijn die het gewenste binnenklimaat mede beïnvloeden.

Denk hierbij aan zaken zoals

- Computers en beeldschermen.
- Printers en kopieerders
- Verlichting
- Interne processen
- Gebruikte bouwmaterialen,.

Voor al deze factoren zal bekeken moeten worden op welke wijze en in welke mate deze het gewenste binnenklimaat verstoren.

We kijken dan veelal naar de factoren

- Temperatuur (voelbare warmte)
- Vochtigheid (latente warmte)
- Luchtsnelheid (invloed op convectie)
- Luchtkwaliteit

5.3 Warmteverlies berekeningen:

In het klimaat waarin wij ons bevinden zal in de winter periode de situatie voor komen dat we meer energie verliezen naar de omgeving toe dan dat er intern opgewekt wordt of wat er van buitenaf binnen komt.

In deze situaties zal er dus energie toegevoerd moeten worden aan een gebouw.

NEN

Hiervoor is de NEN-EN 12831:2004 ontwikkeld.

Deze norm geeft aan op welke wijze we de berekeningen moeten maken om tot een gestandaardiseerde waarde te komen van de warmteverlies berekening.

ISSO

Deze normen worden in Nederland verwerkt tot hanteerbare richtlijnen door de ISSO, die de warmteverliesberekening hebben beschreven in: ISSO Publicatie 53

“Warmteverliesberekening voor utiliteitsgebouwen”

Samenvatting ISSO 53 (Bron: ISSO) :

Deze publicatie bevat de berekeningsmethode voor utiliteitsgebouwen met vertrekhoogten van 5 meter en lager. De berekeningsmethode bevat gegevens voor het bepalen van het per vertrek te installeren vermogen en gaat nader in op het aansluitvermogen c.q. de bijdrage aan een collectieve bron.

In de berekeningsmethode wordt onderscheid gemaakt in utiliteitsgebouwen die voldoen aan de (nieuwbouw) eisen van het Bouwbesluit en (utiliteits)gebouwen die er niet aan voldoen.

Voor beide typen utiliteitsgebouwen zijn de volgende berekeningsmethoden opgenomen:

- een verkorte methode voor het bepalen van het aansluitvermogen op basis van het schilverlies;
- een methode voor het bepalen van het per vertrek op te stellen vermogen;
- een methode voor de bepaling van het aansluitvermogen c.q. de bijdrage aan een collectieve bron.

Het in een vertrek op te stellen vermogen bestaat uit een drietal bijdragen:

- het transmissiewarmteverlies;
- het ventilatiewarmteverlies;
- de toe te rekenen opwarmtoeslag voor opwarming na eventuele nachtverlaging of bedrijfsbeperking.

Hierbij wordt onderscheid gemaakt in de opwarming na een meerdaagse bedrijfsbeperking en een dagelijkse bedrijfsbeperking.

De methode sluit aan bij de in ontwikkeling zijnde Europese norm EN 12831.

In de nieuwe methode wordt rekening gehouden met LTV-systemen.

Qua terminologie en maatvoering wordt aangesloten bij het Bouwbesluit. E.e.a. wordt toegelicht aan de hand van een voorbeeld. Woningen en woongebouwen worden behandeld in ISSO-publicatie 51. Het bepalen van de warmtebehoefte

VABI

De werkelijke berekening wordt er complex en daarom is er een rekenprogramma ontwikkeld dat de in de Norm en ISSO publicatie genoemde uitgangspunten hanteert om tot een warmteverliesberekening te komen.

Het gaat hier om “VABI 101”

Toelichting:

Bij deze berekening wordt gekeken naar wat de gewenste binnen conditie is en op basis daarvan gaat men berekenen wat de netto verliezen naar buiten toe zijn.

De waardes van de diverse aannames zijn in de diverse publicaties en normen vast gelegd.

Van wezenlijk belang is dat men de mogelijkheid heeft om zowel de “schillast” als de “ruimtebelasting” te berekenen.

Bij de schillast wordt alleen de buitenschil van het gebouw bekeken en niet de energieoverdrachten tussen de ruimtes onderling.

De schillast berekening wordt gebruikt om de totaal benodigde capaciteit van de installatie te bepalen. (Opwekkingsvermogen. – zie latere hoofdstukken)

Willen we de afgifte capaciteit voor een bepaalde ruimte bepalen dan zullen we de berekening per ruimte moeten maken. Dit is weer nodig om te kunnen bepalen welk “afgifte vermogen” (zie later hoofdstukken) er in een bepaalde ruimte nodig is.

We gaan bij de koellast berekeningen uit van een buitentemperatuur die zo laag is dat we in vrijwel alle gevallen voldoende verwarmingscapaciteit beschikbaar hebben.

Dit houdt natuurlijk is dat er meestal te veel opgesteld vermogen in een gebouw aanwezig zal zijn.

5.3 Koellast berekeningen

De koellast berekening wordt gebruikt om te kunnen bepalen welk koelvermogen er nodig is om binnen een bebouw of ruimte het gewenste klimaat te handhaven. Dit in geval dat de binnenkomende warmtestroom groter is dan de uitgaande warmtestroom.

Ook de wijze waarop het benodigde koelvermogen wordt bepaald, is vast gelegd in een norm, de **NEN 5067**.

omschrijving:

De norm is bedoeld om te worden toegepast bij de berekening van systemen waarbij de koellast geheel wordt opgenomen door lucht, ingebracht met lagere enthalpie (energie-inhoud) dan die welke in de ruimte gewenst wordt. De berekening is in de eerste plaats bedoeld voor afzonderlijke ruimte met voor „vertrekken normale afmetingen (kantoorvertrekken, patiëntenkamers e.d.).

De **ISSO** heeft hiervan weer een publicatie gemaakt welke omschrijft hoe de norm in elkaar zit en gehanteerd dient te worden.

Publicatie 8 Berekening van het thermische gedrag van gebouwen bij zomer ontwerpcondities

Samenvatting:

Deze publicatie bestaat uit de volgende drie secties:

- Toelichting op NEN 5067 “Koellastberekening voor gebouwen”. Bij het gebruik van de normberekening is het van belang dat men op de hoogte is van de achtergronden. De aan de normberekeningsmethode ten grondslag liggende studies en uitgangspunten zijn in dit deel samengevat. Bovendien worden de in de normberekening ingevoerde vereenvoudigingen behandeld.
- Een verkorte globale berekeningsmethode om een snelle indicatie over de grootte van de koellast te verkrijgen.

Een benaderingsmethode voor het berekenen van de temperatuurstijging in een vertrek indien een mechanische koelinstallatie met slechts beperkte capaciteit of alleen een inrichting voor ventilatie met buitenlucht aanwezig is. In de bijlagen zijn berekeningsformulieren opgenomen met behulp waarvan de berekeningsgang eenvoudig kan worden gevolgd. In de laatste bijlage is een volledig uitgewerkt voorbeeld gegeven.

5.5 Parameters bij beide berekeningen

In de berekening zijn de volgende aspecten mee genomen:

- Transmissie verlies.
Het transmissie verlies is het warmte transport door de wanden heen, veroorzaakt door een zeker temperatuursverschil over deze wanden. Deze convectieve warmtestroom wordt beïnvloed door :
 - o de warmteweerstand van een gebouw
 - o maar ook door de warmteovergangscoefficienten (α) Aan de binnenkant van de gebouw wanden zal de luchtsnelheid niet al te groot zijn. Hierdoor zal de waarde van α niet al te veel variëren, maar de hoge luchtsnelheden (buiten) veroorzaakt door de wind kunnen wel degelijk van invloed zijn op de α waarde.
Mede hierdoor wordt er ook naar de postcode gevraagd (Nederland is verdeeld in een aantal windsnelheidsgebieden)
 - o Ook de oppervlakte temperatuur van de buitenwand speelt een belangrijke rol. Hierbij is de kleur van de wand speelt hierbij een belangrijke rol. Hoe donkerder de wand hoe meer absorptie van straling plaats zal vinden en hoe hoger de oppervlakte temperatuur van de buitenwand wordt. We zien hierbij dat de positionering van het gebouw mee zal spelen in de mate van “bezonning” en dus in de mate van opwarming.
- Infiltratie verlies en ventilatie verliezen (bron: Senter-Novem)

Ventilatieverliezen leiden tot een hoger energiegebruik voor verwarming. Extra ventilatie heeft voor koeling vaak een gunstig effect. Dit gaat op als de buitenluchttemperatuur lager is dan de binnenluchttemperatuur.

Het is zaak om ventilatieverliezen goed te kunnen beheersen. Ventilatieverliezen worden onder andere bepaald door:

- de luchtdoorlatendheid van de gebouwschil (onbewuste ventilatie via naden en kieren);

- ventilatiesysteemkeuze (natuurlijke ventilatie is minder goed regelbaar en beheersbaar dan mechanische ventilatie);
- ventilatieregelingen (hiermee worden regelingen op ventilatoren bedoeld, maar ook natuurlijke ventilatiesystemen zijn regelbaar, zij het veelal handmatig);
- warmterugwinning via een warmtewisselaar (alleen inzetbaar als er gebalanceerde ventilatie is);
- voorverwarming van lucht via een serre (warme lucht uit een serre wordt dan gebruikt als toevoerlucht voor te verwarmen vertrekken).

NEN 5128

De luchtdichtheid of luchtdoorlatendheid van de gebouwschil wordt bepaald door de naden en kieren in de gebouwschil. In de energieprestatienorm komt dit tot uitdrukking in de karakteristieke luchtdoorlatendheid $q_{v,10}/m^2$. De luchtdoorlatendheid mag conform het Bouwbesluit nooit meer zijn dan $200 \text{ dm}^3/\text{s}$ per 500 m^3 gebouwinhoud. Formeel moet de $q_{v,10}$ worden gemeten, maar in de bouwtoevraagfase is dit niet mogelijk. Er zijn enkele methoden om de $q_{v,10}$ van te voren in te schatten:

- indicatieve methode uit bijlage G van de NEN 5128;
- rekenmethode uit SBR-publicatie 'Referentiedetails';
- richtgetallen.

De norm geeft in bijlage Geen indicatieve bepalingmethode voor de $q_{v,10}$, afhankelijk van het bouwtype (metselwerk, gietbeton, houtskelet), woningtype (kap, geen kap of plat dak) en de bouwkwaliteit (goed, normaal of zwak).

Indicatieve bepalingmethode $q_{v,10}$ woningbouw

de factor $(0.5 * C_1 * C_2 * C_3)$

bouwtype	woningtype	bouwkwaliteit		
		goed	normaal	zwak
metselwerk	met kap	0.850	1.700	3.400
	geen kap / plat dak	0.500	1.000	2.000
beton met geprefabriceerde gevelelementen	met kap	0.425	0.850	1.700
	geen kap / plat dak	0.250	0.500	1.000
houtskelet	met kap	0.553	1.105	2.210
	geen kap / plat dak	0.325	0.650	1.300

$$q_{v,10;\text{indicatief}}/m^2 = (0.5 * C_1 * C_2 * C_3) * (A_{\text{verlies}} / A_g)$$

Voor woningen met natuurlijke luchttoevoer en mechanische afzuiging geldt als richtgetal een $q_{v,10}/m^2$ van $1,0$ tot $1.43 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 . Woningen met gebalanceerde ventilatie moeten goed luchtdicht worden gebouwd in verband met het goed kunnen functioneren van het ventilatiesysteem. Dit betekent dat aandacht moet worden besteed aan de kier- en naaddichting omdat het ventilatiesysteem anders niet naar behoren werkt; er wordt dan te veel 'valse' lucht aangezogen. Als richtgetal kan worden aangehouden voor woningen met gebalanceerde ventilatie een $q_{v,10}/m^2$ van $0,625 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 . Hoewel metingen in de praktijk lang niet altijd uitwijzen dat deze verhoogde luchtdichtheid wordt gerealiseerd.

In de norm zijn twee ondergrenzen opgenomen: voor woningen met een natuurlijke toevoer en mechanische afvoer is de ondergrens $1.0 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 en voor woningen met gebalanceerde ventilatie $0.4 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 .

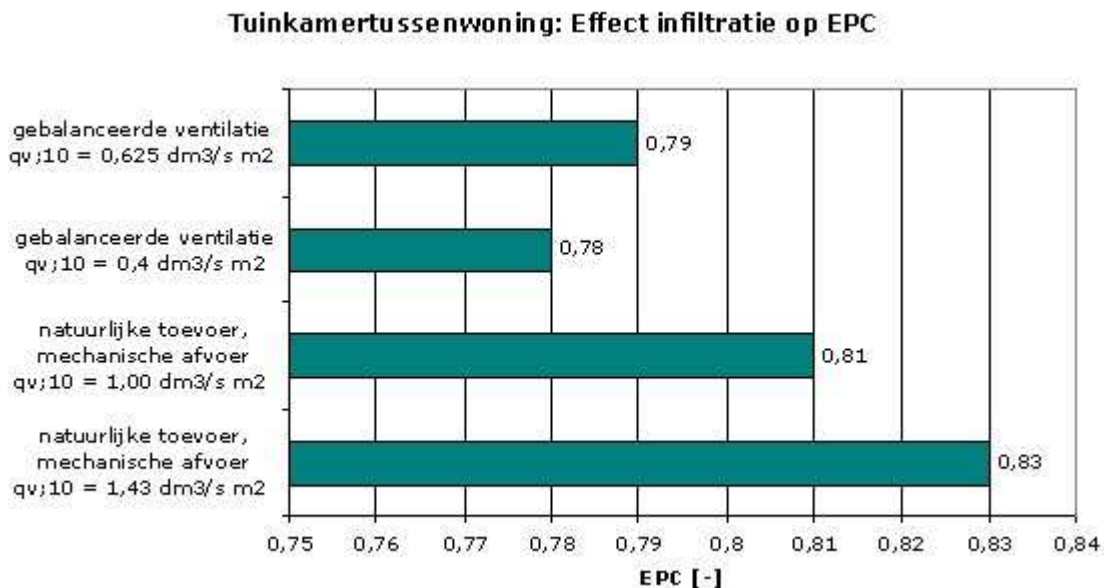
NEN 2916

Door de Rijksgebouwendienst is onderzocht dat kantoorgebouwen met een dubbele naad- en kierdichting en massieve constructies in de gevel, een luchtdichtheid kunnen bereiken van $200 \text{ dm}^3/\text{s}$ per 3000 m^3 gebouwinhoud. Dit wordt ook als een richtwaarde in de NPR 2917 genoemd. Voor kantoren met een netto vertrekhoogte van 2.7m betekent dit dat $q_{v,10}$ vaak 0.18 tot $0.20 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 bedraagt.

In de norm is ook een methode opgenomen waarbij de infiltratie wordt bepaald op basis van de naadlengte, kierlengte, kierklasse, het ventilatiesysteem, de gebouwhoogte en het aantal en type deuren.

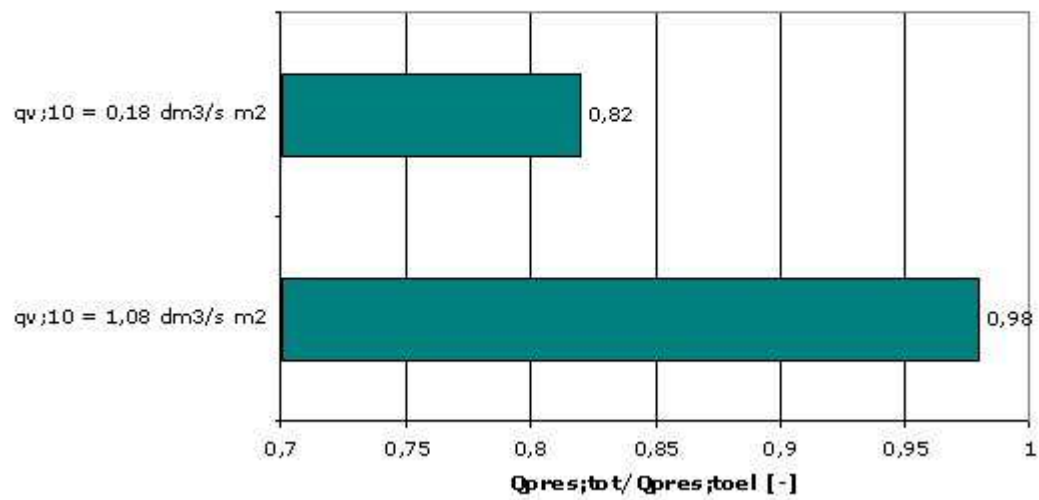
Effect van maatregel op EPC

In de referentie tuinkamertussenwoning wordt gebalanceerde ventilatie toegepast, waarbij een goed kier- en naaddichting noodzakelijk is. Als standaardwaarde voor gebalanceerde ventilatie kan een $q_{v,10}$ toegepast worden van $0.625 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$. Indien er aangetoond kan worden dat er een zeer goede kier- en naaddichting wordt toegepast kan een minimale $q_{v,10}$ toegepast worden van $0.40 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 . In onderstaande grafiek is het effect weergegeven van de luchtdoorlatendheid op de EPC. Ook is voor een woning met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer het verschil in EPC weergegeven tussen een infiltratiewaarde van $1.00 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$ en $1.43 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$. In deze berekeningen zijn andere installatietechnische uitgangspunten aangenomen dan bij de referentiewoning met gebalanceerde ventilatie zodat de EPC rond de 0.80 ligt.



In onderstaande grafiek is voor het referentiekantoor met een oppervlakte van 3223 m^2 het effect van de infiltratie op de EPC weergegeven. De maximale infiltratie volgens het Bouwbesluit ($200 \text{ dm}^3/\text{s}$ per 500 m^3 gebouwinhoud) is vergeleken met de RGD-richtlijn ($0.18 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2).

Referentiekantoor: Effect infiltratie op EPC



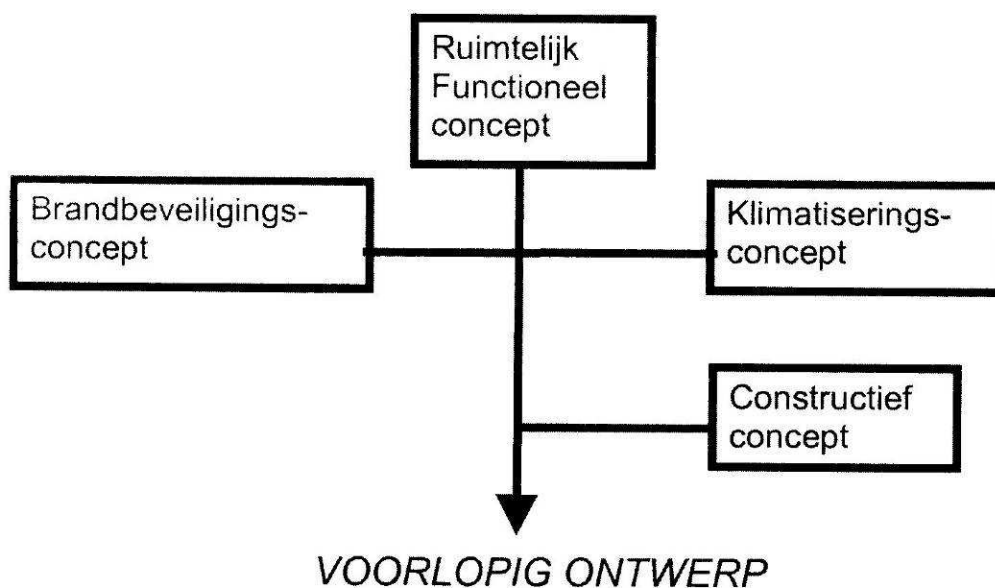
6 Klimatiseringsconcepten

Kennisbank Bouwfysica
Auteur: Ruud van Herpen MSc.

6.1 Denken in concepten

De kunst van het ontwerpen is om een idee concreet vorm te geven, rekening houdend met de randvoorwaarden die vanuit omgeving en gebruiker worden gesteld. Het beginstadium is dus abstract en krijgt geleidelijk een steeds concretere vorm. Wanneer in de abstracte vorm een heldere visie binnen vastomlijnde kaders aanwezig is, spreekt men ook wel van een concept.

Zo kunnen er concepten ontwikkeld worden vanuit de constructieve opzet (wisselwerking gebouw – gebruik – constructie), vanuit de brandveiligheid (wisselwerking gebouw – gebruik – brandveiligheid), maar ook vanuit de klimatisering (wisselwerking gebouw – gebruik – klimaatinstallaties). Deze concepten hebben met elkaar gemeen dat ze optimaal rekening houden, of zelfs profiteren van de eigenschappen van het gebouw en het gebruik ervan. Het gaat dus om maatwerk voor het betreffende gebouw; een gedegen fysisch inzicht is daarvoor onontbeerlijk. De kunst van de ontwerper is om deze verschillende concepten met elkaar te verenigen en in het ruimtelijk-functionele concept te integreren. Zie figuur 1.



Figuur 1. Door de concepten vanuit de verschillende disciplines te integreren en steeds verder te concretiseren komt men uiteindelijk tot een voorlopig ontwerp.

Bij meer complexe bouwwerken en gebouwen is het noodzakelijk om een ontwerpteam samen te stellen waarin, naast de opdrachtgever en de architect, de verschillende specialismen (constructie, brandveiligheid, klimaat en bouwfysica) vertegenwoordigd zijn. Alleen dan kunnen de concepten worden geïntegreerd in het ontwerp. Met andere woorden:

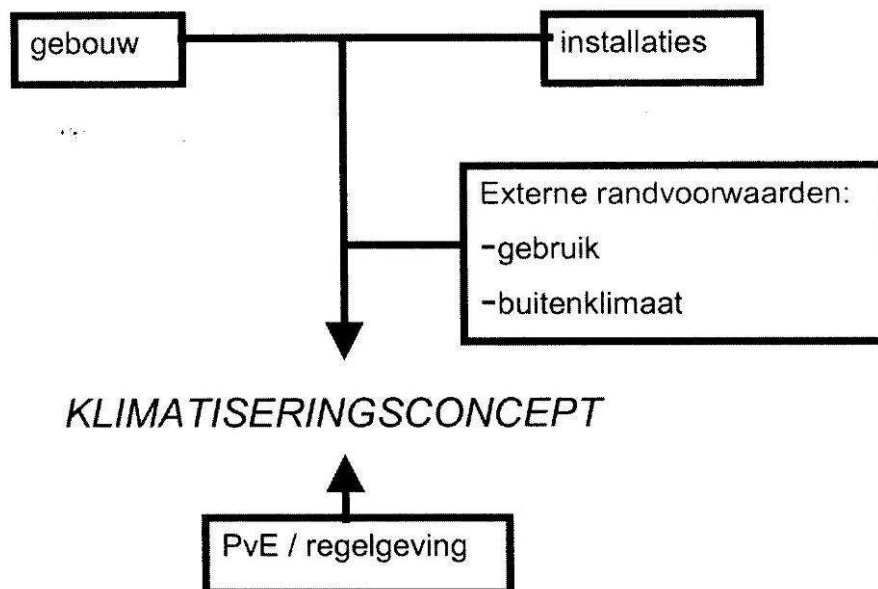
Denken in concepten is synoniem met Integraal Ontwerpen!

6.2 Het klimatiseringsconcept

In aansluiting op het voorgaande kan een klimatiseringsconcept als volgt gedefinieerd worden:

Het klimatiseringsconcept is een visie waarin de bouwtechnische en installatietechnische eigenschappen integraal worden beschouwd, afgestemd op het ontwerp en het gebruik van het bouwwerk of gebouw, met als doel om een optimaal binnenklimaat te bereiken. Wat onder optimaal binnenklimaat moet worden verstaan hangt af van het programma van eisen en van de regelgeving.

In de regelgeving liggen de eisen ten aanzien van gezondheid (ventilatie) en energiezuinigheid vast (zie Bouwbesluit, afhankelijk van de gebruiksfunctie). Comforteisen zijn hierin slechts in zeer beperkte mate opgenomen, deze zullen dus vooral vanuit het programma van eisen worden ingebracht. Overigens zijn er wel organisaties die standaard richtlijnen en eisen hebben ontwikkeld met betrekking tot het thermisch comfort. De bekendste zijn de richtlijnen van de Rijksgebouwendienst.



Figuur 2. Invloedsfactoren voor het klimatiseringsconcept.

De invloedsfactoren die in figuur 2 het klimatiseringsconcept beïnvloeden kunnen iets concreter gemaakt worden:

6.3 Gebouw

De relevante gebouweigenschappen die het thermisch binnenklimaat van een gebouw beïnvloeden zijn:

- De thermische isolatie van de gebouwschil (R_c).
- De warmtecapaciteit (warmte-accumulerend vermogen) van het gebouw, binnen de thermische schil (C).
- De daglichtopeningen in de gebouwschil. Hierbij speelt een aantal grootheden een rol. Niet alleen de totale oppervlakte aan daglichtopeningen is relevant (A_{glas}), maar vooral ook de oriëntatie ervan, de warmtedoorgangscoefficient van het glas (U_{glas}) en de zontoetredingsfactor (ZTA).

6.4 Klimatiseringsinstallaties

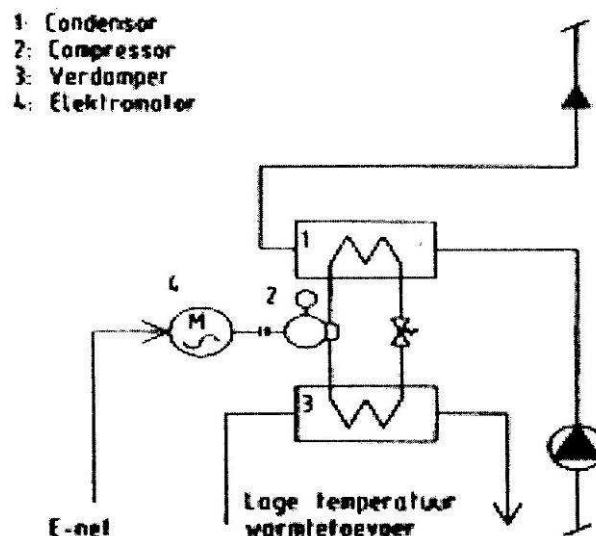
Relevante installaties voor de klimatisering van het binnenklimaat in een gebouw (in Engelse literatuur aangeduid met HVAC – heating, ventilation and air conditioning) zijn:

- Mechanische ventilatie (toevoer, afvoer, recirculatie)
- Verwarmingsinstallatie
- Koelinstallatie
- Luchtbevochtiging
- Luchtfiltering

Naast echte mechanische opwekking wordt meer en meer gebruik gemaakt van lange termijn energieopslag en van omgevingsbronnen, met name bij het verwarmen en koelen van een gebouw. Zonnecollectoren zijn hiervan wellicht het bekendste voorbeeld. Echter, ook een warmtepomp maakt gebruik van een omgevingsbron. Bij een warmtepomp wordt een omgevingsbron met een laag exergieniveau (d.w.z. grote hoeveelheden medium met een relatief lage temperatuur, b.v. bodemwarmte of afgewerkte binnenlucht) naar een hoger exergieniveau gebracht (kleinere hoeveelheden medium met een hogere temperatuur (b.v. CV-water)).

WARMTEPOMP MET ELEKTROMOTOR

Een warmtepomp is een apparaat dat warmte aan bijvoorbeeld lucht of water kan onttrekken. Voor de aandrijving wordt gebruik gemaakt van een elektromotor. De warmte die daarbij vrijkomt kan voor verwarmingsdoeleinden worden gebruikt. Doordat een warmtepomp de warmte vrij letterlijk "overpompt" wordt aan de ene zijde gekoeld, terwijl aan de andere zijde wordt verwarmd. Warmtepompen zijn dus apparaten die tegelijkertijd kunnen verwarmen en koelen. Hierdoor kunnen warmtepompen een nuttige rol spelen in situaties waarin gelijktijdig een warmte- en een koudebehoefte bestaat.



Figuur 3. Schematische weergave van een (elektrische) warmtepomp

6.5 Externe randvoorwaarden

Uiteraard zijn er randvoorwaarden waarmee in het ontwerp rekening gehouden moet worden. Het zijn feitelijk deze randvoorwaarden waarop het ontwerp moet worden gedimensioneerd:

- Buitenklimaat: seizoenen, buitentemperatuur, luchtvochtigheid en zonnestraling. Niet alleen de grootheden zelf, maar ook het verloop ervan in een etmaalcyclus of seizoenen is van belang.
- De interne warmtelast ten gevolge van verlichting en apparatuur. Dit is afhankelijk van de gebruiksfunctie en het programma van eisen.

- De interne warmtelast ten gevolge van aanwezige personen. Het aantal personen hangt af van de gebruiksfunctie en bezettingsgraadklasse, maar ook van het reële aantal personen op basis van een programma van eisen.
- De interne vochtlast ten gevolge van aanwezige personen. In een woonomgeving komt daar ook de interne vochtlast ten gevolge van specifieke woonactiviteiten bij (koken, baden, wassen, etc..).

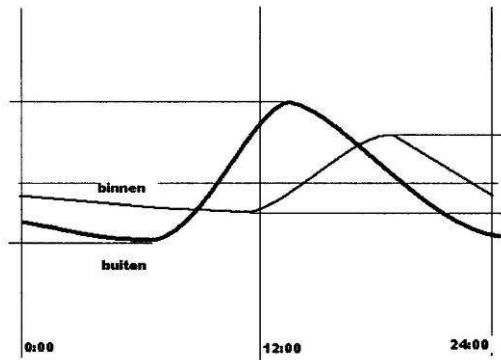
6.6 Klimaat en bouwwijze

De traditionele bouwwijze verschilt per cultuur. De oorzaak hiervan is wellicht niet eens zozeer gelegen in cultuurverschillen, maar meer in de voor handen zijnde bouwmaterialen en de heersende klimaatcondities. Deze laatste twee factoren hebben geleid tot een evolutie van de traditionele bouwwijzen die lokaal bepaald is.

De bouwwijze in een warm en droog buitenklimaat valt doorgaans op door de relatief zware steenachtige bouwwijze, waarin kleine daglichtopeningen zijn uitgespaard. Een warm en droog buitenklimaat is een landklimaat, met grote temperatuurverschillen in de etmaalcyclus (overdag warm, 's nachts koud). Het voordeel van de zware bouwwijze is dat de extremen in het temperatuurverloop worden afgetopt en in tijd verschuiven (zie figuur 4). Daardoor is het overdag in dergelijke gebouwen relatief behaaglijk, minder warm dan in de buitenlucht. Door relatief kleine openingen toe te passen wordt de zoninstraling (doorgaans de belangrijkste warmtelast gedurende de zomerperiode) beperkt. De isolatie van de gebouwschil is in een warm en droog buitenklimaat minder relevant.

De bouwwijze in een warm en vochtig buitenklimaat valt op door de relatief luchtopen bouwwijze (grote gevelopeningen, welke grotendeels opengezet kunnen worden). Om zoninstraling via de grote openingen beperkt te houden worden hier veelal grote overstekken toegepast. Omdat de etmaalcyclus in een warm en vochtig buitenklimaat minder grote extremen bevat, is het uitdempen van deze extremen minder zinvol. Een relatief lichte bouwwijze volstaat hier dan ook. De isolatie van de gebouwschil is in een warm en vochtig buitenklimaat in het geheel niet relevant.

De bouwwijze in een koud en droog buitenklimaat kenmerkt zich door de hoge thermische isolatie van de gebouwschil. Hoewel ook hier de extreme temperaturen in een etmaalcyclus een groot interval beslaan, liggen deze altijd onder de beoogde ruimtetemperatuur. Het aftoppen en verschuiven van deze extremen levert dan ook weinig voordeel voor het binnenklimaat op. Een lichte bouwwijze volstaat hier en is in veel gevallen zelfs wenselijk om een snelle opwarming van het gebouw na nachtverlaging of weekendverlaging te kunnen bereiken. Een goede thermische isolatie van de gebouwschil is in een droog en koud buitenklimaat noodzakelijk.



Figuur 4. Voorbeeld van een etmaalcyclus voor de buitenluchttemperatuur en het bijbehorende verloop van de binnenluchttemperatuur (verschuiving en aftopping van de extremen), bij een relatief zwaar gebouw.

bijbehorende verloop van de binnenluchttemperatuur (verschuiving en aftopping van de extremen), bij een relatief zwaar gebouw.

Bij een gematigd buitenklimaat treedt er enigszins een spanningsveld op. In de zomerperiode kan een zware bouwwijze voordeel bieden voor het binnenklimaat, al zal dit voordeel minder groot zijn dan in een warm en droog buitenklimaat. Daarnaast is een goede thermische isolatie ook noodzakelijk vanwege de klimaatcondities in de winterperiode. Om de energieverliezen ten gevolge van de opwarming van het gebouw te beperken is dan juist een niet al te zware bouwwijze wenselijk. Juist bij een gematigd buitenklimaat zijn gebouwsimulatie berekeningen zinvol. Deze kunnen inzicht geven in het volgende

spanningsveld:

- Levert een te hoge warmte-isolatie niet teveel koelbehoefte in de zomersituatie op (opsluiten van warmte)?
- Levert een te lage warmte-isolatie niet teveel warmtebehoefte in de wintersituatie op (grote transmissieverliezen)?
- Levert een te zware gebouwschil niet teveel warmtebehoefte in de wintersituatie op (opwarmtoeslag)?
- Levert een te lichte gebouwschil niet teveel koelbehoefte in de zomersituatie op?

Naast de bovenstaande algemene gebouweigenschappen speelt ook een aantal ontwerpafhankelijke variabelen een rol, zoals de grootte en situering van de daglichtopeningen, de zonwering of zonwerende glaseigenschappen, ruimte-afmetingen en indeling van het gebouw. Tenslotte komt daarbij ook een aantal gebruikafhankelijke variabelen waardoor de interne warmtelast wordt bepaald (personen, apparatuur, verlichting).

Het doel van de gebouw simulatieberekeningen hierin is om met de bovengenoemde randvoorwaarden en uitgangspunten tot een onderling goed afgestemd bouwkundig en installatietechnisch ontwerp te komen.

7. Klimaatregelininstallaties

E.G. van Lonkhuijsen en C.G. Dingemans

7.1 Algemeen

De klimaatregel installatie van een gebouw heeft als taak het binnenklimaat in elke ruimte zo constant mogelijk te houden, onafhankelijk van het buitenklimaat en interne warmte- en vochtbelastingen. Al naar gelang de mogelijkheden zorgt de installatie:

- in de winter voor verwarming, bevochtiging en ventilatie.
- in de zomer voor ventilatie.
- in de zomer voor ventilatie en koeling.
- in de zomer en in de winter voor ventilatie, verwarming, bevochtiging, koeling en ontvochtiging.

De laatste installatie is de meest complete. Hij omvat de vier thermodynamische luchtbehandelingfuncties en zorgt ook voor de ventilatie.

A	afvoerventilator
B	bevochtiger
F	filter
H	Hygrostaat
K	koelerbundel
K_k	koudwaterinstallatie
K_t	warmwaterketel
M	mengsectie
N	naverwarmer
T	thermostaat
V	voorverwarmer
Z	toevoerventilator
W	warmte terugwin installatie

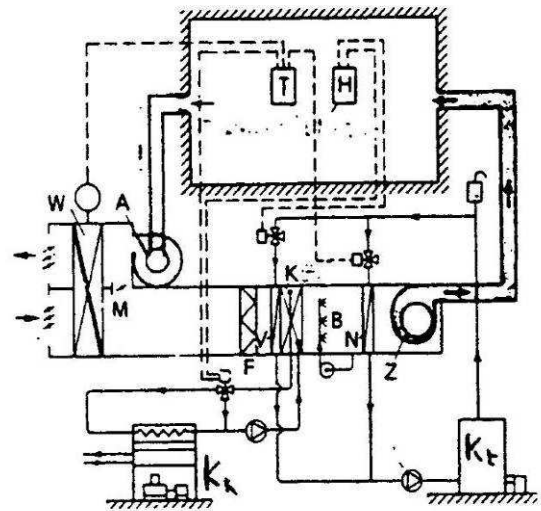
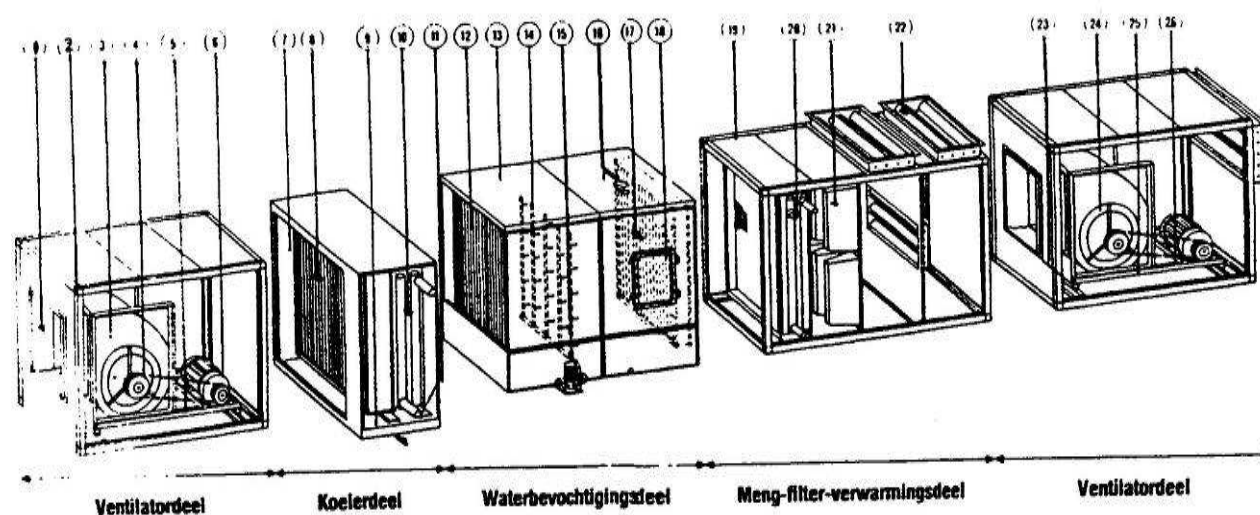


fig.1 schema van een Klimaatregelininstallaties

Figuur 1 laat een schema van een dergelijke installatie zien, welke de lucht behandelt voor één ruimte. Met behulp van meet- en regelapparatuur kan de installatie geheel automatisch het binnenmilieu constant houden. Door gebruik te maken van een warmte terugwin installatie zal het energiegebruik minimaal zijn.

In de regel zal de lucht van meer dan één ruimte behandeld moeten worden waarbij de omstandigheden verschillend zullen zijn. Daarom, afhankelijk van de geveloriëntatie, interne belasting en zonneshijn, kunnen in een gebouw vertrekken verwarmd moeten worden, terwijl andere gekoeld moeten worden. De centraal opgestelde luchtbehandelingkast bevat de toestellen die nodig zijn voor de verschillende luchtbehandelingen. Door de verschillende eisen van de klant en door de verschillende systemen die in gebruik zijn hoeft niet elke kast alle functies te kunnen uitvoeren. Door de fabrikant worden de kasten daarom uit secties opgebouwd. Hierdoor kunnen deze kasten op eenvoudige wijze aan de behoefte worden aangepast.



1	flexibele verbinding tussen ventilator en kast	14	sproeibank
2	kastframe, verzinkt staal	15	centrifugaalpomp
3	dubbelaanzuigende ventilator	16	verlichting
4	V-snaar aandrijving	17	druppelvanger
5	ventilatorfundatie, met trillingsdemper en nastelmogelijkheid voor v-snaren	18	inspectieel
6	electromotor	19	panelen, verzinkt plaat staal, inwendig geïsoleerd
7	inwendig geïsoleerde kast	20	verwarmer
8	druppelvanger	21	zakkenfilter
9	lekbak met sifon	22	kleppenregister, kontra roterende bladen
10	koeler	23	trillingisolator
11	slede voor demonteren koeler en druppelvanger	24	ventilator, afvoer
12	gelijkrichter	25	frame voor ventilator
13	uitwendig te isoleren	26	span mogelijkheid V-snaar



7.2 Energiedragers

Voor de toe- of afvoer van warmte wordt meestal gebruik gemaakt van stromende media zoals water en lucht.

Uit de onderstaande tabel blijkt dat water en lucht daarvoor nogal verschillende eigenschappen hebben.

		WATER	LUCHT
dichtheid ρ	[kg/m ³]	1000	1,2
soortelijke warmte c	[kJ/kg.K]	4,2	1,0
warmtecapaciteit $\rho.c$	[kJ/m ³ .K]	4200	1,2
bruikbaar temperatuurverschil voor:			
- koeling ΔT	[K]	6-7	10-12
- verwarming		20	10-15
Specifieke koelcapaciteit $\rho.c.\Delta T$	[kJ/m ³]	25000- 30000	12-15

De af te voeren warmtestroom blijkt uit:

$$Q = m.c_p.\Delta\theta = V.\rho.c_p.\Delta\theta \quad [W]$$

De af te voeren warmte per m³ medium is nu:

$$Q = \rho.c_p.\Delta\theta \quad [J / m^3]$$

Voor water is dit: $q_w = 1000 \cdot 4,2 \cdot 6 = 25200 \text{ kJ/m}^3$

Voor lucht is dit: $q_w = 1,2 \cdot 1,0 \cdot 10 = 12 \text{ kJ/m}^3$

Per m³ medium kan water dus 2100 maal zoveel warmte afvoeren als lucht.

In verband met geluidsproductie wordt de luchtsnelheid in kanalen tussen 4 en 15 m/s gehouden en voor water in de leidingen tussen 0,5 en 2 m/s.

Het specifiek warmtetransport is nu:

voor water: $0,5 \text{ á } 2 \cdot 1000 \cdot 4,2 \cdot 6 = 12600 \text{ á } 50400 \text{ kW/m}^2$

voor lucht: $10 \text{ á } 15 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 10 = 120 \text{ á } 180 \text{ kW/m}^2$

Per m² leidingdoorsnede kan met water 105 á 280 maal zoveel warmte worden afgevoerd als met lucht. Dus als warmte met water wordt getransporteerd kunnen de leidingen veel dunner zijn dan wanneer lucht als transport medium wordt gebruikt.

De lucht welke nodig is voor het ventileren van een ruimte kan slechts in beperkte mate voor de afvoer van warmte zorgen. Dit blijkt uit het volgende voorbeeld.

De minimale ventilatiebehoefte van een kantoorvertrek is gesteld op 0,01 m³/s per persoon.

Hierin worden in het bouwbesluit de nodige eisen aan gesteld.

De hiermee af te voeren warmte bij een temperatuurverschil van 10°C bedraagt:

$$Q = V.\rho.c_p.\Delta\theta = 0,01 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 10 = 120 [W]$$

Dit is bij matige activiteit net voldoende voor het afvoeren van de eigen lichaamswarmte.

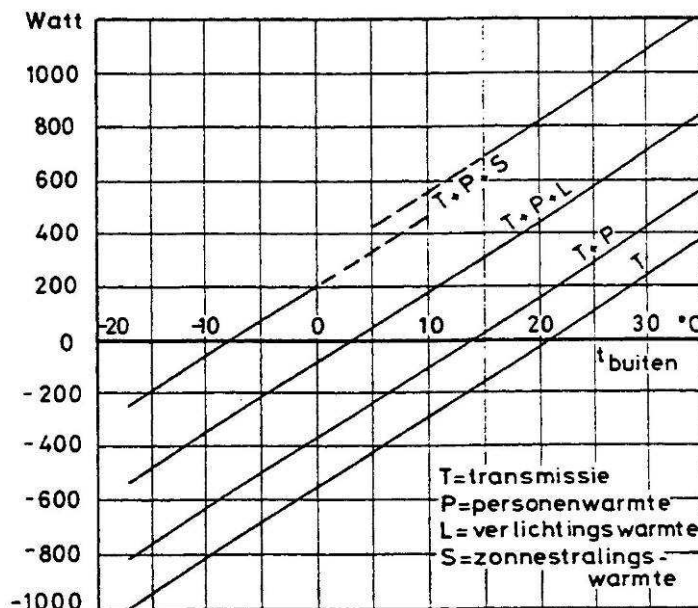
Voor het afvoeren van apparaten-, verlichtings- en zonnewarmte is een extra hoeveelheid lucht nodig.

7.3 Belastingdiagram

De warmtelast of de koellast van een vertrek is nooit constant. Als oorzaken zijn hiervoor aan te wijzen:

- de buitenluchttemperatuur varieert over de dag, per dag en over de seizoenen. Hiermee varieert het temperatuursverschil tussen binnen en buiten van minuut tot minuut en daarmee ook het transmissieverlies, het infiltratieverlies en het ventilatieverlies.
- de zoninstraling varieert omdat de invalshoek afhankelijk is van de datum en van de tijd. Ook de bewolking en stand van de zonneschermen heeft invloed. Twee tegenover elkaar gelegen gevels worden nooit tegelijkertijd door de zon beschenen. Door de wisselende invloed van de zon kan een warmte tekort overgaan in een warmte overschot. Vooral in voorseizoen en naseizoen is dit het geval. In Nederland is dit zelfs gedurende het grootste deel van het jaar het geval.
- wisselende personenbelasting. Denk hierbij aan schoollokalen, gehoorzalen en dergelijke.
- Verlichting welke aan of uit geschakeld wordt.
- Apparaten en machines welke niet continu in bedrijf zijn.

Een en ander kan in een belastingdiagram worden aangegeven. De warmtebelasting is als functie van de buitenluchttemperatuur weergegeven. Een warmteoverschot is positief, een warmte tekort is negatief uitgezet.



**Figuur 1;
belastingdiagram**

Afhankelijk van de aanwezigheid van personen, het ingeschakeld zijn van verlichting en het schijnen van de zon kan koeling of verwarming nodig zijn om de ruimtetemperatuur op 21°C te houden, bij een buitentemperatuur die varieert tussen -8 en +21°C.

Merk op dat bij dit vertrek bij een buitentemperatuur van -8°C het transmissieverlies gedekt wordt door de personen-, de

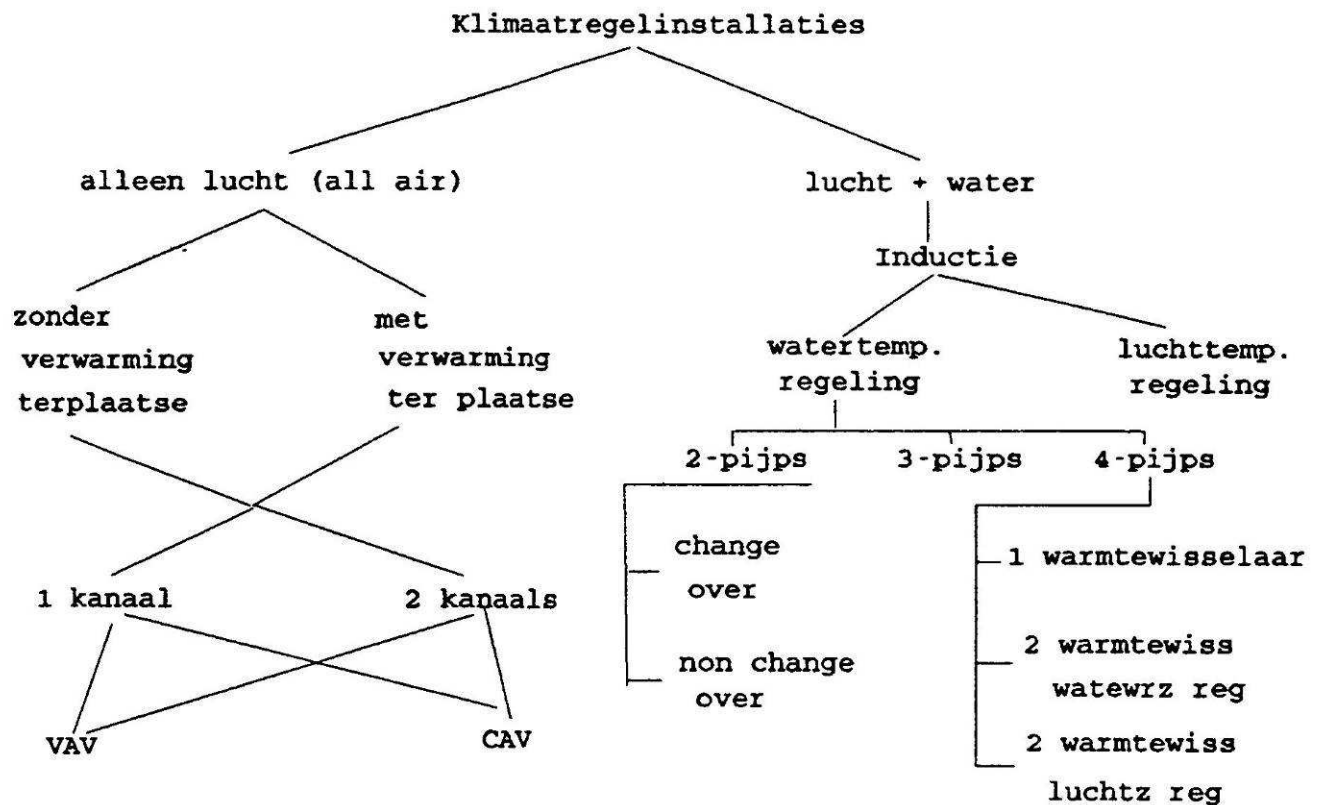
verlichtings- en de zonnewarmte.

7.4 Indeling klimaatregelininstallaties

Uit de voorgaande paragraaf is gebleken dat water een geschikt transportmiddel voor warmte is. Wordt water voor transport van koude gebruikt dan is hiervan de temperatuur 6 á 12°C. Dit is meestal onder het dauwpunt van de omgevingslucht. Om wateroverlast en corrosie te voorkomen moeten deze leidingen, inclusief de appendages, heel goed geïsoleerd worden. Warmwaterleidingen hoeven alleen in onverwarmde ruimtes geïsoleerd te worden. In gebouwen waar het binnenklimaat geregeld moet worden zijn al luchtkanalen nodig voor de ventilatie. Het is mogelijk deze kanalen te benutten voor warmtetransport. Door het debiet te vergroten wordt het mogelijk de hele warmtelast en koellast op deze manier toe of af te voeren.

Al naar gelang de grootte, de aard van het gebouw en de gestelde eisen worden installaties gemaakt met alleen lucht (all air) als medium of waar zowel lucht als water gebruikt worden. Van elke soort zijn weer variaties mogelijk als ook combinaties van de eerst genoemde soorten.

Figuur 2 geeft een overzicht van de mogelijkheden. In volgende paragrafen wordt nader ingegaan op de verschillende uitvoeringen.



Figuur 2

7.5 All air systemen

De lucht wordt in een centrale luchtbehandelingkast op de gewenste conditie gebracht en door luchtkanalen naar de diverse ruimten gevoerd.

"Alleen lucht" installaties kunnen worden onderscheiden naar de wijze van verwarming in:

- Installaties met volledige centrale luchtverwarming

In de vertrekken vindt geen enkele naverwarming plaats. De installatie moet in staat zijn het volledige warmteverlies te kunnen leveren.

Omdat de volumestroom constant is, kan de temperatuurregeling van de ruimte alleen geschieden door het regelen van de inblaasluchttemperatuur. Individuele regeling is niet mogelijk.

Wordt bij voorbeeld toegepast bij gebouwen met een enkele grote ruimte zoals theaters, bioscopen, hallen en dergelijke. Figuur 3 is een voorbeeld van zo'n installatie.

- **Installaties zonder centrale luchtverwarming**

Dit wordt in gebouwen met veel verschillende vertrekken, zoals kantoren, toegepast. De onder de ramen geplaatste radiatoren of convectoren nemen de totale warmtelast alsook de warmte nodig voor het verwarmen van de ventilatielucht voor hun rekening. De toevoerlucht wordt door recirculeren en een verwarmers voorverwarmd tot ca 15°C om tochtverschijnselen te voorkomen.

Met thermostatische radiatorkranen kan de temperatuur in de vertrekken individueel geregeld worden.

Installaties met gedeeltelijke centrale luchtverwarming

Dit kan worden toegepast in gebouwen waarin ruimten zijn die vaak tijdelijk gebruikt worden, zoals gehoorzalen. De ruimten worden met radiatoren verwarmd tot 10 á 15°C. De lucht levert de aanvullende verwarming maar alleen als de zaal gebruikt wordt.

7.5.1 Lage en hoge druk systemen

Ook wordt onderscheid gemaakt tussen lagedruk en hogedruk systemen.

Lagedruk systeem

Het drukverschil over de ventilator is niet hoger dan ca 1000 Pa. Dit komt omdat de doortocht van de luchtkanalen berekend worden op een lichtsnelheid van maximaal 8 á 10 m/s.

Eigenschappen:

- eenvoudig - wijde luchtkanalen, dus meer materiaal en meer ruimte nodig
- laag energieverbruik
- moeilijk inregelen door kleine drukverschillen

Hogedruk systeem

De kanalen worden berekend voor een lichtsnelheid tot maximaal 20 m/s. Het benodigd drukverschil is nu 1250 á

2500 Pa. Eigenschappen:

- ontwerpen ingewikkelder in verband met geluidoverlast
- energieverbruik hoog
- minder doortocht nodig, ronde kanalen kunnen vaak worden gebruikt
- voor de inblaasroosters zijn expansiekasten nodig

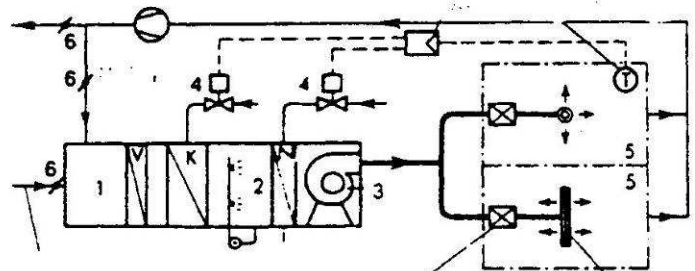
In plaats van lage en hogedruk systemen spreekt men ook wel van lage en hogesnelheidssystemen.

7.5.2 1-zone en meerzone systemen

- 1-zone systeem

Bij een 1-zone systeem wordt de centraal behandelde lucht door één kanaal naar alle vertrekken gevoerd. De volumestroom is constant. De temperatuur en de vochtigheid wordt op een plaats gemeten en hiermee wordt de luchtconditie van de inblaaslucht geregeld. Er wordt dus geen rekening gehouden met verschillen in warmte- en koellast in de verschillende vertrekken.

1	mengsectie
2	bevochtiger
3	toevoerventilator
4	regelventielen
5	vertrekken
6	regelkleppen
7	drukexpansiekast
8	inblaasrooster
R	regelaar
T	ruimtethermostaat
V	verwarmer
K	koeler
N	naverwarmer



Figuur 3

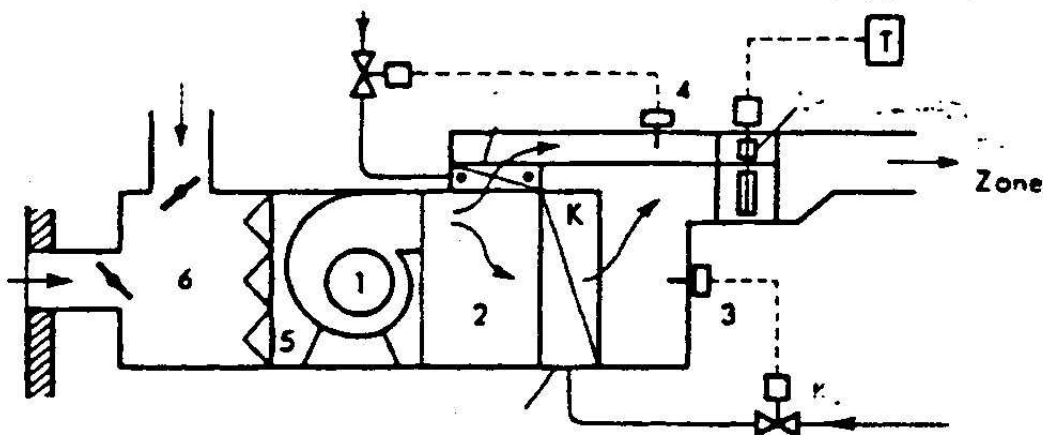
Figuur 3 geeft een voorbeeld van een hogedruk installatie voor meerdere vertrekken.

Een 1-zone installatie kan worden toegepast voor:

- gebouwen met grote ruimten zoals theaters en bioscopen
- kantoren mits er geen sprake is van te grote wisselende warmte- en koellast en veel van elkaar gescheiden vertrekken

- meerzone systeem

Als de aard van de warmtebelasting niet gelijk over het gebouw verdeeld is, is het noodzakelijk een meerzone installatie toe te passen. Hierbij wordt het gebouw in een aantal gebieden of zones verdeeld. Per zone is de aard van de warmtebehoefte gelijk. Naar de verschillende zones moet lucht met aangepaste conditie kunnen worden gestuurd.



Figuur 4

fig.4 meerzone installatie met wisselkleppen

Figuur 2.6 toont een meerzone installatie met wisselkleppen. Het aangezogen buitenlucht/retourlucht mengsel wordt naar een drukkamer geperst. Via een luchtkoeler en

een verwarmer stroomt de lucht gescheiden naar een mengkleppenkast. In de verwarmer wordt de lucht tot 25 á 30°C verwarmd, in de koeler tot 10 á 15°C gekoeld. Iedere zone is op de kleppenkast aangesloten. Met de wisselkleppen wordt de lucht gemengd tot de voor iedere zone gewenste temperatuur. De wisselkleppen worden door een zone thermostaat geregeld.

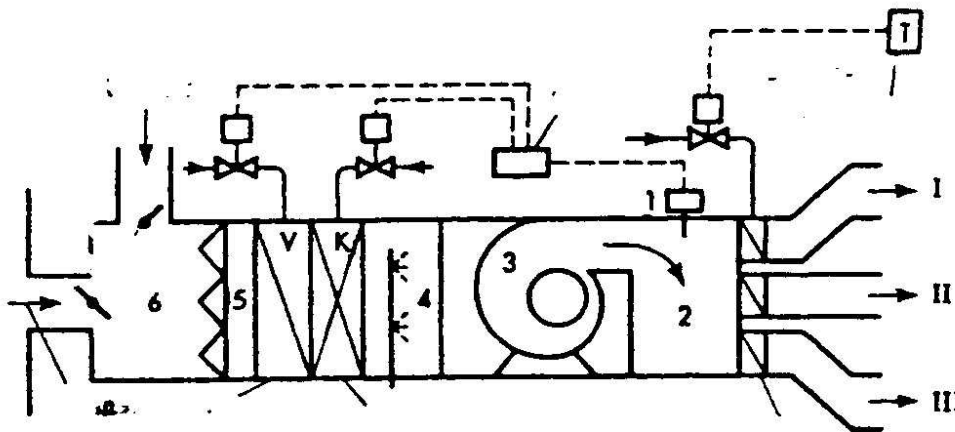
Toepassing:

In gebouwen met veel betrekkelijk kleine ruimten maar met zeer verschillende belasting, zoals scholen, binnenvertrekken in kantoren, studio's.

Nadelen:

- veel ruimte nodig voor de kanalen
- lekverliezen bij de kleppen
- energieverlies door mengen
- groot ventilatorvermogen nodig

Figuur 5 laat een meerzone installatie zien met een naverwarmer in het kanaal naar elke zone. De lucht wordt centraal voorverwarmd of gekoeld tot ca 15°C. Al naar gelang de behoefte wordt één lucht per zone nagewarmd, geregeld door de zonethermostaat.



Figuur 5

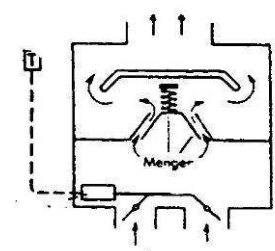
In de vertrekken is een basisverwarming met radiatoren aangebracht die ca 80% van de transmissieverliezen leveren. De naverwarmers leveren dus de overige 20% van de transmissieverliezen en het restant ventilatieverlies.

opmerking: Plaatst men de naverwarmers pas ter plaatse van het vertrek in het luchtkanaal, dan heeft men een individuele regeling gekregen,. Het systeem kan dan niet meer tot de "alleen lucht" installaties gerekend worden maar is een "water lucht" systeem geworden.

7.6 Twee-kanalen systemen

Hoewel dit systeem vrijwel niet meer voor komt wil ik het kort bespreken. Energetisch en qua ruimtebeslag is het niet echt meer van deze tijd. Maar in uitzonderingsgevallen komen we deze oplossing nog wel eens tegen.

Kenmerkend voor een twee-kanalen systeem is dat de totale warmte- en koelbehoefte door de lucht moet worden geleverd. Dit betekent dat het luchtdebiet groter is dan bij een 1 kanaal systeem. Het is van oorsprong ook een constant volume systeem. Van de centrale luchtbehandelingkast lopen een warm- en een koud kanaal door het gebouw naar de verschillende ruimten.

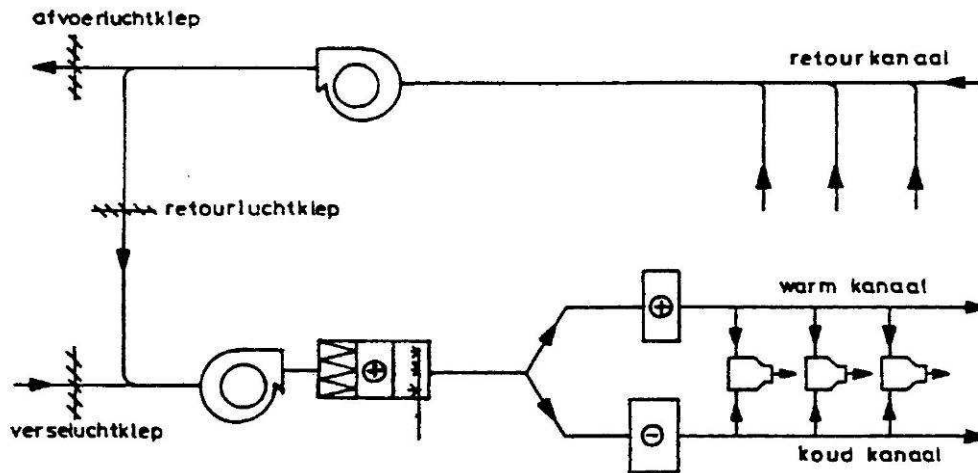


Voor de inblaasroosters van elk vertrek bevindt zich een mengkast waarin de koude en warme lucht gemengd wordt tot de vereis te temperatuur. De mengkast zorgt tevens voor een constante volume stroom naar de inblaasroosters.

Om de benodigde doortochten zo klein mogelijk te houden zal een 2-kanalen systeem altijd ook een hogedruk systeem zijn.

Er zijn een aantal varianten mogelijk wat betreft de plaats van de verschillende luchtbehandeling componenten in het systeem.

A 2-kanalen systeem met beperkte vochtigheidsregeling

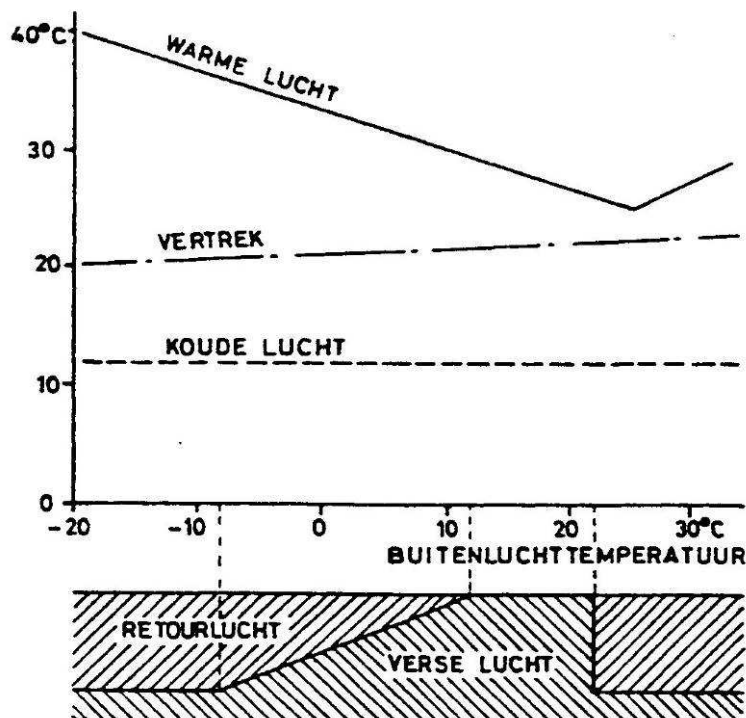


Figuur 6; 2-kanalen systeem met beperkte vochtigheidsregeling

In de winter wordt een mengsel van buitenlucht en retouurlucht voorverwarmd en bevochtigd tot een temperatuur van 12 tot 15°C en de gewenste luchtvochtigheid.

De luchtstroom wordt nu gesplitst waarna in de warme tak wordt nagewarmd tot een temperatuur die afhankelijk is van de buitenluchttemperatuur. De lucht in de koude tak blijft onbehandeld.

In de zomer is er geen voorbehandeling. De lucht in de warme tak wordt indien nodig naverwarmd, afhankelijk van de buiten temperatuur.



De lucht in de koude tak wordt gekoeld tot 12 á 15°C. Hierbij wordt de lucht ontvochtigd tot een absolute vochtigheid die wordt bepaald door de gekozen koude luchttemperatuur. Door mengen met lucht uit de warme tak ontstaat de eindconditie waarvan de luchtvochtigheid kan variëren.

Om het energieverbruik zowel in de zomer als in de winter te verminderen wordt gerecirculeerde lucht gebruikt.

Bij lage buitentemperatuur wordt nog slechts de minimum hoeveelheid verse KOUDE LUCHT buitenlucht aangezogen.

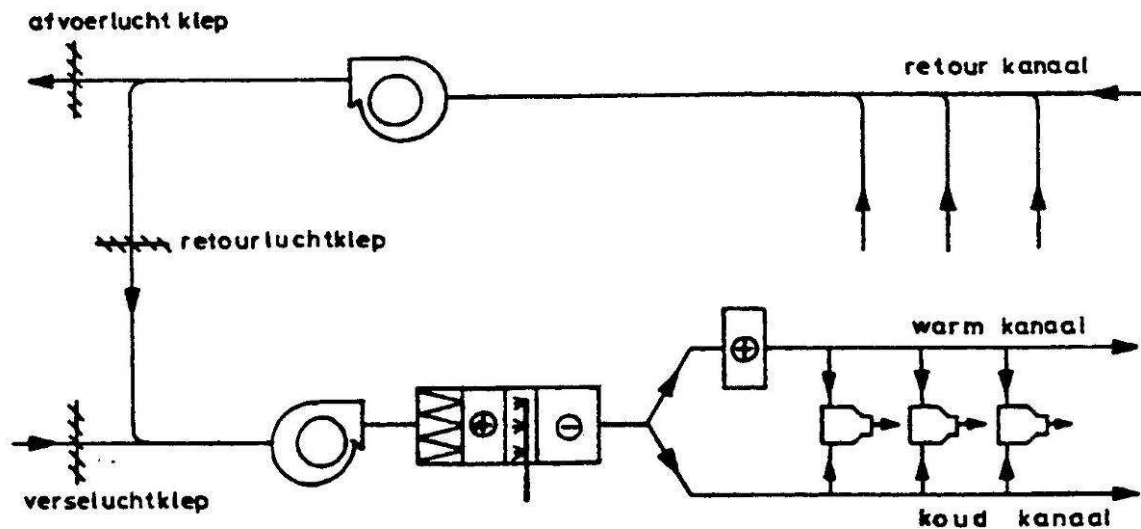
Net genoeg om te voldoen aan ventilatie eisen. Dit is ook het

geval bij hoge buitentemperatuur.

Van -8°C tot de koud kanaal temperatuur wordt steeds minder retourlucht gebruikt. Tussen koud kanaaltemperatuur en de vertrektemperatuur alleen buitenlucht gebruikt.

B 2-kanalen systeem met volledige vochtigheidsregeling

Nu passeert het gehele luchtdebiet de koeler waardoor ook in de zomer het absolute vochtgehalte in beide takken vast ligt. Voor de noodzakelijke individuele regelingsmogelijkheid moet de lucht in de warme tak worden nagewarmd. Dit betekent energievernietiging. Dit systeem vraagt meer energie dan het eerste en wordt alleen toegepast als een goede vochtbeheersing van belang is.

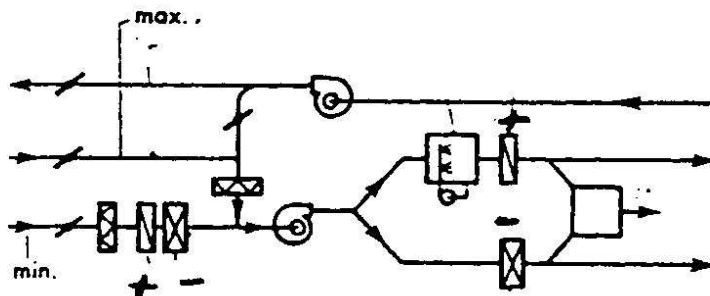


C 2-kanalensysteem met minimum en maximum aanzuigkanaal

Het aanzuigkanaal voor de buiten lucht is gesplitst in:

- een kanaal waardoor de mini maal voorgeschreven luchtbehoefte wordt aangezogen. Hierin zijn opgenomen een verwarmder en een koeler
- Een kanaal waardoor de maximaal benodigde hoeveelheid wordt aangezogen.

In het warme kanaal is nog een bevochtiger opgenomen. Als de absolute vochtigheid van de buitenlucht lager is dan die van de ruimtelucht wordt via het maximum kanaal aangezogen. In het andere geval via het minimum kanaal, de lucht kan nu direct ontvochtigd worden. Met deze installatie is het mogelijk de relatieve vochtigheid in de aangesloten ruimten binnen vooraf bepaalde grenzen te houden.



7.7 Systemen met variabele luchtstroom (VAV)

In de tot nu beschreven systemen is de luchtstroom naar het vertrek constant. De inblaastemperatuur laat men variëren om belastingveranderingen op te vangen. Er wordt veel meer lucht ingeblazen dan voor de ventilatie nodig is. Hierdoor is het energie gebruik onnodig hoog. Een alternatief is de temperatuur van de inblaaslucht constant te houden, bij voorbeeld 15°C, en het debiet te laten variëren. De lucht kan centraal worden voorbehandeld. Met behulp van volumestroomregelaars wordt per vertrek de koellast opgevangen. Het minimum luchtdebiet is afhankelijk van de ventilatie-eis. Hiermee kan de minimum koellast worden afgevoerd. Bij oplopende temperatuur zorgt de ruimtethermostaat voor een toenemend luchtdebiet. Een drukvoeler in het luchtkanaal zorgt dat de ventilatorcapaciteit wordt aangepast. Als bij minimum luchtdebiet de temperatuur daalt zal de plaatselijk opgestelde verwarming er voor zorgen dat de gewenste temperatuur gehandhaafd blijft. Toepassing: Voor ruimten met veranderlijke koellast en warmtelast, zoals: kantoren, winkels, scholen.

Voordelen:

- Economisch bedrijf omdat het energieverbruik van de ventilator, koeling of verwarming evenredig daalt met de koellast of warmtelast.
- De luchtbehandelingkast kan kleiner zijn dan de totale koellast of warmtelast vereist in verband met een gelijktijdigheidfactor van 0,7 á 0,8. De luchtkanalen naar de vertrekken, dus na de vertakkingen moeten wel berekend zijn op 100% belasting.

Nadelen:

- Het gebruiken van recirculatielucht kan leiden tot te weinig buitenlucht in minder belaste vertrekken. Daarom niet recirculeren, behalve s'nachts. Warmteterugwinning moet op andere wijze bereikt worden
- Bij klein luchtdebiet door de inblaasroosters ontstaat een ongewenst stromingspatroon waardoor tochtklachten kunnen ontstaan.

Om dit euvel te verhelpen zijn de volgende oplossingen mogelijk:

- inblaaskast met vertrekluchtinductie.

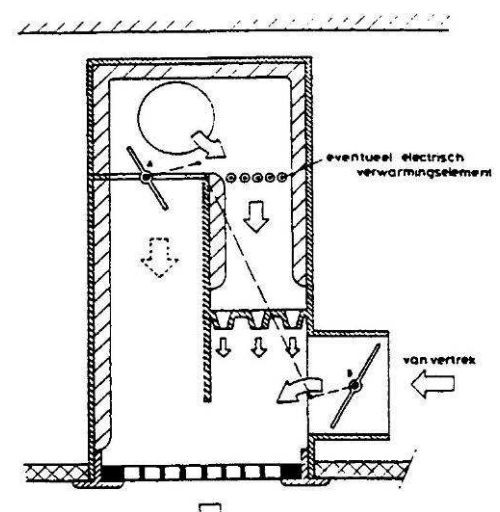
om een constante inblaassnelheid te krijgen wordt meer vertrek lucht geïnduceerd als het debiet afneemt. Het luchtdebiet door het rooster blijft zoveel mogelijk constant. Bij minimum debiet is klep A dicht en klep B vol geopend en omgekeerd.

- Luchtinblazen met hulpstraal

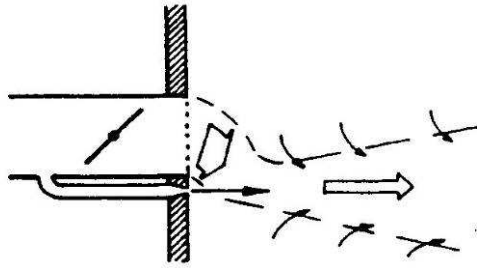
Staat de regelklep geknepen dan stroomt weinig lucht uit het rooster. De luchtstraal heeft lucht weinig impuls en de worplengte is klein. De luchtdruk voor de klep is hoog. Via het pijpje wordt een straaltje lucht met hoge snelheid ingespoten, waardoor de uit het rooster komende luchtstroom ondersteund wordt.

Als de regelklep zich opent, wordt het effect van de hulpstraal kleiner.

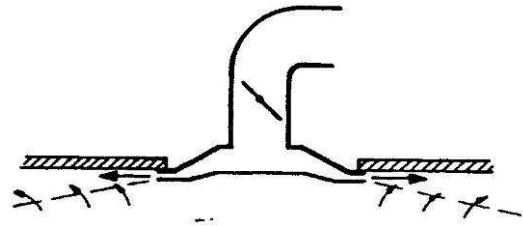
- Lucht inblazen langs het plafond



De lucht wordt via een lange spleet langs het plafond ingeblazen. Door het coanda-effect kleeft de lucht aan het plafond, waardoor koude lucht niet direct in het vertrek valt. De lucht kan zich over een grotere afstand met de vertreklucht mengen voor het in de leefzone komt. Ook bij minimum luchtstroom blijft dit effect bestaan.



Inblazen met hulpstraal



Inblazen langs het plafond

7.8 "Lucht + water" systemen

Uit oogpunt van energiegelbruik en ruimtebehoefte is het aantrekkelijk de te transporteren luchthoeveelheid door een gebouw zo klein mogelijk te houden. Als men kan volstaan met alleen het luchtdebiet voor de minimum ventilatie eis, kunnen vaak retourluchtkanalen vervallen. De af gewerkte lucht kan dan via trappen, gangen, toiletten en garderobes worden afgezogen. Zoals in voorgaande hoofdstukken is aangetoond, is het minimum vereiste ventilatiedebiet onvoldoende om de totale warmte- of koudelast te transporteren van de centrale luchtbehandelingkast naar het vertrek. Immers, om tocht en vochtproblemen te voorkomen mag de inblaasluichttemperatuur niet lager dan 12°C worden. Bovendien is de warmtecapaciteit klein.

Wil men toch met het minimum luchtdebiet werken dan moet ter plaatse voor extra warmte of koude gezorgd worden.

Dit kan door in het vertrek een ribbenbuis warmtewisselaar te plaatsen. Door de pijpen stroomt warm of koud water. Tussen de pijpen door moet vertreklucht stromen. Dit kan met een ventilator te weeg worden gebracht. Het hiervoor gebruikte apparaat is een ventilatorconvactor (fancoil unit)

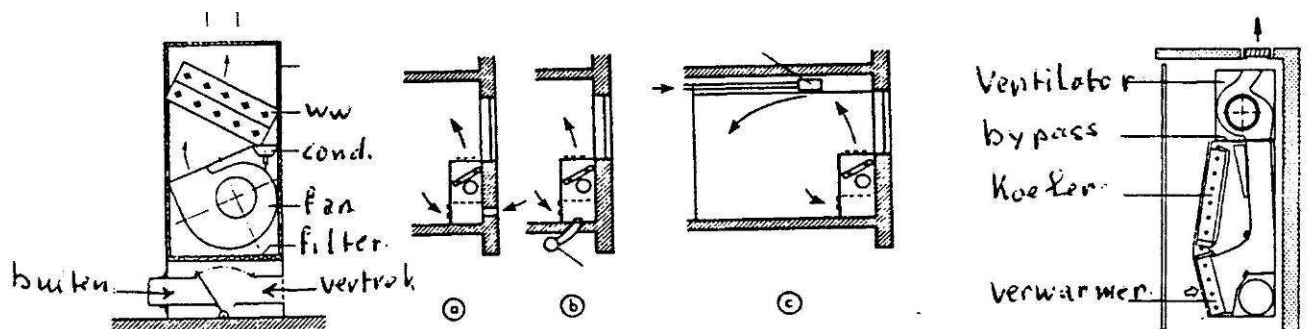


fig. 8; ventilatorconvactor, schema en ventilatiemogelijkheden

De toevoer van buitenlucht kan op drie manieren plaatsvinden.

1. direct via de buitenmuur. Dit is ongunstig vanwege vorstgevaar en invloed van wind druk.
2. De ventilatielucht wordt centraal voorbehandeld en via de ventilatorconvactor het vertrek ingevoerd. Het ventilatiesysteem kan als lagedruksysteem zijn uitgevoerd.
3. De ventilatielucht wordt centraal voorbehandeld en gescheiden via inblaasroosters het vertrek ingevoerd.

Als nadelen van het systeem met ventilatorconvectoren kunnen genoemd worden: meer onderhoud ventilatoren en motoren. hoger energiegebruik. De voordelen zijn: de apparaten zijn individueel in en af te schakelen snel opwarmen en afkoelen van een vertrek is mogelijk door meer standen schakelaar aan ventilator.

Dit is gunstig voor gebruik in hotelkamers en in andere niet altijd in gebruik zijnde

vertrekken.

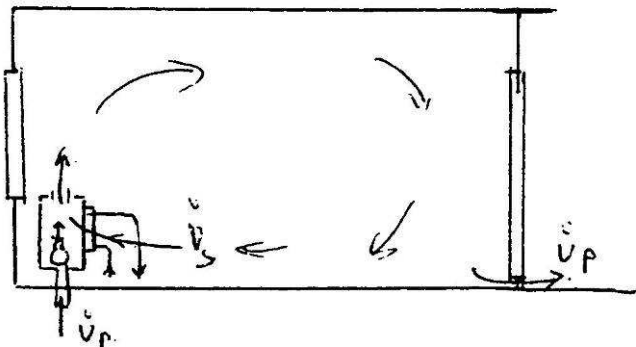
Voor het in beweging brengen van de vertreklucht kan ook de ventilatielucht zelf worden gebruikt. Dit gebeurt in zogenaamde inductieapparaten. De centraal voorbehandelde lucht wordt door straalpijpen in een mengschacht geblazen. Dit is de primaire lucht. Door inductie wordt een hoeveelheid

vertreklucht, de secundaire lucht, aangezogen.

Deze secundaire lucht stroomt door een koel- of verwarmingsbundel. De secundaire hoeveelheid is ca 4 maal zo groot als de primaire luchthoeveelheid. Het is nu mogelijk aan de warmte of koelbehoefte te voldoen.

Definitie:

Onder het inductievoud verstaat men de verhouding tussen het debiet secundaire lucht en het debiet primaire lucht.



Al naar gelang het aantal watervoerende pijpen dat langs de inductie apparaten (of fancoil units) stroomt spreekt men van een 2-pijps, 3-pijps of 4 opijps systeem. Elk apparaat is parallel op de leidingen aan gesloten.

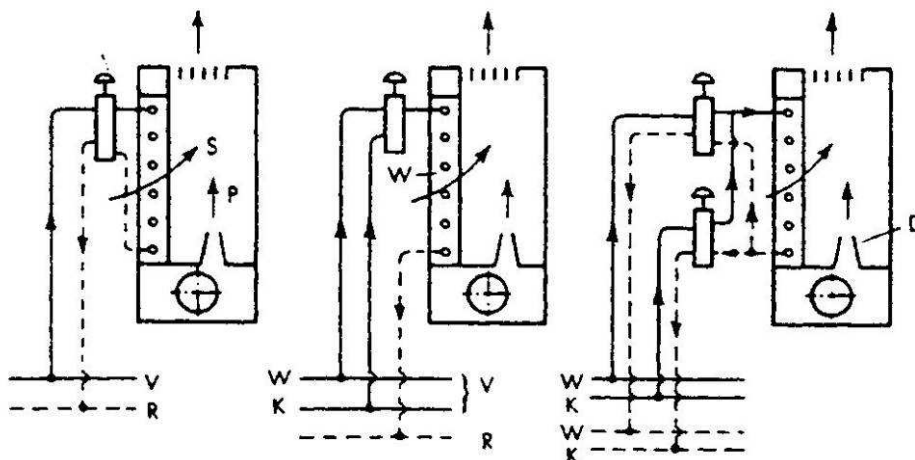


fig.11; waterzijdig geregelde inductieapparaten. 2-, 3- en 4-pijps

Met regelafsluiters kan de hoeveelheid doorstromend water veranderd worden, waardoor de temperatuur van de uitstromende lucht geregeld wordt. Men noemt dit een waterzijdige

regeling. Dit kan met de hand maar ook met een ruimtethermostaat gebeuren. Ook luchtzijdige regeling is mogelijk.

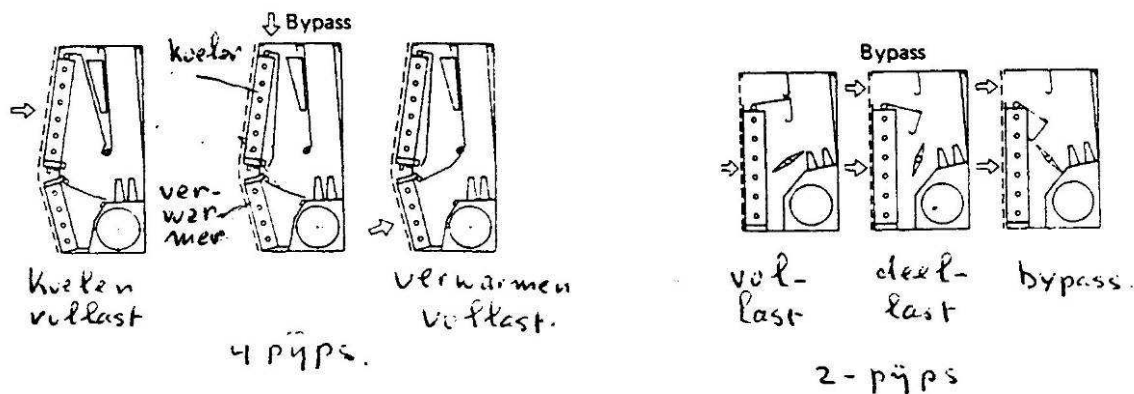
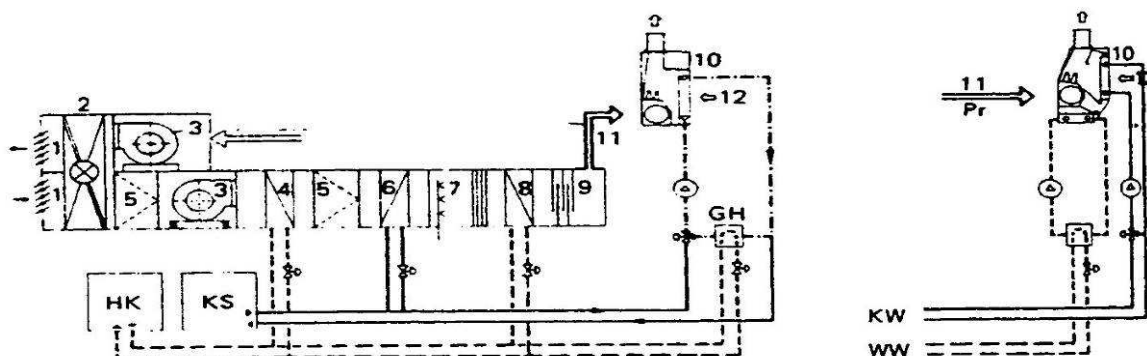


fig.12; inductie apparaten met luchtkleppenregeling

Bij het 4-pijps systeem zijn nu in het apparaat twee gescheiden warmtewisselaars aangebracht. Figuur 13 toont een schema van een inductiesysteem. De primaire lucht is bijna altijd buitenlucht. Warmteterugwinning is mogelijk als de retourlucht centraal wordt afgevoerd. De hoeveelheid primaire lucht is gebaseerd op de minimum luchtbehoefte voor ventileren, dit is 25 á 50 m³/h of een ventilatievoud van ongeveer 3 (afhankelijk van de eisen uit het bouwbesluit). De luchtbehandelingkast en de luchtkanalen zijn nu relatief klein. De primaire lucht wordt in de LBK in de zomer ontvochtigd en in de winter bevochtigd. De primaire luchttemperatuur is meestal het hele jaar 12 á 15°C. De relatieve vochtigheid is hoog, 85 á 95%.



- | | | |
|---------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1 jaloeziekleppen | 7 luchtbevochtiger | TSA tegenstroom apparaat |
| 2 warmteterugwinapp | 8 naverwarmer | KW warmwaterketel |
| 3 ventilator | 9 geluiddemper | KK koudwatermaker |
| 4 luchtverwarmer | 10 inductie apparaat | WW warmwaternet |
| 5 luchtfilter | 11 primaire luchtkanaal | KW koudwaternet |
| 6 luchtkoeler | 12 secundaire lucht | |

De uitstroomsnelheid van de primaire lucht uit de straalpijpen van de inductie apparaten moet 15 á 25 m/s zijn. Hiervoor is een drukverschil over de straalbuizen nodig van 150 á 400 Pa. Om bij de eindapparaten dit drukverschil mogelijk te maken is het ventilatiesysteem als een hogedruk systeem ontworpen. Hierdoor wordt de benodigde kanaaldoortocht verder beperkt. Ronde kanalen zijn nu toe te passen. Ze worden bovendien geïsoleerd. De inductie apparaten worden evenals radiatoren onder de ramen aangebracht. Individuele regeling is mogelijk. Tot een vertrekdiepte van 6 m zijn de apparaten toe te passen. Bij een grotere diepte moet een "all air" systeem worden toegepast. Ook zijn inductie apparaten voor inbouw in het plafond beschikbaar.

Het is mogelijk dat in het inductie apparaat in de zomerperiode de oppervlakte temperatuur van de koeler beneden het dauwpunt komt. Hierdoor zal waterdamp condenseren. Er is dus

een voorziening nodig om dit condensaat af te voeren. Tijdens bedrijfsonderbrekingen kan de ventilatie worden stopgezet. In de winter doet het inductie apparaat dan dienst als convector en houdt het vertrek op een voldoende hoge temperatuur.

7.8.1 2-Pijps systeem

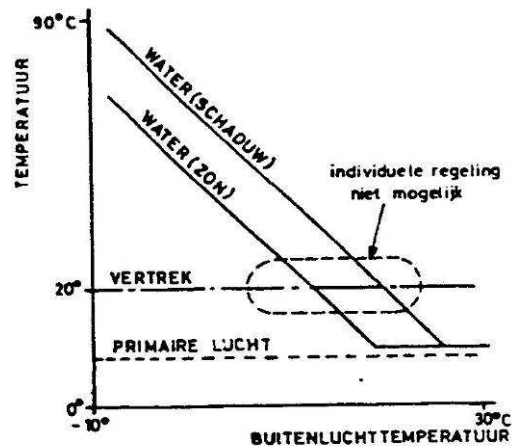
De naam 2-pijps systeem geeft aan dat door het gebouw een watertoevoer- en een water retourleiding lopen.

De primaire luchttemperatuur is ca 12°C De watertemperatuur is weersafhankelijk geregeld. De individuele regeling is met een regelafsluiter in de watertoevoerleiding. De regelbaarheid is gebrekkig in de overgangperiode.

Dan is $t_w \approx t_{\text{vertrek}}$

De capaciteit van de warmtewisselaar is bijna nul. Links van het snijpunt moet bij toenemende koelbehoefte de regelkraan gesloten worden, rechts daarentegen geopend worden. De gebruiker weet echter niet in welke toestand het systeem is. Ook een automatische regeling is moeilijk. Er zijn twee bruikbare oplossingen voor dit probleem, namelijk:

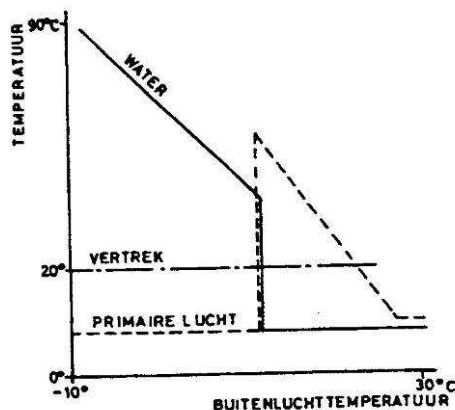
- het change over systeem;
- 2-pijps systeem met variërende luchttemperatuur (non change oversysteem)



7.8.2 Change over systeem

De watertemperatuur is bij lage buitentemperatuur weersafhankelijk geregeld, de luchttemperatuur is dan laag, ca 12°C.

Als onvoldoende regelbaarheid dreigt wordt omgeschakeld.



De watertemperatuur wordt verlaagd tot 12°C.

Deze temperatuur blijft bij oplopende buitenluchttemperatuur gelijk.

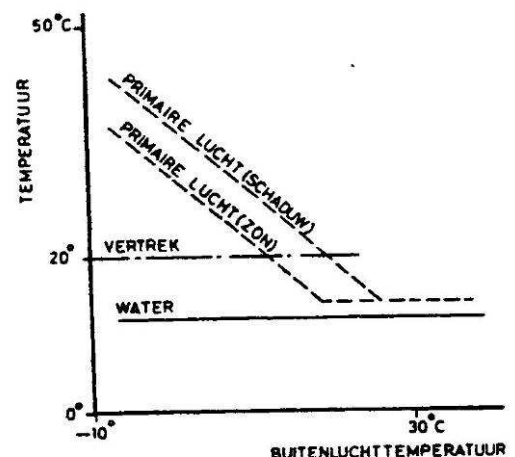
De primaire luchttemperatuur wordt zo verhoogd dat daarmee het transmissieverlies kan worden toegevoerd op plaatsen waar dat nodig is. Deze temperatuur is nu weersafhankelijk geregeld, opdat de vertrektemperatuur gelijk blijft is de centrale regeling zo gekozen dat de warmte- respectievelijk koude afgifte voor en na het omschakelen even groot is.

Na het omschakelen zal energieverlies door menging optreden.

7.8.3 Non change over systeem

Nu wordt de primaire luchttemperatuur weersafhankelijk geregeld. In de winter moet hiermee het transmissieverlies gedekt kunnen worden.

Het water dat door de warmtewisselaar stroomt heeft steeds een temperatuur van ca 15°C In de winter kan deze temperatuur verkregen worden door zogenoemde vrije" koeling. In de zomer en in voor- en naseizoen is hiervoor een



koelmachine nodig.

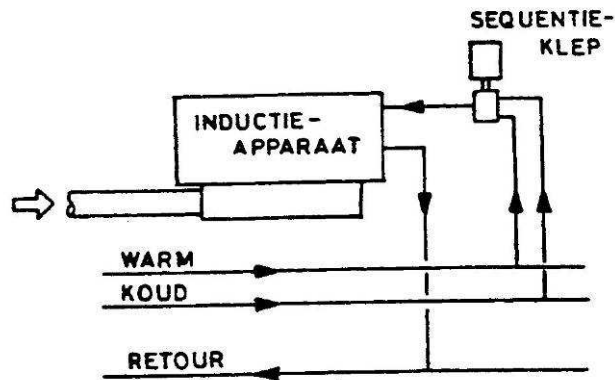
Als in de winter in een vertrek gekoeld moet worden treedt warmte verlies op omdat eerder verwarmde primaire lucht ook afgekoeld moet worden.

7.8.4 3-pijps systeem

Door het gebouw lopen een warme aanvoerleiding, een koude aanvoerleiding en een gezamenlijke retourleiding.

De primaire lucht en koutwatertoevoer hebben beide een constante temperatuur van 12 á 15°C. De warmwatertemperatuur wordt weersafhankelijk

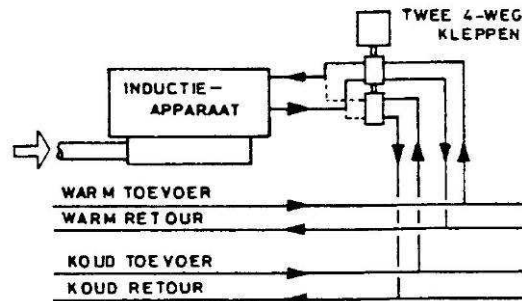
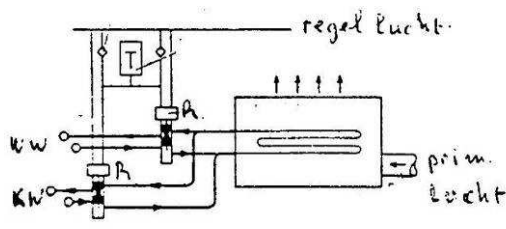
geregeld. Voor alle vertrekken is warm en koud water beschikbaar voor individuele regeling. Met een volgorde klep wordt de warmtebehoefte geregeld. Als het ene medium geregeld wordt is de toevoer van het andere medium gesloten. Energieverlies treedt op doordat in de retourleiding warm en koud water gemengd wordt. Vanwege dit verlies wordt het 3-pijps systeem weinig gebruikt.



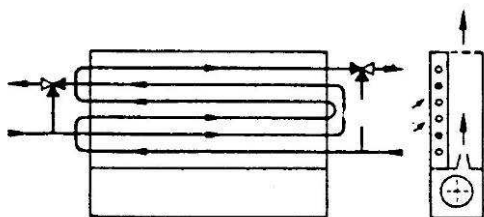
7.8.5 4-pijps systeem

Waterzijdige regeling

Bij dit systeem, twee gescheiden systemen voor warm en koud water, zijn de nadelen van het 3-pijps systeem verdwenen. De voordelen zijn echter behouden.



De temperatuur van de koude primaire lucht en het koude water zijn constant ca 15°C. De temperatuur van het warme water wordt weersafhankelijk geregeld. De vertrekthermostaat regelt de stand van de twee 4-wegs volgorde kleppen waarmee de waterstroom door de warmtewisselaar geregeld wordt. Koud water wordt pas toegelaten als het warme water afgesloten is. De 4-wegs kleppen zorgen ervoor dat steeds dezelfde hoeveelheid water uit het net wordt afgenomen. De waterdruk blijft zo constant en de apparaten beïnvloeden elkaar niet.



Om vermenging van koud en warm water in de systemen te voorkomen worden wel twee aparte warmtewisselaars in een inductieapparaat geplaatst. De warmtewisselaars kunnen in één blok worden ondergebracht. Dit geeft een compacte uitvoering.

Voordelen van 4-pijps systeem:

- zeer goede individuele regeling
- geen zone indeling nodig
- eenvoudige regeling

Als nadelen kunnen genoemd worden:

- uitgebreid leidingnet nodig: koud water, warm water en condensaat.
- meest dure installatie
- veel onderhoud aan regelkranen, kans op vastzitten na bedrijfsstilstand.

Luchtzijdige regeling

Het inductie apparaat is uitgevoerd met twee gescheiden warmtewisselaars. Het waterdebiet is door beide constant. De temperatuur van de primaire lucht en van het koude water zijn constant, de warmwatertemperatuur wordt weersafhankelijk geregeld. De ruimtethermostaat regelt met behulp van een stelmotor de stand van de luchtkleppen waarmee de secundaire luchtstroom geregeld wordt langs de warmwater of de koudwater warmtewisselaar of via de by pass.

Voordeel:

- minder bedrijfsstoring

Nadeel:

- warmteverlies door lekkende luchtkleppen.

8 Koeling

In het volgende hoofdstuk wordt verder ingegaan op de installatie componenten welke in de voorgaande hoofdstukken genoemd zijn.

Het doel van deze bespreking is, inzicht te krijgen in het functioneren van de verschillende componenten en hun invloed op de andere delen van een klimaatinstallatie (inclusief gebouw).

De installatietechnische componenten zijn onder te verdelen in “Energie opwekkers”, “transport media” en “afgifte” componenten.

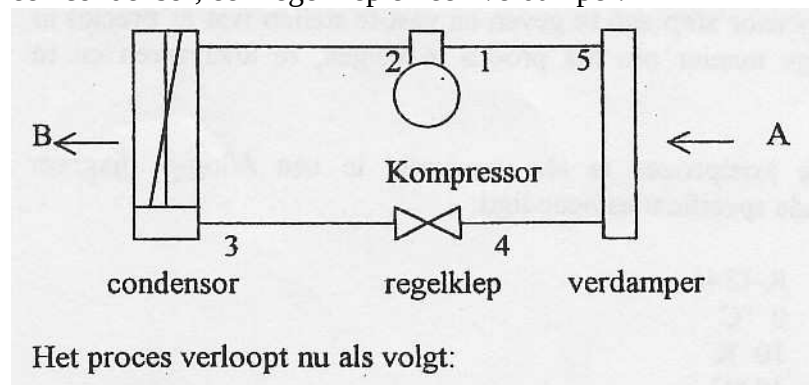
Deze volgorde zullen we zo veel mogelijk aanhouden.

8.1 Inleiding

Thermodynamica, is de studie van energie nodig om, zoals in de koeltechniek toegepast, een stof in toestand doen veranderen. Een voorbeeld hiervan is een vloeistof een verzadigde damp of een gas in toestand te doen veranderen. Hierbij zijn een aantal wetten van toepassing, welke in theorie niet geanalyseerd zullen worden. Alvorens er wordt over gegaan tot gebruik van deze studie, wordt eerst een compressie koelsysteem in de meest eenvoudige vorm besproken.

8.1.2 Compressie koelproces

Onderstaand figuur stelt een koelproces voor in de meest eenvoudige versie. Deze bestaat uit een compressor, een condensor, een regelklep en een verdamper.



Van 1 naar 2 vindt compressie plaats van het aangezogen oververhitte koudemiddelgas uit de verdamper bij een lage druk tot een oververhitte koelmiddelgas bij een hogere druk.

Van 2 naar 3 wordt het oververhitte koelmiddelgas in de condensor in temperatuur verlaagd zodat deze condenseert tot een vloeistof. De druk gedurende dit proces blijft hierbij constant.

Van 3 naar 4 vindt een drukverlaging plaats door de vernauwing in de regelklep. Hierdoor zal niet alleen druk, maar ook de temperatuur van het koelmiddel verlaagd worden.

Van 4 naar 5 wordt er door de verdamper warmte uit de omgevingslucht opgenomen, die in temperatuur hoger ligt dan de temperatuur van het koudemiddel. Hierdoor zal het koudemiddel gaan verdampen, - (koken) waardoor het volledig wordt omgezet in een verzadigde damp.

Van 5 naar 1 wordt nog meer warmte uit de ruimte toegevoerd, waardoor de verzadigde damp nog meer warmte onttrekt en daardoor wordt omgezet in oververhitte damp ofwel oververhitte koudemiddelgas.

Hiermee is de kringloop in het proces compleet.

8.1.3 Het h log-p diagram

Een compressie koudeproces, waarin een gas van een lage druk en dus bovendien een lage temperatuur door compressie wordt verhoogd in een hoge druk gas en dus hoge temperatuur gas, waarna deze hoge temperatuur gas bij dezelfde druk omgezet wordt in een vloeistof, hierna zal door drukverlaging de temperatuur van de vloeistof verlaagd worden, waarna door warmte opname deze weer wordt omgezet in een lage temperatuur gas, dit kan worden weergegeven in een zogenaamd warmte-inhoud/drukdiagram, ofwel een enthalpie druk diagram.

Om zo een diagram te kunnen samenstellen, was het noodzakelijk om, afhankelijk van het type koelmiddel, een tabel op te stellen, met daarin aangegeven de thermodynamische eigenschappen van het betreffende koudemiddel. Het is dus van essentieel belang, dat bij elk diagram een tabel aanwezig is. Hierna is het mogelijk om een compressie proces, zoals aangegeven van punten 1 t/m 5 stap voor stap aan te geven en vast te stellen wat er precies in het proces gebeurt. Dit is de enige manier om het proces te volgen, te analyseren en te berekenen.

De kringloop uit een compressie koelproces is als voorbeeld in een h log-p diagram ingetekend. Hiervoor zijn de volgende specificaties benodigd:

Koudemiddel	R-134a
Verdampingstemperatuur	0 °C
Oververhitting zuiggas	10 K
Condensatietemperatuur	40'>C
Oververhitting persgas	40 K
Onderkoeling	10 K

Het is nu mogelijk om met behulp van zowel het diagram als de tabel voor dit koudemiddel alle benodigde waarden af te lezen.

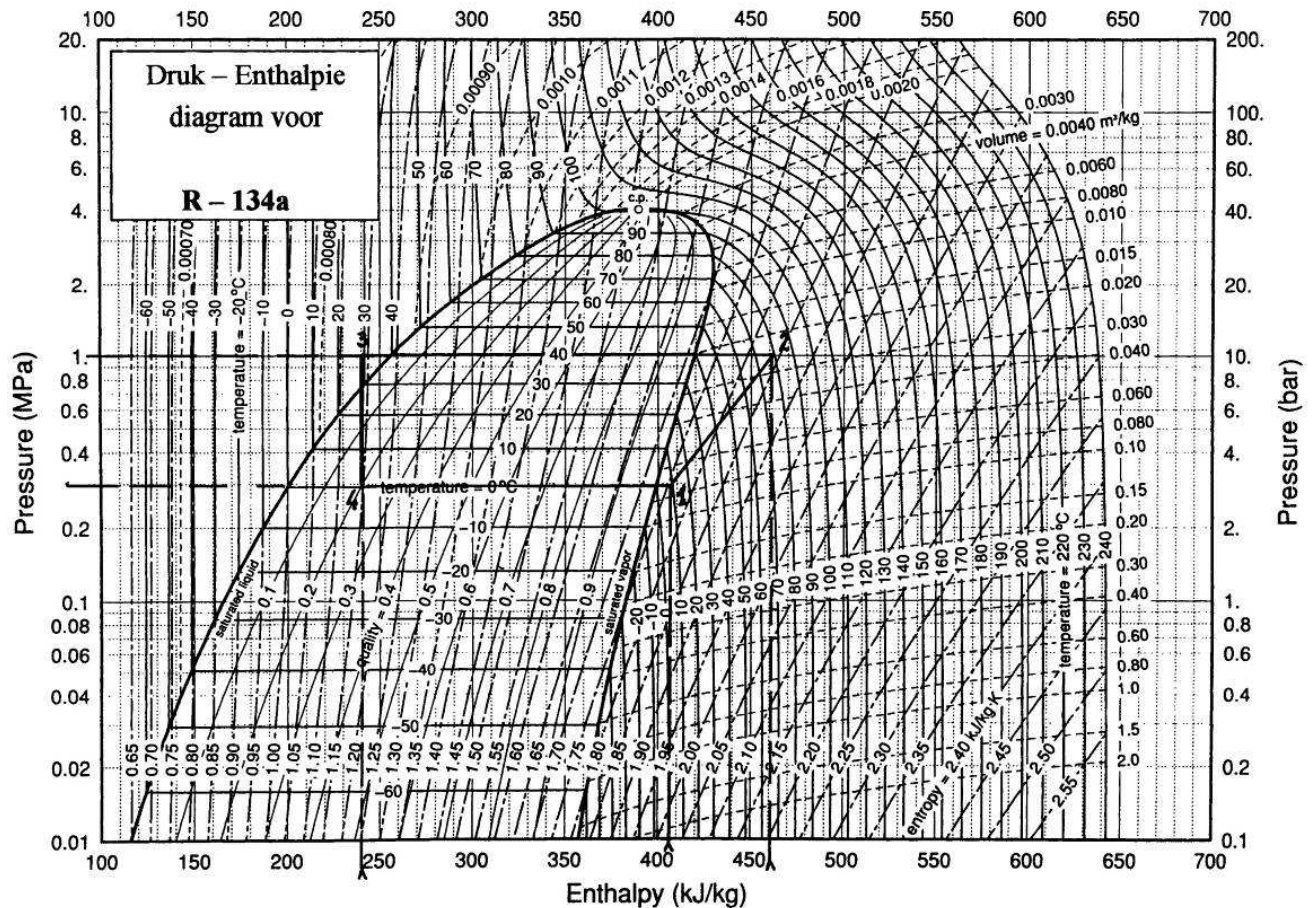
8.1.3.1 Druk aflezing.

Verdampingsdruk van 4 tot 1	± 3 bar	volgens de tabel	3,11 bar
Condensatiedruk van 2 tot 3	± 10 bar	volgens de tabel	10,065 bar

8.1.3.2 Warmte-inhoud (enthalpie) aflezing.

De schaalverdeling is in tientallen verdeeld. Volg de gearceerde verticale stippellijn.

Enthalpie bij punt 1	406 kJ/kg	
Enthalpie bij punt 2	463 kJ/kg	
Enthalpie bij punt 3	242 kJ/kg	volgens de tabel bij 30'C vloeistof h' = 241,7 kJ/kg.
Enthalpie bij punt 4	242 kJ/kg	
Enthalpie bij punt 5	398 kJ/kg	volgens de tabel bij 0'C damp W' = 398,7 kJ/kg



Het proces verloopt nu als volgt:

De compressor zuigt gasvormig koudemiddel aan bij punt 1 bij een druk van 3,11 bar. De compressor perst nu het gas samen van punt 1 naar punt 2 tot een druk van 10,065 bar. Er vindt dus **compressie** plaats van een lage druk naar een hogere druk.

Van punt 2 naar punt 3 wordt de oververhitte damp bij een druk van 10,065 bar door de condensor gevoerd, en door toevoeren van koude omgezet in een vloeistof (condenseren). Hierna wordt de vloeistof verder afgekoeld (onderkoeld) tot een temperatuur van 300°C.

Van punt 3 tot punt 4 vindt expansie van de vloeistof plaats. Expansie betekent dat de vloeistof door een vernauwing wordt gevoerd, waardoor er een drukverlaging plaats vindt. In dit circuit wordt de druk van 10,065 bar verlaagd naar 3,11 bar. De drukverlaging vindt dus plaats in de regelklep.

Van punt 4 naar punt 5 wordt er warmte over de verdamper gevoerd. In de verdamper onttrekt de natte damp de warmte, waardoor deze gaat verdampen. Dit proces gaat door tot punt 5 is bereikt, waar alle vloeistof is omgezet in verzadigde damp.

Door nu verder warmte aan de verdamper toe te voeren, zal de verzadigde damp nog meer warmte opnemen waardoor deze wordt oververhit tot een temperatuur van 10°C. De oververhitting was immers 10 K.

Hiermee is de kringloop nogmaals compleet, en is het nu mogelijk om na te gaan hoeveel warmte er in het proces is opgenomen.

Bij punt 1 was de warmte-inhoud 406 kJ/kg en bij punt 2 was deze 463 kJ/kg. De warmte die dus nodig was gedurende compressie is $463 \text{ kJ/kg} - 406 \text{ kJ/kg} = 57 \text{ kJ/kg}$. Er wordt dus door elke kg koudemiddel die in het systeem stroomt 57 kJ/kg warmte door compressie opgenomen.

Bij punt 2 was de warmte-inhoud 463 kJ/kg en bij punt 3 was deze 242 kJ/kg. De totale warmte die onttrokken werd om het oververhitte gas bij punt 2 te condenseren tot een vloeistof van 30°C is $463 \text{ kJ/kg} - 242 \text{ kJ/kg} = 221 \text{ kJ/kg}$.

Volgens het diagram blijkt nu dat de warmte-inhoud bij punt 3 gelijk is aan die van punt 4, verdamping vindt nu plaats tussen punt 4 en punt 5. De warmte-inhoud bij punt 4 was 242 kJ/kg en de warmte-inhoud na verdamping bij punt 5 was 398 kJ/kg. Door oververhitting wordt er nog meer warmte opgenomen en wel het verschil tussen de warmte-inhoud van punt 5 en punt 4, namelijk $406 \text{ kJ/kg} - 398 \text{ kJ/kg} = 8 \text{ kJ/kg}$.

De totale warmte die nu door de verdamper wordt opgenomen is dus van punt 4 tot punt 5 dus $406 \text{ kJ/kg} - 242 \text{ kJ/kg} = 164 \text{ kJ/kg}$.

Wat opvalt is, dat de totale warmte die de condensor afvoert, is de som van de warmte die de verdamper opneemt, en de compressie warmte van de compressor, namelijk $164 \text{ kJ/kg} + 57 \text{ kJ/kg} = 221 \text{ kJ/kg}$.

8.1.4 Opgave:

Koudemiddel	R-134a
Verdamping temperatuur	-15°C
Oververhitting verdamper	10 K
Condensatie temperatuur	45°C
Compressie eindtemperatuur	90°C
Onderkoeling condensor	150°C

Teken deze condities in het h log-p diagram

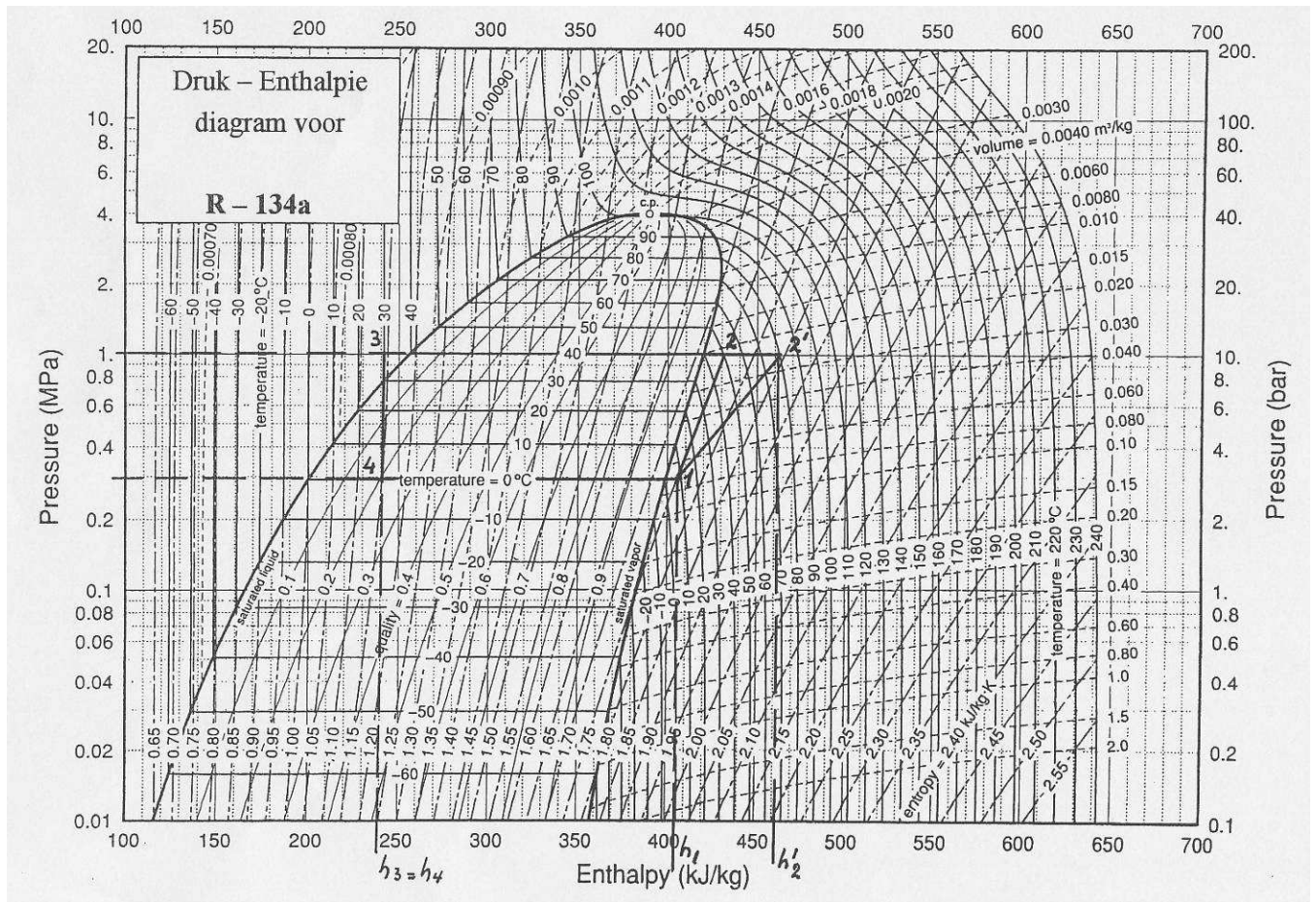
Beantwoord de volgende vragen:

Wat is:

- De verdamper druk. De condensatie druk.
- Indien er 5 kg koudemiddel door het systeem stroomt:
- De totale warmte opgenomen door de verdamper. De compressie warmte. De condensatiewarmte.

De bijgevoegde koudemiddel tabellen bestaan uit een serie van nieuwe koudemiddelen die heden ten dage door de nieuwe RLK regelingen van toepassing en geaccepteerd zijn. De koudemiddelen waarmee gewerkt wordt zijn: R-22; R-134a; R-407 C. Een van de laatste toevoegingen is het koudemiddel R-410A die voor installaties tot ca. 30 kW koelvermogen wordt toegepast. Andere koudemiddelen die aandacht vragen, maar waarvan het gebruik ervan nog niet tot het maximum getoetst is, zijn: R-404A, R-401A, R-404B; R-402A en R508B.

Een opmerking omtrent de bestaande koudemiddelen is., dat R-22 nog wel wordt vermeldt, maar het is nu wel vrijwel zeker dat de productie van dit koudemiddel volgens de Europese regelgeving vanaf het jaar 2000 met 20% per periode verminderd zal worden, en bij 2015 geheel niet meer beschikbaar is. Als vervangend koudemiddel voor R-22 is R-407C/E het aangewezen koudemiddel. Het wordt zelfs als een "**drop-in**" beschikbaar aangeboden. Het woord "drop-in" moet worden gezien als, "**het kan in het bestaand ontwerp zonder veel afwijking in de werkcondities of koelcapaciteit**" worden toegepast.



8.1.5 Compressiesysteem

8.1.5.1 Carnotproces

Een compressiesysteem berust op het zogenaamde carnotproces. Dit is een theoretisch uitgangspunt om de processen bij het comprimeren en expanderen te verklaren.

Het proces is een ideaal kringproces, waarbij, afgezien van de benodigde energie om het proces in stand te houden, geen rekening wordt gehouden met verliezen, zoals onder andere wrijvingsverliezen van cilinders, krukassen in de compressor, en stralingsverliezen.

Hierbij geldt dus de stelregel:

de aan het proces toegevoerde energie = de van het proces afgevoerde energie.

8.1.5.2 Compressie arbeid

Compressie arbeid is een proces die plaats vind in het oververhitte dampgebied. De compressor is alleen maar in staat om gas te verplaatsen, in deze materie alleen maar geschikt om een gas van een lage druk tot een hogere druk samen te persen.

Er wordt eerst uitgegaan van een ideale situatie, met andere woorden, er treden geen verliezen op in de compressor tijdens compressie. In dit geval zal het proces zich langs de entropie lijn of het adiabatisch proces volgen. De eigenschap van een adiabatisch proces is dat de warmte-inhoud constant blijft terwijl de temperatuur en dus de bijbehorende druk wel verandert. In het bijgevoegd h4og-p diagram voor koudemiddel R-134a is dit proces

ingetekend. Uit het diagram zijn nu verschillende gegevens betreffende het getekende proces te halen:

Condensatiedruk (T- 3)	= 10 bar.
Verdampingsdruk (4 - 1)	= 3 bar.
Zuiggastemperatuur (1)	= 10 °C.
Eindcompressietemperatuur (2)	= 52 °C bij (2' = 80 °C).
Vloeistoftemperatuur (3)	= 30 °C.

in de verdamper opgenomen warmte
(koeleffect) $= (h_1 - h_4) = 406 \text{ kJ/kg} - 242 \text{ kJ/kg} = 164 \text{ kJ/kg}.$

in de condensor afgevoerde warmte
(condensatie warmte) $= (h_{2'} - h_3) = 463 \text{ kJ/kg} - 242 \text{ kJ/kg} = 221 \text{ kJ/kg}.$
De compressiearbeid $= (h_{2'} - h_1) = 463 \text{ kJ/kg} - 406 \text{ kJ/kg} = 57 \text{ kJ/kg}.$

8.1.5.3 Koudefactor

Een belangrijke grootheid van een koelproces is de koudefactor aangegeven met het symbool ε , (epsilon).

Onder koudefactor ε , van een koelsystemen wordt verstaan:

De verhouding tussen de in een verdamper opgenomen warmtestroom Q_o en het aan de compressor toegevoerde vermogen P .

In formule vorm:

$$\varepsilon = \frac{Q_o}{P} \text{ of } \frac{h_1 - h_4}{h_{2'} - h_1}$$

Vanuit het ingetekende proces is de koudefactor dus:

$$\varepsilon = \frac{164 \text{ kJ / kg}}{57 \text{ kJ / kg}} = 2,877$$

8.2 Koudemiddelen

Zoals wellicht bekend, hebben er de laatste jaren drastische veranderingen in niet alleen de verschillende typen van koudemiddelen plaats gevonden, maar ook de eisen en gebruik ervan zijn zodanig aangepast dat, indien men zich daar niet op instelt, het kostbare gevolgen zou kunnen hebben voor zowel degene die er mee werkt als de eigenaar van de installatie zelf. De grootte van een installatie is niet van belang, alle installatie ongeacht de grootte zijn onderhevig aan de nieuwe maatregelen.

8.2.1 Eisen aan koudemiddelen

De navolgende punten zijn de eisen die aan koudemiddelen worden gesteld.

- Het koudemiddel mag niet brandbaar, explosief of giftig zijn. Het is bekend dat propaan als koudemiddel in de belangstelling staat, maar dan alleen voor hermetisch gesloten systemen. Als voorbeeld, de kleine huishoudelijk koel of vrieskast.

- Het koudemiddel mag geen invloed hebben op het milieu, zoals de ozonlaag en broeikast effect.
- Indien gebruik gemaakt wordt van luchtgekoelde condensors mag bij een gegeven buitenlucht temperatuur de druk aan de hoge druk zijde niet boven bepaalde waarde oplopen waardoor de veiligheid van de installatie in gevaar komt.
- Het koudemiddel mag constructiemateriaal van de installatie, en de smeermiddelen in het systeem niet chemisch aantasten.
- De hoeveelheid koudemiddel voor een installatie moet zodanig op de eigenschappen gekozen worden, dat deze tot het minimum beperkt blijft. Een koudemiddel met een hoog verdampingswarmte zal de grootte van de verdamper beïnvloeden, maar een te klein bemeten verdamper is ook niet gunstig in verband met het inregelen van de installatie.
- Lekkages welke voor kunnen komen, moeten gemakkelijk getraceerd kunnen worden.

8.2.2 Koolwaterstoffen

Methaan, ethaan en propaan hebben zeer gunstige thermodynamische eigenschappen en warmteoverdracht eigenschappen. Een nadeel is dat deze zeer brandbaar zijn.

8.2.3 HFK koudemiddelen

Als alternatief voor de koudemiddelen die volgens de wettelijke regelgeving, zoals CFK's en HCFC's zijn er een reeks nieuwe koudemiddelen beschikbaar, waarvan de meest bekende het koudemiddel R 134a en R 407C zijn.

8.2.4 HFK koudemiddelen

Verder zijn er de volgende koudemiddelen aan toegevoegd, R32; R125; R143a en R290. Deze koudemiddelen behoren tot de zuivere vloeistoffen, ook wel enkelvoudige koudemiddelen genoemd. Na onderzoek en het vastleggen van de thermodynamische eigenschappen bleek er behoefte te zijn om koudemiddelen te ontwikkelen met verbeterde thermodynamische eigenschappen. Een van de oplossingen was om mengsels te ontwikkelen.

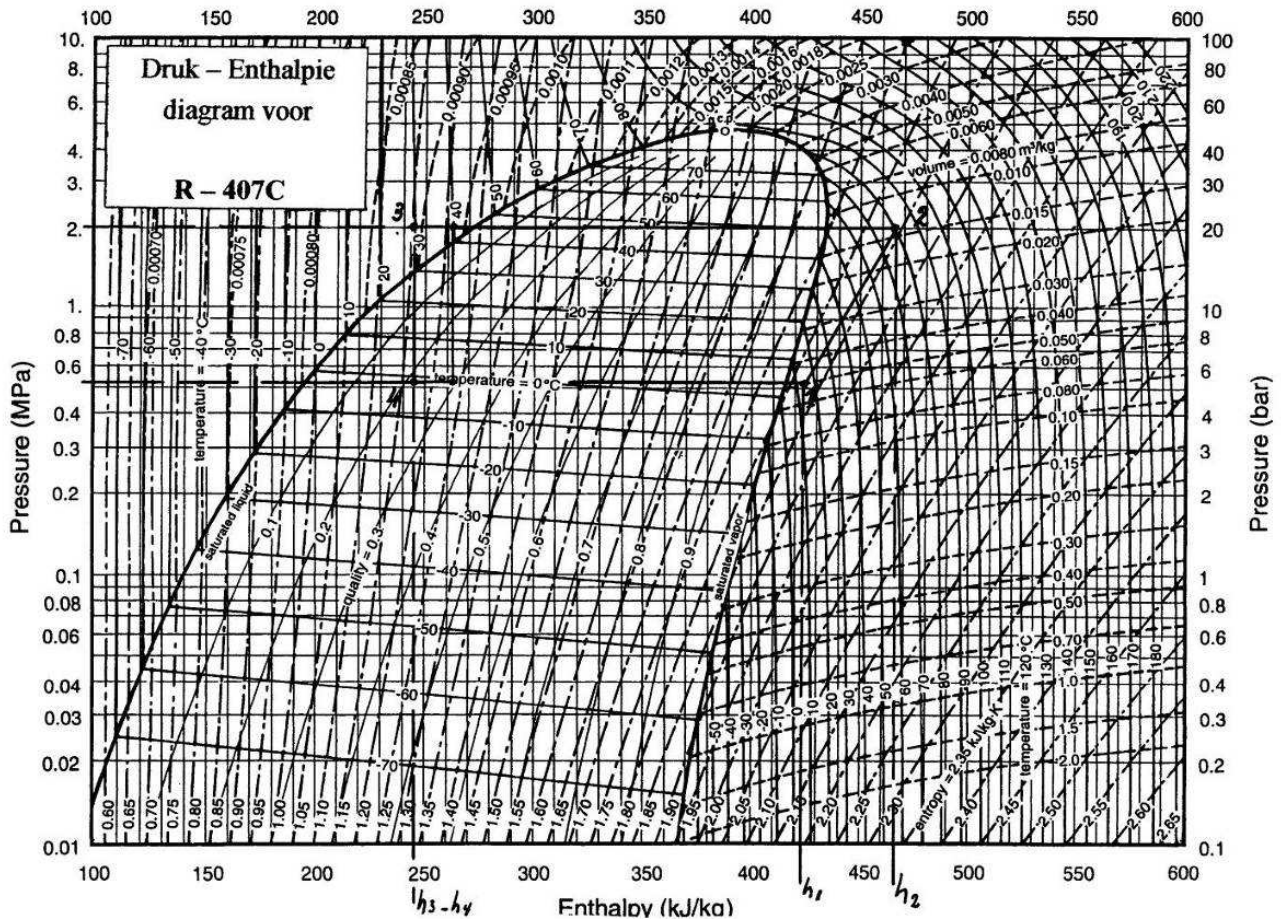
8.2.5 Mengsels

Zoals reeds vermeldt, mengsels worden ontwikkeld als het verbeterde thermodynamische eigenschappen heeft dan het vergelijkbare enkelvoudige koudemiddel. Er onderscheiden zich twee groepen namelijk:

Azeotropische mengsels. Zeotropische mengsels.

Azeotropische koudemiddelen gedragen zich bij een bepaalde druk en relevante temperatuur als een enkelvoudig koudemiddel.

Zeotropische koudemiddelen daarentegen vertonen bij een gelijkblijvende druk een verloop van de temperatuur. Dit geldt voor zowel de verdamping-, als de condensatie temperaturen. Dit verloop noemt men een glide of kooktraject. Het is niets anders dan het in volgorde verdampen of condenserende van de verschillende stoffen in het mengsel. Als voorbeeld noemen we hier R407C, waar de glide ca. 5 á 6 °C is.



Een temperatuur-glide bij het condenseren van 50°C naar 45°C, waarbij de temperatuur, waarbij de eerste vloeistof druppel wordt gevormd, het dauwpunt wordt genoemd (T dew).

Een temperatuur-glide bij het verdampen van - 2°C naar 3°C waarbij de temperatuur, waarbij de eerste gasbel wordt gevormd, het bubble punt wordt genoemd (Thub).

We bekijken nogmaals het koudemiddel R407C. Deze zeetroop bestaat uit: R32 - R125 en R134a.

Het directe gevolg van de glide is het feit dat de gas samenstelling veranderlijk is. Eerst verdampt R32 dan R125 en als laatste R134a. In de praktijk is deze volgorde niet zo strikt achter elkaar als wel door elkaar heen. Onderkoeling en oververhitting als essentiële meetwaarden worden gemeten zoals men dit deed bij R22.

Wat de warmteoverdracht betreft, hier geldt de algemene formule:

$$Q = k \times A \times \Delta T_{lm}$$

Deze formule wordt op twee manieren beïnvloed door de keuze van het koudemiddel. De eerste factor is dat de k-waarde wordt uitgesplitst in drie componenten namelijk:

1. de warmte overdracht van het koudemiddel op het metaal. 2. de warmte doorgang van het metaal 3. de warmte overdracht van het metaal op de vloeistof of buitenlucht.

in conclusie, de warmte overdracht van het koudemiddel als een mengsel is altijd slechter dan de slechtste van een van de slechtste van de componenten.

Een tweede factor die beïnvloed wordt is η , immers een kooktraject is anders dan een kooktemperatuur.

Het mag duidelijk zijn dat R407C zoals als voorbeeld omschreven als alternatief bedoelt is voor R22. Van andere alternatieven zijn tot op heden onvoldoende vergelijkingen omhanden.

Andere mengsels zijn R401a; R401b; R402a; R404a; R410c; R507; R508b

8.3 Compressoren

8.3.1 Verdringer compressoren

Verdringer compressoren zijn verdeelt in vier groepen: 1. de schroef compressor 2. de zuig compressor. 3. de schotten compressor. 4. de scroll/spiraal compressor.

Er wordt in deze bijlage alleen aandacht besteedt aan de zuiger compressor.

8.3.2 De zuiger compressor

In principe bestaat een zuiger compressor uit een huis of cilinder waarin zich een of meer zuigers bewegen. De zuigers zijn gekoppeld aan een drijfstang of ook wel krukstang genoemd. Deze is gemonteerd aan een kruk-as of aandrijfstang. De zuiger beweegt naar boven tot een maximale stand, wat ook het bovenste dode punt wordt genoemd, en omgekeerd naar zijn laagste stand, wat het onderste dode punt wordt genoemd. Verder zitten er in het huis een gas aanzuig gedeelte en een pers gas gedeelte. Staat de zuiger(s) in de hoogste stand, dan is het gas aanzuig gedeelte afgesloten, en het pers gas gedeelte geopend. In de laagste stand van de zuiger(s) gebeurt het omgekeerde. In het zuig gas en pers gas gedeelte zitten kleppen die om de beurt openen of sluiten afhankelijk van de stand van de zuiger(s).

8.3.6 Samenvatting

Voorgaand is een aantal type compressoren aangegeven die algemeen bekend zijn, er zijn uiteraard nog een aantal andere type aan te geven waaronder de centrifugaal compressor. Dit type wordt toegepast in installaties met grote koelvermogens, bijvoorbeeld Vanaf ca. 300 kW tot 20.000 kW of groter. De reden is voornamelijk dat beneden het kleinste koelvermogen is het wat productie kosten aangaat niet meer interessant. Verder wordt hier tot slot een kort overzicht van een aantal punten aangegeven die van belang kunnen zijn indien men verder op de compressor theorie wil ingaan.

8.3.6.1 Compressor types.

Compressoren zijn verdeeld in de volgende typen: - Open compressoren. - Half-hermetic compressoren. - Hermetic compressoren.

Open compressoren.

Deze typen worden via een uitwendige krukas met een elektrisch- of dieselmotor aangedreven motoren. Bij deze directe aandrijving wordt de motor as via een flexibele koppeling aan de krukas van de compressor verbonden. In her geval de compressor en de motor met verschillende toerentallen moeten werken wordt er van een V-snaar aandrijving gebruik gemaakt. Men vindt het open type alleen met zuiger of schroef compressoren.

Dit type heeft voordelen ten opzichte van het andere type zoals halfhermetisch of hermetisch, en wel, dat de motor geen invloed heeft op het beschikbare koelvermogen van de compressor.

Het heeft ook nadelen, en wel dat de as-afdichting van de compressor het meest gevoelig is voor eventuele lekkages. Het uitlijnen van de twee krukassen is dan ook zeer belangrijk.

Half hermetische compressoren.

Dit type vinden we onder de zuiger, schroef, scroll, schotten en spiraalcompressoren.

Het gehele huis bevat zowel het compressor- als de motor gedeelte. Met dien verstande dat de compressor en motor via een tussenschot van elkaar gescheiden zijn. Dit houdt in dat, mochten er aan de compressor of motor werkzaamheden verricht worden dit separaat kan geschieden. Dit betekent dus dat dit type geheel gedemonteerd kan worden.

Dit type heeft een aantal voordelen en wel dat er geen lekkages kunnen optreden door de as-afdichting. Een nadeel is het koelsysteem van de elektromotor, dit wordt door de zuiggassen van het koudemiddel systeem verkregen. De koeling hiermee is zeer efficiënt, maar het heeft directe invloed op het koelvermogen van de compressor. Bovendien moet men er voor waken dat de zuiggas temperatuur niet te hoog oploopt waardoor de windingen van de motor aangetast kunnen worden.

Hermetische compressoren.

Bij dit type zijn ook de compressor en motor in één huis samengebouwd, met dit verschil dat het huis niet demontabel is. Dit betekent, dat de compressor niet gerepareerd kan worden, maar in z'n geheel vervangen moet worden. Een voordeel is dat er bij deze geheel gesloten compressor geen emissie van koudemiddel kan plaats vinden. Het nadeel is nogmaals dat de opgewekte warmte van de motor ten koste gaat van het koelvermogen van de compressor, en mocht de motor uitbranden, geen reparatie mogelijk is, terwijl het gehele systeem door de burn-out vervuild wordt.

8.3.6.2 Koelvermogen regeling

Het koelvermogen van compressoren moet geregeld kunnen worden, dit in verband met wat men noemt deellasten van een systeem. Bij kleine koelvermogens tot ca. 30 kW wordt over het algemeen een enkeltraps regeling gebruikt, terwijl bij grotere koelvermogens in stappen of trappen geregeld kan worden.

Aal-uit regeling.

De meest eenvoudige manier van regelen is de aan/uit regeling. Denk maar aan de huishoudelijke koelkast. Het principe van de regeling is een eenvoudige thermostaat die bij de gewenste waarde de compressor uitschakelt. Een voordeel is z'n eenvoud, maar een nadeel is de mogelijkheid van het frequent schakelen van de compressor.

Toeren regeling.

Er wordt naarstig gezocht naar de ideale oplossing om compressoren met toeren te regelen. Met schroef en rotary compressoren heeft men reeds vooruitgangen geboekt, maar bij zuigercompressoren ligt het wat moeilijker. Een nadeel is namelijk het olie smeersysteem in een compressor berust op een mechanische oliepomp in de compressor die afhankelijk is van het toerental van de compressor. Wordt het toerental nu verlaagd heeft dit directe invloed op de oliedruk. Bovendien is de uitvoering van de elektromotor vrij gecompliceerd, denk aan frequentie regeling, een vrij dure optie.

Meervoudige compressorregeling.

Sommige fabrikanten hebben gekozen voor het zogenaamde multi-compressor systeem. Men bouwt koelmachines men twee of meer halthermetische of hermetische compressoren. Het is in principe een aan/uit regeling, behalve dat het totale koelvermogen verdeeld wordt over het aantal geïnstalleerde compressoren. Bijvoorbeeld een machine met twee compressoren heeft een twee trappen regeling, dus 100% en 50%. Bij meerdere compressoren wordt het koelvermogen vrij gelijkmatig verdeeld.

8.4 Verdampers

Wij geven hier een algemeen overzicht van de verschillende typen verdampers die in de koeltechniek toegepast worden.

8.4.1 De functie van verdampers

Een verdamper onttrekt warmte aan lucht of het product of beide in een gesloten ruimte. Dit wordt verkregen door het benutten van de verdampingswarmte van een geselecteerd koudemiddel. Door dit proces is het dus mogelijk om niet alleen lucht (gas), maar ook een vloeistof (water) te koelen.

Verdampers worden verdeelt in twee groepen, namelijk droge verdampers en natte verdampers.

Onder droge verdampers wordt verstaan, een verdamper waarin het koudemiddel van een vloeistof geheel wordt verdampt in een oververhitte damp.

Onder natte verdampers wordt verstaan, een verdamper die gedurende het koelproces continu gevuld blijft met vloeibaar koudemiddel.

8.4.2 Diverse uitvoeringen

Er zijn twee groepen namelijk: vloeistofkoelers en luchtkoelers.

Onder vloeistofkoelers kennen we de volgende typen:

- dompelkoelers worden toegepast voor ijsaccumulatie en ijswater.
- badverdampers of ook ketelverdampers genoemd worden toegepast voor het koelen van een vloeistof, zoals koudedragers.
- droge ketelverdampers of ook wel dx-ketelverdampers genoemd worden toegepast in vloeistof koelmachines.

Onder luchtkoelers kennen we de volgende typen:

- luchtkoelers voor natuurlijke luchtcirculatie, zoals bekend in de huishoudelijke koelkast.
- slangenverdampers welke met NH_3 als natte verdampers worden toegepast.
- lamellen verdampers zijn verdampers die in koel en vriesruimten worden toegepast, en ook als luchtkoeler in luchtbehandelingkasten voor de klimaattechniek.

8.4.3 Koelerooppervlakte temperatuur

Onder koelerooppervlakte temperatuur wordt een denkbeeldige temperatuur van de luchtkoeler begrepen. Afhankelijk van het aantal rijen en het aantal lamellen zal deze temperatuur niet overal gelijk zijn. Vocht uit lucht welke door een luchtkoeler stroomt zal gaan condenseren, maar niet precies op elk gedeelte van de koeler met gelijke hoeveelheid.

In de praktijk wordt een gemiddelde aangehouden, die men dan ook wel het koeler dauwpunt noemt (KDP). Dit is een belangrijk gegeven, want het is een kenmerk temperatuur voor de verdamper en de compressor om de koudemiddel temperatuur of de verdamping temperatuur te kunnen bepalen.

8.4.4 Bypass factor

Een verdamper met een 100% rendement is praktisch niet haalbaar, het betekent dat er te allen tijde een klein percentage lucht welke door de koeler stroomt niet behandeld wordt. Dit percentage dat niet door de koeler wordt behandeld, noemt men de bypass factor. Het omgekeerde van de bypass factor is dus de contact factor.

8.5 Condensors

Wij geven hier een algemeen overzicht van de verschillende typen condensors die in de koeltechniek toegepast worden.

8.5.1 De functie van condensors

De functie van de condensor is om het samengeperste hete gas vanuit de compressor om te zetten in een vloeistof. Dit kan geschieden door een koude vloeistof (water) of lucht.

8.5.2 Diverse uitvoeringen

Er zijn twee groepen namelijk: watergekoelde en luchtgekoelde condensors. Onder watergekoelde condensors kennen we:

- platen warmtewisselaars
- dubbelpijpcondensors
- ketelcondensors

Onder luchtgekoelde condensors kennen we:

- lamellen blokcondensors met geforceerd luchtcirculatie.
- plaatcondensors voor natuurlijke luchtcirculatie. (voorbeeld de condensor van een huishoud koelkast).
- verdampingscondensor.

8.6 Expansie apparatuur

Er wordt in dit hoofdstuk het koeltechnisch regelen door verschillende expansie regelingen besproken. Het doel van de regelingen is; het expanderen van het koudemiddel binnen de verdamper; het zorgdragen voor een gewenste drukverlaging tussen de condensatiedruk en de gewenste verdampingsdruk; het regelen van de juiste hoeveelheid koudemiddel naar de verdamper (belasting afhankelijk)

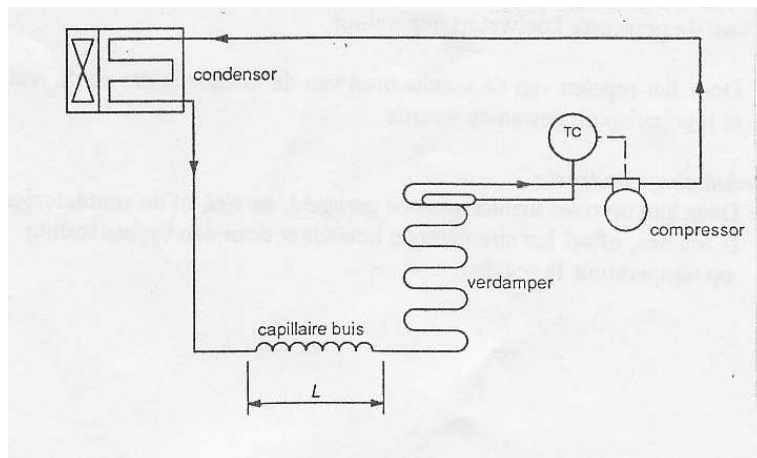
8.6.1 Diverse uitvoeringen

- de capillaire leiding.
- het automatisch expansieventiel.
- het thermostatisch expansieventiel.
- het elektronisch expansieventiel.
- de niveau regelingen.

8.6.2 De capillaire leiding

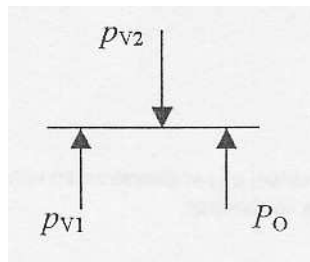
De meest eenvoudige, goedkoop en betrouwbare regeling is de capillaire regeling. Het is bovendien een regeling met weinig mogelijkheden, waarin indien toegepast wel rekening gehouden moet worden dat het zeer nauwkeurig geselecteerd dient te worden. Onder andere zal de koudemiddel vulling zeer kritisch bemeten moeten worden. Als voorbeeld zal een vulling van 50 gram met een minuscule lek van 5 gram per jaar al na één of twee jaar een langere looptijd van het systeem veroorzaken en bovendien zal de gewenste temperatuur niet meer gehaald kunnen worden.

Het systeem is eenvoudig, afhankelijk van de gewenste drukval nodig tussen de condensatiedruk en de verdampingsdruk kan men of met een grafiek of tabel de juiste lengte en diameter selecteren. Onderstaand figuur stelt een systeem met een capillaire regeling voor. Mocht nu na installatie blijken dat het juiste drukverlies niet bereikt wordt, kan men een extra lus in de capillaire leiding leggen waardoor de equivalente lengte ten opzichte van het drukverlies langer wordt. Dit is dan ook de reden waarom in veel van deze installaties lussen in de leidingen zijn gelegd.



8.6.3 Het automatisch expansieventiel

Het automatisch expansieventiel is een drukregelaar die ingesteld wordt op een vaste waarde. Dit houdt in dat deze regelaar niet geschikt is voor een regeling met belasting variaties. Bovendien is een constante oververhitting niet mogelijk, en wordt de regelaar bijna altijd in combinatie met een verdamper thermostaat geïnstalleerd. De thermostaat schakelt de compressor uit, mocht vloeibaar koudemiddel te ver in de richting van de compressor stromen. Dit zou in het ergste geval vloeistofslag veroorzaken.



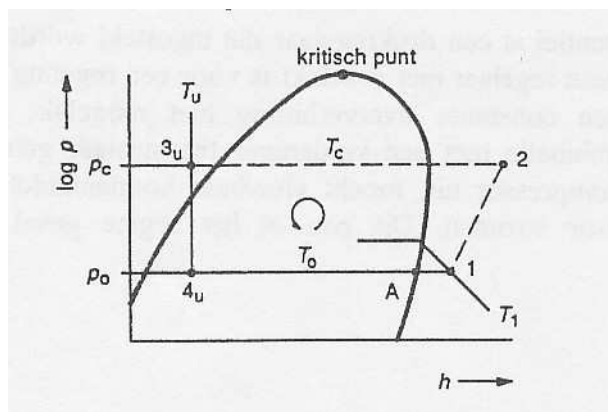
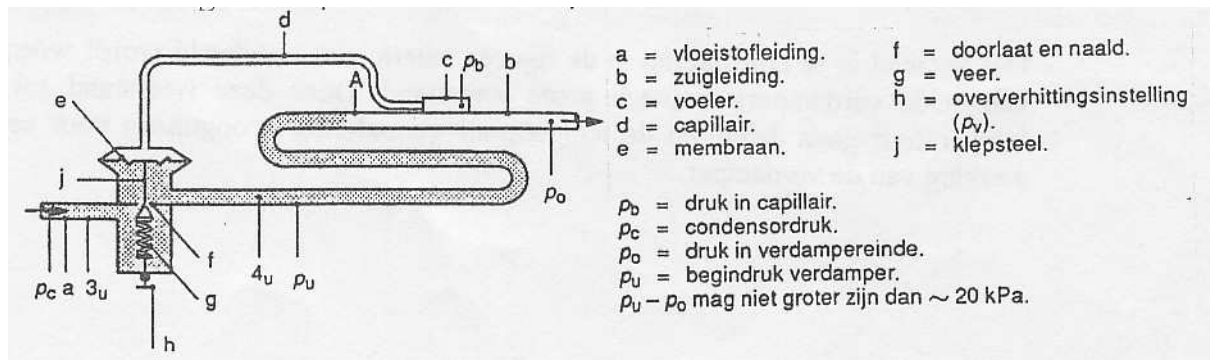
De verdamperdruk p_o en de veerdruk p_{v1} zijn in evenwicht met de veerdruk boven het membraan p_{v2} . Mocht de verdamperdruk dalen dan wordt het evenwicht verstoord, en zal de zitting van de regelgaar openen en er meer koudemiddel de verdamper instroomt.

8.6.4 Het thermostatisch expansieventiel

Er zijn twee typen beschikbaar en wel een regelklep met inwendige drukvereffening, en een regelklep met uitwendige drukvereffening beide werken met hetzelfde principe, namelijk dat de verdamperdruk onder het membraan werkt.

8.6.4.1 Het thermostatisch expansieventiel met inwendige drukvereffening.

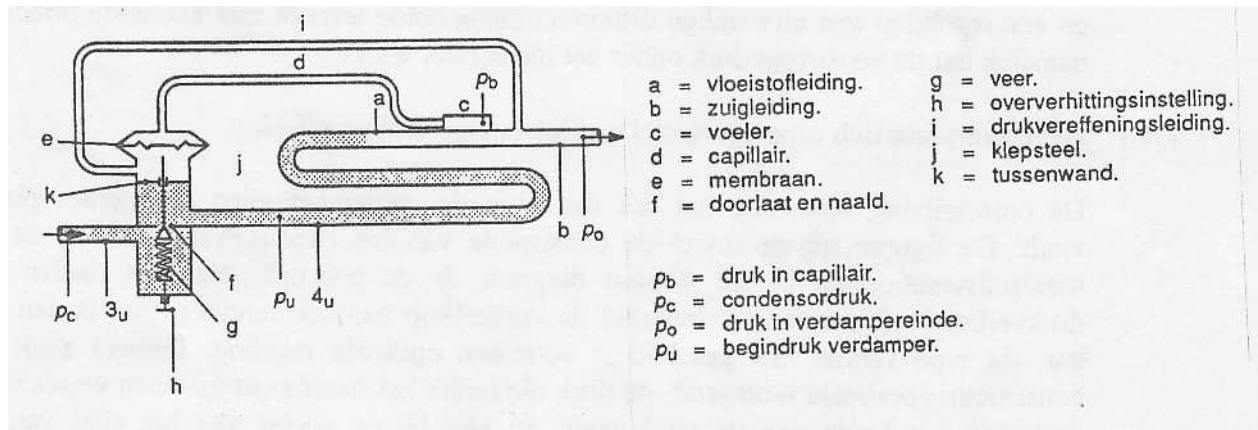
De omschrijving berust op het feit dat er in de verdamper geen drukverlies plaats vindt. De figuren geven zowel de constructie van het expansieventiel weer, en de toestandsverandering in het h log-p diagram. In de praktijk geldt dat, indien het drukverlies in de verdamper inclusief de verdeelkop van het ventiel groter is dan 0,2 bar, dit type ventiel niet geschikt is voor een optimale regeling. Immers zoals de constructie voorbeeld weergeeft, de druk die onder het membraan gemeten wordt is de druk aan het begin van de verdamper, en niet bij de voeler aan het eind van de verdamper. Enig drukverlies in de verdamper wordt wel door de voeler aan het eind van de verdamper gemeten, maar niet aan het begin van de verdamper. Er is dus een onevenwichtige verloop binnen de verdamper zelf



Toestandsverandering van het koudemiddel bij het doorstromen van het thermostatische expansieventiel en de verdamper in het h log p-diagram

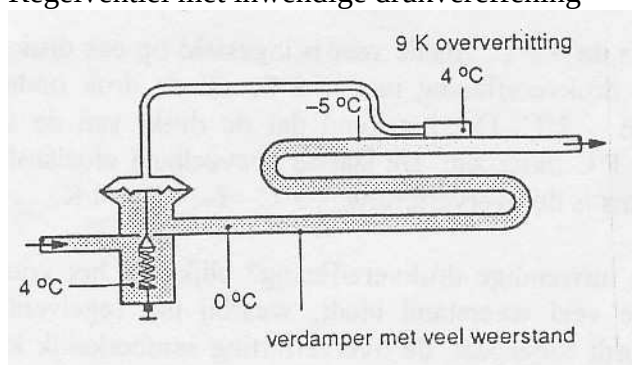
8.6.4.2 Het thermostatisch expansieventiel met uitwendige drukvereffening.

Dit ventiel berust op het principe dat de druk die heerst aan het begin van de verdamper gescheiden wordt door een wand en wordt de membraanruimte via een vereffening leiding verbonden aan het eind van de verdamper in de zuigleiding na de voeler. Hierdoor wordt de invloed van de verdamperweerstand op de werking van het ventiel uitgeschakeld. Zie onderstaande figuur.



Het verschil is te constateren in de figuren waarin een voorbeeld wordt weergegeven van beide verdampers met een grote weerstand. Door deze weerstand zal ook de temperatuur gaan dalen, en de temperatuur verandering is ongunstig voor een goede werking van de verdamper.

Regelventiel met inwendige drukvereffening



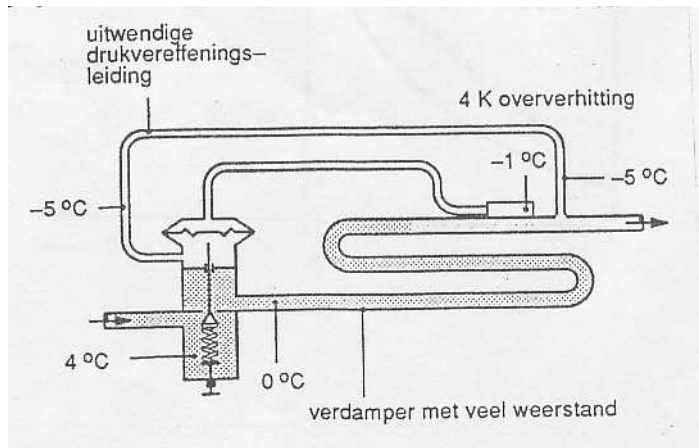
In bovenstaand figuur is de drukval in de verdamper 5 K. De veer geeft een druk aan die te vergelijken is met een temperatuur van 4°C, dan werkt onder het membraan een druk die te vergelijken is met de temperatuur van de verdamper plus de veerdruk, dus

$WC + 4^\circ C = 4^\circ C$. Dat betekent dat de druk van de voeler om een evenwicht te verkrijgen ook te vergelijken moet zijn met 4°C. Nu blijkt dat de laatste vloeistof hoeveelheid in de verdamper echter - 5°C is. Om nu toch een temperatuur van 4°C bij de voeler te krijgen zal het eindverdampingspunt verder moeten opschuiven in de richting van de klep. Het gevolg is dat de oververhitting niet de ingestelde 4°C wordt, maar $-5 + 4 = 9$ K. Deze grotere oververhitting gaat ten koste van het nuttige oppervlak van de verdamper.

Hieruit valt te constateren dat mocht het drukverlies zelfs groter zijn dan het bovenstaand voorbeeld, de oververhitting nog verder terug wordt gedrongen richting de klep met als gevolg nog meer nutteloze ruimte in de verdamper. Om dit te voorkomen wordt er gebruik gemaakt van een klep met uitwendige drukvereffening.

Regelventiel met uitwendige drukvereffening

Uitwendige drukvereffening wil zeggen, dat de verdamperdruk onder het membraan niet voor, maar na de verdamper wordt weggehaald. Dit kan men bewerkstelligen door een kortsluitleiding of vereffening leiding na de verdamper achter de voeler van de klep in de zuigleiding te monteren. De druk nu, die na de verdamper heerst, is dezelfde als in de verdamper. Ook al is de damp oververhit. De te vergelijken temperatuur is dus zoals aangegeven in het onderstaand figuur.



Regelventiel met uitwendige drukvereffening

Deze temperatuur is de -5°C . Als de veer is ingesteld op een druk van 4°C en de druk van de uitwendige drukvereffening met -5°C , zal de druk onder het membraan te vergelijken zijn met -1°C . Dat betekent dat de druk, van de voeler uitgedrukt in temperatuur ook -1°C moet zijn. De laatste hoeveelheid vloeistof in de verdampers is nog steeds -5°C , dus is de oververhitting $-5^{\circ}\text{C} - (-1^{\circ}\text{C}) = 4\text{ K}$.

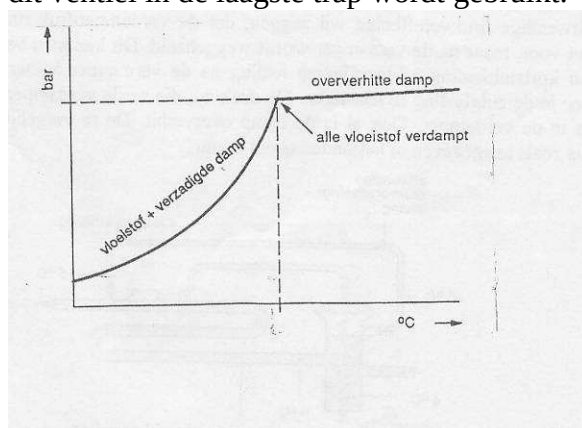
De vraag, waarom uitwendige drukvereffening? blijkt uit het voorgaande voorbeeld. Een verdampers die veel weerstand biedt, waarbij het regelventiel met uitwendige drukvereffening wordt toegepast, de oververhitting aanmerkelijk kleiner is dan bij een inwendige drukvereffening.

Uitwendige drukvereffening betekent dat de laatste hoeveelheid vloeistof zich niet zover in de verdampers terugtrekt, hetgeen betekent, dat een gedeelte van de verdampers niet benut wordt.

8.6.5 Het thermostatisch expansieventiel met MOP vulling

Dit type ventiel heeft een beperkt verdamping temperatuurgebied. Er wordt in dit ventiel een nauwkeurig afgestemde maar zeer geringe vulhoeveelheid toegepast. De geringe vulling zal bij een bepaalde temperatuur geheel verdampt zijn. Stijgt de temperatuur nu verder, dan zal de druk niet verder meestijgen. Dit is te zien in het onderstaand figuur. Het ventiel blijft dus gesloten. Omgekeerd zal de verdampersdruk eerst onder een bepaalde waarde moeten dalen alvorens het ventiel opent. Het MOP ventiel wordt over het algemeen toegepast als start regelaar om de compressor te beveiligen tegen overbelasting bij aanloop. Tevens is dit ventiel afhankelijk van de vulling geschikt voor systemen met weinig belasting variatie.

Men ziet deze ventielen wel in vloeistof koelmachines met meerdere capaciteitstrappen, waar dit ventiel in de laagste trap wordt gebruikt.



8.6.6 Het elektronisch gestuurd expansieventiel

Er zijn drie typen elektronisch gestuurde expansieventielen:

- Een motor aangedreven inspuitventiel.
- Een elektronische regelaar.
- Verscheidene temperatuur sensors.

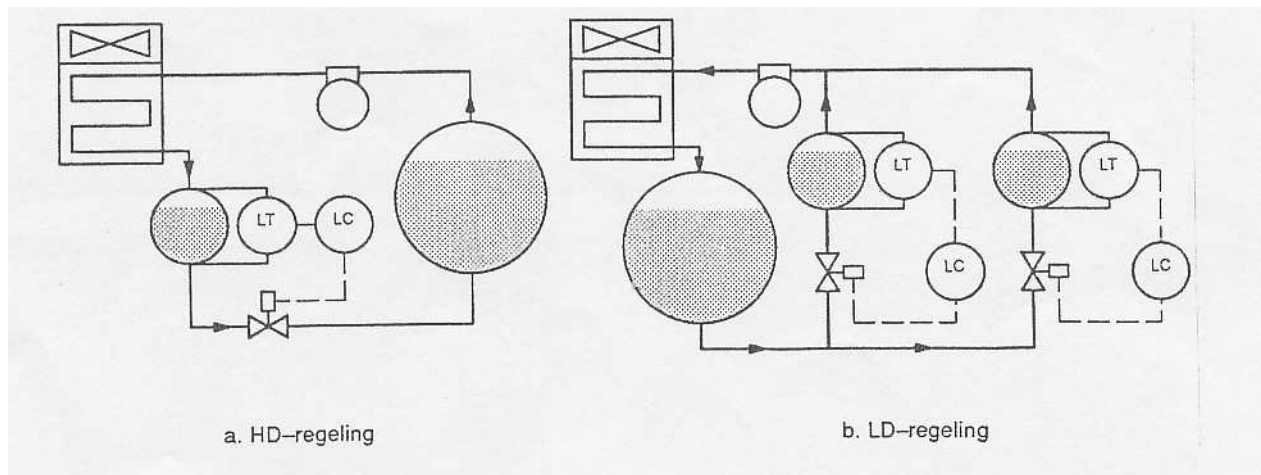
8.6.6. 1 Inspuitventielen

Deze bestaan uit drie soorten:

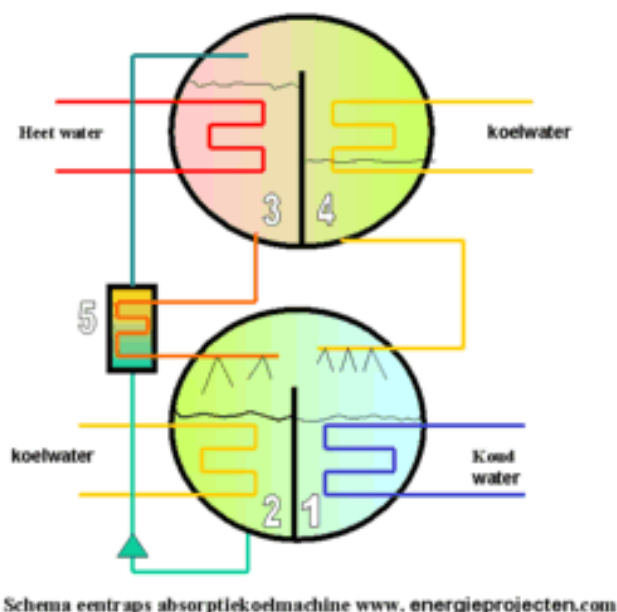
- Stappen motor geregeld. Deze heeft de mogelijkheid om in zeer kleine stappen in beide richtingen te kunnen draaien. Via een schroefdraadmechanisme wordt de ventielnaald in de gewenste openingspositie gebracht. Tevens wordt het ventiel door een microprocessor aangestuurd.
- Een thermisch motor gestuurd ventiel.
- Een magneet motor gestuurd ventiel.

8.6.7 Vloeistofniveau regelingen

Deze regelingen worden in hoofdzaak toegepast bij installaties met natte verdampers. Zoals reeds eerder aangegeven, natte verdampers hebben tot aan het eind van de verdamper nog een mengsel van maximum vloeistof en damp. Er vindt dus geen oververhitting in de verdamper plaats. Voor een goed evenwicht in het systeem is het belangrijk dat de hoeveelheid koudemiddel, die de compressor aanzuigt via een regelbare smoorklep of smooropening weer van de perskant naar de zuigkant wordt gestuurd. De regelgrootte zal dan het vloeistofniveau aan de hoge- of lagedruk zijde zijn. Zie onderstaande figuren.



8.7 Absorptie koelmachine.



De absorptiekoelmachine:

- 9 verdamper
- 10 absorber
- 11 generator
- 12 condensor
- 13 warmtewisselaar

Bij absorptiekoelmachines wordt ook gebruik gemaakt van het effect, dat een vloeistof bij verdamping warmte opneemt en bij condenseren op een hogere temperatuur weer afgeeft. Maar het bijzondere is, dat men bij de absorptiekoeling geen compressor nodig heeft! Er wordt gewerkt met chemische aantrekkingskrachten en met warmte als energiebron. De meeste absorptiekoelmachines werken met water en het zout lithiumbromide. Het water is het koudemiddel en verdampt onder vacuüm in de verdamper (1) van de koelmachine bij lage temperatuur. Het verdampen wordt bereikt door de aantrekkingskracht van een sterke wateroplossing met lithiumbromide in de absorber (2), die in openverbinding staat met de verdamper. De oplossing in de absorber trekt waterdamp aan net zoals keukenzout vochtig wordt als het zoutvaatje open blijft. Om het proces gaande te houden, moet de concentratie zout in de absorber op peil blijven en moet er steeds vers water naar de verdamper gaan. Vanuit de absorber wordt daarom vloeistof naar de generator (3) gepompt, waar water uitgedampt wordt door toevoer van warmte. De geconcentreerde vloeistof stroomt terug naar de absorber en wisselt warmte uit met de oplossing uit de absorber in een warmtewisselaar (5). De waterdamp uit de generator wordt weer neergeslagen tot water in de condensor (4) met behulp van koelwater. Dit water kan weer terug naar de verdamper.

8.7.1 De regeling

De vermogens regeling is een tweewegklep of driewegklep in de stoom of heetwater toevoer naar de generator. Deze is elektronisch gekoppeld met een sensor in het gekoeld water circuit. Afhankelijk van de belasting krijgt de klep bij de generator een signaal meer of minder energie toe te voeren.

8.7.2 Conclusie

Zoals is te concluderen, het gehele systeem werkt op basis van onderdruk. In de verdamper/absorber gedeelte liggen de drukken $z^{-1}0C$: a. 0,008 tot 0,01 bar terwijl in het hogedruk gedeelte deze ca. 0,1. bar bedraagt. Verder stellen we vast dat er bijna geen bewegende delen aan te pas komen, behalve de kleine circulatiepompjes. De energie benodigd voor het proces, stoom of heet water kan verkregen worden van reeds bestaande ketels zoals in ziekenhuizen, hotels en de industrie. Ook wordt er gebruik gemaakt van restwarmte die verkregen wordt van de radiatoren van generatoren van warmtekracht koppelingen.



Figuur 7 Carrier Absorptie koelmachine

We concluderen hieruit dat vanwege de hoge kosten van dit type koelaggregaat het alleen maar rendabel wordt indien er gebruik gemaakt wordt van reeds aanwezige restwarmte.

Verder zijn het rendement van deze systemen laag in vergelijking met een compressie koelsysteem. Een koudefactor van 0,5 tot 0,7 is standaard, er zijn echter systemen waar de koudefactor nabij factor 1 gehaald kan worden.

De koelvermogens van deze type aggregaten liggen tussen de 0,3 kW tot ca. 50001W. In de vriestechniek zijn er voorbeelden van dit type proces, hier maakt men dan gebruik van ammoniak/water mengsels. Voor kleine vermogens is dit nog haalbaar, maar voor grotere vermogens blijken de kosten van zo'n aggregaat niet meer interessant.

8.8 Toepassingen koelmachines:

Een aantal hoofdgroepen zijn te onderscheiden binnen de koelinstallaties, welke gebruikt worden voor klimaatinstallaties.

Als belangrijkste onderverdeling wordt er naar de toepassingsvorm gekeken.

Direct verdampende machines (z.g. “D-X-koelers”)

Indirect verdampende machines.

De medium kant gezien wordt er ook een onderverdeling gemaakt.

We bekijken dan welk medium er beschikbaar is om de condensor warmte af te voeren (water of lucht) en we bekijken welk product we aan het koelen zijn (Water of lucht).

We onderscheiden dan ook op deze wijze de volgende variaties:

Een lucht-lucht koelmachine

Een water-lucht koelmachine

Een lucht-water koelmachine

En een water-water koelmachine.

In het verder hoofdstuk zullen we er een aantal behandelen.

8.8.1 Window koelers.

De window koeler is een heel bekende. We zien hem veelal terug boven de deur van winkel of als losse units in wanden geplaatst.



een

een

Omschrijving:

Dit apparaat bestaat uit een “binnendeel” en “buitendeel”, samengebracht in 1 kast.

Het deel dat aan de binnenkant van het gebouw hangt is voorzien van een verdamper met een ventilator. De ventilator zuigt binnenlucht aan en blaast die over de verdamper weer naar binnen toe.

Dat deel dat buiten hangt is voorzien van de condensor. Ook hier is weer een ventilator in gemonteerd, welke buitenlucht over condensor heen voert om de daar af te geven condensatiewarmte af te voeren.

Ook is de compressor in het buitendeel geplaatst. Dit heeft men vanuit geluidsoverwegingen zo uitgevoerd.

Systeem.

Omdat de verdamper direct in de te koelen luchtstroom hangt is dit een z.g. “DX” uitvoering. En omdat zowel aan de binnenkant direct warmte onttrokken wordt aan de ruimte lucht en aan de buitenkant de condensatiewarmte direct wordt afgegeven aan de buitenlucht zien we dat dit een “lucht-lucht” machine is.

Tevens zal de verdampingstemperatuur van een DX-unit laag zijn. Daardoor zal ook de verdamperoppervlaktetemperatuur laag zijn.

Terug kijkend naar de lessen “Mollier” kunnen we dan concluderen dat de lucht welke langs de verdamper stroomt zo diep gekoeld zal worden dat er ontvochtiging plaats zal vinden.

Dit is een van de karakteristieke eigenschappen van een DX unit. Dit is niet altijd gewenst.

Toepassing:

Daar waar de te koelen ruimtes tegen een buitenwand aan geplaatst zijn. Meestal bij kleine koelvermogens. (Gebruikelijke koelvermogens van ca. 2 tot 7 kW)

Mogelijkheden en beperkingen::

- Ruimte temperatuur regelen. (aan-uit regeling)

- Ontvochtigen (bij koeling) maar niet gecontroleerd, zodat de lucht in de ruimte soms erg droog kan worden.
- Verwarmen, is soms een optie. De oudere toestellen door middel van een elektrisch verwarmingselement en de nieuwere zijn meestal uitgevoerd als warmtepomp.
- Erg onderhoudsgevoelig. Elke ruimte zijn eigen unit. Denk hierbij aan filters vervangen en reinigen.
- De compressor met ventilatoren zijn in, of tegen de ruimte aan gemonteerd zodat er geluidhinder kan ontstaan.
- Systeem gebaseerd op recirculatie van de ruimte lucht. Dus geen verse buitenlucht toevoer. Er zijn uitvoeringen waarbij men door middel van een klepje tussen binnen en buitenunit open te zetten, wat verse lucht binnen kan krijgen.

Energie en milieu

De overdracht van energie tussen het koelmiddel in het systeem en de lucht er buiten is bij lucht-lucht machines altijd een probleem. Zonder hierop verder in te gaan kunnen we ons denk ik wel voorstellen dat waterkoeling gemakkelijker gaat dan luchtkoeling.

Dit heeft tot gevolg dat het temperatuurverschil tussen het koelmiddel en het koelend medium groter is. Dit heeft weer tot gevolg dat het rendement (COP) over het algemeen lager is dan een “water-water” machine.

8.8.2 Split units



Omschrijving:

Split units zijn identiek aan de “window koelers” met die uitzondering dat men het binnendeel en het buiten deel van elkaar losgekoppeld heeft.

Het binnendeel (links) staat met het buitendeel (rechts) in verbinding door twee

pijpen voor het transport van het koelmiddel tussen expansieventiel en verdamper (binnen) en compressor en condensor (buiten).

Een voordeel van een dergelijk systeem is dat men de delen enkele meters uit elkaar kan zetten. Hierdoor is er minder last hinderlijk compressorgeluid in de te koele ruimte en men hoeft ook geen groot gat in de wand te maken.



van

Systeem:

Zie “window koelers”

Toepassing:

Meestal bij kleine koelvermogens. (Gebruikelijke koelvermogens van ca. 4 tot 7 kW)

Mogelijkheden en beperkingen::

Ruimte temperatuur regelen. (aan-uit regeling)

Ontvochtigen (bij koeling) maar niet gecontroleerd, zodat de lucht in de ruimte soms erg droog kan worden.

Verwarmen, is soms een optie. De oudere toestellen door middel van een elektrisch verwarmingselement en de nieuwere zijn soms uitgevoerd als warmtepomp.

Erg onderhoudsgevoelig. Elke ruimte zijn eigen unit. Denk hierbij aan filters vervangen en reinigen.

Ook ruimtes welke niet aan een buitenwand grenzen kunnen gekoeld (verwarmd) worden

Hoewel de compressor niet meer tegen de ruimte aan gemonteerd is, blijft er nog wel een ventilator over, die mogelijk geluidshinder veroorzaakt.

Systeem gebaseerd op recirculatie van de ruimte lucht. Dus geen verse buitenlucht toevoer..

Energie en milieu

De overdracht van energie tussen het koelmiddel in het systeem en de lucht er buiten is bij lucht-lucht machines altijd een probleem. Zonder hierop verder in te gaan kunnen we ons denk ik wel voorstellen dat waterkoeling gemakkelijker gaat dan luchtkoeling.

Dit heeft tot gevolg dat het temperatuurverschil tussen het koelmiddel en het koelend medium groter is. Dit heeft weer tot gevolg dat het rendement (COP) over het algemeen lager is dan een “water-water” machine.

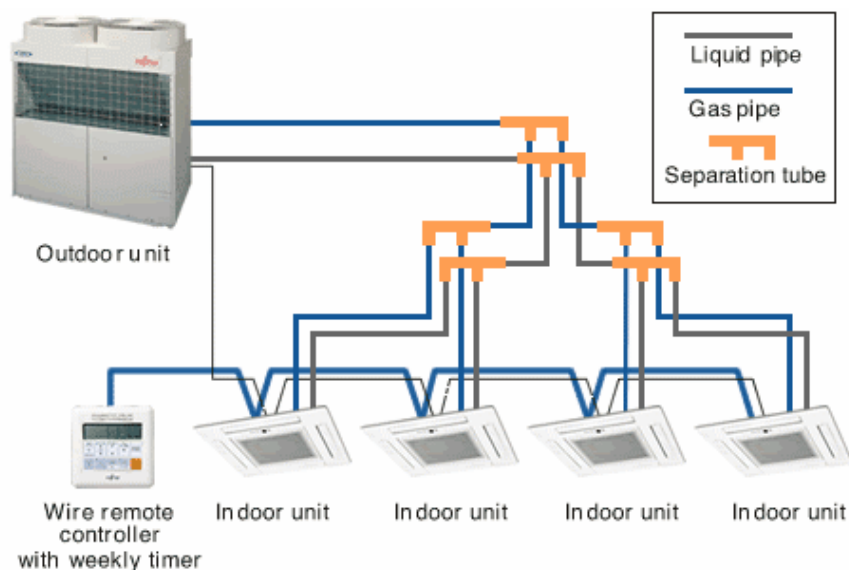
Tevens is de kans op lekkage groter omdat er leidingen gekoppeld en gemonteerd moeten worden tussen de beide delen.

8.8.3 Multisplit units

Omschrijving:

Multisplit units zijn identiek aan split units meer dan met de mogelijkheid om aan 1 buitenunit meerdere binnenunits te koppelen. (Lucht-lucht machine)

Note: de hier getekende uitvoering is ook als warmtepomp te gebruiken.



Toepassing:

Daar waar meerder te koelen ruimtes aanwezig zijn. Deze systemen worden tegenwoordig aangeprezen voor de middelgrote kantoor ruimtes. (Gebruikelijke koelvermogens tot ca. 14 kW)

Mogelijkheden en beperkingen:

- Ruimte temperatuur regelen. (aan-uit regeling)
- Ontvochtigen (bij koeling) maar niet gecontroleerd, zodat de lucht in de ruimte soms erg droog kan worden.
- Verwarmen, is meest meegenomen in de vorm van een warmtepomp uitvoering.
- Erg onderhoudsgevoelig. Elke ruimte zijn eigen unit. Denk hierbij aan filters vervangen en reinigen.
- Ook ruimtes welke niet aan een buitenwand grenzen kunnen gekoeld (verwarmd) worden
- Hoewel de compressor niet meer tegen de ruimte aan gemonteerd is, blijft er nog wel een ventilator over, die mogelijk geluidshinder veroorzaakt.
- Grote koelmiddelinhoud van het systeem. Dit kan gevolgen hebben voor de frequentie van het onderhoud. (STEK-eisen)
- Systeem gebaseerd op recirculatie van de ruimte lucht. Dus geen verse buitenlucht toevoer.

Naast de onderwerpen genoemd bij de voorgaande systemen geldt hier dat er veel koelmiddel in het systeem zit omdat er door het hele gebouw heen koelmiddelleidingen moeten lopen. Hier door kan er bij een optredende calamiteit ook veel ontsnappen. Tevens is de kans op lekkage groter omdat er grote afstanden leidingen gekoppeld en gemonteerd moeten worden tussen de beide delen.

Er bestaan ook multi split units waarbij de condensor wordt gekoeld door water. Dit verhoogd de COP van de koelinstallatie. Dit dan dus een “lucht-water” machine.

8.8.4 DX systemen in luchtbehandelingkasten.

Omschrijving

Luchtbehandelingkasten bestaan veelal uit een kast waarin de toe te voeren lucht wordt (voor)behandeld en een tweede kast waarmee de afvoerlucht naar buiten gebracht wordt. (We zullen later uitvoerig in gaan op de luchtbehandelingkasten.) De reden dat men zowel voor de toevoer als voor de afvoer geforceerde ventilatie toepast is niet alleen om zo de mogelijkheid te hebben de benodigde debieten nauwkeurig in de hand te kunnen houden maar ook om zo de mogelijkheid te hebben om warmte terug te winnen uit de afgevoerde lucht.

Systeem:

Deze opstelling is ook weer een lucht-lucht machine.

Toepassing

De koelmachine wordt in zijn geheel binnen de luchtbehandelingkast geplaatst. In het afvoer kanaal wordt de verdamper van de koelmachine geplaatst en gelijktijdig in het toevoer kanaal de condensor, dan zien we dat we op deze wijze warmte uit de afgevoerde lucht halen en in de toegevoerde lucht wordt stopt.

Dit is de gebruikelijke warmteterugwinning. Een veel gebruikte toepassing is voor zwembad ventilatie. We hebben daar lucht met veel vocht er in voeren we dit af, dan gaat de daarin aanwezige waterdamp rechtstreeks naar buiten toe. (En daar zit veel energie in.)

Plaatsen we nu een DX verdamper in de afvoerkast, dan zal dit vocht daarop gaan condenseren en de warmte die daaruit onttrokken wordt afgegeven in de condensor, welke in de toevoer luchtstroom wordt geplaatst..

Mogelijkheden en beperkingen:

- Bij gebruik in zwembaden veel energie terug te winnen door ontvochtiging van de afgevoerde lucht.
- Bij gebruik als koeling (zomersituatie) dan zal ook hier de toegevoerde lucht ontvochtigd worden.
- Relatief kleine koelmiddel inhoud omdat het gehele systeem in de luchtbehandelingkast zit.

Energie en milieu

Voor al bij toepassing in zwembaden kan deze installatie er sterk toe bijdragen dat het energieverbruik minder wordt.

8.8.5. Koudwatermakers (Chiller)

Voor de grotere installaties wordt veelal gebruik gemaakt van water (water-glycol mengsel) als transport medium tussen de eigenlijke koelinstallatie en de plaatsen waar we koeling nodig hebben.

Omschrijving

Het hart van een dergelijke installatie is ook weer de koelmachine. Binnen de installatie wordt via de daarin geplaatste verdamper water afgekoeld. Dit water kan dan vervolgens door het toe koelen gebouw worden gepompt. Ween veel gebruikte temperatuur is 6° C als uitgaande temperatuur van de installaties. In dat geval rekent men er op dat het water met een temperatuur van ca. 12°C weer terug komt naar de koudwatermaker.

Systeem

Deze systemen koelen in de verdamper water af en geven deze energie weer af, via de condensor, aan een ander medium.

Er bestaan hierin twee uitvoeringen nl:

Luchtgekoelde condensoren. Hierbij wordt de warmte afgegeven aan de buitenlucht. (Zie plaatje hiernaast) Dit is dan een z.g.n. Water-lucht machine.

Deze installaties hebben relatief veel ruimte nodig omdat de luchtgekoelde condensoren vrij veel ruimte in nemen.



En ook zijn er koudwatermakers met watergekoelde condensoren. Deze machines, zoals hier naast afgebeeld, kunnen een koelvermogen leveren tot meer dan 5 MW.

In verhouding tot de luchtgekoelde uitvoering nemen deze installaties minder ruimte in omdat een watergekoelde condensor veel kleiner kan zijn dan een luchtgekoelde.

Wel zal er dan ook koelwater beschikbaar moeten zijn. We zien deze installaties dan ook veel gebruikt in samenhang met warmte-koude opslag in de bodem, want daar is n.l. water beschikbaar.



Toepassing

Deze koudwatermakers worden zeer veel gebruikt binnen de klimaatinstallaties. Vooral als het gaat om grote vermogens en om grote gebouwen waarbinnen op veel, uiteenlopende, locaties koude nodig is.

Mogelijkheden beperkingen

Door een koudwater net te kiezen heeft men geen koelmiddelleidingen meer binnen het gebouw.

Een groot koelvermogen en een relatief klein koelmiddelinhoud in gunstig in de onderhoudskosten (STEK)

Een nadeel kan zijn dat er een tussenmedium gebruikt wordt. Elk tussen medium heeft een temperatuurverschil nodig om zijn energie over te dragen. Hierdoor is uiteindelijk een groter temperatuurverschil nodig tussen de verdamper temperatuur en de temperatuur van de te koelen lucht. (ongunstiger COP)

Er kan minder makkelijk ontvochtigd worden. Dan met een DX koeler. De water temperatuur is n.l tussen de 6 en 12°C terwijl dit bij een DX systeem veel lager is.

Voorgaande wordt ook als een voordeel gezien. Want men wil juist lang niet altijd ontvochtigen.

Energie en milieu

De laatste jaren is er door veel leveranciers erg veel energie gestoken aan het verbeteren van het rendement maar ook het gebruik van minder schadelijke koelmiddelen is, mede door het Montreal protocol, sterk toegenomen.

De laatste jaren is men ook tot het besef gekomen dat een koelinstallatie slechts zelden op het maximale ontwerpvermogen zal werken, maar het grootste deel van zijn tijd op deellast draait.

Dit betekent dat de COP's bij deellast veel meer invloed hebben op het totale energieverbruik van een installatie op jaarbasis.

Bij de ontwikkeling van de moderne koelmachines wordt dan ook steeds meer rekening gehouden met de COP in deellast.

8.8.6 EUROVENT

the European Committee of Air Handling and Refrigeration Equipment Manufacturers.

Wordt er steeds meer gekeken naar de rendementen bij deellast, dan ontstaat ook direct de behoefte om verschillende producten met elkaar te kunnen vergelijken.

Dit wordt haast ondoenlijk zonder daarover goede afspraken te maken.

Daarom is enige jaren geleden de organisatie "Eurovent" opgericht. (<http://www.eurovent-association.eu/>)

Deze heeft zich mede ten doel gesteld om normen te stellen aan de meetmethoden voor het bepalen van o.a. capaciteiten van luchtbehandeling en koeltechnische apertuur.

De organisatie geeft in dat kader inmiddels ook certificeringen af op deze apparaten.

Men houdt zich ook bezig met geluidsmetingen en het vergelijkbaar maken van de resultaten daarvan van verschillende apparaten.

De grote leveranciers zijn vrijwel allemaal daarbij aangesloten.

9. Warmteopwekking

In onze klimaatzone is het begrip warmteopwekking al heel oud. Waar we eerst met een kampvuurtje zijn begonnen werd de behoefte naar meer stabiele warmteopwekking steeds groter.

De Romeinen hadden al een vorm van centrale (vloer) verwarming uitgevonden om in de noordelijke streken de huizen beter bewoonbaar te kunnen maken.

Tegenwoordig zien we een diversiteit aan mogelijkheden, al dan niet gecombineerd met andere systemen.

9.1 Ketels

Ketels is een verzamelnaam voor installaties welke een brandstof omzetten in warmte.

Daardoor zien we een enorme diversiteit aan soorten ketels.

We kunnen deze onderverdelen op vele verschillende manieren nl:

- Naar druk
 - Hoge druk Dit type komen we veel in energiecentrales tegen, maar ook in grotere industrieën. Men kan met de daar geproduceerde Hoge Druk stoom elektrische energie opwekken.
- Lage druk.
Dit soort ketels komt men veel tegen in installaties waar men veel warmte van lage temperatuur nodig heeft, maar ook op plaatsen waar men veel moet bevochtigen. Deze ketels werken vaak met drukken welke niet ver boven de atmosferische druk liggen.
- Atmosferische ketels. Deze ketels werken bij drukken die gelijk zijn aan de atmosferische druk. Daardoor zullen deze ook veelal geen stoom opwekken, maar warm water maken. (m.u.v. een stoombevochtiger)
- Naar constructie:
 - Waterpijpketels. Ketels waarbij het water door de pijpen stroomt en de warmte daaromheen staat. Dit zijn veelal de moderne Hoge druk stoomketels.
 - Vlampijpketels. Bij deze ketels is de ketel inwendig gevuld met water waardoorheen pijpenbundels lopen waardoor het hete gas stroomt. De eerste ketels b.v. op stoomlocomotieven waren van dit type (Schotse ketel). Dit basis principe wordt nog erg veel toegepast, vooral bij lage druk stoomketels en bij grote warmwaterketels.



- Naar geleverd product:
 - Stoomketels. Deze leveren Stoom (hoge- of lagedruk)
 - Warmwaterketels. De, in de klimaat techniek, meest gebruikte ketelsoort.
- Naar Brandstof soort.
 - Olie gestookte ketels (Veelal dieselolie, maar ook andere vloeibare brandstoffen worden wel gebruikt.) We zien dit soort ketels minder dan vroegen, mede doordat het gasleidingnet in Nederland bijna volledig dekkend is.
 - Gasgestookte ketels. In Nederland worden veruit de meeste ketels met gas gestookt.
 - Houtgestookte ketels. Moderne houtgestookte ketels worden op dit moment kleinschalig steeds meer toegepast. Men gebruikt hiervoor dan afvalhout.
- Naar rendement. Dit begrip wordt toegepast bij de CV ketels welke we binnen de gebouwde omgeving tegen komen.
 - Normaal rendement
 - Verbeterd rendement (VR)
 - Hoog rendement (HR)

9.2 Verbranding en stookwaarde:

Zonder in te willen gaan op de chemische processen welke bij verbranding een rol spelen willen we in deze paragraaf de toepassingsmogelijkheden toelichten van verschillende brandstoffen voor ketels.

Theorie:

Stookwaarde:

De energetische waarde geeft aan hoeveel water een bepaalde brandstof bij volledige verbranding in staat is te verwarmen van 14,5 °C naar 15,5 °C te verwarmen. Dit wordt gemeten bij atmosferedruk (de standaard luchtdruk die overal heerst). De verwarming van 1 gram water met 1 graad is 1 calorie (= 4,186 joule). Deze eenheid wordt niet meer in het SI eenhedenstelsel gebruikt.

Boven waarde en onderwaarde

Hierboven wordt gesproken over de warmte die vrijkomt bij verbranding. Dit wordt ook wel *energetische bovenwaarde*, *bruto stookwaarde* of *verbrandingswaarde* (H_b) genoemd. Er is ook een *energetische onderwaarde*, ook (*netto*) *stookwaarde* (H_o) genoemd. Dit is de warmte die vrijkomt bij verbranding *zonder* de condensatiewarmte van de verbrandingsgassen mee te rekenen

Dus: **Bovenwaarde is onderwaarde + condensatiewarmte**

9.3 Praktijk:

Aardgas:

In Nederland wordt aardgas veruit het meeste toegepast voor verwarmingsdoeleinden.

Voor standaard Nederlands aardgas bijvoorbeeld is de bovenwaarde $35,17 \text{ MJ/m}^3$ en de onderwaarde is $31,65 \text{ MJ/m}^3$.

De samenstelling van gewonnen aardgas, en daarmee de energetische waarde, varieert. In Nederland wordt het geleverde gas gemeten in m^3 . Om te corrigeren voor verschillen in energetische waarde, wordt het geleverde aardgas teruggerekend naar één standaard verbrandingswaarde.

Particulieren vinden op de afrekeningen van het gasbedrijf de energetische waarde (of calorische waarde) van het geleverde gas terug.

Van groot belang is te weten dat er bij verbranding van aardgas ook veel water (damp) vrij komt. De temperatuur waarbij gas verbrand is hoog en daardoor is de waterdamp is dan ook aanwezig in de vorm van waterdamp.

In deze waterdamp is veel energie aanwezig (de condensatiewarmte) Het terug winnen van deze energie vanuit de waterdamp maakt dan ook het verschil tussen een VR en een HR ketel.

Aardolieproducten.

Hoewel steeds minder gebruikt (mede door de goede beschikbaarheid van aardgas) worden er nog aardolieproducten voor verwarmingsdoeleinden toegepast.

De meest bekende zijn:

- Dieselolie (en Huisbrandolie)
- Stookolie.

De dieselolie wordt tegenwoordig hoofdzakelijk nog toegepast in oude installaties welke ooit zo ontworpen zijn en in installaties die van groot belang zijn voor continuïteit van processen.

Voorbeelden hiervan zijn de noodgeneratoren van gemalen. Men wil in geval uitval van elektriciteitsvoorzieningen en gasleveranties tocht de polders droog kunnen houden.

Zware olie zien we voor de hele grote centrales nog deels gebruikt worden maar ook in de scheepvaart wordt dit product regelmatig toegepast.

Hout:

Hoewel nog niet op grote schaal toegepast zien we toch dat ook hout als energiebron in opkomst is.

Hout wordt toegepast op kleine schaal voor woningverwarming.

- We zien de bekende hout stook kachels in woningen. Deze leveren hoofdzakelijk stralingsenergie en worden per ruimte ingezet.
- Daarnaast zijn er houtgestookte kachels met een warmtewisselaar er in. Deze warmtewisselaar onttrekt warmte aan de rookgassen en verspreid deze via een CV systeem door de woning. Hiermee waren hogere rendementen gehaald.

brandstof	Bovenwaarde verbrandings waarde	Onderwaarde stook waarde
EZO 1%	42,60 MJ/kg	40,06 MJ/kg
	11,83 kWh/kg	11,13 kWh/kg
gasolie	38,81 MJ/l	36,47 MJ/l
	10,78 kWh/l	10,13 kWh/l
Lamppetroleum	37,01 MJ/l	34,68 MJ/l
	10,28 kWh/l	09,63 kWh/l
Aardgas (Slochteren)	35,20 MJ/Nm ³	31,68 MJ/Nm ³
	9,78 kWh/Nm ³	8,80 kWh/Nm ³
Aardgas(rijk)	42,40 MJ/Nm ³	38,16 MJ/Nm ³
	11,78 kWh/Nm ³	10,60 kWh/Nm ³
Propaan	26,20 MJ/l	26,20 MJ/l
	7,28 kWh/l	7,28 kWh/l
Kolen (vlam)	32,90 MJ/kg	31,10 MJ/kg
	9,14 kWh/kg	8,64 kWh/kg
Hout	18,59 MJ/kg	15,80 MJ/kg
	5,16 kWh/kg	4,39 kWh/kg
Elektriciteit	3,60 MJ/kWh	

- We zien tegenwoordig ook houtgestookte ketels welke alleen maar een CV systeem voeden en welke men maar 1 maal per dag bij hoeft te vullen waarna de installatie zelfregelend is.



Maar ook op grotere schaal experimenteert men met hout als energie bron:

- Houtvergassingsinstallaties. Hout pellets die uit afvalhout worden gemaakt.
- Biomassa omzetting. In Hengelo wordt op dit moment een grote installatie gebouwd die in staat is om biomassa, uit afvalhout, om te zetten in brandstofolie.

9.4 Warmte terugwinning uit waterdamp:

Uit de voorgaande tabel kunnen we lezen dat de meest gebruikte brandstoffen een bovenwaarde en een onderwaarde hebben welke niet aan elkaar gelijk is. Daaruit kunnen we opmaken dat er bij alle verbrandingen in meer of mindere mate vocht vrij komt. In gasgestookte ketels zullen we proberen zo veel mogelijk van dit vocht te laten condenseren om zo een zo hoog mogelijk rendement te halen uit de brandstof. (We komen daar later op terug)

Bij vele andere brandstoffen ligt dat iets complexer.

Kijken we b.v. naar zware olie dan zit daar meestal (afhankelijk van het producerende land) van nature een zekere hoeveelheid zwavel in.

Laten we bij dit soort installaties de rookgassen zo ver afkoelen dat er condensatie op zal treden dan zien we dat er zwavelzuur ontstaat (reeds bij ca 152°C) Dit is funest voor de installatie. Daarom zien we dan ook dat hierbij eigenlijk nooit voor een condenserende installatie gekozen wordt.

Andere soorten brandstof is het verschil vaak te klein om de installatie rendabel te kunnen aanpassen.

Gas, een relatief schone brandstof, is daar wel geschikt voor en daarom zien we dan ook de verschillen tussen de keteltype terug komen.

9.5 Gasgestookte ketels.

Gas gestookte ketels zijn er in zeer veel maten (van 4 kW tot meer dan 15 MW) maar ook ven zo vele merken zijn er op de markt.

We zien merken die zich hoofdzakelijk richten op de woningbouw markt (projectketels) en andere die meer in de grote uitvoeringen hun markt zien.

Onderscheiden naar rendement, heb je de keuze uit drie keteltypen: de conventionele ketel, de ketel met verbeterd rendement (VR) en de hoog-rendement ketel (HR). De laatste twee (energiezuinige) keteltypen zijn doorgaans uitgerust met moderne brandertechnieken. Steeds vaker worden cv-ketels niet alleen ingezet voor de ruimteverwarming, maar tevens voor de levering van warm water. In vakjargon spreken we dan over de combi(ketel).

9.5.1 Conventioneel

Een conventionele ketel heeft een rendement van circa 75% (op bovenwaarde). De warmte-afgifte van de verbrandingsgassen aan het cv- water is minimaal ten opzichte van VR en HR, en er treden stilstandverliezen op.

De regeling is doorgaans vrij eenvoudig. De brander komt vol in bedrijf tot de gewenste temperatuur is bereikt en schakelen zich uit. Aanschaf en installatie van dit type zijn relatief goedkoop. Daar staat tegenover dat het duurder in gebruik is. Er zijn geen extra voorzieningen nodig en vaak volstaat een simpele kamerthermostaat. Ook is de jaarlijkse onderhoudsbeurt goedkoper. Dit type toestel is over het algemeen niet bijzonder geavanceerd en is uitgerust met standaardonderdelen.

9.5.2 VR

De VR-ketel is een cv-ketel met een - ten opzichte van de conventionele ketel - verbeterd rendement (minimaal 80% op bovenwaarde). Deze ketels maken geen gebruik van de uit de condensatie van waterdamp vrijkomende warmte. Daardoor zijn ze constructief minder ingewikkeld en goedkoper te installeren dan de HR-ketel (maar die springt weer 10% zuiniger om met energie). Geef je de voorkeur aan een lagere aanschafprijs tegenover hoger uitvallende energiekosten, dan is dit jouw type ketel.

De meeste ketels van dit kaliber hebben een modulerende regeling. Afhankelijk van de ingestelde temperatuur wordt de gashoeveelheid die naar de branders wordt gestuurd, aangepast. Het toestel blijft langer op laagstand in bedrijf waardoor hij minder stilstandsverlies geeft. Het schakelt minder, waardoor temperatuurhiaten worden voorkomen. De meeste VR- ketels zijn (open of gesloten) wandketels, al dan niet in combinatie met een warmwatervoorziening.

9.5.3 HR



Een HR-ketel is een ketel met een rendement van meer dan 90%. Er is zelfs een HR-ketel met een rendement van 98,5% (aangeduid als de Super HR-ketel)

De HR-ketel is geconstrueerd volgens een geheel ander concept. Het hoge rendement wordt voor een belangrijk deel verkregen door een optimale overdracht van de warmte uit de verbrandingsgassen aan het cv-water. Als gevolg hiervan wordt de temperatuur van de verbrandingsgassen zó laag, dat er waterdamp ontstaat, die condenseert.

Dit keteltype heeft een geïntegreerde chip voor regeling en beveiliging. Die maakt het mogelijk tegen geringe kosten een pompschakelaar in te bouwen, zodat ook op stroomkosten wordt bespaard. Binnen dat concept past eveneens een elektronische ontsteking die de

waakvlam overbodig maakt, wat opnieuw besparing oplevert.

HR-ketels zijn voorzien van een ventilator voor het aanzuigen van de verbrandingslucht en het afvoeren van verbrandingsgassen. Deze ventilator maakt de weg vrij voor de gesloten uitvoering, met opnieuw extra besparingen op aardgas en met tevens een grote mate van veiligheid. Wie zijn conventionele ketel vervangt door een HR-model, is duurder uit bij aanschaf en installatie, maar bespaart globaal al gauw flink op de verwarmingskosten.

9.5.4 Optimalisatie.

Zoals we gezien hebben is het verschil tussen een VR-ketel en een HR-ketel het al dan niet kunnen terug winnen van de condensatiewarmte uit de rookgassen.

Het punt waarop deze condensatie plaats vindt is afhankelijk van de luchtverhouding (zie handboek installatietechniek H1.7) maar licht zo net boven de 50°C.

Daar we deze warmte nuttig willen gebruiken zullen we deze over moeten kunnen brengen naar b.v. ons CV water.

De consequentie daarvan is dat de temperatuur van het CV water lager moet zijn dan deze condensatietemperatuur op het moment dit deze weer terug de ketel in komt anders zal er geen warmteoverdracht plaats vinden. Dit is dan ook de reden dat we naar z.g.n. "laag temperatuur verwarming" over gaan.

De HR-ketel zal ook bij hogere retourtemperaturen naar behoren functioneren, maar er zal geen condensatie op treden waardoor de werking en het rendement gelijk wordt aan dat van een VR ketel.

Dit is vaak een probleem bij het vervangen van oude ketels voor nieuwe. We moeten ons er dan wel goed van bewust zijn dat we bij een lage watertemperatuur de woningen in gaan en dan bestaat de kans dat de afgifte elementen (b.v. radiatoren) niet groot genoeg zijn. (Daarover later)



Tevens zien we dat doordat de rookgassen een erg lage temperatuur krijgen deze niet meer onder natuurlijke trek de schoorsteen uit kunnen. Daarom heeft een HR-ketel dan ook een rookgasventilator, die er voor moet zorgen dat de rookgassen vanuit de ketel door de schoorsteen heen naar buiten afgevoerd worden.

9.5.5 Europese regelgeving:

Europese regelgeving schrijft voor dat we rendementen van verwarmingsketels altijd moeten baseren op de onderwaarde. Dat wil zeggen, dat de hoeveelheid energie die een verbrandingsinstallatie uit een kg. of nm^3 kan halen gedeeld wordt door de stookwaarde van deze brandstof.

We zien dan het rare verschijnsel ontstaan dat we bij HR ketels, waarbij men (een deel van) het vocht uit de rookgassen condenseert rendementen kan halen die tot 107% kan oplopen. Dit klinkt onlogisch, maar de oorzaak ligt, zoals hierboven omschreven, in de referentiewaarde.

9.6 Stadsverwarming

Stadsverwarming zoals we dat nu in ontwikkeling zien, is niet meer de stadsverwarming van een 20 tot 30 jaar geleden. Er worden steeds meer nieuwe mogelijkheden toegepast. De Engelse benaming "District Heating" komt daarom dichterbij de buurt.

We onderkennen nu een aantal verschillende toepassingsvormen nl:

- De originele stadsverwarming, waarbij de restwarmte van een energiecentrale via een groot netwerk door een stad naar de afnemer gepompt wordt. Als voorbeeld hiervan kunnen we een z.g.n. STEG installatie zien.
- Netwerken binnen b.v. bedrijventerreinen, waar bepaalde bedrijven op bepaalde tijden overschotten aan warmte hebben welke ze dan weer aan andere in de buurt kunnen verkopen.
- En, nog kleinschaliger, systemen in b.v. de glastuinbouw. In Zeeuws Vlaanderen is op dit moment een project in ontwikkeling waarbij een chemische industrie haar restwarmte, maar ook rest CO₂ aan de nabijgelegen glastuinbouw gaat leveren.
- Op dit moment is er binnen de regio Rotterdam een project gestart waarbij men op grote schaal restwarmte uit de Botlek wil gaan aansluiten op de stadsverwarmingnetten van Rotterdam en, in de toekomst ook, van Dordrecht en Delft.

Eigenschappen:

Voor veel processen waarbij geldt dat er restwarmte beschikbaar komt geldt ook dat de gewenste proces temperaturen van groot belang zijn voor het goed functioneren van het eigenlijke proces. Dit houdt in dat men wel een van te voren afgesproken water temperatuur kan leveren aan de afnemers van de restwarmte maar daarbij ook strakke eisen stellen aan de temperatuur van het retour water.

Daarom zien we bij dit soort systemen dan ook veel z.g.n. tweeweg regelingen. Hierbij regelt men het waterdebiet bij verminderde warmtevraag steeds verder terug met als doel de retourwatertemperatuur zo constant mogelijk (en zo laag mogelijk) te houden.

Een ander probleem, daaraan gerelateerd, is dat men veelal in de zomer geen verwarming nodig heeft, waardoor er geen afname plaats vindt. Het gevolg is dat het rendement van een centrale dan lager wordt.

Men tracht dit op te lossen door 's zomers ook warmte afnemers te zoeken.

In Utrecht b.v. wordt in de zomer de restwarmte van de centrale (tegen gunstig tarief) verkocht aan Hoog Catharijne, waar men dit in een absorptiekoelmachine gebruikt om het winkelcentrum te koelen.

9.7 warmtekracht installaties

Ten behoeve van de installaties en apparatuur in (utiliteits) gebouwen zal er vrijwel altijd een hoeveelheid elektrische energie nodig zijn. Deze energie kopen we dan in van het NUTS bedrijf.

Daarnaast zal er ook in de meeste gevallen behoefte zijn aan een hoeveelheid thermische energie. Dit kan in de vorm van warmte, maar ook in de vorm van koude zijn.

Het opwekken van elektrische energie in elektriciteit centrales geeft rendementen van 40 tot 44% bij een optimaal draaiend systeem.

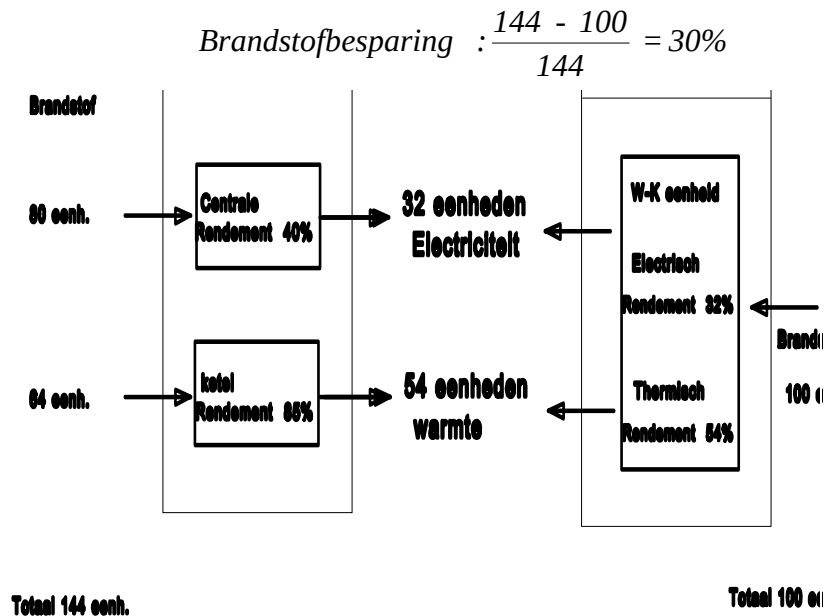
Daarnaast gebruiken we ook nog een hoeveelheid thermische energie, waarvan de vraag naar verwarming vaak het grootst is.

Deze warmte wekken we op in (gasgestookte) ketels. (rendementen van 85 tot 90%) Het begrip Warmte-Kracht koppeling wil nu deze twee stromen integreren.

De restwarmte die vrij komt bij de opwekking van de elektrische energie (kracht) toepassen op de plaatsen waar er behoefte is aan thermische energie (warmte).

We krijgen dan een rendement verbetering van de totale installatie.

Dit betekent niet dat het rendement van de elektrische energie opwekking hoger wordt (veelal wat lager) maar dat de hoeveelheid energie die in de brandstof wordt toegevoerd beter wordt benut.



Uit het voorgaande verhaal is duidelijk op te maken dat willen we gebruik gaan maken van een W-K installatie we eerst grondig moeten bestuderen hoe de behoeften liggen aan zowel elektrische als thermische energie.

Bekijken we voorgaande voorbeeld en we kunnen zien dat er een totaal rendement van de brandstof hebben van $32+54 = 86\%$.

Plaatst men deze installatie in een toepassing, waar men maar de helft van de thermische energie werkelijk gebruikt kan worden (De behoeften zijn niet groter) Dan kunnen we zien dat het totaal rendement $32+27 = 59\%$ is geworden.

De generator van een W-K installatie kan op verschillende manieren worden aangedreven.

- Dieselmotor
- Stoomturbine
- Gasmotor
- Gasturbine

De dieselmotor wordt niet veel meer toegepast, omdat in Nederland voldoende gasvoorraden zijn en het gebruik van gas aanmerkelijk minder milieu belastend is.

De stoomturbine aandrijving vindt men hoofdzakelijk in elektriciteit centrales, waar men stadsverwarming levert.

Er moet dan wel rekening gehouden met het temperatuur nivo van de restwarmte.

Deze moet hoger liggen dan welke bij normaal bedrijf gebruikelijk is.

Het gevolg is dat de condensor temperaturen hoger moeten liggen dan normaal waardoor er minder vermogen geleverd kan worden door de turbine en het elektrisch rendement dus iets naar beneden zal gaan.

De overgebleven twee, gasmotor en gasturbine, zijn over het algemeen de meest toegepaste aandrijvingen in de particuliere toepassingen.

De beide uitvoeringen hebben principiële verschillen in toepassingsgebied.

Belangrijke verschillen liggen in het temperatuurniveau waarop de restwarmte beschikbaar komt en de verhouding tussen de geleverde elektrische en thermische energie.

Een gasmotor kan globaal gezien al rendabel toegepast worden van af een vermogen van ca. 100 kW_e terwijl gasturbines rendabel worden vanaf een vermogen van Ca. 3 MW_e .

Ook ligt de verhouding tussen het elektrisch rendement van een gasmotor en een gasturbine verschillend. (gasmotor Ca.37% en Gasturbine Ca.25%)

Ook zijn duidelijk verschillen te zien in de temperatuur waarop de restwarmte beschikbaar komt.

Note: Er is op dit moment in Nederland een kleine gasturbine in ontwikkeling die bij lagere vermogens al rendabel moet worden.

Een haalbaarheidsonderzoek zal moeten aantonen of een W-K installatie rendabel is.

Hierbij moet ook gekeken worden naar de beheers/investerings vorm die gekozen wordt.

In Nederland zijn er een aantal mogelijkheden:

- * De investering en de exploitatie geheel voor eigen rekening.
Eventueel te veel opgewekte energie kan terug geleverd worden aan het net.
Eventueel te veel opgewekte warmte is men veelal kwijt.
- * De Investering en exploitatie in samenwerking met het Nuts bedrijf. Dit wordt vaak toegepast bij grote installaties.
Het bedrijf neemt zelf de warmte af en een deel van de elektrische energie.
Dit is alleen interessant als er ook een grote warmte behoefte is.
- * De volledige investering en exploitatie over laten aan het Nuts bedrijf.
Men neemt dan als bedrijf alle warmte af en een deel van de elektriciteit.
Het voordeel dat men dan behaalt ligt in het feit dat men dan meestal een korting van 10 à 20% krijgt op afgenomen de thermische energie.

Hierbij moet opgemerkt worden dat de prijzen voor de terug geleverde energie sterk kunnen verschillen.

Dit is ook afhankelijk van de totale bedrijfstijd, en de leveringsgaranties die men wil of kan geven.

Garandeert men b.v. dat men elke dag tijdens de piek uren energie kan leveren dan worden hiervoor aantrekkelijke prijzen betaald.

Een ander aspect dat mee zal doen in de beoordeling is de tijd dat men de W-K installatie in gebruik zal hebben.

Zoals eerder vermeldt is aan W-K installatie alleen interessant als men een gelijktijdige behoefte heeft aan elektrische en thermische energie en dan ook nog in de goede onderlinge verhouding.

Heeft men een W-K installatie gekozen om in de winter het warmte gedeelte te gebruiken voor verwarmingsdoeleinden dan zal 's zomers de installatie veelal af gezet worden.

Het elektrische rendement van de installatie is niet zo hoog, zodat als men slechts elektrische energie nodig heeft en geen warmte het goedkoper blijkt te zijn om deze elektrische energie in te kopen van het Nuts bedrijf.

Een dergelijke bedrijfsvoering heeft een enorm effect op het totale rendement op investeringen in W-K installaties.

Als norm wordt er aangehouden dat er een minimale bedrijfstijd van 3000 uur per jaar dient te zijn en het minimale gasgebruik tussen de 150.000 en 250.000 nm³ per jaar moet zijn.

Om op jaarbasis gezien een zo gunstig mogelijk totaal rendement op de investering te krijgen zal men altijd moeten proberen om de W-K set zo veel mogelijk uren per jaar te laten draaien. Wordt de installatie toegepast in de industrie waar een, door het jaar heen, continue warmte vraag is, dan zal dit geen groot probleem zijn.

Kijken we echter naar de toepassing van warmte voor comfort verwarmingsdoeleinden dan zien we dat er 's Zomers vrijwel geen warmte vraag is.

In de praktijk bleek dan ook dat de meeste W-K installaties in de zomer af gezet werden en men elektrische energie van het Nuts bedrijf ingekocht werd.

Naast het feit dat hierdoor het totaal jaar rendement op de investering sterk naar beneden gaat heeft het ook invloed op de elektriciteitsstarieven, zoals vast recht etc.

Voor oplossing van deze problematiek worden er tot op heden nog maar enkele toepassingen gebruikt.

1. Het toepassen van een absorptie koelmachine tijdens de zomer.
Men kan dan, afhankelijk van de installatie, de thermische energie van de W-K installatie voor ca. twee derde (Rendement absorptie koelmachine) benutten om koude mee te produceren.
Hoewel het thermisch rendement van de installatie lager zal zijn dan in de winter, zal het totaal rendement op de investering sterk toenemen omdat er in niet gestopt hoeft te worden.
2. Een andere methode om de thermische energie die in de zomer over is nuttig te gebruiken is het bufferen van energie in de grond.
Zie ook warmte opslagsystemen.

9.7.1 Gasmotor-generator

Speciale gasmotoren bestaan er vrijwel niet.

De motoren die gebruikt worden zijn aangepaste diesel of otto motoren.

Men bouwt de motoren om als z.g.n. Dual-Fuel motoren. (geschikt voor diesel en gas) of men maakt ze alleen geschikt voor gas.

Aardgas bevat geen lange koolstof ketens, zodat de brandstof niet tot zelfontbranding komt bij de hoge eindcompressie drukken in een dieselmotor.

Daarom zal het noodzakelijk zijn om naast de verstuiver ook een bougie te plaatsen om de brandstof tot ontsteking te brengen.

Note: LPG heeft een lager methaantal dan aardgas, waardoor het eerder tot zelfontbranding komt. Daarom is LPG alleen geschikt voor Otto motoren.

Bekijken we een gasmotor dan kunnen we een aantal hoofd energie stromen ontdekken:

A: De in de brandstof toegevoerde energie	(100,0 %)
B: Mechanische energie aan de as	(37,0 %)
C: Thermische energie in de uitlaatgassen	(27,5 %)
D: Thermische energie uit de cilinderkoeling	(25,0 %)
E: Thermische energie uit de smeeroil	(8,5 %)
F: Restwarmte (o.a. straling)	(2,0 %)

De mechanische energie wordt via de generator omgezet in elektrische energie en levert zo het "kracht gedeelte".

De drie belangrijkste stromen van thermische energie (Uitlaatgassen, koelwater en smeeroil) hebben allemaal een ander temperatuur niveau.

- Uitlaatgassen Ca. 250°C
- Koelwater Ca. 90°C (kan ook 120°C zijn)
- Smeeroil Ca. 80°C

Deze gegevens spelen een grote rol. Heeft men b.v. een grote hoeveelheid oververhitte stoom nodig, dan zal dit niet goed haalbaar zijn met behulp van een gasmotor.

De uitlaatgassen temperatuur wordt bepaald door de constructie van de motor (bijvoorbeeld: wel of geen turbo-blower)

De temperatuur van het koelwater wordt gelimiteerd door het feit dat water bij 100°C gaat koken.

Wil men toch naar hogere temperaturen gaan dan zal dit naast extra voorzieningen m.b.t. de smering van de motor ook betekenen dat we met een gesloten koelwater systeem onder overdruk moeten gaan werken.

Dit vraagt speciale constructie technische aanpassingen van de motor.

De smeerolie temperatuur wordt begrenst door het soort smeerolie. De veelal toegepaste smeerolie verliest bij hoge temperaturen een groot gedeelte van zijn smerende eigenschappen.

Uitvoering:

Doordat de gasmotor zijn warmte op een aantal verschillende temperatuur niveaus beschikbaar heeft kunnen we ook een zo gunstig mogelijke toepassing kiezen.

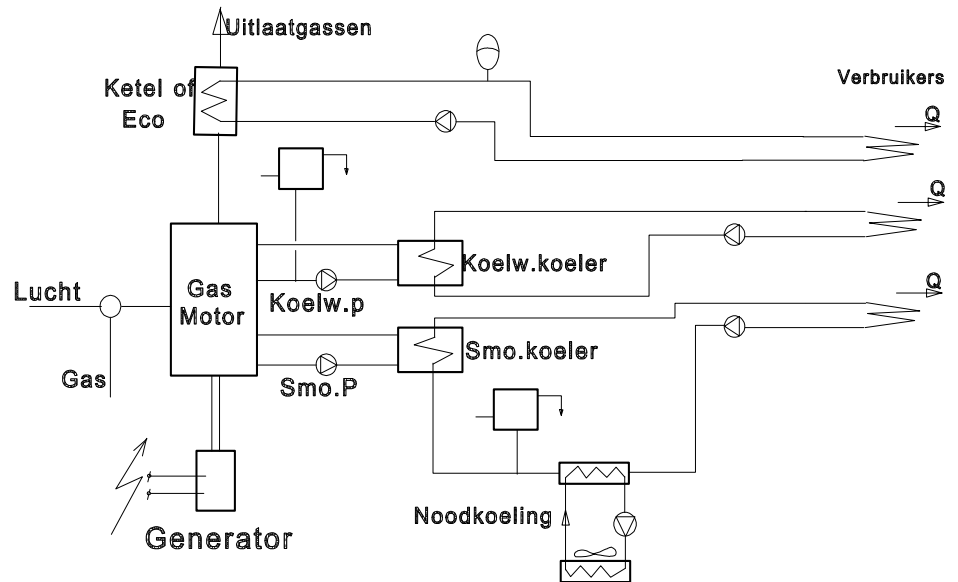
Bekijken we het voorgaande lijstje dan zien we dat de potentiële warmte leveranciers de olie, het koelwater en de rookgassen zijn.

Blijken we behoefte te hebben aan warmte stromen op al deze temperatuur niveaus apart, dan is de beste oplossing ook om de stromen gescheiden te houden.

Een principe tekening is hierbij getekend.

Deze oplossing betekend wel, dat men uiterst goed op elkaar afgestemde energie behoeften moet hebben om voldoende rendementsverbetering te behalen.

Ook zal de investering groter zijn omdat men meer pompen, expansievaten etc, nodig zal hebben.



Deze uitvoering zal niet zo

veel voorkomen, maar een uitvoering waarbij de warmte van het koelwater en die van de olie samen aan één systeem worden afgegeven komt meer voor, hiermee kan bijvoorbeeld voedingswater worden voorverwarmd.

Slechts de heater in de schoorsteen zal dan separaat worden uitgevoerd om bijvoorbeeld stoom mee op te wekken.

Ook de koppeling koelwater en schoorsteen warmte is mogelijk.

De warmte uit de olie moet dan op een andere manier worden afgevoerd.

Deze uitvoering gebruikt men als er stoom opgewekt moet worden.

Als vuistregel geldt dan dat er per 1MW_e , 1 ton lage druk (Ca. 7b) verzadigde stoom per uur geleverd kan worden.

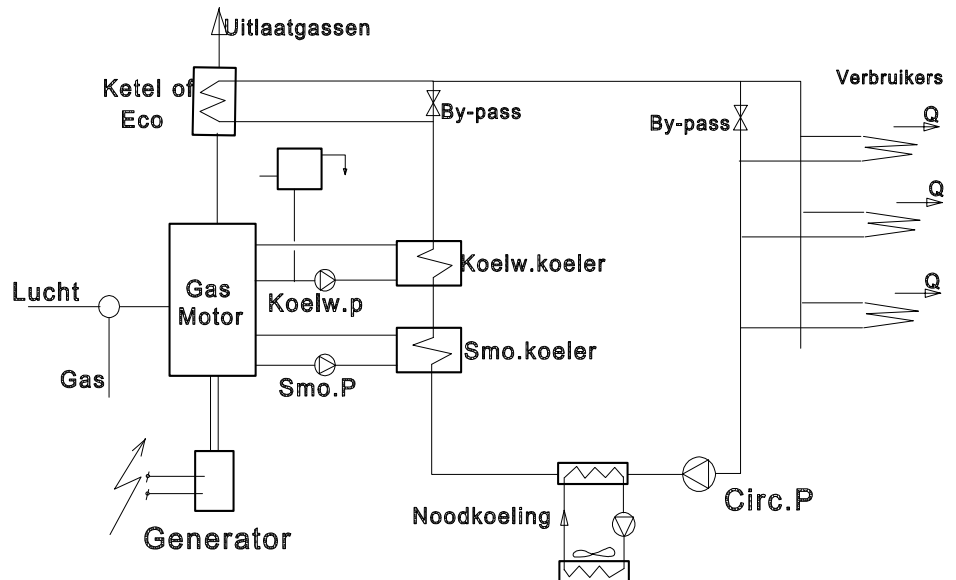
Er zal daarnaast dan, om een voldoende hoog totaal rendement te krijgen, nog ca. 500kW_{th} moeten worden geleverd.

Een andere vorm is het geheel koppelen van de drie belangrijkste warmte stromen. Men heeft dan een zo eenvoudig mogelijke installatie.

We kunnen hierbij denken aan een installatie om grotere hoeveelheden warmte van een lagere temperatuur mee op te wekken.

In de praktijk zal men altijd een noodkoeler moeten plaatsen.

Is er op een bepaald moment niet voldoende afname van thermische energie, dan zal deze warmte moeten worden afgevoerd omdat anders de olie temperatuur te hoog op zal lopen.



9.7.2 Gasturbine-generator

Het toepassingsgebied van een gasturbine ligt duidelijk anders dan die van een generator. Qua investeringskosten is het niet rendabel om een gasturbine in te zetten indien er minder dan 3 MW_e vermogen nodig is.

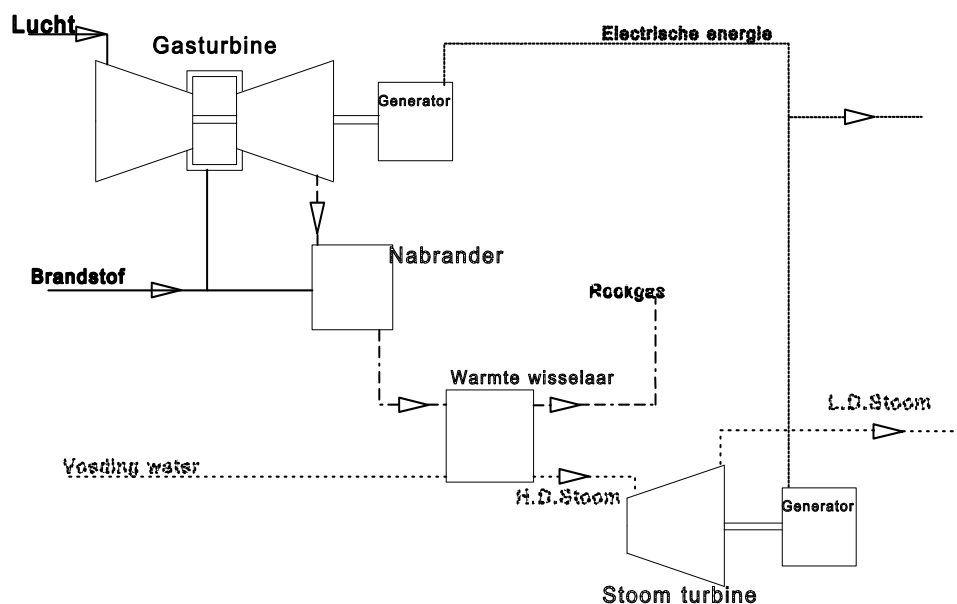
Er zijn in Nederland op dit moment wel onderzoeken gaande naar andere gasturbines, welke ook al bij veel lagere vermogens inzetbaar zijn.

Ook is het elektrisch rendement anders (Ca. 25%). Dit betekent, dat de verhouding tussen de energie vraag en de warmtevraag ook anders dient te liggen dan bij een gasmotor. Daarnaast is er slechts 1 hoofdstroom aan thermische energie van een vrij hoog temperatuur niveau, n.l. de uitlaatgassen. (Rond de 400°C)

Door deze hoge temperatuur is deze opstelling geschikt om stoom mee op te wekken.

Is er niet direct behoefte aan een grote hoeveelheid stoom, dan wordt deze stoom vaak nog gebruikt om weer een turbine mee aan te drijven die op zijn beurt dan weer elektriciteit opwekt.

De restwarmte kan dan weer als lagedruk stoom of als heet water worden gebruikt.



Door het grote, minimaal te installeren, vermogen is de gasturbine niet zo snel toe te passen in utiliteitsprojecten.

Men vindt deze systemen dan ook in grote industrieën en in elektriciteitscentrales.

Bij de centrales geldt ook dat er in de zomer als er geen stadsverwarming geleverd hoeft te worden, een overschot aan thermische energie is.

Er zijn al elektriciteitsbedrijven die deze warmte in de zomer benutten om, door middel van een absorptie koelmachine, op commerciële basis koude te maken voor derde.

9.8 Warmtepompen

Een warmte pomp wordt ook wel, ten onrechte, een omgekeerde koelmachine genoemd.

Dit "ten onrechte" blijkt uit het feit dat het principe niet omgekeerd is, maar identiek is aan dat van een koelmachine.

De warmte pomp tracht, net als een koelmachine, energie te onttrekken bij een lage temperatuur om dat vervolgens weer bij een hogere temperatuur af te geven.

De enige verschillen liggen in :

- Het gewenste eindresultaat.

Bij een koelmachine is het uitgangspunt de gewenste lage temperatuur. Dus dat wat rond de verdamper gebeurt.

Bij een warmte pomp gaat het juist om de hoge temperatuur kant. Dus dat wat er rondom de condensor gebeurt.

- De temperatuur niveaus.

Bij een koelmachine zal in de verdamper de energie uit te koelen product gehaald worden, waarna het weer in de condensor afgegeven worden aan het koelmiddel.

Dit koelmiddel is veelal de omgevingslucht of koelwater uit de omgeving.

Bij een warmte pomp echter vormen juist deze omgevingslucht of het oppervlakte water de energie bron.

Hieruit volgt dat de systeem temperaturen veelal hoger liggen dan gebruikelijk bij comfort koelsystemen.

Dit is dan ook één van de redenen dat het rendement (COP) lager is dan men van een gemiddelde koelinstallatie gewend is. Dit laatste geldt alleen als men het rendement op de zelfde wijze bepaald als dat van een koelmachine.

(Naast deze energie bronnen kunnen ook industriële rest energiebronnen worden gebruikt.)

Hier wordt dus de verdamper in deze stromen geplaatst.

De condensor zal dan de hogere temperatuur leveren aan bijvoorbeeld het verwarmingssysteem.

- De drukken.

Door de hogere temperaturen waarbij de warmte wordt overgedragen zullen ook de drukken binnen de systemen sterk oplopen. Dit heeft tot gevolg dat hier de nodige constructie technische voorzieningen voor getroffen moeten worden.

De warmte welke door een warmtepomp opgewekt wordt kan voor vele toepassingen worden gebruikt, maar het temperatuurniveau dat benodigd is bepaald in zeer sterke mate het rendement van de installatie. Denk hierbij aan de uitleg van koelmachines, hierbij geeft een hogere temperatuur aan de condensor kant ook een hogere persdruk, waardoor de COP negatief wordt beïnvloed.

In de praktijk zien we warmtepompen toegepast als Warmtepompboilers of voedingen aan het CV systeem van gebouwen.

9.8.1 Mechanisch gedreven warmtepompen

Een mechanische warmte pomp lijkt het meest op de "bekende" koelmachine.

Deze soorten maken vrijwel altijd gebruik van de ons bekende koelmiddelen als medium voor transport van warmte.

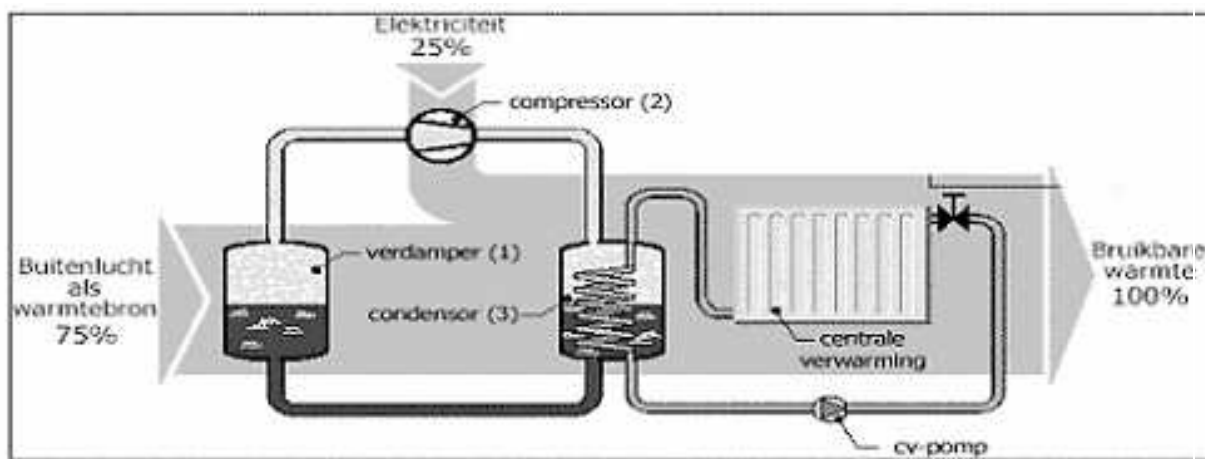
Hierbij wordt de maximale temperatuur veelal bepaald door de grenzen die gesteld worden door het koelmiddel.

De condensor druk (en temperatuur) moeten ten alle tijden beneden de kritische temperatuur en druk blijven.

Dit legt beperkingen op aan de toe te passen koelmiddelen.

We kennen een aantal verschillende uitvoeringen van mechanisch gedreven warmte pompen:

9.8.1.1 Elektrisch gedreven warmtepomp



De elektrisch gedreven warmte pomp heeft een circuit, dat identiek is aan die van de gemiddelde koelmachine.

Het heeft een verdamper (opnemen van energie), een compressor (elektrisch gedreven), een condensor (Deze levert de gewenste warmte) en een expansieventiel.

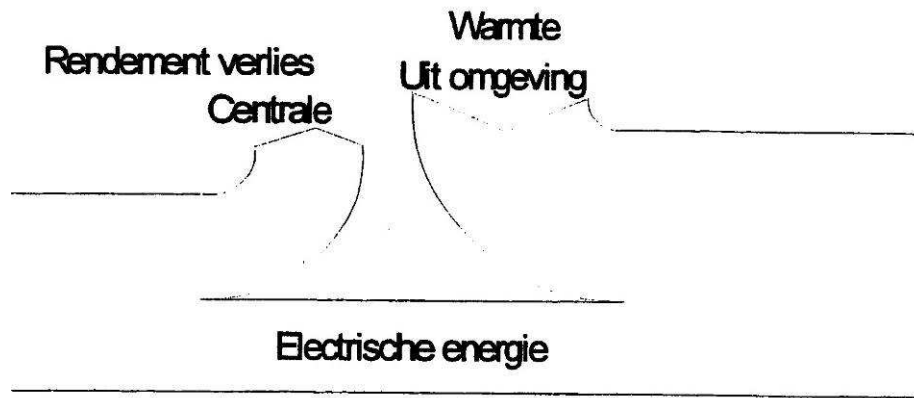
De elektrische energie wordt toegevoerd aan de compressor, die dit vervolgens weer in de af te voeren warmte stroom stopt.

Analoog aan de koelmachine spreken we hier ook van een COP. (Coëfficiënt of performance)

Deze zal, net als bij een koelmachine afhankelijk zijn van het verschil tussen condensor en verdamper temperatuur.

In waarde zal de COP in de buurt komen van die van een conventionele koelmachine.

Een klein verschil zal optreden doordat, in het log.P-h diagram het coëxistentie gebied naar boven toe smaller wordt (verdampingswarmte veranderd).



De voor de aandrijving benodigde elektrische energie wordt opgewekt in een centrale, met een opwekkings rendement van ca. 44%. De resterende 56% komt niet ten goede aan het hier bekeken verwarmings proces.

Verwerken we dit in een Sankey diagram dan krijgen we het hier naast staande resultaat. Bij variërende temperatuur verschillen tussen warmte bron en warmte ontvanger kunnen sterke verschillen in opbrengst optreden. Dit is dan ook de reden dat in het Sankey diagram geen exacte waarden gegeven zijn.

De maximale waarde die bereikt kan worden met behulp van de conventionele koudemiddelen is afhankelijk van de kritische temperatuur (druk) en de gewenste COP en ligt praktisch gezien bij de 50 à 60°C.

Alternatieven:

Naast de "normale" elektrisch gedreven compressor is er ook een experimentele hoog toerental systeem in ontwikkeling.

Het basis idee blijft het zelfde, maar men maakt gebruik van een elektrisch (via een omvormer) gedreven roterende compressor met een zeer hoog toerental. (60.000 omw/min). Ook is het expansie ventiel vervangen door een expansie turbine, waarvan de tijdens de expansie geleverde energie weer ter beschikking komt aan de compressor.

Er zijn met een prototype van dit systeem goede resultaten bereikt.

Men kon een COP halen van 6 bij een ΔT van 42°C.

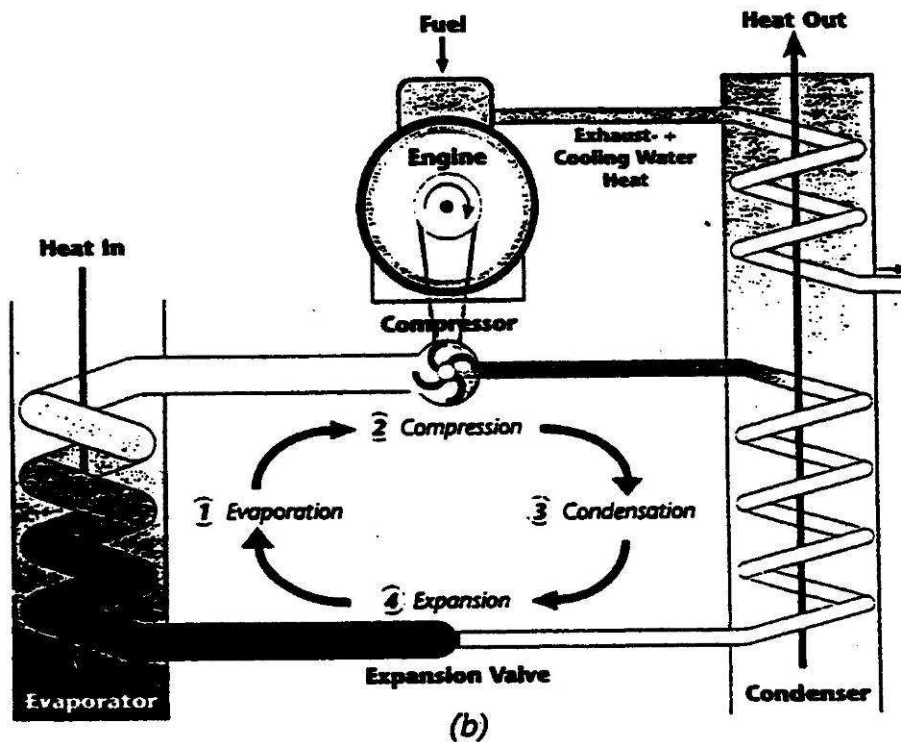
Het blijkt in Nederland echter moeilijk om partners te vinden voor verdere ontwikkeling van dergelijke systemen, zodat dit project voorlopig stil ligt.

9.8.1.2 Gasmotor gedreven warmtepomp.

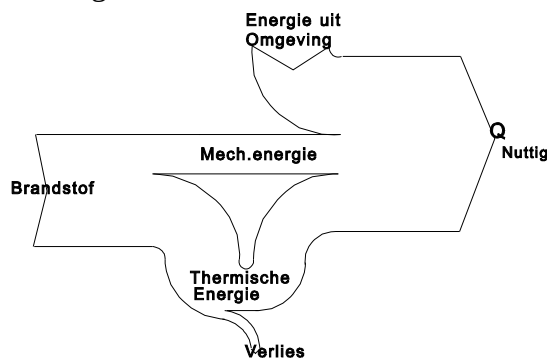
Een gasmotor gedreven warmte pomp bestaat ook uit de combinatie verdamper, compressor, condensor en expansieventiel.

Echter de aandrijving van de compressor wordt verzorgd door een gasmotor.

Deze gasmotor heeft een omzettingsrendement van ca.37%.



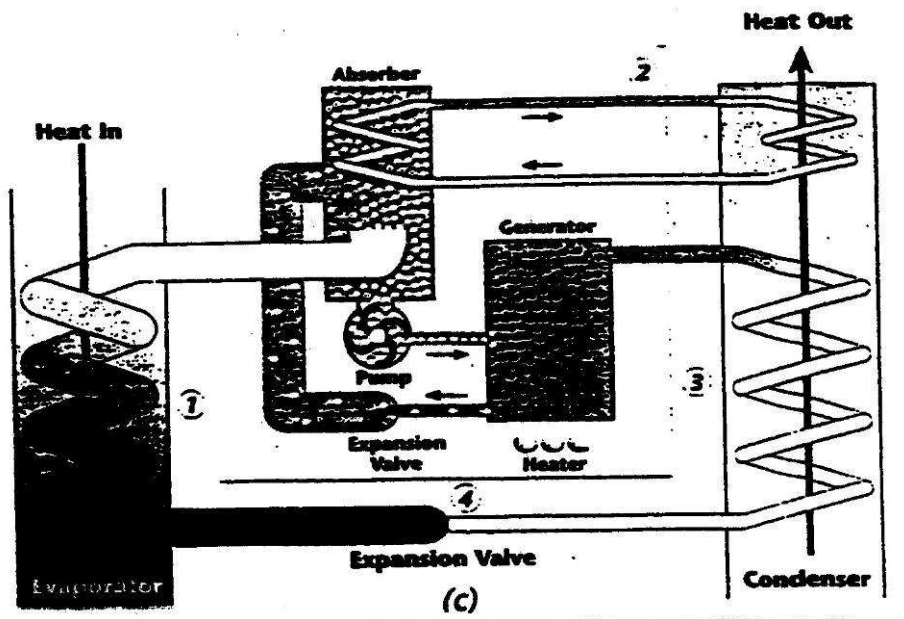
Dat wil zeggen, dat 37% van de in de brandstof toegevoerde energie wordt omgezet in mechanische energie, welke voor de aandrijving van een warmtepomp wordt gebruikt. De warmtepomp gebruikt deze energie om restwarmte uit de omgeving op te waarden. Tot zover is dit identiek aan de werking van een mechanisch gedreven warmte pomp. Echter de energie welke als rest energie bij de gasmotor vrij komt (Ca. 65% min de verliezen) kan ook gebruikt worden als warmte bron.



Afhankelijk van het gewenste temperatuur niveau kan een groot gedeelte van de energie die in de rookgassen, koelwater en smeerolie aanwezig is bij de hoeveelheid, door de warmtepomp, opgewaardeerde energie gevoegd worden.

Hierdoor stijgt het totaal rendement sterk.

9.8.2 Absorptie warmtepompen



Ook een absorptie warmte pomp volgt het zelfde principe als een absorptie koelmachine. De meeste toegepaste systemen werken met het stofpaar water-ammoniak. De warmte die nodig is om het in de generator uitgedampte water te condenseren wordt, evenals de in de absorber vrijkomende energie, toegevoerd aan de te verwarmen product stroom.

Als brandstof gebruikt men meestal aardgas. Dit aardgas kan een hoge temperatuur leveren, waardoor de temperatuur van de afgegeven warmte ook hoger komt te liggen.

Bijzondere uitvoering:

Er worden op dit moment proeven gedaan met een z.g.n. "Hybride warmtepomp"

Dit is een combinatie van een absorptie warmte pomp en een mechanisch gedreven warmtepomp.

Men gebruikt ook hier een water-ammoniak mengsel, waarvan de damp via een compressor in druk wordt verhoogd.

Men ziet kans om hiermee bij een COP van 2 de temperatuur op te waarden van ca.10°C tot Ca.200°C.

9.8.3 Chemische warmtepompen.

Een chemische warmte pomp maakt gebruik van een temperatuur afhankelijk chemisch evenwicht van 2 stoffen.

Door de uitvinder ing.E.A.Schuurman werd gebruik gemaakt van N_2O_4 en NO_2 .

Het basis idee is dat, onder vacuüm, de stof NO_2 in zeer korte tijd (één vijftigste seconde) omgezet kan worden in N_2O_4 .

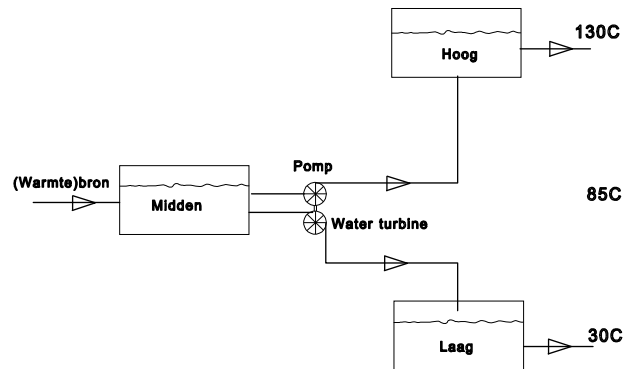
Bij deze omzetting komt een grote hoeveelheid warmte vrij.

Men denkt een COP van 4 te kunnen halen bij een temperatuur verschil van 60°C.

9.9 Warmte transformatoren

Een warmte transformator is feite een speciale uitvoering van een warmte pomp. Echter een gedeelte van de toegevoerde warmte wordt gebruikt om "exergie" te maken, welke dan weer wordt toegevoerd aan de rest van de toegevoerde warmte. Het totaal wordt dan hierdoor opgewaardeerd naar een hoger temperatuur niveau. We kunnen het vergelijken met (Zie schetsje) met een tank water, waarvan de een gedeelte van het water gebruiken om een water turbine te voeden, die dan op zijn beurt weer een pomp aan drijft die de rest van het water op een hoger niveau brengt. Dus, anders gezegd: Een warmte transformator is een warmte pomp die zijn "pomp energie" uit de toegevoerde warmte haalt. Een voorwaarde hierbij is dat de toegevoerde warmte een hogere temperatuur heeft dan de omgeving.

Men gebruikt een hoeveelheid energie van een temperatuur die hoger ligt dan die van de omgeving en maakt daarmee twee stromen van energie. De eerste stroom is van een hoge temperatuur, terwijl de tweede stroom ongeveer de omgevingstemperatuur heeft.



9.10 zonne-energie

Bekijken we mogelijke energie besparingen op installatie technisch gebied, dan is telt de zon ook als belangrijke energie bron mee.

We kunnen in de toepassing van deze zonne energie in twee hoofdsystemen onderscheiden.:

- Passieve systemen
- Actieve systemen.

9.10.1 Passieve systemen.

We spreken over passieve systemen als we gebruik maken van de energie die de zonnestralen af geven aan de gebouwdelen.

s'Winters zal er, als de zon schijnt, via de ramen een hoeveelheid energie binnen komen die we dan kunnen uitsparen op onze stookkosten. Dus kleine ramen op het noorden en grote op het zuiden.

Passieve systemen zijn dan ook vrijwel altijd bouwkundige voorzieningen, waar de installateur weinig aan kan doen.

9.10.2 Actieve systemen.

Er zijn een aantal verschillende mogelijkheden met actieve systemen te onderscheiden

9.12.2.1 Ruimte koeling/verwarming.

Door gebruik te maken van absorptie koelmachines kan men met behulp van zonne energie koud water maken ten behoeve van ruimte koeling.

Hierbij speelt de temperatuur van het verwarmingswater (warmtebron) een grote rol. Hoe lager men de temperatuur van het warmte transport medium kiest, hoe lager het rendement van een installatie zal zijn.

Kiest men b.v. voor een watertemperatuur van iets onder de 100°C, dan komt men aan een rendement van ca. 60% van de in het water (warmte transport medium) toegevoerde energie. Kiest men de temperatuur lager, dan zal het rendement sterk dalen.

Door het belang van een zo hoog mogelijke water temperatuur zal de toepassing met zonne energie gedreven absorptie koelmachines vaak beperkt zijn tot die landen waar veel zon is.

Note: Absorptie koelmachines bestaan er naast de genoemde warmwater uitvoering ook nog direct gas gestookt en door middel van stoomverwarming gedreven. Beide laatste uitvoeringen werken op een aanmerkelijk hoger temperatuur niveau, waardoor het rendement ook sterk omhoog gaat.

Voor ruimte verwarming in gebouwen kent men ook nog systemen zoals lucht- of vloeistof collectoren, die zonne energie opnemen en weer af kunnen geven aan een te verwarmen ruimte.

Er wordt dan lucht of water opgewarmd in een collector, waarna het wordt opgeslagen tot dat er vraag naar warmte is.

Gebruikt men lucht, dan zal de opslag moeilijker zijn, omdat hier een groter volume nodig is om de energie in op te slaan.

Hier heeft men oplossingen voor gevonden door b.v. een grint bed als opslag capaciteit te gebruiken. Deze oplossingen dienen in de bouwkundige constructie opgenomen te worden.

Voor de naverwarming wordt in deze gevallen gebruik gemaakt van een lucht heater.

Gebruikt men echter water als opslag medium, dan kan men dit b.v. bufferen in een soort boiler, waarna men het kan gebruiken in een normaal CV systeem. (E.v. met een CV ketel als naverwarming).

Een ander toepassing van actieve zonne energie voor ruimte verwarming is een Atrium met speciale voorzieningen.

Plaatst men op een kleine afstand van het glazen dak een geperforeerde plaat dan zal het licht hier door heen gaan maar de warme lucht minder makkelijk.

Deze warme lucht kan, in winter situatie, door middel van ventilatoren worden afgezogen om vervolgens via warmte wisselaars de verse toevoer lucht weer op te warmen.

In de zomer situatie kan deze constructie gebruik worden om de binnenkomende warmte door het glas direct af te voeren voordat het in het gebouw terecht komt, hetgeen een besparing op de koelinstallatie geeft.

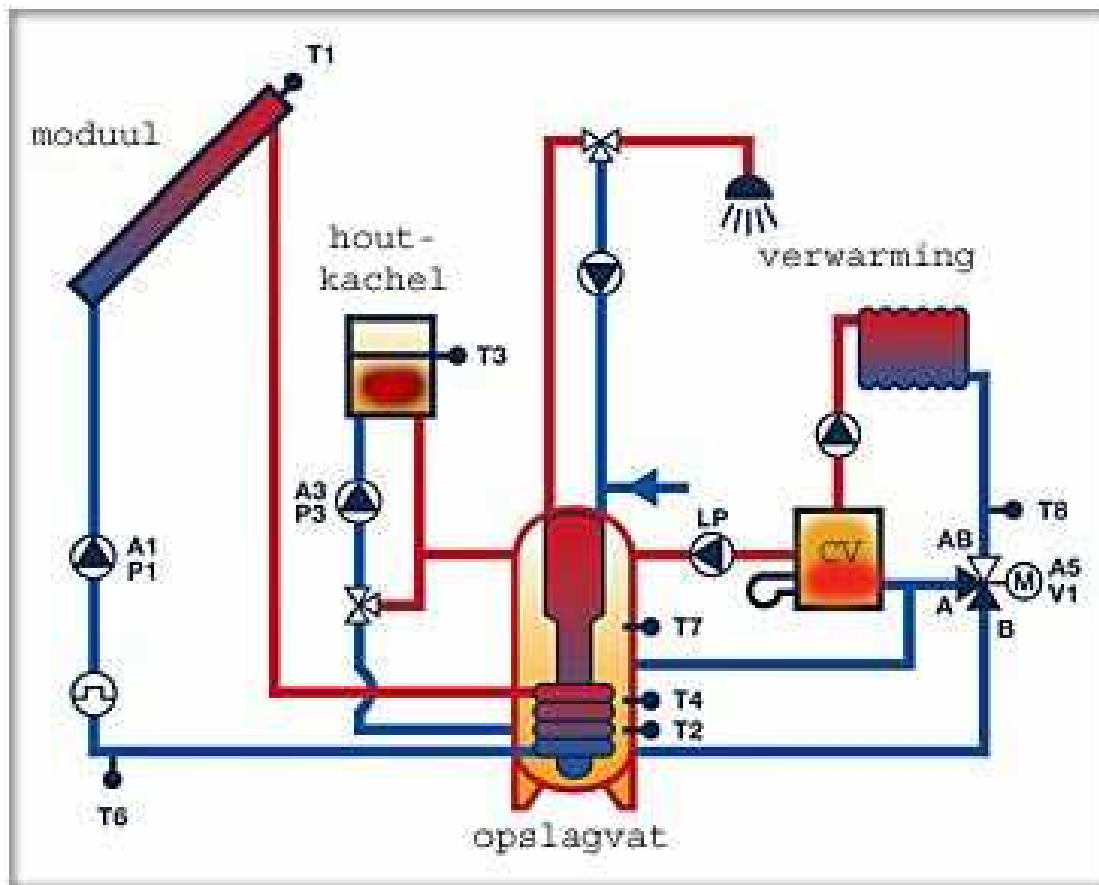
9.10.2.2 Zonne boiler.

Een zonne boiler systeem is bestemd voor het verwarmen van tapwater en bestaat uit een collector, een opslag systeem, een circulatie systeem en een regeling.

In de collector wordt de stralings energie van de zon opgevangen en omgezet in warmte.

De warmte wordt in de collector afgegeven aan een transport medium.

Dit transport medium wordt door een pomp rondgepompt, waardoor de warmte kan worden afgevoerd naar een opslagsysteem, waar deze warmte weer wordt over gedragen op het te verwarmen water.



A. Collector:

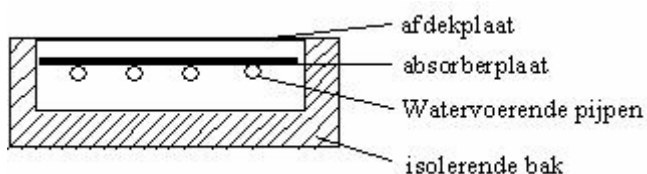
Met de collectoren wordt uitvoerig geëxperimenteerd omdat deze geacht worden zo veel mogelijk van het opvallende zonlicht om te zetten in warmte. Men gebruikt hiervoor vrijwel altijd een mat zwarte collector. (Mat zwart absorbeert vrijwel alle straling)

Types collectoren

Er bestaan twee types van collectoren: de klassieke vlakke collectoren en vacuümbuiscollectoren

- Vlakke collectoren

In deze panelen lopen de leidingen door over een paneel en worden afgedekt door een glasplaat. Zo'n geheel is één collector. In een systeem kunnen meerdere collectoren aan elkaar worden gekoppeld.



- Vacuümbuiscollectoren

Bij dit principe loopt er telkens een

leiding door een glazen buis. Een aantal van deze buizen worden gecombineerd in een collector. Iedere buis kan afzonderlijk naar de zon worden gericht. Dit systeem leent zich voor plaatsen waar klassieke zonnepanelen niet meer toepasbaar

Capaciteit:

De hoeveelheid opgenomen warmte van een collector hangt vrijwel geheel af van de direct opvallende zonne-energie.

Te verdelen in directe en indirecte (diffuse) straling.

Hiervan heeft de directe straling de grootste invloed, zodat de hellingshoek en de richting van de collector van grote invloed is op de opbrengst.

Aangezien de zon in het oosten opkomt en, in Nederland, via het zuiden naar het westen loopt om daar weer onder te gaan zullen we de collector dan ook veelal proberen naar het zuiden te richten.

Mocht dit niet lukken, dan zal de opbrengst verminderen.

De invloed blijkt uit onderstaande tabel.

Oriëntatie	WZW	ZW	ZZW	Z	ZZO	ZO	OZO
Zonne aanbod t.o.v. optimum (%)	81	88	95	100	95	88	81
Opbrengst t.o.v. optimum (%)	88	94	98	100	98	94	88

De invloed van de hellingshoek speelt ook een rol.

In de onderstaande tabel is de invloed aangegeven voor een collector die op het zuiden is geplaatst.

Hellingshoek (α)	0	15	30	45	60	75	90
Zonne aanbod t.o.v. optimum (%)	89	96	100	98	93	82	67
Opbrengst t.o.v. optimum (%)	90	97	100	100	98	92	80

E.e.a. wordt ook nog beïnvloed door het soort afdekplaat en ook hoe schoon de plaat wordt gehouden.

Pomp:

Aan de pomp worden geen extreme eisen gesteld, omdat men bij zonne boiler systemen zowel over kleine debieten praat als over kleine opvoerhoogten. (Rondpompsystemen)

Het collector oppervlak van een gemiddeld zonneboiler systeem voor woning toepassing is $2,6 \text{ m}^2$. Rekenen we dan met de optimale flow, dan komen we uit op een pompcapaciteit van ca. 150 kg/h .

(Bij water als transport medium dus ook Ca. $0,15 \text{ m}^3/\text{h}$.)

Aangezien we praten over een gesloten systeem, dat vaak nog wordt uitgevoerd met zo kort mogelijke leidingen zal de pomp slechts het medium behoeven te laten circuleren, dus niet veel druk behoeven te leveren. (slechts bij opstarten moet de volle opvoerhoogte worden geleverd)

Boiler:

De boiler is een opslag vat voor het tapwater en kent verschillende uitvoeringen.

Er bestaan uitvoeringen, waarbij het transport medium door een spiraal heen loopt in de boiler en daar zijn warmte aan het tapwater af geeft. Bij deze oplossing zal er in het systeem nog een leegloopvat moeten worden geprojecteerd.

Dit leegloopvat dient om bij het uitschakelen van het systeem de waterinhoud van de collector de kunnen opvangen.

Dit is nodig om in de winter bevriezing van de collector te voorkomen en in de winter te voorkomen dat het stilstaande water in de collector gaat koken.

Een andere uitvoering is dat de boiler wordt voorzien van een dubbele wand waar tussen het transport medium loopt. Deze ruimte zal tijdens bedrijf niet geheel opgevuld zijn en zo groot uitgevoerd worden dat deze, bij afschakelen van de installatie, de gehele inhoud van het transport medium kan bevatten. Er is dan dus geen extra leegloopvat nodig.

Beide uitvoeringen hebben nog een voorziening nodig voor naverwarming van het tapwater.

Het aantal verschillende uitvoeringen van naverwarming is ook groot.

Voorkomende systemen zijn (Afhankelijk van de systeemgrootte):

- Elektrische verwarmingselementen in de boiler.
- Een heetwater spiraal in de boiler gevoed door:
 - * Afvalwarmte (proces)
 - * CV ketel
- Naverwarming in de afgaande leiding door:
 - * Aparte ketel
 - * Elektrische elementen
 - * Combiketel.

Leidingen:

Aan de leidingen worden geen extreme eisen gesteld, buiten de isolatie, welke zeer goed moet zijn om verliezen zo veel mogelijk te beperken.

Regelsysteem:

Het toegepaste regelsysteem heeft naast de functie van het regelen van de gewenste temperatuur ook nog een beveiligingsfunctie.

Het regelsysteem meet het temperatuursverschil tussen de water temperatuur onder in de boiler en de temperatuur die in de collector heerst.

Heeft dit een minimale waarde bereikt (Ca.10°C) dan zal de pomp starten en wordt er warmte over gedragen.

De tap water temperatuur zal gaan stijgen tot dat de gewenste maximale waarde bereikt is en het systeem uit schakelt.

Afhankelijk van de door de leverancier gekozen maximale (medium) systeemdruk kan ook de maximale druk van het medium variëren.

Er zijn leveranciers die kiezen voor een maximale druk van 8 bar, waardoor temperatuur op kan/mag lopen tot ca.140°C. Dit bevordert de overdracht van warmte op het tapwater (grotere delta T)

De regeling zal ook deze maximale temperatuur moeten begrenzen.

Vervolgens is er ook een vorst beveiliging geïnstalleerd, die moet voorkomen dat het water in de collector bevriest. Deze beveiliging schakelt ook de pomp weer af.

In alle gevallen dat het systeem (de pomp) wordt uit geschakeld, zal het water uit de collector weg lopen en in een buffer moeten worden opgeslagen.

Zoals eerder vermeld zal de manier waarop dit gebeurt afhankelijk zijn van de gekozen boiler. (Externe buffer of buffer in boiler mantel.)

De huidige investeringskosten zijn nog dermate hoog dat deze nog net niet opwegen tegen de besparingen.

Op dit moment zijn er nog subsidiemogelijkheden, welke het net wel aantrekkelijk maken om een degelijke installatie te plaatsen in de woningbouw.

9.10.4 Zonne parabool.

De zonne parabool wordt nog slechts op kleine schaal, vaak experimenteel, toegepast.

Deze installatie bestaat uit een parabool, welke het zonlicht dat door de parabolische spiegel wordt opgevangen in 1 punt concentreert.

In dit brandpunt plaatst men dan het te verwarmen medium.

Het voordeel is dat men met een dergelijke opstelling een veel hogere temperatuur kan bereiken. (Direct stoom maken.)

Een andere toepassingsvorm die in ontwikkeling is, bestemd voor ontwikkelingslanden, is een kooktoestel.

Door middel van een kleine parabool wordt zoveel zonlicht gevangen, dat men daar mee thermische olie op kan warmen, waar men dan weer voedsel op kan koken.

10 Accumuleren van energie

Het komt vaak voor, dat we een hoeveelheid (thermische) energie over hebben, die we dan moeten weg gooien omdat we op dat moment geen behoefte aan deze energie hebben.

Een ander geval is, dat we op een bepaald moment een hoeveelheid energie, min of meer, gratis kunnen krijgen, maar we het op dat moment niet nodig hebben.

In feite is dit een grote verliesposten aan energie, want als we later deze energie wel nodig hebben zijn we genoodzaakt om weer gebruik te maken van fossiele brandstof.

Een simpel voorbeeld is b.v. de zon.



Met zonne-energie kunnen we elektrische energie opwekken, welke we voor verlichting kunnen gebruiken. Helaas echter schijnt de zon niet op het moment dat we de verlichting willen aan doen.

We willen in dat geval een mogelijkheid hebben om deze elektrische energie op te slaan. Dit doen we dan met accu's. Het opslaan van energie op grote schaal is nog steeds een probleem, waar men tot op heden slechts enkele praktische oplossingen voor gevonden hebben.

Voorbeelden van praktische toepassingen zijn:

10.1 Warmteoverschotten opslag.

Warmte overschotten kunnen van verschillende thermische niveaus zijn. Er zijn systemen die werken met temperaturen van 90°C, maar er wordt ook warmte van ca.16°C opgeslagen in de grond.

De laatste systemen worden meestal in combinatie met koude opslag toegepast en daarom dan ook bij de behandeling van die systemen besproken.

Om een afbakening te maken kunnen we bijvoorbeeld spreken van warmte opslag systemen indien de temperatuur van het energieoverschot boven de 50 à 60°C ligt.

Voor zover mij bekend zijn er in Nederland tot op heden slechts 2 projecten gerealiseerd waarbij men warmte overschotten op grote schaal opslaat in de grond n.l. Het Universiteit centrum "De Uithof" in Utrecht en een project in Groningen, waar men 's zomers zonnewarmte wordt opgeslagen in de grond op een temperatuur van ongeveer 55°C

Hoe ontstaan de warmteoverschotten.

Zoals later bij Warmte/Kracht-installaties besproken zal worden, bepaald de warmte vraag van een installatie de grootte van een Warmte/Kracht-installatie.

Heeft men elektrische energie over, dan wordt dit terug verkocht aan het Nuts bedrijf.

Bij de Uithof heeft men een Warmte/Kracht installatie geplaatst die naast elektrische energie voor verlichting etc. 's winters thermische energie levert voorverwarming.

's Zomers , als er vrijwel geen warmte vraag is, wordt in de meeste gevallen de Warmte/Kracht-installatie af gezet.

Hierdoor gaat het totaal rendement van de installatie, op jaarbasis gezien, sterk naar beneden.

Men heeft dus 's zomers een overschot aan thermische energie. Dit overschot kan worden opgeslagen in de grond.

Ook kan, zoals in Groningen gebeurt, gebruik gemaakt worden van de in de zomer beschikbare zonnewarmte.

10.2 Opslag van energie overschotten in de Aquifers

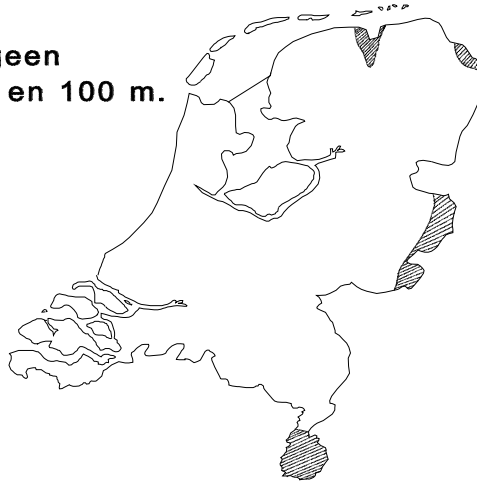
Energie overschotten die in aanmerking komen voor opslag in de grond zijn overschotten aan thermische energie.

Praten we over energie overschotten in dit geval dan kunnen dit warmte overschotten maar,

hoewel dit energie technisch geen juiste uitdrukking is, ook "koude overschotten" zijn.

10.2.1 Aquifer.

**Plaatsen waar geen
Aquifer tussen 0 en 100 m.
aanwezig is.**



Bij koude als bij warmte opslag wordt gebruik gemaakt van een aquifer.

Een aquifer is een waterhoudende zandlaag in de grond, die onder en boven afgesloten wordt door een klei laag. Van huis uit werden aquifers gebruikt om water aan te onttrekken.

Bij opslag systemen wordt het opgepompte water echter weer terug in de grond gepompt na de warmte of koude te hebben opgenomen.

Nederland blijkt goed voorzien te zijn van mogelijkheden. Op bovenstaande plaatje is dit duidelijk te zien.

Belangrijke criteria die gelden bij een bron in een aquifer zijn:

- Diepte van de aquifer
- Hoogte van het pakket (Capaciteit)
- Doorlatendheid in horizontale en verticale richting
- Zoutgehalte van het water.
- Structuur van het pakket
- Opgeloste stoffen in het water.
- Warmte capaciteit van de bodem
- Broncapaciteit
- Injectie capaciteit.

10.2.2 Systeem.

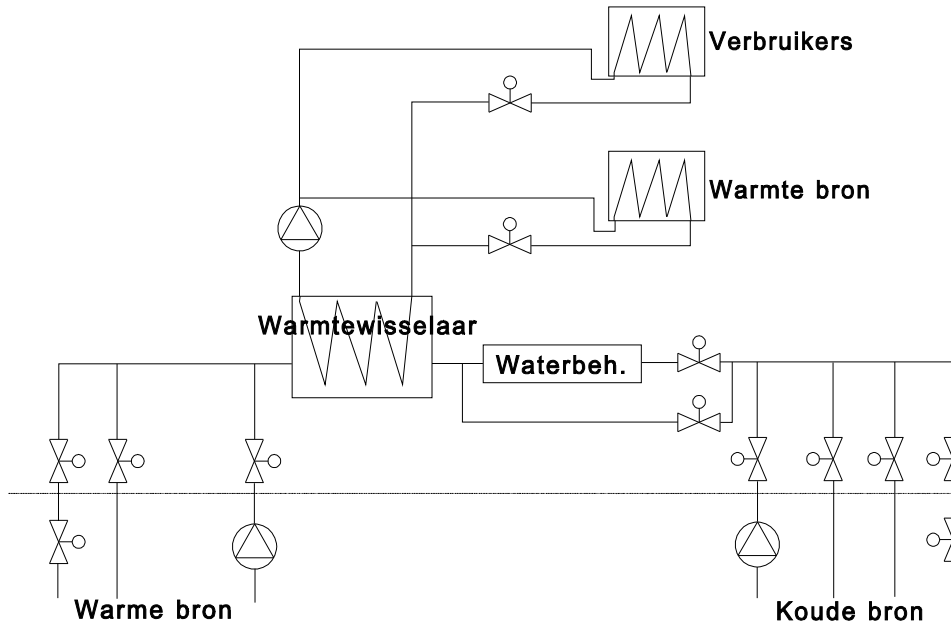
Men pompt het water middels bronpompen op uit de "koude bron", waarna het via een waterbehandelingsinstallatie naar een warmte wisselaar loopt.

In deze warmtewisselaar wordt de warmte, uit het warmte/kracht-circuit, over gedragen op het grondwater.

Dit grondwater krijgt dan een temperatuur van Ca.90°C en wordt vervolgens via de "warme bron" die op ca.70 meter afstand van de koude bron ligt weer geïnjecteerd.

In de winter, als er wel behoefte aan warmte is, dan wordt het water weer opgepompt en geeft zijn warmte af aan het water voor de verwarming van de gebouwen.

Vervolgens wordt het weer in de koude bron geïnjecteerd met een temperatuur van ongeveer 50°C.



10.2.3 Start.

De opstart periode van een dergelijk systeem schat men op ca 4 jaar.

Men begint n.l. met een grondwater temperatuur van 15°C in plaats van 50°C, dus zal men de eerste jaren nog niet het volledige rendement kunnen halen.

Is het systeem stabiel, dan verwacht men ca 65% van de energie die 's zomers in de grond gestopt is er 's winters ook weer uit te kunnen halen.

10.2.4 Gevolgen van de waterkwaliteit.

Het grondwater is veelal van een dusdanige kwaliteit dat men er, vooral bij de hoge temperaturen, voor moet waken dat er kalk en andere stoffen gevormd gaan worden. Dit is dan ook de reden dat er een waterbehandelings installatie toegepast moet worden.

Ook is het van belang dat er geen zuurstof bij het bronwater kan komen omdat er dan oxidatie van opgeloste stoffen kan optreden, die in korte tijd de bronnen verstopt kunnen doen raken.

De het gehele systeem moet dus onder druk gehouden worden zodat deze infiltratie van zuurstof niet mogelijk is.

Bij de injectie is het van belang dat deze druk gehandhaafd blijft, wordt deze te laag, dan kunnen zich ook damp bellen vormen in het water met de zelfde gevolgen. (Verstopping van de bronnen)

Door een traploze regeling van de injectiepompen kan men de temperatuur van het water bij injectie constant houden. Dit heeft wel tot gevolg dat de flow zal variëren.

Wordt deze flow te laag, dan kan het gebeuren dat de druk ook te laag wordt en er zich dampbellen in het water gaan vormen, hetgeen "uit den boze is".

Om dit te voorkomen heeft men een aantal injectie leidingen van verschillende diameter in de bronnen geplaatst waar men afhankelijk van het debiet gebruik van maakt.

10.2.5 Rendement.

Het project bij de Uithof is als nationaal onderzoeksprogramma opgezet en heeft nationale en internationale subsidie ontvangen.

De warmte/kracht installatie heeft een vermogen van 3,75 MW_e. Het opslag project is gebaseerd op de door dit systeem geleverde thermische energie.

Er is uitgerekend, dat een vergelijkbaar nieuw project een investering zal vragen van '1.800.000,-, terwijl de besparing berekend is op '350.000,- per jaar, zodat de terugverdien tijd op ca. 5 jaar komt.

Note: In Utrecht wordt een aquifer gebruik die op een diepte van 210 tot 260 meter ligt.

10.2 Koudeoverschotten opslag.

De opslag van koude overschotten wordt op grote schaal, commercieel, toegepast in Nederland. Seizoen opslag van koude, die in de winter "gratis" voorhanden is, levert een goede mogelijkheid om op kosten te besparen bij koelprocessen.

De, op groter schaal economisch interessante, opslag mogelijkheid voor koude wordt aangetroffen in de aquifers.

Dit systeem lijkt veel op de warmte opslag systemen. Het verschil ligt in het temperatuurs-niveau, waardoor de waterbehandeling van wat minder belang is.

Ook hier plaatst men een warmtewisselaar om de scheiding aan te brengen tussen het grondwater en de rest van het systeem.

Er zijn hierin een groot aantal toepassingen te onderkennen.

B.v.:

- Luchtkoeling/verwarming.

In de luchtbehandelingkast wordt een koel/verwarmings batterij geplaatst.

Door deze batterij circuleert het systeemwater, dat de lucht in de zomer af koelt en vervolgens in de warmtewisselaar zijn energie weer af geeft aan het grondwater dat in temperatuur stijgt.

In de winterperiode wordt de zelfde cyclus gebruikt. alleen is dan het grondwater warmer dan de lucht temperatuur zodat de lucht in de luchtbehandelingkast wordt voorverwarmd en het grondwater wordt afgekoeld.

In feite wordt het grondwater dus 's winters afgekoeld om 's zomers als koeling gebruikt te kunnen worden.

- Condensorkoeling.

Bij gebruik van koelmachines wordt de condensor koeling uitgevoerd via lucht of via water en een koeltoren. (grondwater mag meestal niet meer)

Beide koelmethoden zijn gevoelig voor de buitentemperatuur.

In de zomer kan de temperatuur van de lucht tot boven de 30°C oplopen waardoor ook de condensor drukken hoog oplopen. Met als gevolg een lagere COP van het koelsysteem.

Door nu de condensorkoeling plaats te laten vinden met grondwater wordt deze temperatuur omlaag gebracht en de COP sterk vergroot.

's Winters kan dan via een koeltoren weer "koude geladen" worden in de aquifer.

Er worden nog meerdere systemen toegepast, waaronder een aantal mengvormen.

Voor verdere gegevens: Zie brochure: **Seizoenopslag van koude**. Uitgegeven door de NOVEM (S04.57.91.04)

10.3 Opslag van warmte door temperatuur verhoging van de grond.

Enige tijd geleden is er een proefproject opgestart waarbij men een aantal slangen in lussen de grond in gedrukt heeft (Denk aan een naaimachine steek) Door deze lussen laat men in de zomer door de zon opgewarmd water stromen.

Het klei pakket waar de slangen doorheen lopen wordt dan opgewarmd en kan in de winter zijn warmte weer af staan.

10.4 Opslag van koude overschotten in ijs.

(bijvoorbeeld t.b.v. luchtbehandelingsinstallaties)

De koude opslag in de aquifer is een lange termijn opslag, maar voor opslag systemen voor kortere termijn is de optie van een ijsbuffer ook te overwegen.

De opslag capaciteit van ijs (333kJ/kg) is vrij groot, zodat men met opslag van koude in de vorm van ijs in een beperkte ruimt toch een vrij grote buffer kan creëren.

Een ijsopslag systeem vindt een belangrijke toepassing als de belasting van een installatie sterk wisselend is en de gewenste temperatuur niet te laag is.

We vinden daarom ijsbuffering hoofdzakelijk terug in de comfort koeling.

10.5.1 Principe:

Is er gedurende een korte tijd een grote piekbelasting van een systeem (Denk aan b.v. een concert zaal) dan zal de koelinstallatie normaal gesproken ontworpen moeten zijn om de maximale piekbelasting te kunnen leveren.

Dit betekent dat er een grote installatie geïnstalleerd moet worden, welke slechts gedurende korte tijd op vollast zal draaien. En dit dan meestal nog in de dure uren wat betreft de energie prijzen.

Bij toepassing van een ijsbuffer kunnen we toe met een kleinere koelinstallatie, omdat we het tekort dat dan tijdens de peaktijden op zal treden kunnen opvangen door de koude uit de ijsbuffer te halen. De ijsbuffer kan geladen worden in op tijden dat er weinig of geen belasting is. Dit heeft de volgende voordelen en besparingen:

- Een kleinere koelinstallatie betekent ook een lager piekverbruik van elektrische energie, waardoor het vastrecht bedrag lager wordt.
- het laden van de ijsbuffer vindt plaats in de tijden dat er weinig belasting gevraagd wordt. Deze perioden zijn meestal in de nachstroom periode.
- Doordat er in de nacht geladen wordt zal, door de lagere buitentemperaturen, de condensor druk ook lager zijn dan overdag. Hierdoor wordt de COP van de koelinstallatie sterk verbeterd.

Een nadeel echter is dat het rendement van de opslag lager is dan dat van een koelmachine alleen. Er wordt namelijk weer een tussen medium geïntroduceerd met de bijbehorende overdrachtsverliezen.

Uitvoeringen:

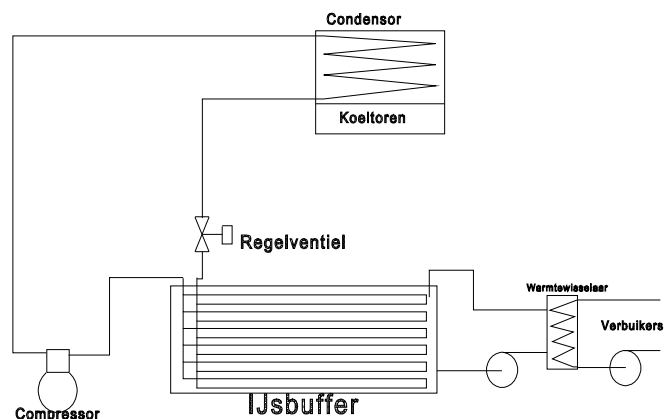
Men kent twee hoofd groepen van ijsopslag systemen.

- * Openbak systeem
- * Gesloten systeem.

10.5.2 Openbak systeem:

Bij een openbak principe bevindt zich de verdamper spiraal van de koelinstallatie in een ijsaccu. (ijsaccumulator.) Dit is een grote bak met water met daarin de verdamper spiralen. Op de verdamper spiralen zal zich een ijslaag gaan vormen.

Door nu het water uit de bak te laten circuleren door het te koelen systeem zal de koude weer worden afgegeven.



Voordelen:

- Eenvoudig meetbare ijsdikte, waarop men de capaciteits regeling kan doen.
De dikte van het ijs is een maat voor de opgeslagen hoeveelheid energie.
- Een relatief hoge verdampings temperatuur (Ca.-6,5°C) is mogelijk, wat gunstig is voor het rendement.
- De uittrede temperatuur van het water tijdens ontlading is vrij constant (Ca.+1°C) doordat het smeltende ijs deze temperatuur stabiel houdt.

Nadelen:

- Alle uitwisseling van energie, ook als de buffer niet nodig zou zijn, moet plaats vinden via deze buffer, omdat daar nu eenmaal de verdamperspiraal in ligt.
- De snelheid waarmee het ijs afsmelt neemt toe naarmate de laag dunner wordt.
- Om een goede afsmelting te krijgen moet men gebruik maken van roerwerken in de ijsaccu.
- Bij een overmatige ijsvorming kunnen de kanalen tussen de verdamperpijpen verstopt raken,

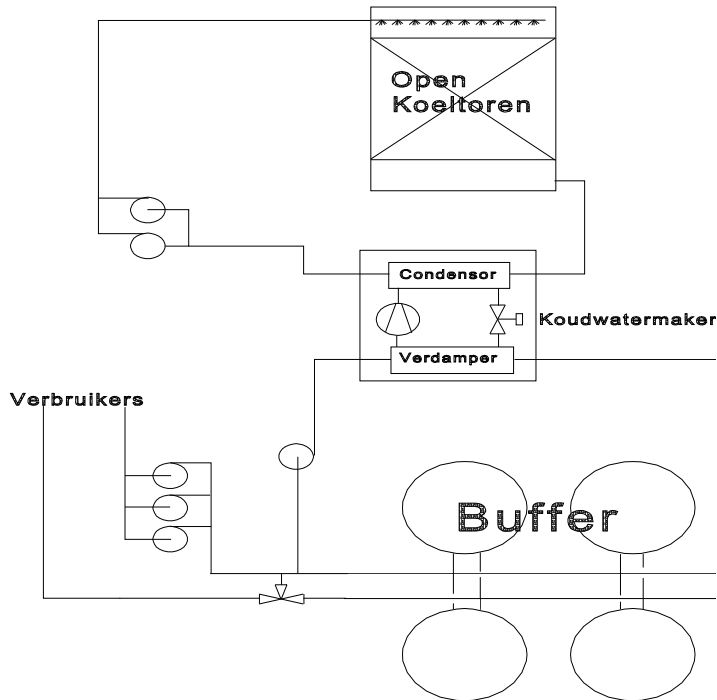
waardoor er geen stroming van water meer kan plaats vinden.

- Door de grote verdamper spiraal is een groot freon circuit noodzakelijk (een grote koelmedium inhoud)

10.5.3 Gesloten bak systeem.

Een gesloten bak systeem bestaat uit een gewone koudwatermaker, welke een Glycol/water mengsel af koelt.

Het glycol/water mengsel moet op een dermate lage temperatuur gebracht worden dat er in de ijsaccu's ijs gevormd kan worden.



Dit glycol/water systeem kan zowel door de gebruikers als door de accu's circuleren.

Er kan dus ook buiten de buffers om, rechtstreeks aan de gebruikers, koude geleverd worden.

Voordelen:

- Het is een gesloten systeem met een standaard koudwater maker.
- Onafhankelijk gebruik van koudebuffer en koelmachine is mogelijk, maar ook een combinatie is mogelijk.
- De snelheid van ijssmelting is constant zolang er ijs voorradig is.

Nadelen.

- Naarmate bij ontlading de water laag tussen ijs en buizencircuit groter wordt zal de uittrede temperatuur van het glycol/water mengsel stijgen. Voor een effectieve temperatuur van het koude medium van Ca.-6°C is een verdampingstemperatuur van -12°C noodzakelijk. Dit geeft een lager koeltechnisch rendement dan bij een openbak systeem.
- Er is een transport medium (glycol/water) vereist.

10.6 Benutten van geaccumuleerde warmte van het gebouw

Het benutten van de gebouwmassa als energie opslag is een sterk in de belangstelling staande ontwikkeling.

Dit onderdeel "betonkernactivering" is een uittreksel van een artikel van: ing. F.J. Nijeboer MSc. en ing H. Besselink *Royal Haskoning*, dat ze ter beschikking gesteld hebben voor onderwijsdoeleinden.

Inleiding

Bij betonkern activering worden watervoerende buizen in het hart van de betonnen vloer gestort,

waardoor water met een bepaalde onder- of overtemperatuur stroomt. Men 'activeert' hiermee de gebouwmassa. Hierdoor zal zelfs een relatief licht gebouw zich gedragen als een gebouw met veel massa. Voordelen hiervan zijn een beperking van het benodigde piekvermogen, gebruik van laag temperatuur opwekkers, toename van het comfort, geen hinder door geluid of luchtstroming en geen of weinig inname van bouwkundig volume.

10.6.1 De toepassing van betonkernactivering

Betonkernactivering vindt zijn toepassing in de utiliteitsbouw, waar de vloeren in het werk worden gestort. Door de integratie van de klimaatinstallatie en de bouwkundige constructie is het echter zaak om van te voren een weloverwogen keuze te maken. De aanwezige voor- en nadelen van betonkernactivering hebben veelal invloed op de bouwkundige uitvoering en kosten. Hierdoor dient de toepassing van betonkernactivering ten allen tijde in overleg plaats te vinden tussen de architect, eventueel de constructeur en de installatieadviseur en natuurlijk de gebruiker.

In Nederland is men veel meer gewend om geprefabriceerde vloeren te gebruiken. Daarom is betonkernactivering lage tijd niet als optie mee genomen in ontwerpen. Nu er steeds meer naar energiebesparende systemen wordt gevraagd is er ook onderzoek gedaan naar geprefabriceerde vloeren met betonkernactivering.

Belangrijke afwegingen voor de architect zijn hierbij de verdiepingshoogte, het systeem plafond, de kwaliteit van de gevel en de beleving in de ruimte. Voor de installatieadviseur zijn de belangrijkste afwegingen het comfort in de ruimten, het energieverbruik, het inpassen binnen het gehele concept en de toetsing aan het programma van eisen. De constructeur dient met het concept in te stemmen door de beperking van de constructieve mogelijkheden.

De belangrijkste partij is echter de opdrachtgever die de afweging dient te maken tussen comfort, regelbaarheid, investering en jaarlijkse energierekening.

De toepassing in relatie tot de energiecentrale

De warmteoverdracht van de vloer op de ruimte vindt plaats met een zeer klein temperatuursverschil tussen vloer en ruimte. Dit is mogelijk vanwege het grote verwarmend en koelend oppervlak.

Door de hierdoor lage benodigde over- en ondertemperatuur maakt het toepassen van energieopwekkers met een lage temperatuursprong aantrekkelijk, zoals warmtepompen, zonne-energie en koudeopslag systemen. Door de lage verwarmingswater temperatuur en de hoge koelwater temperatuur is het tevens mogelijk om hoge rendementen te behalen bij het opwekken, of omzetten van energie.

De toepassing in relatie tot de beleving in de ruimte

Door de lage overtemperatuur is tevens het convectieve aandeel van de warmteoverdracht klein ten opzichte van het stralingsaandeel. Door het grote stralingsaandeel is de verticale temperatuurgradiënt klein. Hierdoor kan een lagere vertrektemperatuur worden gekozen zonder dat dit afbreuk doet aan het comfort. Hierdoor zal het transmissieverlies afnemen.

De keuze van de energiedrager

Als energiedrager komen in principe twee media naar voren, water en lucht. Hierbij heeft water een veel grotere energie-inhoud per volume-eenheid, waardoor het eenvoudiger is in te passen in een bouwkundig ontwerp. Dit hoofdstuk behandelt dan ook vooral de energieoverdracht door middel van water.

Individuele regelbaarheid

Het installatieconcept is niet regelbaar door manuele interventie van het systeem. Het systeem is echter dermate zelfregelend dat dit in het algemeen geen belemmering oplevert.

De vloertemperatuur ligt dermate dicht bij de ruimtetemperatuur dat bij een lichte stijging of daling van de ruimtetemperatuur door externe of interne schommelingen van de warmtebelasting, het vermogen zeer snel toe of afneemt doordat het temperatuurverschil sterk toeneemt of afneemt. Dit vormt het zelfregelend effect.

Door dit effect kan het voorkomen dat hetzelfde systeem in een ruimte met een hogere warmtelast aan het koelen is, terwijl de ruimte ernaast door het systeem wordt verwarmd.

Koel- en verwarmingsvermogens

De beschikbare koel- en verwarmingsvermogens zijn primair afhankelijk van onderstaande variabelen :

- De over- of ondertemperatuur van het medium;
- De afstand tussen de slangen;
- De dikte van de vloer;
- De afwerking van de vloer en het plafond.

Medium temperaturen

De medium temperaturen dienen dusdanig te zijn dat de vloeroppervlakte op een lichte over- of ondertemperatuur kan worden verkregen. Er dient echter voorkomen te worden dat de vloertemperaturen sterk variëren, door het afkoelen of opwarmen van het medium.

Hierdoor is een groot medium debiet noodzakelijk, wat resulteert in een medium temperatuur dicht bij de ruimte temperatuur. Met name voor het koelbedrijf is dit van belang, waardoor het koelbedrijf doorgaans bepalend is.

De medium temperaturen worden bepaald door de gewenste oppervlakte temperaturen van de vloer en het plafond.

De benodigde oppervlaktetemperaturen zijn afhankelijk van de aanwezige warmtelasten, de warmteverliezen en eventuele aanvullende koel- en/of verwarmingsmedia in de ruimten.

In onderstaande tabel zijn de maximaal haalbare waarden volgens Meierhans en Olesen weergegeven:

	Warmteoverdrachts-Coefficient W/m^2K		Oppervlakte-temperatuur $^{\circ}C$		Maximaal vermogen W/m^2	
	Verwarming	Koeling	Verwarming	Koeling	Verwarming	Koeling
Vloer	11	7	29	20	99	42
Plafond	6	11	27	17	42	99

Hierbij dient het volgende te worden opgemerkt:

- Een vloertemperatuur van $29^{\circ}C$ wordt onder normale omstandigheden niet aanbevolen in leefzones;
- De warmteafgifte van het plafond in de wintersituatie is begrensd vanwege het ontstaan van stralingsasymmetrie, afhankelijk van de temperatuur van de overige omwandingen;
- De warmteoverdrachtcoëfficiënten zijn de overgangswaarden van de constructie naar de ruimtelucht;
- De overdrachtcoëfficiënten zijn van zowel stralingswarmte, als convectiewarmte. Het stralingsaandeel is in alle gevallen $5,5 W/m^2K$;
- De slangen liggen in alle gevallen midden in een betonlaag, met een dikte van 30 cm;
- De vermogens gelden bij een ruimtetemperatuur van $26^{\circ}C$ in de zomer en $20^{\circ}C$ in de winter.

Uit bovenstaande oppervlaktetemperaturen in combinatie met de specificatie van de aanwezige constructie volgen de benodigde mediumtemperaturen.

Slangafstand

De hartafstand van de in de vloer gestorte leidingen is tevens van groot belang voor de mogelijke afgiften, de gelijkmatigheid van de vloertemperatuur en de benodigde mediumtemperaturen.

Indien de slangafstand wordt gehalveerd, wordt er twee maal zoveel watermassa in de vloer gelegd. Indien uitgegaan wordt van dezelfde mediumtemperaturen zal dit in de statische situatie weinig consequenties hebben. De vloer en plafond temperaturen zullen namelijk ongeveer

hetzelfde zijn op het moment dat de temperaturen een evenwichtsituatie hebben bereikt. Dit blijkt ook uit tabel 1, waarin te zien is dat de oppervlaktetemperatuur weinig varieert bij een slangafstand van 300 mm.

Feit is echter wel dat er zich meer water in de vloer bevindt, waardoor het systeem zich trager gaat gedragen indien de slangen dicht bij elkaar worden geplaatst. Ook zal de temperatuur van de vloermassa minder snel oplopen bij het toepassen van meer slang, vanwege de grotere aanvoer en afvoer van warmte. Dit is dus met name van belang in de zomersituatie.

Ook is het zo dat indien twee maal zoveel slang wordt geplaatst in de vloer het warmteoverdrachtsoppervlak tussen de slang en de vloer wordt verdubbeld. Hierdoor kan de verschiltemperatuur tussen vloer en mediumtemperatuur worden gehalveerd om dezelfde overdracht te bereiken. Hierdoor kan de medium temperatuur dus nog dicht bij de omgevingstemperatuur worden gehouden. In verhouding tot de omgevingstemperatuur is dit echter zo weinig dat dit weinig voordeel zal opleveren.

Vloerdikte en positie in de vloer

De leidingen kunnen op diverse posities in de vloer worden gelegd. Boven in de vloer, waarbij het systeem zich gedraagt als vloerverwarming. Midden in de vloer wat verder wordt aangeduid als betonkernactivering en onder in de vloer zodat het zich gedraagt als plafondverwarming en/of koeling.

Door deze verschuivingen zijn onderstaande verhoudingen te bereiken, bij een ruimtetemperatuur van 25,5°C in de koelsituatie:

	Koelvermogen W/m ²		
	Vloer	Plafond	Totaal
Boven in vloer	20	12	32
Midden in vloer	11	24	35
Onder in vloer	9	57	66

Tabel : Koelvermogens volgens Meierhans en Olesen

Door de temperatuurgradiënt in de ruimte is het koelvermogen van het plafond dus veel groter dan van de vloer.

Het plaatsen van de leidingen uit het midden van de vloer heeft als grote nadeel dat de sterkte van de vloer nadelig wordt beïnvloed en hierdoor bouwkundige kosten met zich meebrengt. Het plaatsen van de leidingen in het midden van de vloer zorgt echter niet voor een constructieve verslechtering van de vloersterkte en is daardoor te prefereren. Ook is de verhouding tussen vloer- en plafondafgifte veel gunstiger indien zowel de zomer- als de wintersituatie worden meegerekend.

Uit metingen blijkt dat de schommelingen in de oppervlaktetemperatuur niet in belangrijke mate afhankelijk zijn van de leidingafstand. In de onderstaande tabel zijn de temperaturen weergegeven van de vloer bij een slangafstand van 300 mm en een vloerdikte van 300 mm. De temperaturen zijn aangegeven op diverse verticale en horizontale afstanden van het hart van de slang, welke midden in de vloer is geplaatst. Uit de tabel blijkt dat het temperatuurverschil aan de oppervlakte maximaal slechts 0,2°C bedraagt.

T in °C	X=0 mm	X=50 mm	X=100 mm	X=150 mm
Y = 150 mm	21.1	21.2	21.2	21.3
Y = 100 mm	20.7	20.8	20.9	21.0
Y = 50 mm	20.1	20.4	20.7	20.8
Y = 0 mm	18.0	20.2	20.7	20.8
Y = -50 mm	20.4	20.7	21.0	21.1
Y = -100 mm	21.4	21.4	21.5	21.6
Y = -150 mm	22.1	22.1	22.2	22.2

Tabel :Temperatuurverdeling in beton, slangafstand 300 mm en vloerdikte 300 mm (meierhans en Olesen)

Vloer- en wandafwerking

De mogelijke vloer- en plafondafwerking hebben een grote impact op de afgifte van de betonkernactivering. Bij de vloerafwerking kan de vergelijking worden getrokken met vloerverwarming / koeling. Waarbij met name voor vloerkoeling de vloerafwerking van groot belang is. De vloerafwerking mag hierbij afhankelijk van het benodigde vermogen niet een te hoge warmteweerstand hebben. De afgifte zal namelijk omgekeerd evenredig afnemen bij het stijgen van de warmteweerstand van de vloer.

In de wintersituatie is dit vaak eenvoudig te verhelpen door de aanvoertemperatuur te verhogen. Echter kan in de zomersituatie de aanvoertemperatuur niet ver worden verlaagd in verband met condensatiegevaar.

De benodigde gemiddelde watertemperatuur kan relatief eenvoudig worden berekend door, uitgaande van de benodigde oppervlaktetemperatuur, met behulp van de diverse warmteweerstanden en diktes van de constructie lagen de watertemperatuur te bepalen. Hierbij dient gelet te worden dat dezelfde watertemperatuur geldt voor zowel de warmteafgifte naar boven als naar beneden.

De weerstandswaarde van de vloerafwerking bepaald dus in hoge mate het afgegeven vermogen. Het is dus van belang om een vloerafwerking met een zo laag mogelijke weerstandswaarde te kiezen. Als richtwaarde kan gezegd worden dat de R_c -waarde maximaal $0,06 \text{ m}^2\text{K/W}$ dient te zijn. Hierboven is het afgegeven vermogen vaak te klein. Gunstig is dus een harde vloerafwerking, bij voorkeur tegels, of natuursteen. Maar ook diverse soorten linoleum, vinyl of hardere typen projectapijt voldoen.

Stralingstemperatuur

Een belangrijke variabele in de behaaglijkheidcriteria is de stralingstemperatuur. Deze kan worden berekend door het bepalen van de gemiddelde stralingstemperatuur in een ruimte. Voor een zittend persoon geldt de volgende formule:

$$T_{\text{str,gem}} = 0,129(T_{\text{boven}} + T_{\text{onder}}) + 0,157(T_{\text{rechts}} + T_{\text{links}}) + 0,214(T_{\text{voor}} + T_{\text{achter}}).$$

Indien in de zomersituatie de vloer en plafond op respectievelijk 21°C en 22°C kunnen worden gehouden dan betekent dit, dat bij een ruimtetemperatuur van 25°C , $T_{\text{boven}} + T_{\text{onder}} 7^\circ\text{C}$ lager ligt dan bij het niet toepassen van betonkernactivering.

Voor de gemiddelde stralingstemperatuur betekent dit dat deze $0,9^\circ\text{C}$ lager zal uitvallen.

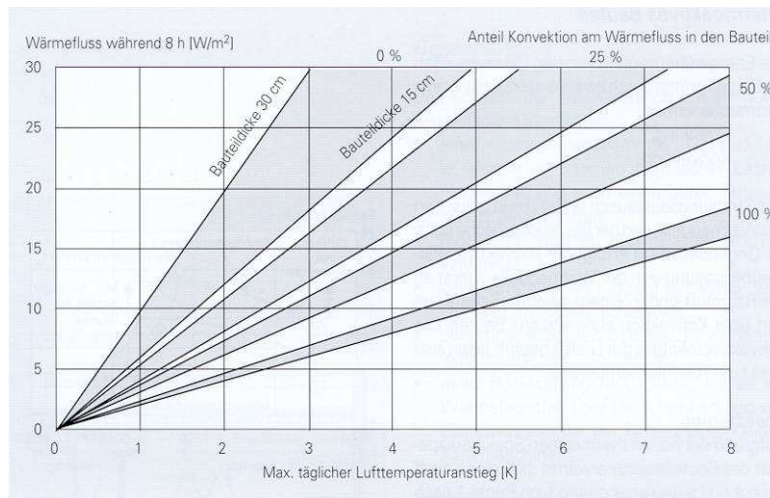
Indien de luchttemperatuur in verhouding tot een conventioneel systeem gelijk is, zal bij het systeem van betonkernactivering de operationele temperatuur ongeveer $0,5^\circ\text{C}$ ($=0,9^\circ\text{C} / 2$) lager aanvoelen.

Verhouding tussen straling en convectie

De uitwerking van de betonkernactivering is mede afhankelijk van soort warmtelasten in de ruimte. Er dient hierdoor een onderscheid te worden gemaakt in de convectieve en stralingswarmtebronnen.

In onderstaande grafiek wordt een onderscheid gemaakt tussen de warmtelasten welke worden veroorzaakt door convectieve lasten en door stralingslasten. Onderstaande afbeelding geeft een overzicht van de meest voorkomende warmtebronnen en het aandeel convectie en straling afgifte.

Uit de grafiek blijkt dat vooral bij een hoog aandeel van convectieve warmtelasten, zoals apparatuur en verlichting betonkernactivering een grote reductie van de ruimtetemperatuur tot gevolg heeft.



Afb. 5: De invloed van betonkernactivering op de stijging van de ruimtetemperatuur afhankelijk van de warmtelast.

Integratie in een installatieconcept

Aanvullende verwarming

In een modern kantoorgebouw met een goed geïsoleerde gevel en een hoge interne warmtelast kan in principe een aanvullende verwarming achterwege blijven, indien de ventilatielucht wordt voorverwarmd.

Het niet toepassen van een aanvullende verwarming heeft echter een aantal nadelen, welke dienen te worden afgewogen tegen de meerinvestering.

- De ruimten zijn niet individueel regelbaar, wat vaak een vereiste is binnen een cellenkantoor. Ruimten die een afwijkende interne of externe warmtelast hebben kunnen hierdoor niet altijd aan de comforteisen voldoen. Bij kantoorgebouwen met een kantooromgeving kan dit echter in overweging worden genomen.
- Alleen het gebruik van betonkernactivering is niet in staat om snelle wisselingen in de temperatuurbelasting op te vangen. In de wintersituatie kent de comforttemperatuur in de ruimte echter nauwe grenzen. Hierdoor kan niet adequaat genoeg worden gereageerd op een plotseling invallende zon, of een plotselinge toename in de interne belasting.

Mogelijkheden voor aanvullende verwarming zijn:

- Naverwarmers in de toevoerlucht voor individuele naregeling; Hierbij dient opgemerkt te worden dat inblazen via het plafond niet mogelijk is, omdat er geen gesloten verlaagd plafond kan worden toegepast.
- Radiatoren of convectoren aan de gevel, met thermostaatventielen; Omdat stralingscompensatie niet nodig is zijn convectoren vaak een goede keus. In het tussenseizoen kan met de tempering een basiskoellast worden gecreëerd waarbij met de convectoren per ruimte kan worden nageregeld. Een warmtepomp is hierbij een uitstekend medium om de warmte te verplaatsen.
- Klimaatplafond, met regeling per ruimte. Hierbij dient te worden opgemerkt dat het gebruik van een vorm van eilandplafond ten koste gaat van de stralingsafgifte van dat deel van het plafond.

Aanvullende koeling

Aanvullende koeling is in veel gevallen niet nodig, doch is soms wenselijk of noodzakelijk. Te denken valt aan een cellenkantoor omgeving met grote verschillen in interne of externe warmtelasten. Of als er eisen worden gesteld aan de regelbaarheid van het klimaat in de zomer.

Mogelijkheden voor aanvullende koeling zijn:

- Nakoelers in de toevoerlucht, of een centrale koeling met naverwarming per vertrek. Hierbij dient opgemerkt te worden dat het inblazen vaak niet kan geschieden door middel van plafondroosters, omdat er geen gesloten verlaagd plafond kan worden toegepast. Dit maakt deze oplossing vaak moeilijk toepasbaar;
- Klimaatplafond, met regeling per ruimte. Hierbij dient te worden opgemerkt dat het gebruik van een vorm van eilandplafond ten koste gaat van de stralingsafgifte van dat deel van het plafond.

Natuurlijke ventilatie

Een van de grote voordelen van betonkernactivering is de vermindering van de bouwhoogte en de mogelijkheid om compacter te bouwen. Indien er mechanisch wordt geventileerd kan dit echter slechts ten dele worden uitgevoerd, omdat de kanalen relatief veel bouwkundige ruimte en vooral hoogte in beslag nemen.

Uit dit oogpunt is natuurlijke ventilatie een zeer goede oplossing, omdat er geen bouwkundige ruimte voor benodigd is. Er dient alleen ruimte te worden gereserveerd voor een afzuigvoorziening. Dit kan centraal in het gebouw gebeuren.

Tevens is er voor een natuurlijke luchttoevoer geen volledig verlaagd plafond benodigd. Echter is het raadzaam om een beperkt eilandplafond te creëren om in de wintersituatie de koude buitenlucht de gelegenheid te geven te induceren met de ruimtelucht, zodat koudeval wordt voorkomen. Dit eilandplafond kan worden gecombineerd met een akoestische voorziening, de verlichting en eventueel aanvullende verwarming en/of koeling.

~~~~~

## **11 Warmte/koude distributie**

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: dr.ir. Peter van den Engels, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet

### **Algemeen**

#### **11.1 Inleiding**

Besproken wordt de distributie met watervoerende leidingen. Waar nodig wordt de relatie met luchtkanalen aangegeven.

#### **11.2 Leidingen en luchtkanalen**

##### **Horizontaal en verticaal transport**

Warmte, koude en verse lucht worden getransporteerd via leidingen en luchtkanalen.

Horizontale leidingen en kanalen kunnen in verlaagde plafonds, kruipruimten, verhoogde vloeren, borstweringen e.d. worden aangebracht. Verticale leidingen en kanalen in schachten. Uiteraard kunnen leidingen en kanalen ook "in het zicht" lopen.

##### **Bereikbaarheid**

Leidingen en luchtkanalen kunnen ruimtelijk in gevels en scheidings- en draagconstructies worden opgenomen. Er zijn ook voorbeelden waarbij ze functioneel zijn geïntegreerd.

Installaties moeten kunnen worden aangebracht en bereikbaar moeten blijven voor onderhoud, vervanging e.d.. In de praktijk wordt niet altijd aan deze voorwaarden te voldaan. In de volgende paragrafen wordt een vorm van ruimtelijke integratie besproken die niet ten koste gaat van de maakbaarheid en bereikbaarheid van de installaties.

### 11.3 Andere watervoerende leidingen

Binnenriolering, waterleiding etc.

Voor binnenriolering, waterleiding, (droge) brandleiding, sprinklerinstallatie etc. moet ruimte aanwezig zijn in schachten, verlaagde plafonds, e.d..

Omdat de "horizontale" leidingen van de binnenriolering op afschot moeten liggen vraagt de plaatsbepaling van deze leidingen en andere kanalen en leidingen in gezamenlijke installatieruimten om afstemming. De lucht uit toiletruimten, keukens, badruimten e.d. moet bovendaks worden afgevoerd (niet in de directe nabijheid van aanzuigroosters van de luchtbehandelinginstallatie!). Voor de afvoerkanalen zijn schachten nodig. Vaak worden deze schachten tevens gebruikt voor de standleiding van de binnenriolering. Om het aantal schachten te beperken is het nodig om toiletten en andere "natte" groepen zoveel mogelijk boven elkaar te situeren. Voor de binnenriolering kan in eerste instantie van een standleiding met een uitwendige diameter van 200 mm worden uitgegaan (incl. isolatie).

### 11.4 Integratie in de gevelzone

Schachten en leidingkokers

Horizontale en verticale leidingen en kanalen kunnen zowel vóór (buitenzijde) als achter de constructieve gevel lopen en soms in de gevel zelf worden opgenomen. Het laatste is minder gunstig omdat de bereikbaarheid wordt beperkt en bediening, onderhoud of vervanging moeilijk uitvoerbaar zijn. Deze vorm van integratie wordt hier dan ook niet bepleit.

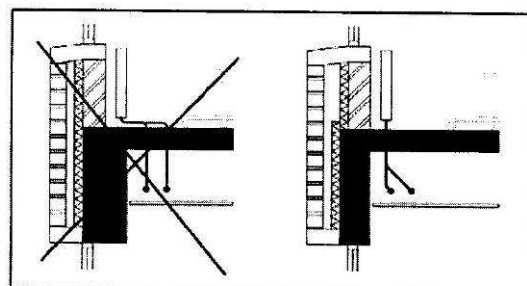
Leidingen en kanalen die vóór de gevel komen, kunnen in lichte niet-constructieve elementen worden aangebracht. Deze elementen vormen in dat geval horizontale of verticale schachten die het gevelbeeld sterk beïnvloeden. Kanalen kunnen ook, zoi het goed geïsoleerd en voorzien van een stevige buitenmantel, in het zicht lopen en zeer dominant het gevelbeeld bepalen. Een extreem voorbeeld hiervan is het Centre Pompidou in Parijs.

#### 11.4.1 Horizontale leidingen en kanalen

Horizontale leidingen en kanalen, die achter de gevel lopen, zijn - bijvoorbeeld ter plaatse van de borstwering - in een speciale omkasting aan te brengen. De relatief dunne aansluitleidingen van radiatoren worden, voor zover ze niet in de afwerklaag van de vloer worden opgenomen, vaak "in het zicht" gelegd. De horizontale leidingen kunnen onder of achter de radiatoren lopen. Bij convectoren legt men de leidingen vaak in de convectorput of schacht. De noodzaak van horizontale leidingen en kanalen ter plaatse van de borstwering, in een omkasting of in het zicht, is vaak het gevolg van een beperkte bruto verdiepingshoogte en het daardoor ontbreken van voldoende inbouwruimte in het verlaagde plafond of het ontbreken van verlaagd plafond.

#### 11.4.2 Randbalken

Bij de aansluiting van radiatoren of convectoren op leidingen die onder de vloer lopen, bijvoorbeeld in verlaagde plafonds, kunnen randbalken dwingen tot het laten verspringen van de aansluitleidingen boven de vloer. Randbalken waarvan de binnenkant ongeveer in hetzelfde verticale vlak ligt als de binnenkant van de buitenwand kunnen dit probleem voorkomen (figuur 1).



### 11.5 Inbouwruimte in verlaagde plafonds, e.d.

*Ruimtebepaling Indicatief*

Bij het eerste Ruimtelijke Ontwerp is weinig bekend over de thermische eigenschappen van het gebouw. De afmetingen voor inbouwruimten van leidingen en kanalen zijn slechts ruwweg te bepalen, zoals op basis van een systeemindicatie en ervaringscijfers. Deze gegevens hebben betrekking op kantoorgebouwen:

tabel 1 inbouwruimte voor verschillende klimaatregelsystemen (zie figuur 2)

| Installatiesysteem          | vrije hoogte<br>in gangplafond<br>(b) m | vrije hoogte in<br>plafond kantoren<br>(c) m <sup>1)</sup> | verloren<br>vloerstrook<br>(d) m |
|-----------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| centrale verwarming         | 0,2                                     | 0,1                                                        | 0,1                              |
| CV + mechanische ventilatie | 0,4                                     | 0,2                                                        | 0,1                              |
| "volledig lucht"-systeem    | 0,5                                     | 0,3                                                        | 0,1                              |
| "lucht/water"-systeem       | 0,4                                     | 0,3 (0,5) <sup>2)</sup>                                    | 0,5 (0,0) <sup>2)</sup>          |

- 1) hierbij is geen rekening gehouden met ruimte voor de passage van aansluitkanalen en aansluitdozen bij direct afgezogen verlichtingsarmaturen
- 2) bij inbouw van units in plafond

NB: Tabel 1 heeft betrekking op traditionele kantoorgebouwen met vertrekken aan weerszijde van een ten minste 2,1 m brede middengang. De hoofdkanalen en hoofdleidingen liggen daarbij in de ruimte boven het verlaagde plafond van de gang. De hiervoor aangegeven vrije hoogte is nodig om aftakkende leidingen en kanalen te kunnen laten kruisen met hoofdleidingen en hoofdkanalen. Bij grote niet ingedeelde verdiepingvloeren, zoals bij kantoorruimten, moet de gehele ruimte boven het verlaagde plafond een vrije hoogte moet hebben zoals in tabel 1 voor het gangplafond is aangegeven.

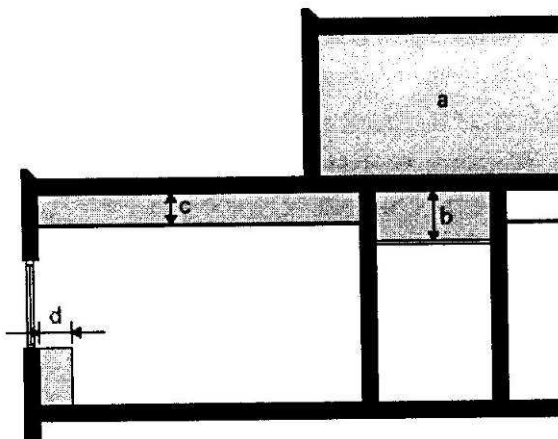


Fig 2; inbouwruimte voor verschillende klimaatregelsystemen, luchtkanalen zijn bepalend.

### Ruimtebepaling Globaal

Bij het Voorlopig Ontwerp is de benodigde ruimte voor inbouw van horizontale leidingen en kanalen vaak te bepalen op basis van te schatten leiding- en kanaalafmetingen.

Van luchtkanalen is de inwendige diameter of (bij rechthoekige doorsnede) de inwendige hoogte te schatten. Zie hiervoor de tabellen 2 en 3 en voorbeeld 1. In deze tabellen zijn de inwendige maten aangegeven. Toevoerkanalen voorziet men meestal van uitwendige thermische isolatie, waardoor de uitwendige maten ca. 50 mm groter worden. Verder is ten minste 100 mm nodig voor de ophanging (isolatie valt hier binnen). Voor kruisende aftakkingen moet ten minste 250 mm bij de inwendige diameter of hoogtemaat van het (hoofd)kanaal worden opgeteld. De ruimte voor de ophanging en isolatie valt daarbinnen.

### *Ruimtebepaling Fijn*

Het Definitief Ontwerp biedt de laatste kans om de inbouwruimte voor de horizontale kanalen en leidingen goed op het gebouwontwerp af te stemmen. Te kleine inbouwruimte geeft vaak montageproblemen of er moeten kleinere kanalen worden toegepast dan noodzakelijk, met als gevolg hoge lichtsnelheden en hinderlijk stromingsgeluid. Stromingsgeluid is niet afdoende te dempen als inbouwruimte voor dempers ontbreekt of toevoer- en afvoerroosters van de te ventileren ruimten dicht bij de hoofdkanalen zitten. Teveel inbouwruimte, bijvoorbeeld in verlaagde plafonds, kan tot een onnodig grote verdiepingshoogte en daardoor onnodig hoge bouwkosten leiden. Een redelijk nauwkeurige bepaling van de inbouwruimte is mogelijk door de diameters van leidingen en kanalen te berekenen op basis van de warmte-, koel- en verselucht-behoefte. Dit is feitelijk een taak voor adviseurs en installateurs. Omdat de inbouwhoogte mede de verdiepingshoogte bepaalt en de verdiepingshoogte de bouwkosten sterk beïnvloeden, zien gebouwonwerpers het bepalen van de inbouwruimte in verlaagde plafonds vaak als hun eigen taak.

## 11.6 Schachtruimte

### *Ruimtebepaling Indicatief*

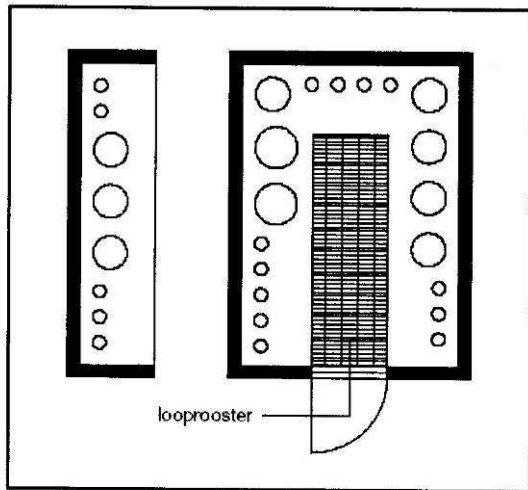
Bij het eerste Ruimtelijke Ontwerp, als nog weinig bekend is over de thermische eigenschappen van het gebouw, zijn de afmetingen van schachten voor kanalen en leidingen slechts indicatief te bepalen. Voor de doorsnedeoppervlakte van schachten voor kanalen wordt als vuistregel meestal 2% van de vloeroppervlakte van één verdieping genomen. Voor 8 à 10 verdiepingen is 1% van de vloeroppervlakte vaak voldoende. In die schachten is, naast de kanalen, meestal plaats voor verwarmings- en koelleidingen. Rekening houdend met de zonering van de luchtbehandeling, moet de schachtruimte over de oppervlakte van het gebouw worden verdeeld. Dat betekent in het algemeen dat schachten niet meer dan twee maal 35 à 40 m van elkaar verwijderd mogen liggen.

### *Ruimtebepaling Globaal*

Bij het Voorlopig Ontwerp worden de afmetingen van schachten voor leidingen en kanalen meestal niet nauwkeuriger bepaald dan bij het eerste Ruimtelijke Ontwerp. Mede omdat de afmetingen geen grote invloed hebben op de indeling van het gebouw. Wel moet de plaats van de schachten nauwkeuriger op de dan bekende gebouwindeling zijn afgestemd en moet de zonering van de luchtbehandeling bekend zijn.

### *Ruimtebepaling Fijn*

Het Definitief Ontwerp biedt de laatste kans voor een goede afstemming van de schachten op het gebouwontwerp. Daarvoor moeten de leiding- en kanaaldiameters bepaald zijn op basis van de berekening van de warmte-, koel- en verselucht-behoefte. Voor een schacht voor CV- en koelleidingen is de horizontale doorsnede voldoende nauwkeurig te bepalen door de "diepte" van de schacht gelijk te stellen aan de benodigde vrije hoogte van de grootste leiding. De breedte van de schacht moet gelijk zijn aan de som van de benodigde vrije hoogten van de afzonderlijke leidingen. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de leidingen naast elkaar liggen en de schacht ten minste aan één lange zijde over de volle breedte toegankelijk is, bijvoorbeeld met een deur of met een eenvoudige te verwijderen paneel. Wordt de schachtbreedte, in verhouding tot de "diepte", hierdoor te groot dan kan een schachtvorm worden gekozen waarbij de leidingen langs twee of drie zijden van de schacht komen te liggen. In dat geval moet tussen de tegenover elkaar liggende leidingen ten minste 0,5 m ruimte overblijven voor montage en isolatiewerkzaamheden en voor het bereikbaar blijven van de leidingen voor inspectie, reparatie en vervanging (zie figuur 3).



figuur 3 voorbeeld indeling schacht voor CV- en koelwaterleidingen

### 11.7 Drukzones in hoogbouw

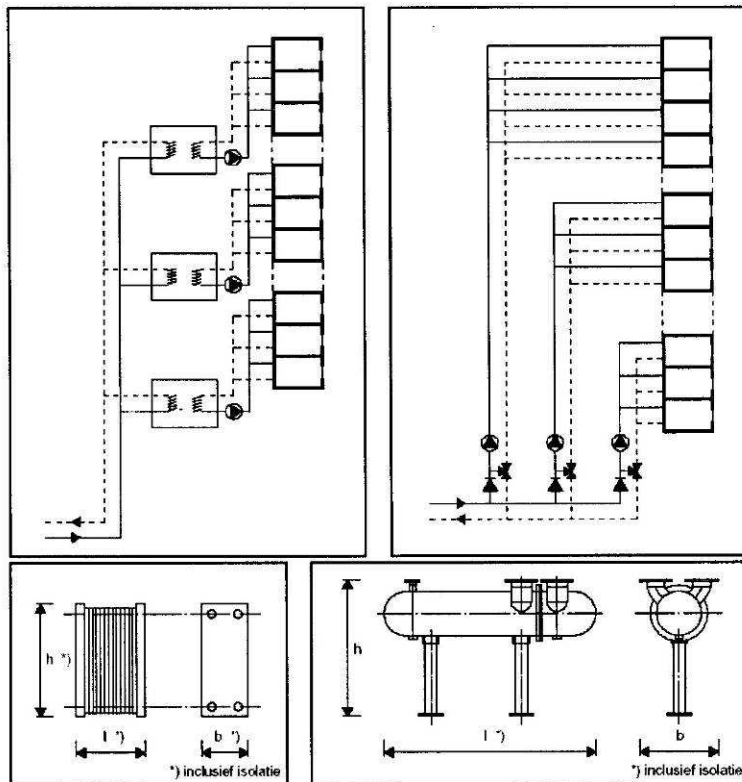
Bij hoogbouw kunnen in verwarmings- en koelleidingen hoge drukken ontstaan. Bij een gebouw van 150 m hoogte bijvoorbeeld ontstaat op maaiveldhoogte alleen al door het gewicht van het water in de leidingen een druk van 15 Bar. Als het materiaal van de leidingen op dergelijke drukken is afgestemd, hoeft dit niet tot leidingbreuk of lekkages te leiden. Leidingen zijn namelijk leverbaar voor drukken van enige honderden Bar. Radiatoren daarentegen zijn standaard geschikt voor een druk van 3 en maximaal 5 Bar. Dergelijke werkdrukken gelden ook voor inductieapparaten, ventilator convectoren, radiatorafsluiters e.d.

Om de druk in leidingen of leidinggedeelten, waarop radiatoren e.d. zijn aangesloten, te beperken, moeten hoge gebouwen in verschillende drukzones worden verdeeld. Drukzones worden meestal met behulp van warmtewisselaars gemaakt (figuur 4). Een warmtewisselaar is in dat geval een apparaat dat leidingsystemen thermisch koppelt en hydraulisch ontkoppelt. Voor de opstelling en aansluiting van warmtewisselaars moet ruimte beschikbaar zijn. Tabel 2 vermeldt de globale afmetingen van platen- en pijpenwarmtewisselaars. Drukzones zijn ook te maken met behulp van combinaties van pompen, driewegkleppen, terugslagkleppen e.d. (figuur 4, rechts boven).

tabel 2 globale afmetingen van platen- en pijpenwarmtewisselaars in m (l x b x h)

| vermogen | platen          | pijpen          |
|----------|-----------------|-----------------|
| kW       | (figuur 7.13)   | (figuur 7.14)   |
| 20       | 0,2 x 0,2 x 0,4 | 2,4 x 0,4 x 0,9 |
| 50       | 0,2 x 0,2 x 0,4 | 2,5 x 0,5 x 0,9 |
| 100      | 0,3 x 0,2 x 0,4 | 2,6 x 0,5 x 1,0 |
| 200      | 0,4 x 0,3 x 0,8 | 2,8 x 0,6 x 1,1 |
| 500      | 0,4 x 0,4 x 0,9 | 2,9 x 0,7 x 1,2 |
| 1000     | 0,8 x 0,5 x 1,4 | 3,0 x 0,7 x 1,4 |
| 2000     | 1,3 x 0,5 x 1,4 | 3,1 x 0,8 x 1,7 |
| 5000     | 1,3 x 0,7 x 1,8 | 3,4 x 0,8 x 2,2 |
| 10000    | 2,3 x 0,9 x 1,8 | 2 x 5000 kW     |

Warmtewisselaars worden ook toegepast als afleverstation bij stads- of wijkverwarming. De afmetingen worden mede bepaald door de gewenste effectiviteit van warmteoverdracht en de vereiste kwaliteit van de scheiding van de watervoerende media aan beide zijden van de wisselaar.



figuur 4 warmtewisselaars en drukscheidingen bij hoogbouw met warmtewisselaars  
Een platenwisselaar is links onder aangegeven en een pijpenwisselaar rechtsonder. Een drukscheiding is ook mogelijk met pompen en driewegkleppen (rechts boven).

## 11.8 Dimensionering van leidingen

### 11.8.1 Theoretische grondslagen

Met leidingen wordt water verplaatst, met kanalen lucht. Feitelijk zijn water en lucht media voor warmtetransport. Met lucht zijn ook gassen en stof, zoals zuurstof, kooldioxide en binnenluchtverontreinigingen te transporteren. Het dimensioneren van kanalen kan daardoor complex zijn, maar is dat niet omdat we weten dat bij klimaatregeling het warmtetransport voor koeling meestal maatgevend is. Bij een intensieve ruimtebezetting, zoals bij gehoorzalen, kan het verse lucht-transport maatgevend zijn.

Bij warmtetransport is het per tijdseenheid te verplaatsen volume ( $q_v$ ):

$$q_v = \Phi_w / (\rho \cdot c \cdot \Delta\theta) \text{ (m}^3\text{/s)}$$

waarin:

$\Phi_w$  = te transporteren hoeveelheid warmte in W

$\rho$  = dichtheid van het medium in kg/m<sup>3</sup> ( $\rho_{\text{lucht}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_{\text{water}} = 1000 \text{ kg/m}^3$ )

$c$  = soortelijke warmte in J/kg ( $c_{\text{lucht}} = 1000 \text{ J/kgK}$ ,  $c_{\text{water}} = 4200 \text{ J/kgK}$ )

$\Delta\theta$  = temperatuurverschil tussen toevoer en afvoer in °C

bij luchtkanalen, afhankelijk van ruimtehoogte en plaats toevoer, 4-15 °C

„ koelleidingen, meestal 6 °C

„ CV-leidingen, meestal 20 °C of 10 °C (bij lage temperatuurverwarming; bij

heetwaterleidingen, meestal 40 °C)

Omdat, zoals hier te zien is, een m<sup>3</sup> inhoud water veel zwaarder is dan lucht een m<sup>3</sup> en de soortelijke warmte van water ook groter is dan die van lucht kan water  $(1000 \cdot 4200) / (1,2 \cdot 1000) = 3500$  maal zo veel energie verplaatsen dan lucht. Dit is een van de redenen dat bij energie-efficiënte temperatuurbeheersing van gebouwen in toenemende mate water wordt

gebruikt. Lucht wordt vooral gebruikt om de luchtkwaliteit op peil te houden, tenzij in hoge mate gebruik kan worden gemaakt van natuurlijke stromingen die geen ventilatorenergie kosten.

De benodigde doorsnede-oppervlakte (A) van de leiding of het kanaal is:

$$A = q_v / v \text{ (m}^2\text{)}$$

Waarin  $v$  = snelheid van het medium,

- 0,5 - 1,2 m/s (CV-leidingen, afhankelijk van diameter)
- 2,0 - 3,0 m/s (transportleidingen voor CV, heetwater en koelwater)
- 3,0 - 20 m/s (luchtkanalen, afhankelijk van diameter en druk)

Voor ronde leidingen en kanalen geldt:

$$A = \pi \cdot d^2 / 4 \text{ (m}^2\text{)}$$

Wordt uitgegaan van de te transporteren hoeveelheid warmte ( $\Phi_w$ ), dan is de diameter:

$$d = \sqrt[4]{4 \cdot \Phi_w / (\pi \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta\theta \cdot v)} \text{ (m)}$$

Wordt uitgegaan van het te transporteren volume ( $q_v$ ), dan volgt de diameter uit:

$$d = \sqrt[4]{4 \cdot q_v / (\pi \cdot v)} \text{ (m)}$$

### 11.8.2 Dimensioneringsmethoden

In de klimaatregeltechniek worden bij het dimensioneren van leidingen en kanalen verschillende methoden toegepast. De ene ontwerper werkt met constante snelheden in de leidingen of kanalen, de volgende gaat uit van een constante wrijvingsweerstand, terwijl een derde snelheden toepast die afhankelijk zijn van de leiding- of kanaaldiameter. Meestal wordt evenwel van de methode van constante snelheid uitgegaan. Bij extreme hoogbouw, als met schachtruimte in de kernen moet worden gewoekerd, voert men de luchtkanalen vaak uit als hogedruksysteem met hoge snelheden in de hoofdkanalen. ISSO propageert een methode waarbij de snelheid in het leiding- of kanalsysteem geleidelijk wordt gereduceerd: bij de pomp of ventilator is de snelheid het hoogst en bij de eindapparaten het laagst. De methode is gepresenteerd in de vorm van een grafiek, ook wel "nomogram" genoemd (zie figuur 5). Om minder te hoeven rekenen gebruiken installatieontwerpers vaak grafieken waaruit de leiding- en kanaaldiameters direct zijn af te lezen. In de volgende paragrafen worden deze grafieken - en de tabellen die hierop zijn gebaseerd - toegelicht.

### 11.8.3 Dimensionering van verwarmings- en koelleidingen

#### *Globale bepaling leidingdiameter*

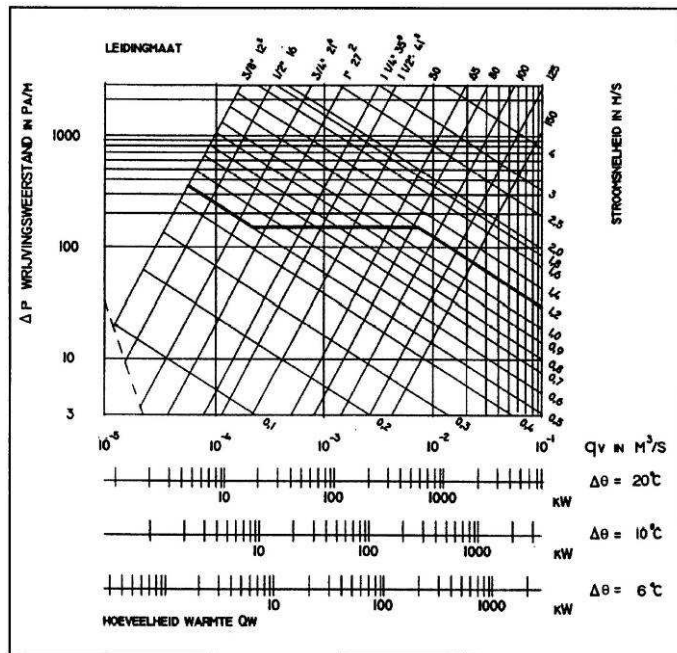
De diameter van CV- en koelleidingen is met tabel 3 globaal te bepalen. De laatste kolom van deze tabel geldt voor een specifieke warmtebehoefte van  $100 \text{ W/m}^2$  (redelijke waarde voor moderne woon- en utiliteitsgebouwen), een temperatuurverschil van  $20^\circ\text{C}$  (aanvoer  $90^\circ\text{C}$  en retour  $70^\circ\text{C}$ ) en een geleidelijke afname van de watersnelheid in de leidingen. Er wordt geen grote fout gemaakt als voor de koelleidingen van een bepaalde ruimte, verdieping of gebouw dezelfde diameters worden genomen als voor de CV-leidingen.

#### *Nauwkeuriger bepaling leidingdiameter*

Voor een nauwkeurige bepaling van de diameter van CV- en koelleidingen dan globaal moet de warmte- en koelbehoefte worden berekend waarna een systeemkeuze is te maken.

Vervolgens moet bij "lucht/water"-systemen worden bepaald welk deel van het verwarmings en koelvermogen met water als medium wordt getransporteerd en met welk temperatuurverschil dat wordt gedaan.

Pas daarna is de leidingdiameter te bepalen. De diameter is ook grafisch te bepalen (zie figuur 5) of in een tabel op te zoeken (zie tabel 3).



figuur 5 nomogram voor de dimensionering van verwarmings- en koelleidingen

### Nomogram voor dimensioneren van verwarmings- en koelleidingen

In figuur 5 is op de horizontale as de te transporteren hoeveelheid water (het "debiet") in  $\text{m}^3/\text{s}$  aangegeven en op de verticale as de wrijvingsweerstand in  $\text{Pa}/\text{m}$  leidinglengte. De schuine van linksonder naar rechtsboven lopende lijnen geven de leidingdiameter in mm aan en de van linksboven naar rechtsonder lopen de lijnen de watersnelheid in  $\text{m}/\text{s}$ .

Onder het nomogram staan schalen met de hoeveelheid warmte die via een leiding is te transporteren afhankelijk van het temperatuurverschil tussen toevoer en retour ( $\Delta\theta$ ). Deze schalen corresponderen met de debietschaal. De dikke geknikte lijn in het nomogram is een veel gebruikte ontwerplijn voor verwarmings- en koelleidingen die laat zien dat in kleine leidingen lagere snelheden worden toegepast dan in grote leidingen. In transportleidingen past men de hoogste watersnelheden toe, namelijk maximaal 2 à 3  $\text{m}/\text{s}$ . Bij de aansluiting van radiatoren, convectoren en dergelijke wordt de snelheid meestal beperkt tot 0,5  $\text{m}/\text{s}$ .

Voorbeeld: Via een leiding moet 0,001 ( $10^{-3}$ )  $\text{m}^3/\text{s}$  water worden getransporteerd. De lijn voor dit debiet snijdt de dikke ontwerplijn ongeveer bij een leidingdiameter van 40 mm.

Voorbeeld: Via een leiding moet een koelvermogen van 100 kW worden getransporteerd. Het verschil tussen aanvoer- en retourtemperatuur is 6 °C. Vanaf de schaal  $\Delta\theta=6^\circ\text{C}$  wordt een lijn getrokken evenwijdig aan de verticale lijnen in het nomogram. Deze lijn snijdt de dikke ontwerplijn tussen de lijnen voor een leidingdiameter van 50 mm en 65 mm. Dat betekent dat, naar boven afgerond, een leidingdiameter van 65 mm moet worden toegepast.

### Tabel voor dimensioneren verwarmings- en koelleidingen

Tabel 3 is gebaseerd op het in de vorige paragraaf toegelichte nomogram en geldt voor de dikke ontwerplijn. De eerste kolom geeft de per tijdseenheid te transporteren hoeveelheid water in  $\text{m}^3/\text{s}$ . De tweede kolom vermeldt de nominale diameter van de leiding die voor dit debiet nodig is. De derde kolom geeft de inwendige diameter van deze leiding aan en de vierde kolom de uitwendige diameter (inclusief thermische isolatie). In de volgende vier

kolommen is het verwarmings- of koelvermogen van het betreffende debiet vermeld, afhankelijk van het verschil tussen de aanvoer-en retourtemperatuur van het water. De meest rechtse kolom noemt het aantal m<sup>2</sup> vloeroppervlakte dat met het aangegeven debiet kan worden verwarmd, uitgaande van een gemiddelde warmtebehoefte van 100 W/m<sup>2</sup> en een temperatuurverschil tussen aanvoer en retour van 20 °C. Met dit gegeven is, als weinig bekend is over de werkelijke warmtebehoefte, op een snelle manier de diameter en de inbouwhoogte van verwarmingsleidingen globaal te bepalen.

| verwarmings- en koelleidingen, afmetingen en inbouwhoogte |          |       |        |     |                          |       |       |       |                      |
|-----------------------------------------------------------|----------|-------|--------|-----|--------------------------|-------|-------|-------|----------------------|
| tabel 3<br>debiet                                         | leiding  |       | inbouw |     | verwarmings/koelvermogen |       |       |       | te verwarmen         |
|                                                           | diameter |       | hoogte |     | bij Δθ van               |       |       |       | vloeroppervlakte bij |
| m³/s                                                      | nom.     | inw.  | uitw*) |     | 6 °C                     | 10 °C | 20 °C | 40 °C | 100 W/m² en Δθ=20 °C |
| x10 <sup>-3</sup>                                         | mm       | mm    | mm     | mm  | kW                       | kW    | kW    | kW    | m²                   |
| 0,06                                                      | 10       | 12,5  | 40     | 100 | 1,5                      | 2,5   | 4     | 8     | 40                   |
| 0,10                                                      | 15       | 16,0  | 50     | 100 | 2,5                      | 4,0   | 8     | 16    | 80                   |
| 0,18                                                      | 20       | 21,6  | 60     | 120 | 4,5                      | 7,5   | 15    | 30    | 150                  |
| 0,33                                                      | 25       | 27,5  | 65     | 120 | 8                        | 13    | 26    | 52    | 260                  |
| 0,66                                                      | 32       | 35,9  | 85     | 150 | 17                       | 28    | 57    | 115   | 570                  |
| 1,03                                                      | 40       | 41,8  | 90     | 160 | 26                       | 43    | 85    | 170   | 860                  |
| 1,88                                                      | 50       | 53,0  | 105    | 180 | 48                       | 80    | 160   | 320   | 1600                 |
| 4,08                                                      | 65       | 70,3  | 120    | 200 | 100                      | 170   | 340   | 720   | 3400                 |
| 6,15                                                      | 80       | 82,5  | 130    | 250 | 150                      | 250   | 500   | 1000  | 5000                 |
| 10,8                                                      | 100      | 107,1 | 160    | 280 | 270                      | 450   | 900   | 1800  | 9000                 |
| 16,3                                                      | 125      | 131,7 | 180    | 300 | 410                      | 650   | 1300  | 2600  | 13000                |
| 23,9                                                      | 150      | 159,3 | 210    | 350 | 600                      | 1000  | 2000  | 4000  | 20000                |
| 40,5                                                      | 200      | 207,3 | 260    | 400 | 1000                     | 1700  | 3400  | 7200  | 34000                |
| 63,9                                                      | 250      | 260,4 | 310    | 450 | 1600                     | 2650  | 5300  | 10600 | 53000                |
| 90,4                                                      | 300      | 309,7 | 360    | 500 | 2250                     | 3750  | 7500  | 15000 | 75000                |

\*) inclusief thermische isolatie

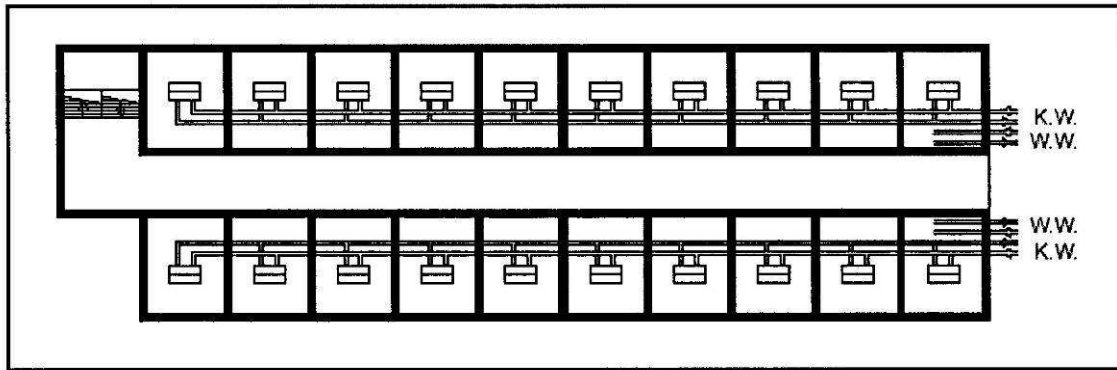
Voorbeeld: Via koelleidingen (een aanvoer-en een retourleiding) moet 0,0001 (10<sup>-4</sup>) m<sup>3</sup>/s worden getransporteerd. Uit de tabel blijkt dat voor dit debiet, afgerond naar boven, leidingen met een diameter van 20 mm nodig zijn.

Voorbeeld: Via verwarmingsleidingen moet een vermogen van 200 kW worden getransporteerd. Het verschil tussen aanvoer-en retourtemperatuur van het verwarmingswater is 20 °C. In de kolom Δθ=20°C valt deze waarde tussen 160 en 340 kW. Naar boven afgerond is een leiding van 65 mm nodig. De uitwendige diameter van deze leidingen, inclusief isolatie, is 120 mm. Volgens de tabel is de inbouwhoogte 200 mm.

Voorbeeld: Voor de verwarming van een gebouwdeel met een oppervlakte van 4000 m<sup>2</sup> zijn nog geen gegevens bekend over de thermische eigenschappen. Uit tabel 3 is globaal af te leiden dat verwarmingsleidingen (aanvoer en retour) nodig zijn met - naar boven afgerond - een diameter van 80 mm. De inbouwhoogte voor deze leidingen is volgens de tabel 250 mm.

Voorbeeld, dimensioneren leidingen van 4-pijps inductiesysteem

Dit voorbeeld betreft de vleugel van een kantoorgebouw met zes identieke verdiepingen, zie figuur 6.

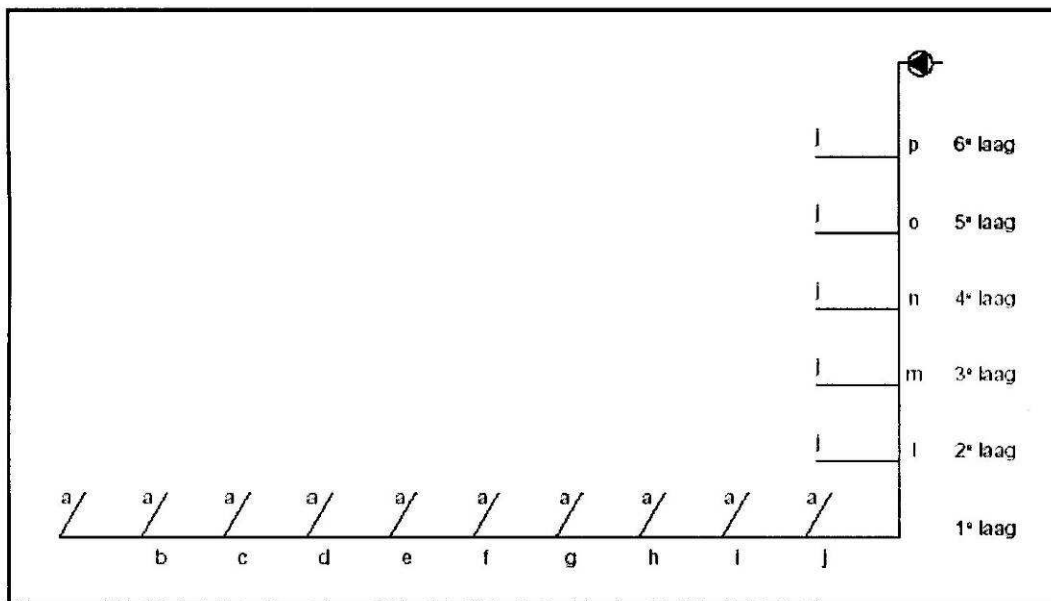


figuur 6 plattegrond kantoorvleugel met 4-pijps inductiesysteem

Per verdieping bevinden zich - aan weerszijde van een gang - twee maal tien vertrekken, elk met een vloeroppervlakte van  $20 \text{ m}^2$ . De netto ruimtehoogte is  $2,7 \text{ m}$ . De ontwerptemperatuur voor de winter is  $20^\circ\text{C}$ , voor de zomer  $25^\circ\text{C}$ . Elk vertrek heeft een warmtebehoefte van  $2400 \text{ W}$  ( $=120 \text{ W/m}^2$ ) en een koelbehoefte van  $1200 \text{ W}$  ( $=60 \text{ W/m}^2$ ). Op grond van de koelbehoefte wordt een 4-pijps inductiesysteem gekozen. Per vertrek wordt  $120 \text{ m}^3/\text{h}$  primaire lucht met een constante temperatuur van  $17^\circ\text{C}$  toegevoerd (zomer en winter). Het temperatuurverschil tussen de toegevoerde en afgevoerde lucht bedraagt hierdoor in de winter  $20-17=3^\circ\text{C}$  en in de zomer  $25-17=8^\circ\text{C}$ . Als gevolg hiervan is het koelvermogen van de primaire lucht in winter en zomer respectievelijk:

$$\Phi_{k,\text{prim,winter}} = q_{v,\text{prim}} \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta\theta = 120 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 3 / 3600 = 120 \text{ W} \text{ en}$$

$$\Phi_{k,\text{prim,zomer}} = 120 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 8 / 3600 = 320 \text{ W}$$



figuur 7 schema toevoerleiding verwarming (axonometrie)

Hierdoor moeten de verwarmingsleidingen (zie schema figuur 7), rekening houdend met de na-verwarming van de primaire lucht ( $120 \text{ W}$ ), per ruimte aan warmte toevoeren:

$$\Phi_w = 2400 + 120 = 2520 \text{ W}$$

De koelleidingen moeten, rekening houdend met het koelvermogen van de primaire lucht ( $320 \text{ W}$ ), per ruimte nog aan koude kunnen toevoeren:

$$\Phi_{k_w} = 1200 - 320 = 880 \text{ W}$$

Voor de grafische bepaling van de leidingdiameters moet in figuur 5 het snijpunt worden bepaald van de toe te voeren hoeveelheid warmte of koude en de dikke ontwerplijn. Voor 2520 W bij  $\Delta\Phi=20^\circ\text{C}$  volgt hieruit een diameter van 10 mm. Voor 880 W en  $\Delta\Phi=6^\circ\text{C}$  is dit ook 10 mm. Dit betreft de aansluitleidingen per vertrek. Op gelijke wijze zijn de diameters van de andere leidinggedeelten te bepalen.

tabel 4 rekenvoorbeeld met 4-pijpsinductiesysteem

| leiding-deel | aantal ruimten | vloeroppervlakte $\text{m}^2$ | verwarming W | nom. diameter mm | koeling W | nom. diameter mm |
|--------------|----------------|-------------------------------|--------------|------------------|-----------|------------------|
| a            | 1              | 20                            | 2520         | 10 (10)          | 880       | 10 (10)          |
| b            | 2              | 40                            | 5040         | 15 (10)          | 1760      | 15 (10)          |
| c            | 3              | 60                            | 7560         | 15 (15)          | 2640      | 20 (15)          |
| d            | 4              | 80                            | 10080        | 20 (15)          | 3520      | 20 (15)          |
| e            | 5              | 100                           | 12600        | 20 (20)          | 4400      | 20 (20)          |
| f            | 6              | 120                           | 15120        | 25 (20)          | 5240      | 25 (20)          |
| g            | 7              | 140                           | 17640        | 25 (20)          | 6160      | 25 (20)          |
| h            | 8              | 160                           | 20160        | 25 (25)          | 7040      | 25 (25)          |
| i            | 9              | 180                           | 22680        | 25 (25)          | 8800      | 32 (25)          |
| j            | 10             | 200                           | 25200        | 25 (25)          | 11800     | 32 (25)          |
| k            | 20             | 400                           | 50400        | 32 (32)          | 23600     | 40 (32)          |
| l            | 30             | 600                           | 75600        | 40 (40)          | 35400     | 40 (40)          |
| m            | 40             | 800                           | 100800       | 50 (40)          | 47200     | 40 (40)          |
| n            | 50             | 1000                          | 126000       | 50 (50)          | 44000     | 50 (50)          |
| o            | 60             | 1200                          | 151200       | 50 (50)          | 52800     | 65 (50)          |

De cijfers tussen haakjes zijn de leidingdiameters die volgen uit een globale bepaling op grond van de vloeroppervlakte (laatste kolom tabel 3). De verschillen tussen de beide methoden zijn bij dit voorbeeld klein. Dat is meestal het geval. Het betekent dat de globale methode voor het in dit boek beoogde dimensioneringsdoel doorgaans voldoende nauwkeurig is.

## 11.9 Verminderen energieverbruik

### 11.9.1 inleiding:

De gebouwen en hun installaties worden steeds complexer en daardoor hebben al de onderdelen invloed op elkaar. Dit houdt in dat we bij het ontwerpen hier al rekening mee moeten houden. Daartoe volstaat de huidige wijze waarop we projecten realiseren niet meer. We zullen nauw moeten samenwerken. Een bruikbare vorm hiervoor is het integraal ontwerpen.

In de volgende hoofdstukken zullen steeds systemen of onderdelen van systemen besproken worden waarmee men, mits goed toegepast, energie kan besparen.

Een belangrijk uitgangspunt blijft echter dat alleen een goed op elkaar afgestemd geheel tot de nodige besparingen zal leiden.

Om het totaal benodigde energie hoeveelheid te beperken kunnen we zorgen dat we zo min mogelijk energie verliezen, of onnodig weg laten verdwijnen.

### 11.9.2 Verminderen van verliezen:

Voorkomen dat we op plaatsen waar warmte aanwezig is deze kan weg lekken naar plaatsen waar we er niets aan hebben. Let op, dit geldt ook voor situaties waarin we praten over “koude”. In geval dat iets koel gehouden moet worden dan is het zaak om te voorkomen dat er energie naar toe stroomt wan dan moet er gekoeld worden en dat kost ook weer energie.

Middelen daartoe zijn:

### 11.9.3 Temperatuur verandering.

Zullen we in winter situatie de ruimte temperatuur verlagen dan zal de  $\Delta t$  kleiner worden waardoor het energie verlies door transmissie, ventilatie en infiltratie afnemen. Dit zelfde geldt natuurlijk in de zomer met ongewenste energie toestroming naar de gekoelde ruimtes.

Als eerste reactie zien we dan vaak dat men stelt dat dit onmogelijk is omdat we een bepaalde temperatuur als uitgangspunt voor ons ontwerp nemen en dat moet dan zo blijven.

In latere hoofdstukken zullen we zien dat we door gebruik te maken van energieoverdracht door middel van straling hier toch mogelijkheden voor zijn.

Daarnaast is het altijd zinvol om regelmatig, van enige afstand, naar de processen en installaties te kijken om te zien of we de gebruikte energie wel nodig hebben of dat het ook mogelijk is met iets minder of met een lagere temperatuur.

### 11.9.4 Isolatie.

Eén van de meest bekende vormen van het verminderen van de energiebehoefte is het isoleren van een systeem/ruimte.

Indien men een ruimte isoleert en voorkomt dat er transmissie op treedt, zal er minder snel een afwijkingen optreden in de bestaande (gewenste) conditie van de ruimte.

Dus is er ook geen energie nodig om het systeem stabiel, op gewenste conditie te houden.

Het is echter onmogelijk om iets volledig te isoleren, zodat er altijd wel enige vorm van transmissie op zal treden.

De isolatiemassa zal na een langere tijd ook een bepaalde temperatuur aannemen en er zal altijd een zeker temperatuursverschil tussen de isolatie en zijn omgeving optreden. Dus transmissie.

We kunnen het echter wel zo dicht mogelijk proberen te benaderen maar ook de isolatie kosten zullen mee stijgen met het vergroten van de isolatie waarden.

We zullen dus altijd moeten kijken of de meerkosten van uitbreiding van de isolatie wel op weegt tegen de behaalde besparingen.

Voor het energie verlies geldt de volgende formule:

$$Q_t = U \cdot A \cdot (T_{in} - T_{uit})$$

|                      |                                            |
|----------------------|--------------------------------------------|
| Hierin is: U         | = Warmte doorgangs coëfficiënt             |
| A                    | = Oppervlak                                |
| $(T_{in} - T_{uit})$ | = Temperatuurverschil tussen beide zijden. |

Om de transmissie verliezen te beperken zullen we elk van deze waarde zo laag mogelijk proberen te krijgen.

#### 11.9.4.1.1 Delta "T"

Beschouwen we een gebouw als een blok met een bepaalde inwendige temperatuur, dan zal het temperatuur verschil bepaald worden door de in het programma van eisen vast gelegde binnen temperatuur.

De buiten temperatuur wordt bepaald door de klimatologische omstandigheden.

De enige mogelijkheid op dit vlak om de transmissie te beperken en dus energie te besparen is het kiezen van een lagere ontwerp temperatuur.

#### 11.9.4.1.2 Oppervlak:

De begrenzing tussen de binnen ruimte, waar de inwendige temperatuur heerst, en de buiten temperatuur is de gebouw schil.

Willen we het warmte verlies beperken dan kunnen we ook het oppervlak van deze gebouwschil proberen te beperken.

Er is niet zo heel veel besparings ruimte in te vinden en kan alleen in een zeer vroeg stadium van het gebouwwontwerp gebeuren en heeft grote invloed op de architectonisch ontwerp.

Denk hierbij aan het verschil tussen een "kantoor tuin" en een "kamer kantoor" waar de verhouding tussen uitwendig oppervlak en gebouw volume sterk verschillend is.

Met de huidige EPN normen wordt de Architect steeds meer genoodzaakt om aan dit soort zaken aandacht te schenken. Het buitenoppervlak van een gebouw in verhouding met het binnen gebruiksoppervlak is een weegfactor in de berekeningsmethode voor de energie prestatie coëfficiënt

#### 11.9.5 Warmte doorgangcoëfficiënt.

De laatste factor, die mee speelt is de warmte doorgangcoëfficiënt.

Deze wordt bepaald door een aantal factoren:

- Warmte overgangcoëfficiënt (inwendig en Uitwendig.)
- Warmte weerstand van de gebouwschil.

De inwendige warmte overdrachtscoëfficiënt is in enige mate te beïnvloeden door rekening te houden met de stroomsnelheden van de lucht in het gebouw.

We kunnen dus al een, zeer beperkte, besparing krijgen door de luchtsnelheden langs de buitenwanden te beperken.

De uitwendig warmte overdrachtscoëfficiënt is, in beperkte mate, te beïnvloeden door bouwkundige voorzieningen.

Wat overblijft is de warmte weerstand van de constructie.

De warmte doorgangcoëfficiënt is samengesteld uit de coëfficiënten van de:

- Transparante gevel delen.
- Niet transparante gevel delen.
- Koude bruggen.

Bekijken we de mogelijkheden van elk van deze factoren om energie besparende, warmteweerstand vergrotende, maatregelen te nemen dan zien we daar de volgende mogelijkheden:

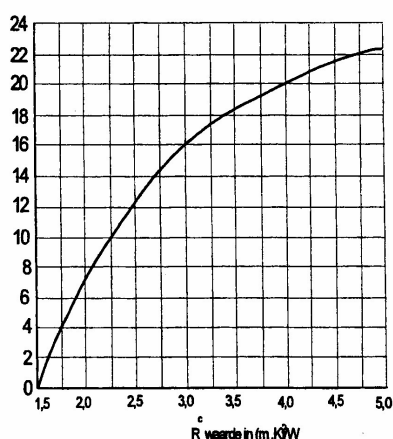
Koudebruggen zullen voorkomen moeten worden, hetgeen bij een goede bouwkundige constructie mogelijk is.

Lukt dit niet dan zullen deze koudebruggen een vrij grote invloed hebben op het, lokale, binnenklimaat.

Denk hierbij b.v. aan condensvorming en aan "koudestraling"

Het bouwbesluit stelt een minimale eis van 2,5 (m<sup>2</sup>.K)/W ten aanzien van de warmteweerstand van niet transparante bouw delen.

Zoals al eerder vermeldt brengt een steeds betere isolatie ook steeds meer kosten met zich mee. We moeten dus een optimalisatie vinden tussen de besparing en de meerkosten.



In bijgaande grafiek zijn richt getallen gegeven die deze optimalisatie aangeven.

Hierbij is de economisch maximaal haalbare meerinvestering uitgezet tegen over de verkregen R<sub>c</sub> waarde van de gevel. Let hierbij wel op dat de gegeven getallen nog in guldens zijn.

(1fl=€0,454)

Dit alles ten opzicht van de R<sub>c</sub> waarde van 1,5 (m<sup>2</sup>.K)/W

Uitgangspunten:

Reële rente : 3%

Gebruikstijd : 20 jaar

Gasprijs ontw.: Centrale variant Economische zaken.

Van de warmteweerstanden van de buitenschil van een gebouw is die van het transparante gedeelte meestal diegene, die de grootste invloed heeft. De "R" waarde van glas is meestal veel lager dan die van niet transparante constructies. Hier zal dus in een bouwkundig ontwerp de grootste zorg aan moeten worden besteed.

De "R" waarden van glas liggen in de meeste gevallen veel lager dan die van niet transparante delen.

Voor een raam met enkelglas in een houten of kunststof kozijn geldt  $R = 0,13-0,16 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$

Voor glas geldt, dat we in alle situaties zo veel mogelijk licht naar binnen willen laten komen, omdat dat kosten voor elektrische verlichting uit spaart.

Dus een hoge LTA waarde. (Welk deel van de zichtbare straling wordt doorgelaten)

Aan de andere kant zullen we, vooral 's zomers, proberen om zo min mogelijk zonne energie door het glas in de ruimte te laten komen in verband met de interne koellast.

Dus een lage ZTA waarde.

Er zijn, afhankelijk van het stadium waarin het ontwerp verkeert, vele mogelijkheden beschikbaar waarmee men energie kan besparen.

De verschillende uitvoeringsmogelijkheden hebben een nog al grote invloed op de ZTA en LTA waarden.

Voorbeelden:

- Onafgeschermd dubbelglas heeft een ZTA waarde van 0,66 (incl. convectie 0,7) en een LTA waarde van 0,72.
- Binnen jaloezieën hebben een ZTA waarde van 0,2 (incl. convectie 0,44) en een LTA waarde van 0,13.
- Buitenzonwering hebben een ZTA waarde van 0,11 (incl. convectie 0,12) en een LTA waarde van 0,1.

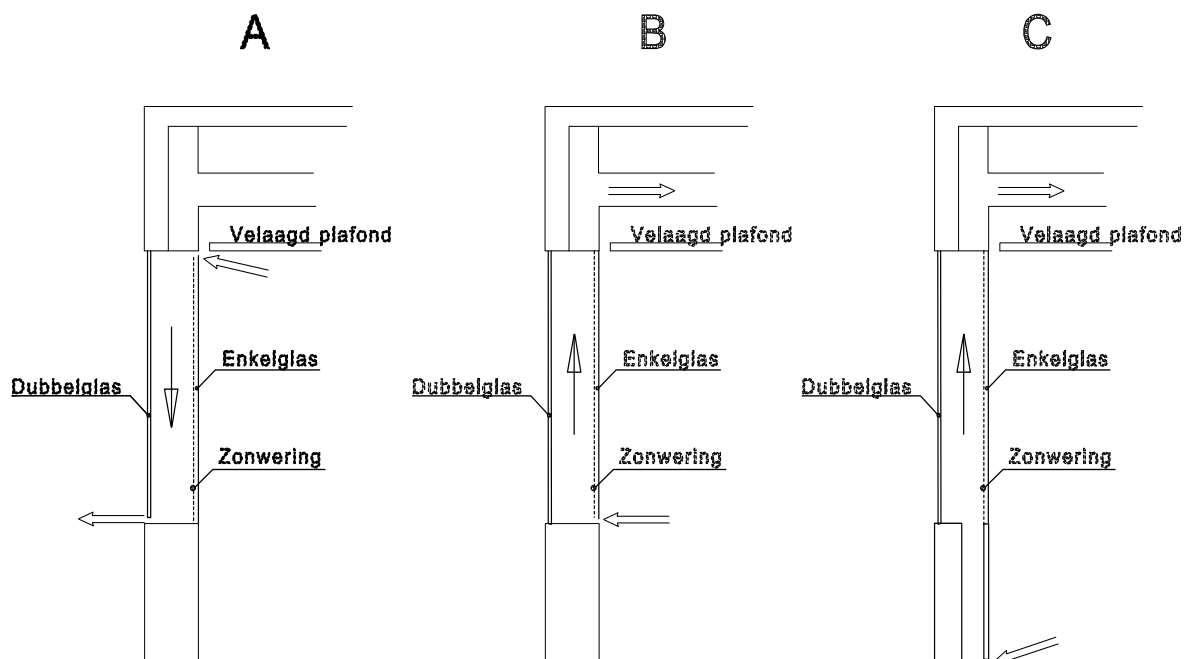
We zien dat er grote variaties optreden.

### 11.9.5 Klimaat(raam) Gevel

Een systeem, dat afwijkt van de bovengenoemde waarden is het zo genaamde "Klimaat -raam of -gevel".

De klimaatgevel is een bouwkundige voorziening, die direct van invloed is op de installatie en daar dan ook vaak op aangesloten is.

Het klimaat raam bestaat uit een buitenraam van dubbelglas spouw van 100 tot 150 mm en vervolgens een enkelglas binnen raam.



Via deze spouw wordt er geventileerd.

In deze spouw bevindt zich ook een regelbare zonwering.

In de bijgaande schetsjes is:

- A. Klimaatraam zonder mechanische afzuiging.
- B. Klimaatraam met mechanische afzuiging.
- C. Klimaatgevel met mechanische afzuiging.

De besparingen liggen in het feit dat door toepassing van deze systemen een zeer lage ZTA waarde wordt bereikt en dus in de zomer een lage koellast creëert.

De binnenkomende warmte wordt al voor dat het door de binnen ruit komt via de ventilatie lucht afgevoerd.

In winter situaties heeft dit raam tot voordeel, dat men geen koude wand heeft, dus ook geen last van "koudestraling" waardoor de noodzaak van een radiator onder het raam vervalt.

De verliezen die in de winter optreden door dat er warme ventilatie lucht wordt afgevoerd kunnen voor een groot deel gecompenseerd worden als men mechanische (gebalanceerde) ventilatie toepast. Er kan dan warmte terugwinning worden toegepast.

Een bijkomend voordeel is dat deze constructie een zeer goede geluidsisolatie heeft.

Betrekt men ook de niet transparante delen bij de te ventileren spouw dan spreken we van een klimaatgevel (C).

Er bestaan, afhankelijk van leverancier of ontwerper, een aantal verschillende uitvoeringen van klimaat gevels (ramen).

Bij de meest simpele uitvoering gebruikte men als binnen glas vitrine ruiten in een rails. Daardoor was er een eenvoudige montage mogelijk en ook was de bereikbaarheid van de tussen de ramen gemonteerde zonwering beter.

### 11.3.6 Tweede huid gevel:

De jongste ontwikkeling is de tweede huid gevel. We zien deze steeds vaker terug komen in prestigieuze, grote, projecten. Denk b.v. aan het nieuwe ING hoofdkantoor in Amsterdam



Deze gevel bestaat uit een afzonderlijke gevel die op enige afstand staat van de eigenlijke gevel. Deze afstand kan variëren van 30 cm tot wel een meter.

Een dergelijke gevel is natuurlijk een zeer interessant object voor een architect omdat ze daarmee enorme vrijheden krijgen ten aanzien van het creëren van een "eigen" uiterlijk van een gebouw.

We zien n.l. dat we het functionele functie van de gevel (het buitenklimaat buiten houden en het binnenklimaat binnen) los gekoppeld worden van de zichtbare gevel.

Het bijgaande plaatje, van de Sociale verzekeringsbank in Breda van Bonnema Architecten, geeft hiervan een voorbeeld. Er wordt erg veel geëxperimenteerd met dit gegeven zodat dit niet een typisch voorbeeld is. Men komt vele vormen tegen.

De dubbele huid gevel is binnen de installatietechniek het onderwerp van gesprek op dit moment. We zien voorstanders en tegenstanders van het concept.

De een ziet er alleen een architectonisch snufje in terwijl de andere er grote mogelijkheden voor ons vakgebied in ziet.

Wat gebeurt er nu als men een dergelijke gevel toepast?

In de zomersituatie zal de zon door de gevel heen de achterliggende lucht opwarmen. Deze lucht kan dan stijgen en zo afgevoerd worden voordat deze het gebouw kan binnentreden. Men kan dit, afhankelijk van uitvoering, per verdieping doen of over meerdere bouwlagen.

Men kan tevens dan ook zonwering plaatsen aan de buitenkant van de (binnen)gevel, welke een bewezen

effect heeft. Als men normaal voor “buitenzonwering” kiest dan moet er een zeer solide soort gekozen worden omdat deze altijd in de buitenlucht zit. Bij toepassing binnen een tweede huidgevel is dit niet het geval en kan er goedkopere zonwering toegepast worden.

Een nadeel is echter dat er voorzieningen in gemaakt moeten worden voor het schoonmaken van de ramen.

Er zijn in Nederland ook projecten waarbij men gebruik wil maken van natuurlijke ventilatie door de gevel heen. Hoe dit opgelost moet worden als men kiest voor een dubbele huid gevel is nog niet geheel duidelijk. We willen dan n.l. geen warme lucht uit de gevel halen in voor ventilatie gebruiken.

In de wintersituatie zal men trachten de lucht in de spouw zo min mogelijk te laten bewegen. Men kan zo een goede isolatie creëren met deze stil staande lucht.

Tevens wordt er op dit moment onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om deze gevel te gebruiken om, d.m.v. PV-cellen, energie op te laten wekken.

Kortom, een concept waarover het laatste woord nog niet is gezegd en nog veel onderzoek gedaan moet worden.

#### 11.3.7 Kanaalisolatie:

Daar waar kanalen en leidingen door ruimten lopen waar een hogere of lagere temperatuur heerst dan het product in het kanaal of de leiding heeft zal er warmte over gedragen worden.

Aangezien het leiding- kanalen- systeem tot doel heeft het transporteren van thermische energie van de ene plaats naar de andere zal het meestal niet de bedoeling zijn om onderweg al uitwisseling van energie te laten plaats vinden.

Daarom moeten kanalen en leidingen, daar waar nodig geïsoleerd te worden.

Bij een leiding of kanalen systeem zal duidelijk gekeken moeten worden naar de effecten van het wel of niet toepassen van isolatie.

Isolatie kost geld, en als dat geen effect heeft moeten we het niet toepassen.

Lopen bij voorbeeld de warmwater leidingen van een CV systeem door een bepaalde ruimte zelf heen naar een daarin geplaatste radiator, dan is het thermisch gezien zinloos om te isoleren, omdat de warmte die onderweg op de ruimte over gedragen wordt er toch al moet zijn.

Hierbij moet dan wel opgelet worden dat de warmte afgifte van deze leidingen niet zo groot wordt dat de temperatuur in de ruimte niet meer te regelen is.

Er moet dan alsnog geïsoleerd worden.

Voorgaande geldt ook voor koude leidingen en kanalen.

#### 11.3.8 Andere redenen om te isoleren:

Naast de thermische isolatie dienen kanalen en leidingen ook vaak nog om andere redenen geïsoleerd te worden.

Enkele voorbeelden hiervan zijn:

##### -- Condensatie:

Vooraf bij kanalen waar koude lucht doorheen stroomt of leidingen voor koud water kan het gebeuren dat, aan het buitenoppervlak van de kanalen de, temperatuur zo laag wordt, dat men onder de natte bol temperatuur van de omringende lucht uit gaat komen.

Op dat moment zal er condensatie op gaan treden. Dit heeft niet alleen tot gevolg dat het gaat "regenen" in de ruimte, maar ook zal er een hoeveelheid warmte aan de omliggende lucht worden onttrokken.

Op basis van temperaturen in de ruimtes en in de leidingen/kanalen en lucht vochtigheid kunnen we berekenen hoe dik de isolatie moet worden om het dauwpunt niet aan de oppervlak te laten liggen.

Er dient dan wel goed gelet te worden op de dampdichtheid van de isolatie omdat anders het vocht in de isolatie zal penetreren en daardoor de isolatie zal beschadigen.

Onderstaand een artikel over de problematiek rondom vocht in en door isolatie

## Inleiding

*Het transport en de opslag van vocht in poreuze (isolatie) materialen lijkt in de afgelopen tijd niet de aandacht gekregen te hebben welke nodig zijn om de mogelijke nadelige gevolgen hiervan voldoende onder de aandacht van de installatie branche te brengen.*

*In het volgende artikel willen we het vochttransport en vochttopslag door (in) een aantal soorten isolatiemateriaal kwantificeren. Hiermee hopen de nadelen en risico's van deze vochtopname te verduidelijken.*

**Cees Dingemans**

### Inleiding:

Een bedreiging voor onze installaties of voor onze portemonnee?

Wie kent de beelden niet, een geïsoleerde leiding waarbij het vocht uit de isolatie loopt.

Soms doet zich dit pas voor na vele jaren gebruik maar ook zien we steeds vaker dat dit ook al eerder op treedt. In dit artikel zullen we trachten een inzicht te geven in de mogelijke gevaren en daarbij een grove kwantificatie (ISO 15758) te geven op basis van een paar verschillende isolatiematerialen.

Water en ijs in (koude) isolatie zal te alle tijden moeten worden voorkomen. Dit omdat aan de water ca 20 keer beter warmte geleid dan stilstaande lucht en ijs zelfs 100 maal beter.

Dit houdt in dat we daardoor substantiële hoeveelheden energie kunnen verliezen. Tevens bestaat de kans, afhankelijk van materiaalkeuze, roestvorming of zelfs (bij ammoniak houdende isolatiematerialen) stress corrosie op zal treden in het leidingmateriaal. Zonder direct in te willen gaan op de effecten van vocht op energieverlies of corrosie verschijnselen. (Hierover zullen andere artikelen volgen) willen we hier het vochttransport wat toelichten en kwantificeren aan de hand van een aantal berekeningen conform de ISO 15758.



### Globale toelichting op het proces van vochttransport

Het vochttransport door een isolatie materiaal wordt veroorzaakt door een “drukverschil” (dampdrukverschil) en een materiaal afhankelijke “waterdampgeleidingscoëfficiënt.” ( $\delta$ ), welke aangeeft hoe moeilijk waterdamp zal diffunderen door een materiaal..

Vaker gebruiken we hiervoor het “diffusieweerstandsgetal ( $\mu$ ). Dit getal geeft de verhouding aan tussen de waterdampgeleidingscoëfficiënt van lucht en die van het beschouwde materiaal.

We gaan er meestal vanuit dat het vochttransport alleen door middel van diffusie plaats vindt maar in de praktijk blijkt dat het vochttransport door een isolatiemateriaal een complex samenspel is van een aantal factoren, nl:

Adsorptie, diffusie en hygroscopische werking.

Hoewel deze factoren gedeeltelijk naast elkaar plaats (kunnen) vinden zullen we ze ter vereenvoudiging gescheiden behandelen.

### Adsorptie:

Adsorptie is een vorm van sorptie waarbij de damp wordt vastgehouden aan het oppervlak van een vaste stof. De voor vochttransport belangrijke vorm van sorptie is fysische adsorptie (Fysisorptie). De drijvende kracht achter dit proces wordt bepaald door de relatieve vochtigheid van de lucht en door de materiaaleigenschappen van de isolatie.

### Diffusie:

Vocht moleculen zullen trachten door te dringen tot in de isolatie zodat ook het inwendige oppervlak van de isolatie voor adsorptie beschikbaar komt. Afhankelijk van het isolatiemateriaal zal dit meer of minder gemakkelijk gaan.

Afhankelijk van de molecuul afmetingen en hun onderlinge verband zal de ruimte tussen de isolatiemoleculen meer of minder toegankelijk zijn voor het watermolecuul.

Dit bepaalt, samen met de drijvende kracht achter diffusie (Dampdrukverschil) hoe gemakkelijk het vocht door zal dringen in het materiaal.

### **Hygroscopisch vermogen:**

Dit is de drijvende kracht van vocht in een capillair, waardoor vochttransport plaats kan vinden.

In de poriën van een isolatiemateriaal zal vocht kunnen worden opgeslagen. Dit vocht kan zich dan verplaatsen door de hygroscopische werking door het materiaal heen. De mate waarin dit gebeurt is afhankelijk van de structuur (o.a. de porositeit). Hierbij is de poriënverdeling, de mate van doorlopende poriën en kanalen in het materiaal en de relatieve vochtigheid van de omgeving waarin het materiaal zich bevindt van belang. Bij een materiaal dat sterk hygroscopisch is zal, mede afhankelijk van de structuur, het vocht dat binnendringt door de isolatie niet alleen naar de pijp toe stromen maar ook in de breedte verspreid worden, waardoor de isolatie snel verzadigd kan raken met vocht.

### **Proces:**

Hoewel de factoren als diffusie, absorptie en hygroscopische werking zich deels gelijktijdig in de isolatie kunnen afspelen gaan we er, voor de inzichtelijkheid, van uit dat dit na elkaar gebeurt. In de praktijk zal dit waarschijnlijk niet al te grote afwijkingen geven omdat het meest kritische punt ligt op het punt waarop de interne condensatie op zal treden.

Het proces van vochttransport is dan op te delen in een 4 tal fases nl:

#### *Fase 1:*

Aan de oppervlakte van het isolatie materiaal zal er absorptie optreden van het vocht uit de lucht. Hoeveel dit zal zijn is afhankelijk van de relatieve vochtigheid van de lucht en de materiaal eigenschappen van de isolatie. Dit houdt in dat er bij relatief grote cellen, waarbij het buitenoppervlak naar verhouding groot is, ook veel vocht opgenomen kan worden.

#### *Fase 2:*

Het inwendige materiaal van de isolatie zal ook door absorptie vocht willen opnemen. Dit vocht zal toetreden door diffusie van waterdamp door het materiaal heen. De drijvende kracht van deze diffusie is het verschil in dampspanning aan beide kanten van de isolatie. De mate van diffusie hangt af van de celstructuur (open of dicht) en van de moleculaire opbouw van het materiaal (hoe gemakkelijk kunnen de vochtmoleculen tussen de isolatiemoleculen door komen)

#### *Fase 3:*

Als het vocht door het materiaal heen diffundeert dan zal er (bij koude isolatie) een punt komen dat de temperatuur zo laag wordt dat het condensatiepunt van het vocht in de lucht bereikt wordt en er zal condensatie op gaan treden. Omdat water veelbeter zal geleiden dan lucht (of waterdamp) zal het deel van de isolatie dat gevuld is met water vrijwel geen bijdrage meer leveren aan de isolerende werking van het materiaal.

#### *Fase 4:*

Dit vocht zal de poriën gaan opvullen waardoor, afhankelijk van de poriën grootte en de lengte van de kanaaltjes hygroscopisch transport op zal treden. Bij materiaal dat bestaat uit gesloten cellen, welke slecht hygroscopisch zijn zal het gecondenseerde vocht dan ook moeilijk verder door het materiaal heen verplaatsen. Bij sterk hygroscopisch materiaal daar in tegen zal het vocht dat eenmaal gecondenseerd is vrij snel naar het koude pijp oppervlak toe stromen, waarna het zich over de pijpwand kan verspreiden (Wicking effect).

### **Dampremmer:**

Bij een aantal isolatiematerialen wordt een dampremmer toegepast omdat het gebruikt materiaal in enkelvoudige toepassing onvoldoende dampremmende eigenschappen heeft. In hoeverre dit effectief is zal, naast de keuze van de dampremmende folie, ook sterk afhangen van het gebruikte isolatiemateriaal. Bij een sterk hygroscopisch isolatiemateriaal zal bij beschadiging of niet volledig afdichtende folie het door dit lek toegetrokken vocht zich naar alle kanten door het isolatiemateriaal verspreiden. Bij een niet hygroscopisch isolatiemateriaal zal dit vocht de kortste weg naar de koude pijp afleggen en zich niet verspreiden in het isolatiemateriaal.

### **Uitgangspunten voor de berekening:**

Als uitgangspunt hebben we een aantal veelgebruikte isolatiematerialen gekozen welke voor “koude” isolatie gebruikt worden:

- a. Steen wol
- b. Glas wol
- c. Fenolschuim
- d. Geëxpandeerde Rubbers
- e. Geëxpandeerd glas.

Om de getallen vergelijkbaar te maken en de waardes wat “tastbaar” te maken zijn we van de volgende uitgangspunten uit gegaan bij de berekening:

- We beschouwen een 4”leiding waarbij
- De dikte van de verschillende isolatie materialen is gekozen op basis v
- We beschouwen 1 meter pijp
- De beschouwde tijdsspanne is 1 jaar.

In de volgende tabellen is de hoeveelheid vocht berekend welke opgenomen zal worden. In de tabellen is de waarde per m<sup>2</sup> aangegeven maar ter verduidelijking ook per meter pijplengte.

Voor de berekeningen hebben we gebruik gemaakt van de ISO 15758 (Hygrothermische prestatie van bouwmaterieel en industriële installaties - Berekening van waterdampdiffusie - Koude pijpsolatiesystemen)

Uitgangspunten bij de berekening:

$$G = \int_0^1 \frac{p_a(t) - p_{sat}(\theta_0(t))}{Z_p} dt$$

Hierin zijn:

- G - Totale vochtopname per meter pijp per tijdseenheid. (kg/m)
- $p_a$  - Partiële waterdampdruk (Pa)
- $p_{sat}$  - Verzadigde dampdruk. (Pa)
- $\theta_0$  - Temperatuur van het medium in de pijp (K)
- $Z_p$  - Waterdampweerstand per meter pijp (m.s.Pa/kg)

Verder is gekozen voor een de volgende waarden als uitgangspunt:

- Leidingtemperatuur : 0 °C
- Omgevingstemperatuur : 20 °C
- RV. Omgeving : 70 %

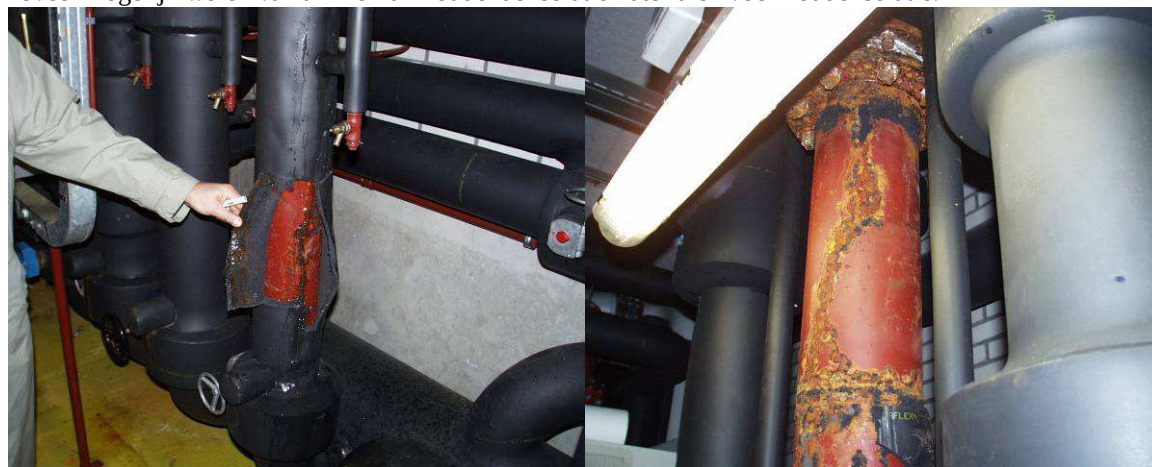
| Materiaal                             | $\lambda$<br>(W/m <sup>2</sup> K) | $\mu$ | Isolatiedikte<br>(mm) | Dampremmer<br>(m) | Vochttransport<br>(gr/jaar) |
|---------------------------------------|-----------------------------------|-------|-----------------------|-------------------|-----------------------------|
| Steenwol                              | 0.040                             | 2     | 75                    |                   | 16500                       |
| Glaswol                               | 0.037                             | 2     | 75                    |                   | 16500                       |
| Fenolschuim <sup>1</sup>              | 0.021                             | 150   | 75                    | 175               | 19                          |
| Geëxpandeerd kunstrubber <sup>2</sup> | 0.036                             | 7000  | 75                    |                   | 5                           |
| Geëxpandeerd Glas                     | 0.048                             | 60000 | 75                    |                   | < 0.1                       |

Conclusie:

Vrijwel elk materiaal zal in meer of mindere mate vocht doorlaten. Hoe groter de  $\mu$ -waarde hoe minder vocht er door het materiaal heen zal gaan. De risico's welke we hierbij lopen zijn de volgende:

- a. In geval van condensatie in het isolatiemateriaal zal het opgeslagen vocht er de oorzaak van zijn dat de isolatieweerstand minder worden waardoor we energie verliezen. Afhankelijk van de structuur van het materiaal zal het vocht zich alleen door de isolatie heen bewegen naar de pijp toe (Wicking effect) of zich ook verspreiden in het materiaal (hygroscopisch materiaal)
- b. Tevens blijkt dat bij gebruik van een ammoniak houdend isolatiemateriaal (sommige geëxpandeerde kunstrubber soorten) het diffunderend vocht (hoe weinig dit ook is) het ammoniak op neemt. Deze Ammonia kan vervolgens stress-corrosie veroorzaken in het onderliggende messing. Dit veroorzaakt op dit moment grote problemen in de installatiewereld.

Daarom lijkt het goed om aandacht te schenken aan zowel aan een goede dampwerende isolatie als ook aan het zoveel mogelijk weren van ammoniak houdende isolatiematerialen voor koude isolatie.



Maarssen, 6 juli 2007

<sup>1</sup> Inclusief dampremmer (Zonder dampremmer  $\mu$  = ca 150).

<sup>2</sup> Soms ammoniak houdend.

**Brondocumenten:**

- \* Technische informatie
- \* Isolatie en duurzaam bouwen
- \* Vapor Barriers or Vapor Diffusion Retarders
- \* Permeability of common building material to water vapour
- \* ISO 15758
- \* Investigations into the cause of leakages in cold water lines
- \* Properties of Phenolic foam
- \* Insulation, Sheatings and Vapor Retarders
- \* Water Vapor
- \* Humidity buffering of interior spaces by porous absorbent insulation
- \* Vochtthuishouding
- \* Zeoliet (Vochtbuffering door hygroscopische materialen)
- \* De Factor waterdampdiffusie
- \* Handboek installatietechniek
- \* Warmteleer voor technici
- Armacel
- NVPU
- U.S. Department of energy
- University of Alaska
- ISO
- Stork FDO
- European Phenolic Foam association.
- Building Science Corporation.
- Pitsburg Corning.
- TimPadfield (Technical University Denmark)
- Rockwool
- R.H.J.Looman (TU Delft)
- "Vaktechniek" Hubert Helms
- TVVL-ISSO
- v. Kimmenaede.

**Einde artikel**

-- Straling:

Vlakken die veel warmer of veel kouder zijn dan de omgeving "stralen" deze warmte of koude uit, hetgeen de behaaglijkheid negatief beïnvloed.

Dit is een reden om te isoleren.

-- Geluid:

Een andere reden om te isoleren is het uitdempen van lawaai, dat via de kanalen getransporteerd kan worden.

Denk hierbij bij voorbeeld aan machinelawaai uit een technische ruimte welke door de kanalen heen getransporteerd kan worden naar de geklimatiseerde ruimten.

Of als er een "UV" systeem wordt gekozen voor de regenwater afvoer dan zullen deze leidingen veelal door de ruimten heen lopen.

Naast het isoleren tegen condensatie zal ook geluidsisolatie nodig zijn van wegen het stromings geruis in de leidingen.

## 12 warmte- en koudeafgifte eindapparatuur

Klimaatontwerp: Systeemkeuze op Basis van Warmtebehoefte (Woningen e.d.)

Auteur: dr.ir. Peter van den Engels, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet + aanvullingen C.G.Dingemans.

### 12.1 Inleiding

Bij woonruimten en andere verblijfruimten met een geringe interne warmtebelasting wordt de keuze van de klimaatregeling vooral bepaald door de maximale warmtebehoefte. Tabel 1 geeft een overzicht van het specifieke verwarmingsvermogen van verschillende systemen, afhankelijk van de hoogte van de ruimte en - bij luchtverwarming - van het ventilatievoud en de plaats van de luchttoevoer.

tabel 1 Specifiek verwarmingsvermogen in  $\text{W/m}^2$  vloeroppervlakte van verschillende systemen bij verschillende ruimtehoogten

| systeem                                                         | ventilatievoud<br>$\text{h}^{-1}$ | netto ruimtehoogte in meter |       |       |               |       |       |       |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------|
|                                                                 |                                   | 2,4                         | 2,7   | 3,0   | 3,5           | 4,0   | 5,0   | 6,0   |
| radiatoren/convectoren                                          | <sup>1)</sup>                     | 200                         | 200   | 200   | <sup>2)</sup> |       |       |       |
| luchtverwarming $\Delta\theta = 20^\circ\text{C}$ <sup>3)</sup> | 4                                 | 65                          | 70    | 80    | 95            | 110   | 135   | 160   |
|                                                                 | 6                                 | 95                          | 110   | 120   | 140           | 160   | 200   | 240   |
|                                                                 | 10                                | 160                         | 180   | 200   | 230           | 270   | 335   | 400   |
| ,, $\Delta\theta = 40^\circ\text{C}$ <sup>4)</sup>              | 4                                 | 130                         | 144   | 160   | 185           | 215   | 265   | 320   |
|                                                                 | 6                                 | 192                         | 220   | 240   | 280           | 320   | 400   | 480   |
|                                                                 | 10                                | 320                         | 360   | 400   | 465           | 535   | 665   | 800   |
| vloerverwarming (staan/zitten)                                  | <sup>1)</sup>                     | 55/90                       | 55/90 | 55/90 | 55/90         | 55/90 | 55/90 | 55/90 |
| plafondverwarming (staan/zitten)                                | <sup>1)</sup>                     | 45/60                       | 50/70 | 55/80 | <sup>2)</sup> |       |       |       |

<sup>1)</sup> zie verder in deze module voor de beperkingen

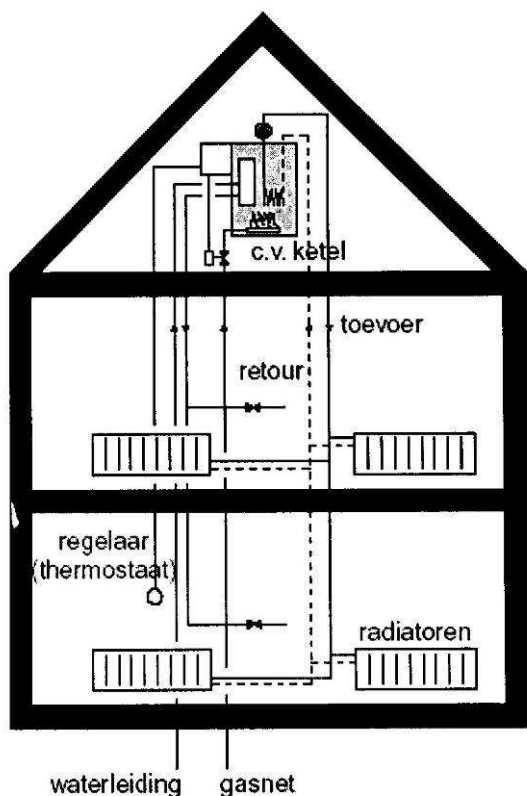
<sup>2)</sup> minder of niet geschikt voor hoge ruimten

<sup>3)</sup> luchttoevoer vanuit plafond met tangentiële stroming

<sup>4)</sup> luchttoevoer vanuit vloer en toevoer vanuit plafond met diffuse stroming

De keuze van de afgifte apparatuur wordt veelal bepaald door een aantal factoren nl:

- Beschikbare energiebron of energie drager
- Benodigde afgifte capaciteit
- Beschikbare ruimte
- Esthetische criteria



Stralingswarmte en convectie warmte.

Zowel bij koeling als bij verwarming zien we dat er spraken is van warmteoverdracht van een warme bron op een koude bron. Er zal geen energie-uitwisseling tot stand komen als er geen temperatuurverschil aanwezig is. Dit kan zijn in de vorm van stralingstemperatuur als in de vorm van een " $\Delta t$ ".

Zoals eerder besproken kunnen we van beide vormen van warmte overdracht gebruik maken. Echter in geval van comfort toepassingen zijn hieraan wel grenzen gesteld. Is er een te groot verschil tussen beide energiebronnen dan wordt dit als oncomfortabel ervaren.

### 12.2 Radiatoren

#### 12.2.1 Regeling

De centrale verwarming van woningen wordt meestal geregeld met een thermostaat in de woonkamer die de brander van de ketel beïnvloedt

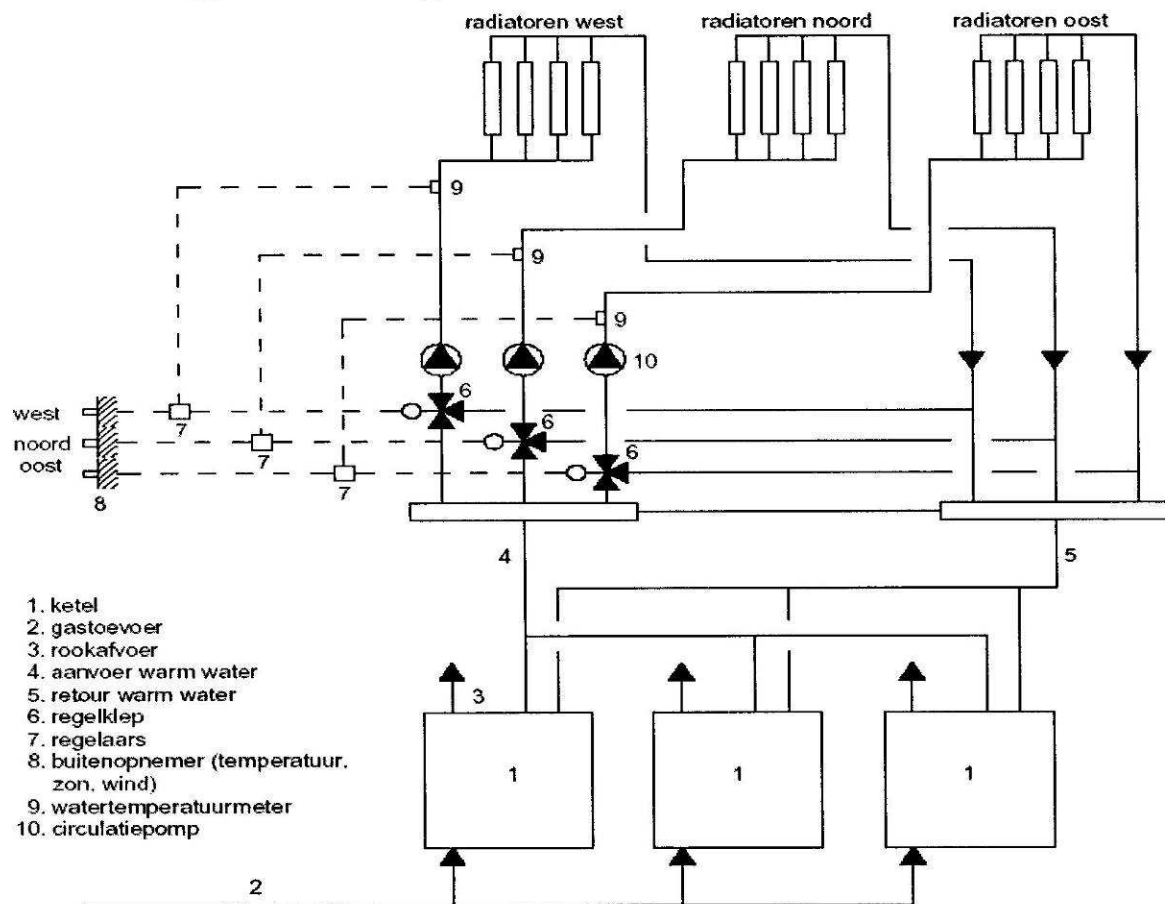
(zie figuur 1). De temperatuur van de overige vertrekken is met thermostatische radiatorcranen na te regelen. Indien er bij woningen sprake is van vloerverwarming als hoofdverwarming is worden er per verblijfsruimte aparte groepen gemaakt die meestal apart regelbaar zijn. In toenemende mate wordt de comfortkwaliteit vastgelegd in GIW bepalingen die bij woningen normaliter als uitgangspunt worden genomen.

Tegenwoordig wordt de watertemperatuur meestal daarnaast weersafhankelijk voorgeregeld op basis van de buitentemperatuur. In dat geval moet er een aparte buitenvoeler worden geplaatst, bij voorkeur op een noord gevel. Een laatste ontwikkeling op dit gebied is de “zelflerende Thermostaat”. Deze thermostaat meet de opwarmingssnelheid van de ruimte waarin deze geplaatst is en verhoogt of verlaagt de water temperatuur als deze te langzaam of respectievelijk te snel op loopt. Hierdoor bereikt men dat altijd gebruik wordt gemaakt van een zo laag mogelijke water temperatuur.

Dit laatste is van belang om zo hoog mogelijke opwekkingsrendementen te behalen.

Bij utiliteitsgebouwen past men vaak aparte verwarmingsgroepen toe voor vertrekken met gelijke oriëntatie of gelijke functie (zie figuur 2). De watertemperatuur wordt dan per groep voorgeregeld op basis van de buitentemperatuur met correcties voor de invloed van zon en wind.

Ook bij deze groepen is de temperatuur per ruimte met thermostatische radiatorcranen na te regelen.



Figuur 2

In het bovenstaande schema zien we het centrale verwarmingssysteem utiliteitsbouw met meerdere ketels en verwarmingsgroepen. De drieweg regelkleppen maken het o.a. mogelijk dat als er weinig warmtevraag is het water kan circuleren zonder dat de verwarmingsketel in bedrijf is. Dit voorkomt dat de ketel voortdurend aan en uit kan gaan.

Het werken met 3 weg regelkleppen kan in sommige toepassingen er voor zorgen dat de retourwater temperatuur naar de ketel hoger wordt dan noodzakelijk is, waardoor het ketelrendement af neemt. We zien dan ook een trend dat men steeds meer 2 weg regelkleppen toe past om de bijmening van de retourwater temperatuur te voorkomen. Voorheen was dit niet goed mogelijk omdat de ketels niet goed regelbaar waren in de lage afgifte vermogens. Dit verbeterd tegenwoordig sterk.

### 12.2.2 Temperaturen

Het vermogen dat kan worden afgegeven door een verwarmingselement wordt beperkt door:

1. De toelaatbare oppervlakte temperatuur:  
Bij directe aanraking is deze relatief laag (max. ca. 28°C), zoals bij vloerverwarming. Bij hoge hallen worden soms stralingspanelen toegepast die een temperatuur van 160°C kunnen hebben. Door de grote afstand t.o.v. de gebruiker en het relatief kleine oppervlak levert dit geen discomfort op.
2. De grootte van het oppervlak:  
Hoe groter het oppervlak hoe meer invloed.
3. De afstand van het oppervlak tot de gebruiker:  
Het effect van de combinatie van 2 en 3 - het vaststellen van de gemiddelde stralingstemperatuur op een bepaalde plek - kan worden berekend met zicht- of blikfactoren.
4. De plaats en oriëntatie van het oppervlak:  
De temperatuur van een wand kan in relatie tot het comfort hoger zijn dan van een vloer of een plafond. Te warme voeten of een te warm hoofd is niet plezierig. In de NPR-CR 1752 en de NEN-EN-ISO 7730 staan enkele grenswaarden aangegeven.
5. De temperatuur van het beschikbare water.

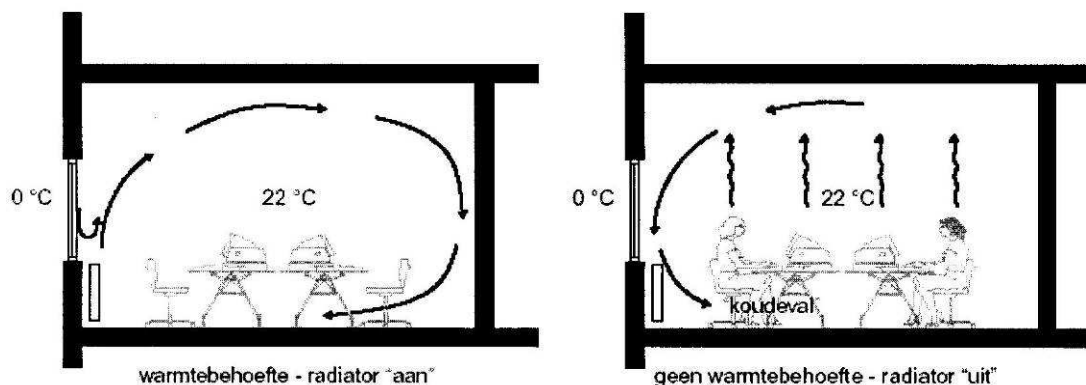
Belangrijk is daarbij dat de stralingsasymmetrie tussen vloer en plafond niet meer dan 5 tot 7 °C mag zijn. Om de stralingsasymmetrie te bepalen mag de gemiddelde temperatuur van alle vlakken onder en boven de gebruiker worden berekend (afgeleid van de zichtfactoren).

### 12.2.4 Radiatoren

Met radiatoren kan aan de comforteisen worden voldaan mits de radiatoren zich bevinden op plaatsen waar het grootste warmteverlies optreedt, zoals bij ramen. Radiatoren kunnen daar - door hun hoge temperatuur - "koudestraling" compenseren, "koudeval" opvangen en - bij geopende ramen - tegengaan. "Koudestraling" is het gevoel dat ontstaat als onbedekte huid door straling warmte verliest aan een koud oppervlak. Het lijkt op tocht. "Koudeval" is de neerwaartse luchtstroom die bij koude vlakken ontstaat en tocht veroorzaakt over de vloer, vensterbanken en tegen de koude vlakken aangeschoven tafel- of bureaubladen.

Radiatoren zijn minder geschikt voor het verwarmen van hoge ruimten (>3,5 m) omdat ze beperkt invloed hebben op de luchtcirculatie, waardoor bovenin de ruimte een warme luchtdeken kan ontstaan. Dit verschijnsel doet zich minder voor in mechanisch geventileerde ruimten.

Indien er sprake is van veel interne warmteontwikkeling, bij voorbeeld door personen en apparatuur, blijven radiatoren koud. In dat geval wordt koudestraling niet gecompenseerd, koudeval niet opgevangen en wordt de luchtstroom bij open ramen niet verwarmd (figuur 3). Dit risico is te beperken door geen grote en/of hoge glasvlakken toe te passen of door die vlakken van extra isolerende glassoorten ("HR-glas") te voorzien dan wel ze als klimaatraam of klimaatgevel uit te voeren en door gerichte mechanische ventilatie.



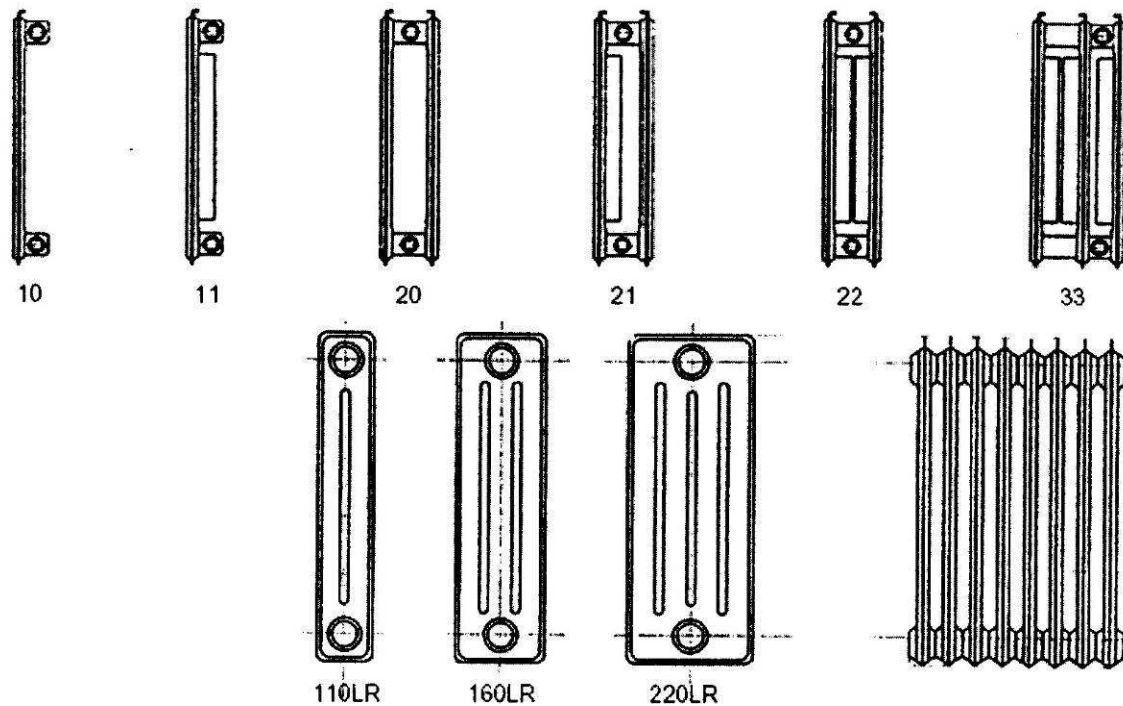
figuur 3 radiatorverwarming en koudeval

We kennen paneel-, leden- en designradiatoren. Verder zijn er paneelconvectoren, dat zijn paneelradiatoren waarvan de buitenoppervlakte is vergroot met geprofileerde platen of ribben aan de achterzijde of tussen de panelen in. Radiatoren en paneelconvectoren zijn er in hoogten van 200, 300, 400, 500, 600, 800 en 1000 mm. Designradiatoren hebben een glad oppervlak (vaak met ribben aan de achterzijde) of zijn samengesteld uit ronde of rechthoekige buizen. Ze zijn te leveren in standaard hoogten maar ook in langgerekte/lage of smalle/hoge vormen.

Het verwarmingsvermogen van radiatoren is evenredig met de oppervlakte, zie tabel 2. Deze tabel geldt voor een aanvoer- en retourtemperatuur van respectievelijk 90 en 70 °C. Bij radiatoren met aansluitleidingen in de deklaag van de vloer is het beter om geen hogere temperatuur toe te passen dan 60°C. Het verwarmingsvermogen is dan ongeveer de helft van de in tabel 2 aangegeven waarden.

tabel 2 verwarmingsvermogen radiatoren en paneelconvectoren per m2 aanzichtsoppervlakte (zie figuur 4)

|       | type                       | W/m2 |
|-------|----------------------------|------|
| 10    | éénplaats paneelradiator   | 1300 |
| 11    | éénplaats paneelconvector  | 1900 |
| 20    | tweeplaats paneelradiator  | 2200 |
| 21    | tweeplaats paneelconvector | 2700 |
| 22    | tweeplaats paneelconvector | 3300 |
| 33    | drieplaats paneelconvector | 4500 |
| 110LR | tweekoloms ledenradiator   | 2400 |
| 160LR | driekoloms ledenradiator   | 3300 |
| 220LR | vierkoloms ledenradiator   | 5000 |



figuur 4 verschillende typen radiatoren

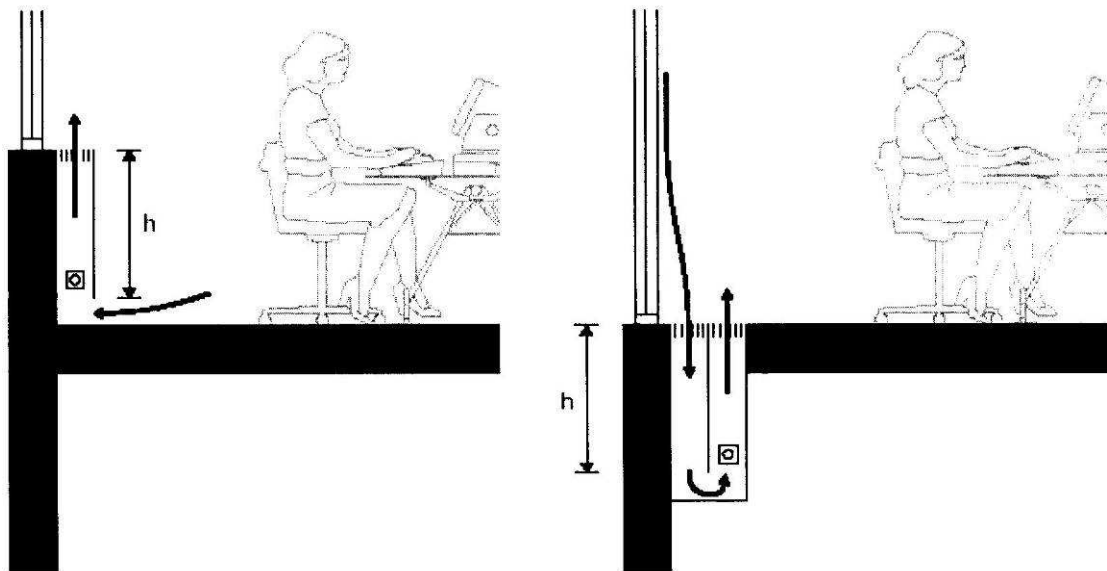
Door de relatief hoge oppervlakte temperatuur van de radiatoren zullen zal de afgifte van stralingswarmte een relatief groot aandeel vormen van de totale warmte afgifte. Echter voor het behalen van een zo hoog mogelijk opwekkingsrendement bij ketels en warmtepompen zal men een zo laag mogelijke watertemperatuur willen handhaven. We zien dan ook dat, bij gelijkblijvend afgegeven vermogen de radiatoren erg groot worden als men op lage temperatuur systemen over gaat. Dit is dan ook de reden dat we bij moderne, goed geïsoleerde, panden andere vormen van warmteafgifte toe past.

## 2.5 Convectoren en ribbenbuizen

Convectoren zijn buizen waarvan de oppervlakte is vergroot met dunne metalen plaatjes ("lamellen").

Ribbenbuizen zijn steviger omdat voor de ribben dikkere metalen plaat wordt gebruikt.

Net als radiatoren zijn ribbenbuizen vrij op te hangen. Convectoren zijn kwetsbaar en moeten in een omkasting of convectorput zijn aangebracht. Convectoren en ribbenbuizen geven hun warmte hoofdzakelijk convectief af. Door een aantal elementen boven of naast elkaar te plaatsen is een verwarmingsvermogen van enkele duizenden Watts per strekkende meter te realiseren. Het vermogen van convectoren wordt beïnvloed door de hoogte van de schacht, zie figuur 5.



figuur 5 convectorschacht en convectorput

Convectoren en ribbenbuizen moeten, net als radiatoren, zijn aangebracht op plaatsen waar het grootste warmteverlies optreedt. Door het ontbreken van compensatie voor "koudestraling" moet voor gelijk comfort de gevel een hogere isolatiewaarde hebben en de luchttemperatuur 0,5 tot 1,0 °C hoger zijn dan bij radiatorverwarming (vuistregel). Om met convectoren en ribbenbuizen op 0,6m vanaf de gevel aan de gebruikelijke comforteisen voor verblijfruimten te kunnen voldoen mag de gevel niet meer dan 30% transparant zijn. Deze vuistregel geldt voor dubbel glas. Bij hogere percentages moet HR-glas zijn toegepast of het glasvlak als klimaatraam of klimaatgevel zijn uitgevoerd. Net als radiatoren zijn convectoren en ribbenbuizen minder geschikt voor het verwarmen van hoge ruimten (>3,5 m) omdat ze een relatief geringe luchtcirculatie veroorzaken waardoor bovenin de ruimte een warme luchtdeken ontstaat. Dit verschijnsel doet zich in mindere mate voor in mechanisch geventileerde ruimten.

### 12.3 Vloerverwarming (koeling) en betonkernactivering

Vloerverwarming bestaat uit metalen of kunststof buizen die in een slakkenhuisvorm of meanderpatroon in de dekvloer liggen (figuur 6).



Figuur 6 Spiraalvormen bij vloerverwarming

De gemakkelijk te buigen buizen worden "op rol" geleverd. Met een buislengte van 100 m is afhankelijk van de van de buisafstand - 10 tot 20 m<sup>2</sup> vloer te verwarmen. Om de weerstand en daarbij benodigde pompenergie te beperken worden langere buislengtes dan ca. 100 m meestal niet toegepast. Om lekkage te voorkomen is het tevens beter om geen buisverbindingen in de dekvloer toe te passen.

Daarom zijn bij grotere oppervlakten meer vloervelden of groepen nodig die apart worden aangesloten op een verdeler die goed bereikbaar in een kast of wand (achter een wegneembaar paneel) is geplaatst. De slakkenhuisvorm geeft de meest gelijkmatige vloertemperatuur. Met het meanderpatroon kan plaatselijk, bijvoorbeeld bij een buitengevel, voor meer verwarmingsvermogen worden gezorgd. Warmteschade aan de dekvloer of vloerafwerking is te voorkomen door geen hogere watertemperatuur toe te passen dan 50 °C. Daarom wordt vloerverwarming bij toepassing in combinatie met radiatorverwarming meestal apart geregeld met een eigen regelset en een eigen circulatiepomp.

Vloerverwarming is alleen geschikt als hoofdverwarming als de warmtebehoefte per m<sup>2</sup> laag is, zoals als bij energiezuinige woningen het geval is bij weinig transmissie-, ventilatie- en infiltratiewarmteverlies en beperkte raamhoogtes. Dat komt door het volgende:

- Het vermogen is beperkt omdat de vloertemperatuur niet te hoog mag worden. In ruimten waarin hoofdzakelijk wordt gezeten is dit maximaal 28 ° en in ruimten waarin hoofdzakelijk wordt gestaan maximaal 25 °C mag zijn. Het verwarmingsvermogen is dan respectievelijk 90 en 55 W/m<sup>2</sup>.
- De warmte wordt voor een groot deel niet toegevoerd op de plaats waar het grootste warmteverlies optreedt zodat o.a. de koudeval bij ramen niet wordt opgevangen.

Vloerverwarming is een traag systeem. Opwarmen duurt veel langer dan bij een radiator.

Nachtverlaging heeft nauwelijks zin. Als de vloerverwarming 's avonds wordt uitgezet is het de volgende dag hooguit 1 tot 2°C kouder.

Men kan natuurlijk ook koud water door deze buizen laten stromen. We zien dan nog een aantal andere aandachtspunten die een rol gaan spelen:

- De door het koude water veroorzaakte oppervlakte temperatuur van de vloer mag niet onder het dewpunt van de lucht komen. Er zal nl. condensatie van de in de lucht aanwezige vocht kunnen optreden. We zien dan ook dat hier als uiterste minimale temperatuur 16°C wordt gekozen. (Dit staat in Nederland op dit moment ter discussie omdat men constateert dat de laatste jaren de trend van een hogere luchtvochtigheid waarneembaar is en dus condensatie bij deze temperatuur op kan treden.)
- Door de relatief hoge temperatuur is de  $\Delta t$  tussen vloer en lucht kleiner dan bij verwarmen. Dit heeft tot gevolg dat het koelvermogen van een vloer aanmerkelijk kleiner is dan het verwarmingsvermogen. We compenseren dit zo veel mogelijk door ongeveer het dubbele aantal strekkende meters buis in vloer te leggen als nodig is voor verwarming.
- Een voordeel is wel dat door een kleine verhoging van de vloertemperatuur, door b.v. opvallende zonnestraling, de  $\Delta t$  relatief sterk toeneemt, waardoor het opgenomen vermogen ook sterk toe neemt. Dus deze vorm van koeling is bijzonder geschikt om snel binnen komende zonnestraling weg te koelen voordat deze in de vorm van convectie overgedragen wordt aan de ruimtelucht.

Indien warmteverlies naar de benedenverdieping moet worden tegengegaan - wat zeker bij gestapelde appartementen het geval is - moet onder de vloerverwarming minstens 20 mm isolatie worden aangebracht. Vloerverwarming wordt daarbij in de afwerkvloer opgenomen die voldoende dikte moet hebben om de buizen + warmteverdelende deklaag op te nemen. Als richtlijn voor de dikte van het totale pakket moet 100 mm worden aangehouden. Uiteraard hangt de opbouwdikte af van de systeemkeuze.

Vloerverwarming is ook zinvol voor verwarming van vloeren boven onverwarmde ruimten en wordt vaak in gecombineerd met radiatorverwarming of luchtverwarming. Een voordeel van de combinatie met aanvullende verwarming is het grotere verwarmingsvermogen, de snellere opwarmtijd en mogelijkheid tot compensatie van koudeval en koudestraling.

Plafond toepassingen.

We kunnen natuurlijk ook de verwarming of koeling onderbrengen in het plafond. Gebeurt dit beide dan spreken we van een klimaatplafond.

Verschillen tussen een klimaatplafond en vloerverwarming/koeling zijn de volgende:

- De oppervlakte temperatuur van plafondverwarming mag minder hoog worden dan van vloerverwarming. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat ons hoofd gevoeliger is voor stralingsenergie dan onze voeten.
- De eigenschap dat koude lucht zwaarder is dan warme lucht heeft invloed op de luchtstroming van de convectief opgewarmde lucht.

Zoals eerder omschreven kan betonkernactivering, hoewel dat in de basis daar niet voor bedoeld is, een bijdragen aan het verwarmen en koelen van een ruimte. Indien de vloer in zijn geheel warm, of koud wordt zal deze ook stralingswarmte aan de lucht af gaan geven en daardoor direct bijdragen aan de ruimteconditie.

### 12.3.2 Muur- of wandverwarming

Voor muurverwarming kan hetzelfde materiaal worden gebruikt als voor vloerverwarming.

Voorbeelden zijn te vinden in de woningbouw met wanden van gips of kalkzandsteen, waarin sleuven aanwezig zijn t.b.v. verwarmingsbuizen. Er bestaan ook "droge" opbouwsystemen waarbij de buizen in voorgevormde aluminium platen zijn geplaatst waar overheen gipsplaat wordt aangebracht.

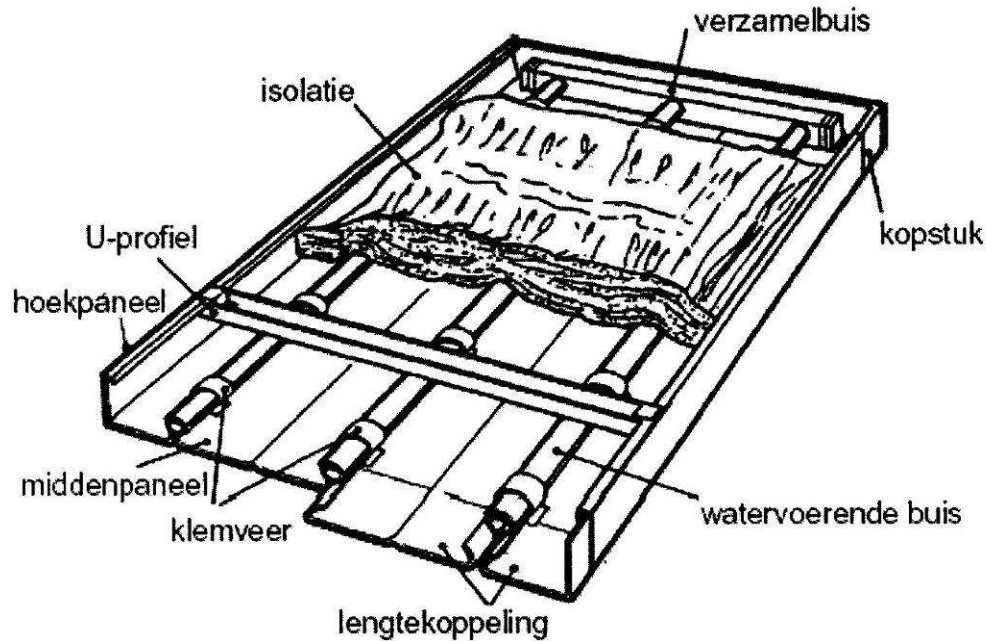
Een nadeel van wandverwarming is dat de warmte niet wordt toegevoerd op plaatsen waar het grootste warmteverlies optreedt. Een ander bezwaar is dat door uitzetten en krimpen van de wand scheurvorming kan ontstaan, om die reden is het - afhankelijk van het systeem - beter om geen hogere watertemperatuur toe te passen dan 30 - 40 °C.

Het verwarmingsvermogen per m<sup>2</sup> wand is - door de hogere toelaatbare temperatuur vergeleken met vloerverwarming - hoger dan bij vloerverwarming en is bij genoemde oppervlaktetemperaturen 100 - 200 W/m<sup>2</sup> wand.

### 12.4 Plafondverwarming

Verwarmingsplafonds kunnen metalen stroken of cassettes zijn die aan buizenregisters worden geklemd.

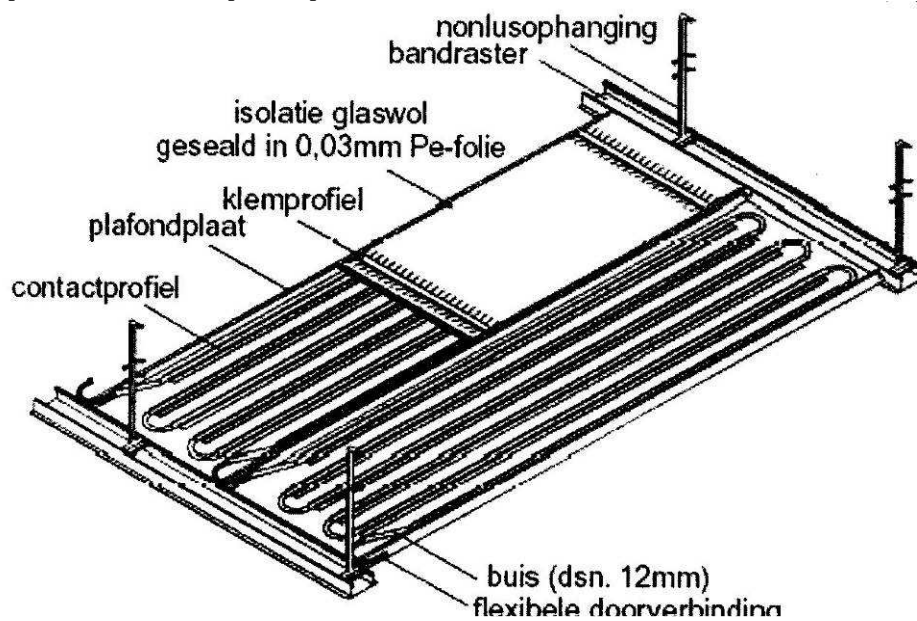
Registers bestaan uit evenwijdig lopende watervoerende buizen die aan de uiteinden aan verzamelbuizen zijn gelast (figuur 7).



figuur 7 verwarmingsplafond met buizenregister (systeem Frenger)

Het geheel wordt afgedekt met in folie gesealde isolatiedekens.

Bij een tweede type liggen in spiraalvorm gebogen metalen buizen (figuur 8) of matten van kunststofbuisjes los op standaard metalen plafondplaten.



figuur 8 verwarmingsplafond met in spiraalvorm gebogen buizen

Bij een derde type zijn de spiralen of matten in de fabriek aan de platen gehecht of in een sandwichpaneel opgenomen. De platen of sandwichpanelen worden aan frames bevestigd. Registers, spiralen en matten sluiten met gepantserde slangen aan op verwarmingsleidingen die boven het plafond liggen. De inbouwhoogte van verwarmingsplafonds is, inclusief aansluitleidingen, 100 tot 150 mm.

Een vierde type verwarmingsplafond bestaat uit buigbare matten van kunststofbuisjes die met een stuc laag worden afgewerkt en daardoor als gebogen vlak zijn uit te voeren. Omdat de ruimte boven het plafond ontoegankelijk is moeten verbindingen, afsluiters, aansluitleidingen e.d. in een koof, gang of andere plaats zijn aangebracht waar ze bereikbaar zijn voor controle en onderhoud.



Omdat plafondverwarming een beperkt vermogen heeft en de warmte voor een groot deel niet wordt toegevoerd op plaatsen waar het grootste warmteverlies optreedt is het meestal niet geschikt als hoofdverwarming. Het beperkte vermogen hangt samen met de

maximaal toelaatbare

plafondtemperatuur die weer afhankelijk is van de afstand tussen het plafond en het hoofd van de mensen in de ruimte. Bevindt het plafond zich op een hoogte van 2,7 m in een ruimte waarin mensen hoofdzakelijk zitten dan is het verwarmingsvermogen maximaal 70 W/m<sup>2</sup> en in ruimten waarin veel wordt gestaan maximaal 50 W/m<sup>2</sup>. De hier beschreven verwarmingsplafonds zijn eveneens te gebruiken als koelplafond.

Voor plafondverwarming zijn ook stralingspanelen te gebruiken. Dit zijn stevige stalen platen die aan buizen zijn gelast en op paneelradiatoren lijken.

Ze worden vaak in het vlak van het plafond of net onder het plafond aangebracht. Stralingspanelen hebben een hogere temperatuur dan de hiervoor besproken verwarmingsplafonds en hebben een vermogen van maximaal 700 W/m<sup>2</sup>. Door hun hoge temperatuur zijn ze alleen geschikt voor hoge ruimten (> 5m). Omdat stralingspanelen veel steviger zijn dan verwarmingsplafonds beschadigen ze minder snel en worden ze om die reden vaak toegepast in sportzalen, montagehallen en dergelijke.

### 12.5 Stralers:

Een afgeleide vorm van de stralingsplafonds zijn de stralers, gebruikt voor hoge ruimtes.

Stralingsverwarming is uitermate geschikt voor grote en/of hoge bedrijfsruimtes. Door hun stralingskarakter verwarmen zij niet de lucht, maar personen en materialen, die in de ruimte aanwezig zijn. Dit principe is ook bekend onder de naam zwartebuisstralers. Doordat niet de gehele lucht in de ruimte verwarmd hoeft te worden voor een behaaglijkheidsgevoel, kan er veel energie worden bespaard.

Stralingsverwarming eigenschappen:

- Stralingsverwarming capaciteiten tot 400 kW
- Zeer geschikt voor hoge en/of grote bedrijfsruimtes
- Energiebesparend
- 98% rendement
- Met gas- of oliebranders
- Aluminium stralingsbuizen
- Middels de reflectoren kunnen temperatuurzones gemaakt worden
- Stralingsverwarming kan eenvoudig onder het plafond gemonteerd worden
- Zeer stil
- Binnen- of buitenmontage van de branderunit



### 12.3 Warmteterugwinning

Uit energetisch oogpunt zullen we proberen om de energie die we nodig hebben om ons binnenklimaat op het gewenste niveau te krijgen zo optimaal mogelijk te gebruiken.

Naast de keuze voor opwekkingssystemen met een zo hoog mogelijk rendement zullen we ook kiezen op zo veel mogelijk energie terug te winnen uit de, met onze ventilatielucht, afgevoerde luchtstroom.

Dit wordt gedaan met z.g.n. warmte terugwin systemen. (Ook te gebruiken bij koeling)

In het onderstaande hoofdstuk zullen we de belangrijkste uitvoeringen daarvan bespreken.

#### 12.3.1 Inleiding

Naast de beperking van verliezen zoals in het vorige hoofdstuk is beschreven kennen we ook de mogelijkheid om energie die al opgewekt is en we, veelal noodzakelijker wijs, af moeten voeren weer her te gebruiken.

De energie wordt terug gewonnen en direct weer toegevoerd aan een medium waarin we dit kunnen gebruiken. Een aantal voorbeelden worden hieronder besproken.

### 12.3.2 Recirculatie van lucht.

Recirculatie van lucht is de eenvoudigste vorm van het terug winnen van energie uit de uit een ruimte afgevoerde lucht. Het is een goedkope oplossing, die weinig investering vraagt.

De afgevoerde lucht wordt rechtstreeks bij de verse toegevoerde lucht gelaten, zodat de energie afgevoerde energiestroom weer bij de toevoer wordt gevoegd. Veelal is er een minimale ventilatie nodig, die beperkingen op legt aan de hoeveelheid recirculatie lucht.

Ook bestaat er de kans dat vervuiling en e.v. infecties in het systeem blijven circuleren.

Denk hierbij aan "Sick-Building-Syndroom".

### 12.3.3 Warmtewisselaars.

Een reeds lang bekende vorm van besparing is het gebruik van warmte wisselaars.

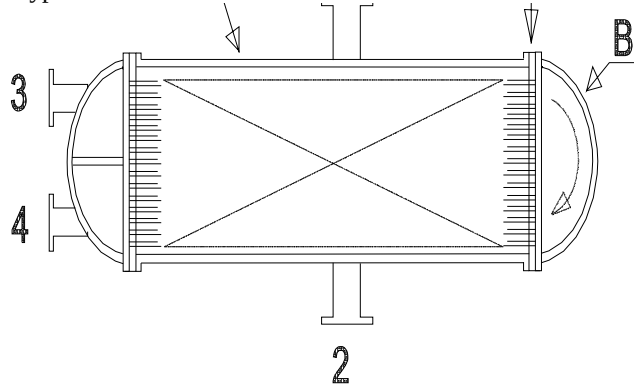
We halen energie uit een stof, waar het niet meer nodig is en brengen dat over op een andere stof waar we deze energie willen hebben.

Warmte wisselaars bestaan er in een zeer grote verscheidenheid.

Hieronder worden enkele uitvoeringen besproken.

#### Shell & Tube warmtewisselaars.

Dit type warmtewisselaar is één van de meest voorkomende.



Hij bestaat uit een gelaste romp (A), aan beide zijde voorzien van een flens. Aan beide zijde is deze romp afgesloten door den deksel (B).

Tussen het deksel en de romp zitten de pijpplaten (C) geklemd. In deze pijpplaat zijn een groot aantal pijpen bevestigd waar doorheen product kan stromen.

Eén van de vloeistoffen komt bij "1" binnen en gaat er bij "2" weer uit en heeft onderweg warmte opgenomen of afgestaan. Deze vloeistof stroomt dus buiten de pijpen om.

De tweede vloeistofstroom komt bij "3" binnen en loopt door de buizen heen.

Afhankelijk van de uitvoering kan deze vloeistof direct nadat het de buizen verlaten heeft weer (Rechts op tekening) worden afgevoerd, maar kan ook via schotten in de deksels meerder keren door de warmtewisselaar worden gevoerd.

In voorgaande schets is een warmtewisselaar met "2 passages" getekend. Dit kunnen er in de praktijk meer zijn. Dit heeft wel tot gevolg dat het aantal pijpen dat per passage beschikbaar is steeds minder wordt.

Een nadeel van deze constructie is dat men, door de inklemming van de pijpplaten in de romp, problemen kan krijgen met verschillen in uitzetting bij toepassing van verschillende materialen voor pijpen en romp.

Oplossingen voor dit probleem vindt men door gebruik te maken van:

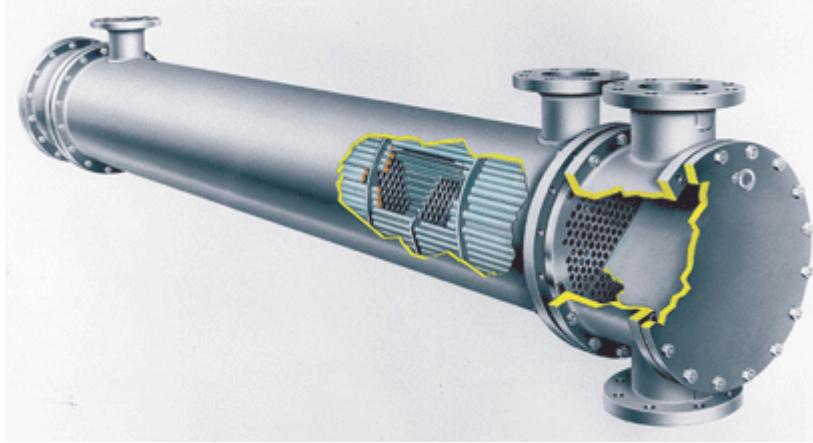
- \* Eén schuivende pijpplaat.
- \* Een warmtewisselaar met 1 pijpplaat en "U" vormige buizen.

Bij dit soort warmtewisselaars is het niet duidelijk omljnd welke van de twee vloeistofstromen er door de pijpen gaat en welke er omheen.

Er zijn echter een aantal criteria die we mee kunnen nemen in deze beoordeling.

- De meest vervuilende vloeistoffen niet door de pijpen laten stromen om zo verstoppingen te voorkomen.
- De meest corrosieve stoffen door de pijpen laten stromen omdat dan alleen de pijpen van corrosie bestendig materiaal gemaakt behoeven te worden.
- De vloeistof met het kleinste debiet door de pijpen laten stromen. De weerstand van de pijpen is, bij gelijkblijvend debiet, groter dan de weerstand van de ruimte er omheen.

### Toepassingen:



De toepassingen liggen overal waar men warmte over wil dragen van een vloeistof op een andere vloeistof. Hierbij kunnen we denken aan b.v. overdracht van warmte bij thermische opslag systemen in de grond.

Binnen o.a. de luchtbehandeling en

koeltechniek worden dit soort warmtewisselaars gebruikt als (Watergekoelde) condensors en verdamper. In de laatste toepassingen zal in de meeste gevallen het condenserende mengsel zich rondom de pijpen bevinden.

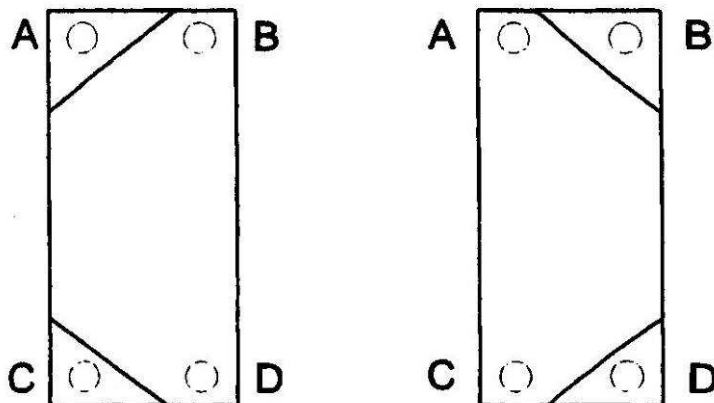
Bij de gebruik als verdamper zal, afhankelijk van het toegepaste verdampingsprincipe, het verdampende medium buiten of binnen de pijpen bevinden.

Hierbij denk ik b.v. aan Badverdamping.

### Platen warmtewisselaar.

Een platen warmtewisselaar bestaat uit een frame met een aantal trekstangen er aan.

Over deze trekstangen worden een groot aantal geprofileerde platen geschoven en aangedrukt.



Deze platen zijn voorzien van gaten voor de toe en afvoer van de beide vloeistof stromen en aan de randen voorzien van een pakking.

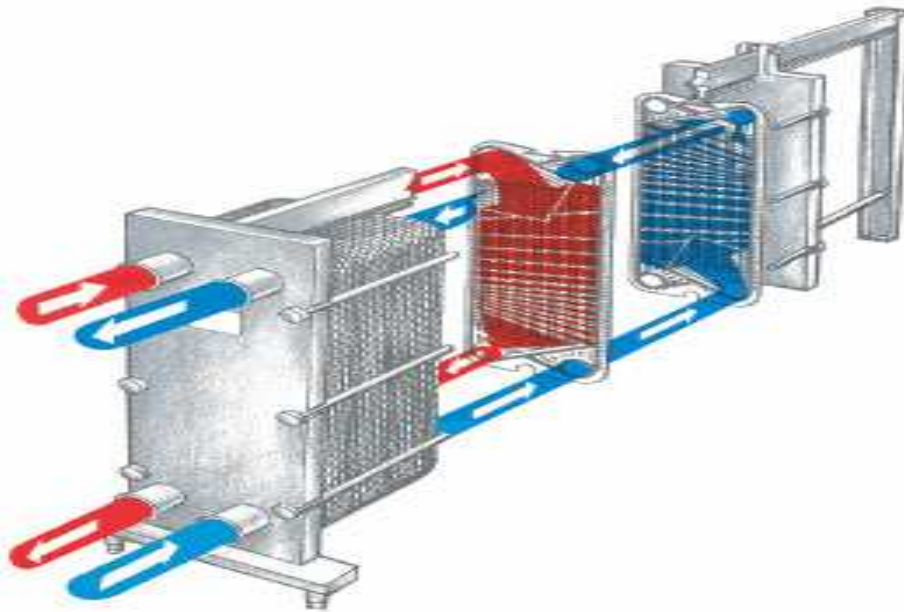
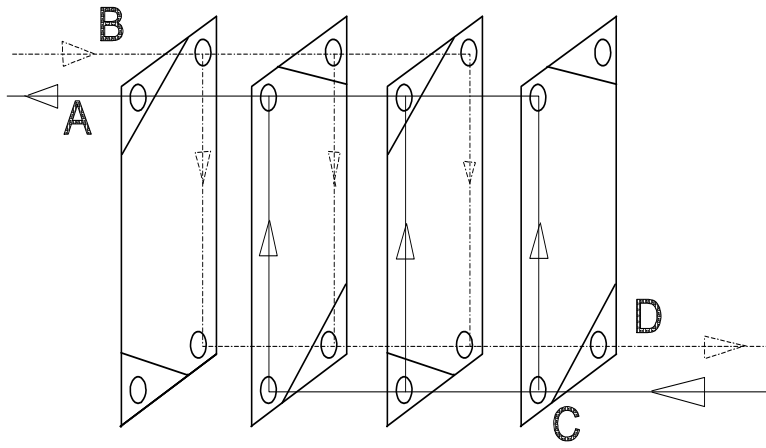
Tevens is er een pakking gemonteerd, daar waar een gat afgeschermd moet worden van het kanalen pakket van een plaat. (Zie schets hiernaast.)

De profilering van de platen is zodanig dat er steeds afwisselend aan elke kant van de plaat een één van de twee vloeistofstromen langs loopt.

Door middel van centrale kanalen (gaten) worden de vloeistofstromen verdeeld over de platen.

We kunnen door de in en uitlaat van één van de vloeistof stromen om te wisselen de koeler

veranderen van een mee-stroom warmtewisselaar in een tegenstroom.



Tevens bestaat er de mogelijkheid om, m.b.v. "blinde" platen de stromen zo te regelen dat een gedeelte van de warmtewisselaar in serie komt te staan met het andere stuk.

Voordelen van deze warmtewisselaars is dat:

- Een groot koelend oppervlak in een kleine ruimte.
- Door de dunne platen en smalle kanalen een goede warmteoverdracht, dus een kleinere delta T nodig.

Een nadeel is dat door deze kanalen er grotere kans op verstoppingen door vervuiling bestaat.

Ook mag, door dat er gebruik gemaakt is van vrijwel vlakke platen, het drukverschil tussen de beide vloeistoffen niet te groot worden.

De druk t.o.v. de omgeving is ook aan grenzen gebonden omdat anders de pakkingen tussen de platen uit geblazen zullen worden.

### **Toepassing:**

Dit type warmtewisselaar wordt veel toegepast waar men hoge eisen stelt aan de warmteoverdracht.

Daar waar ruimte gebrek een probleem is wordt dit type toegepast.

Men vindt dit type wisselaars o.a. veel in de "Food-processing" industrie.

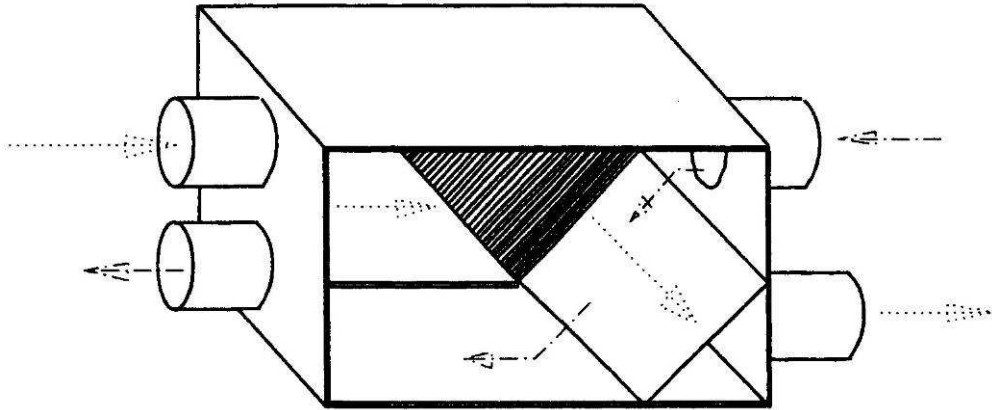
De jongste toepassingen van dit soort warmte wisselaars in de installatie techniek is het

gebruik hiervan als verdamper in koelinstallatie.

De voordelen hierbij zijn een zeer kleine inbouw maat voor een groot verdampend oppervlak, hetgeen vooral bij de kleinere units van belang is.

Dit vereist wel een speciale uitvoering van deze warmtewisselaars. In de praktijk worden de platen aan de randen afgelast om zo te voorkomen dat de pakkingen tussen de platen vandaan gedrukt worden.

#### Kruisstroom warmtewisselaar.



De warmte wisselaar wordt gebruikt voor het uitwisselen van energie tussen twee lucht stromen.

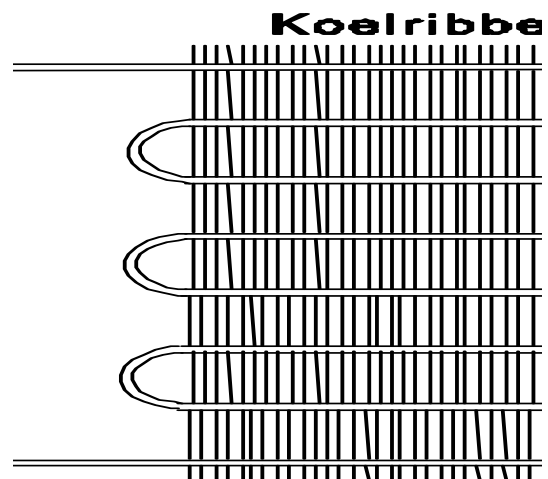
De platen worden zo geplaatst dat de lucht er in enkel trek-kruisstroom doorheen gaat.

Dit soort toepassingen vinden we o.a. in systemen met gebalanceerde ventilatie, waar zowel de toegevoerde als de afgevoerde luchtstroom mechanisch wordt verplaatst.

De warmte of "koude" die in de afgevoerde luchtstroom aanwezig is wordt weer afgegeven aan de toe te voeren lucht.

Er zullen hier echter altijd overdrachts "rendement" verliezen optreden.

#### Koel/verwarmingsbatterij.



Een koel of verwarmingsbatterij is een verwarmings- of koel-eenheid om lucht te verwarmen of koelen door middel van een (kokende)vloeistof.

De meest voorkomende uitvoering is een spiraal van pijpen waarop koelvinnen zijn geperst, om het koelend oppervlak te vergroten. Daarnaast wordt veelal de binnenkant van dit soort pijpen ook voorzien van getrokken spiralen om zo het contact van de vloeistof met de buizen beter te maken en de warmte overdracht te bevorderen.

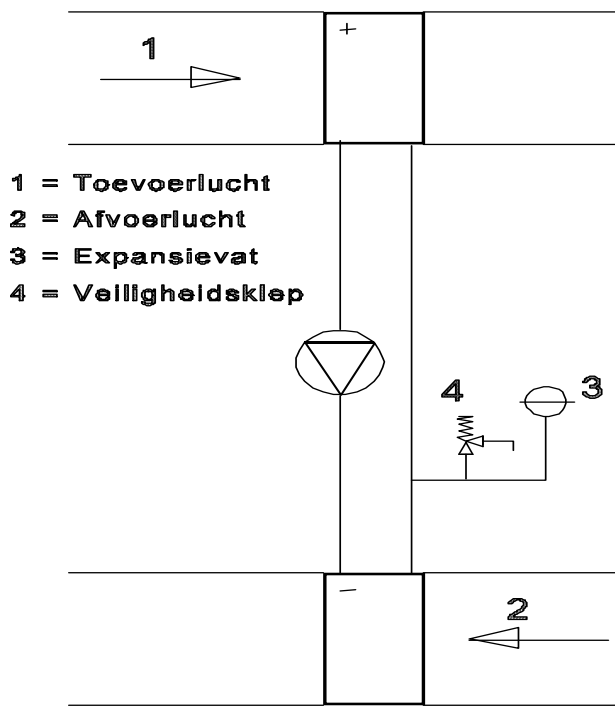
In de luchtbehandelings- en koel- techniek zijn dit zeer veel voorkomende types.

#### Toepassing.

Deze koel/verwarmingsbatterijen worden toegepast op die plaatsen waar warmte moet worden overgedragen van een (kokende) vloeistof op een gas.

In de luchtbehandelingstechniek vinden we ze terug als lucht koelers en of lucht verwarmers en worden als zodanig toegepast bij een scala aan energiebesparende maatregelen.

#### Twin-coil.



Een twin-coil systeem is een energiebesparend systeem dat gebruik maakt van koelbatterijen.

Een twincoil systeem heeft tot doel het terug winnen van energie uit de af te voeren ventilatie lucht.

Hierbij wordt er in de uitgaande luchtstroom een koelbatterij geplaatst waardoorheen, via een pomp, een koelend medium stroomt (B.v. water/glycol).

Dit medium zal warmte opnemen en dat weer kunnen afstaan aan een vergelijkbare koelbatterij welke in de verse, toe te voeren, luchtstroom is geplaatst.

In de zomer kan men een dergelijk systeem ook andersom gebruiken en zo "koude" terug winnen uit de afgevoerde lucht en dus energie

besparen op de koeling.

Een groot voordeel van dit systeem kan zijn dat de beide lucht stromen niet in elkaars nabijheid behoeven te liggen.

Ook bestaat er bij dit systeem geen kans dat de stromen met elkaar in contact komen.

Dit kan van groot belang zijn voor b.v. ziekenhuis installaties waar men elke mogelijkheid tot infectie moet proberen te voorkomen.

#### Accumulerende Warmtewisselaars.

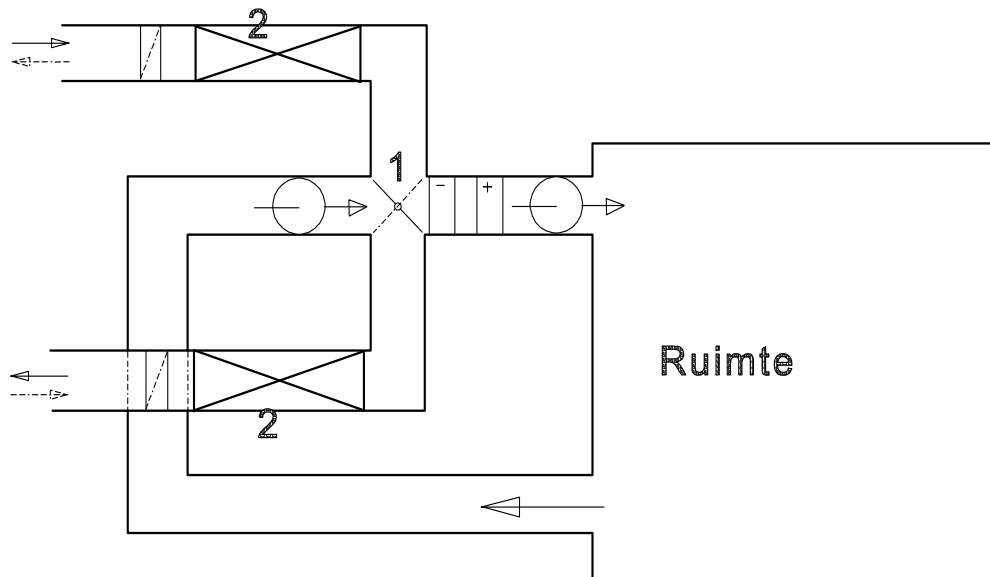
Laat men lucht van een bepaalde temperatuur langs een thermisch gevoelig materiaal stromen, dan zal dit materiaal warmer worden.

Laat men vervolgens andere, koelere, lucht langs dit zelfde materiaal stromen dan zal deze lucht weer warmte opnemen.

Een voorbeeld

hiervan is het elementen-wissel systeem.

Dit bestaat uit twee thermisch gevoelige pakketten, welke door middel van wisselkleppen afwisselen in de toe en afgevoerde lucht geplaatst worden.



Een nadeel is dat er een zekere bijmenging op treedt van de retour lucht naar de verse, toe te voeren, lucht omdat elke keer dat er over geschakeld wordt de hoeveelheid lucht die nog in het pakket aanwezig is mee gaat in de andere luchtstroom.

Als optie kan men hier ook, door toepassing van andere (vochtgevoelige) materialen, vocht terug winnen.

#### Warmtewiel

Een andere toepassing van dit systeem is het over bekende "**Warmtewiel**"

Een warmte wiel bestaat uit een langzaam draaiend wiel (Ca.10 omw/min) in een omkasting.

Dit wiel wordt aangedreven door een kleine elektromotor meestal via een snaar.

Het wiel bestaat uit een pakket van afwisselend gegolfde en gladde plaatjes, zodat er een groot aantal kleine kanaaltjes ontstaan.

Eén helft van het wiel wordt aangestroomd door de af te voeren lucht terwijl door de andere helft de toevoer lucht stroomt.

Algemene eigenschappen:

Door middel van een warmte wiel kan men ca.80% besparen op de energie behoefte voor koelen en verwarmen.

Bij toepassing van speciaal bewerkte rotoren kan er ook nog een besparing van ca.80% behaald worden op de bevochtiging.

**Het materiaal** van het pakket komt veelal in twee uitvoeringen voor:

- Aluminium
- Keramisch materiaal.



De verschillen tussen keramisch materiaal en aluminium zijn

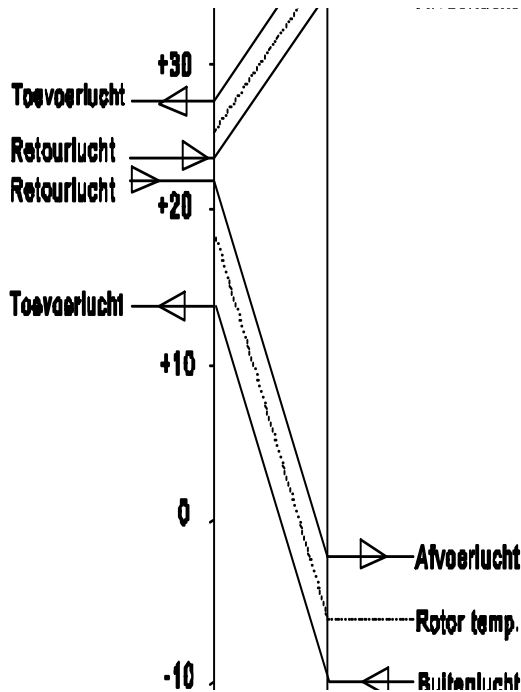
Keramische rotor

- Niet gevoelig voor corrosie.
- Geen condensatie bij latente overdracht.
- Mogelijkheid van opname gassen door vochtfilm op de rotor.
- Hoog latent deellast rendement doordat de rotor vocht op kan nemen.
- Lagere lucht lekkage na vlakslijpen afdichtingvlakken
- Geschikt voor hogere temperaturen (tot 160°C)
- Geen bevriezing tot zeer lage temperaturen.
- Geen versteviging nodig door sintermethode bij fabricage.
- Kan horizontaal gebruikt worden zonder gevaar voor doorbuiging.
- Duurder dan een aluminium rotor.

Aluminium rotor.

- Corrosie gevoelig
- Bij latente overdracht veelal nat omdat alleen oppervlak kan absorberen. (Dit leidt tot beperkte capaciteit)
- Opname van gassen kan tot stank problemen leiden.
- Laag latent deellast rendement doordat alleen oppervlak kan absorberen.

- Grotere luchtlekkage door moeilijker afdichting.
- Temperaturen tot ca. 80°C.
- Geen bevriezing tot ca. 0°C.
- Mechanische versteviging noodzakelijk.
- Horizontaal gebruik kan tot doorzakking leiden.
- Goedkoper dan een keramische rotor.



#### Overdracht

De voelbare warmte overdracht zal door het pakket heen lineair verlopen.

Door lucht stroming in tegenstroom uit te voeren kan men de buitenlucht op een temperatuur brengen die niet ver van de retourlucht af ligt.

In het Mollier diagram uitgezet zien we dat het proces verticaal verloopt. In winter omstandigheden omhoog en in zomer omstandigheden naar beneden.

Er wordt n.l. geen vocht toe of afgevoerd.

Gebruiken we echter een wiel dat ook voor vocht terugwinning geschikt is, dan zullen we dus ook latente warmte gaan terug winnen.

#### Capaciteits regeling.

De capaciteit van het warmtewiel regelt men door middel van een variërend toerental

De regeling vindt meestal plaats op basis van een temperatuur meting in de lucht na de rotor.

Het rendement van de overdracht van voelbare warmte (op basis waarvan gemeten wordt) zal slechts langzaam verminderen, maar het rendement van de latente warmte overdracht neemt sterk af indien men het toerental verlaagt.

Werken we ook met een mogelijkheid tot het terug winnen van latente warmte dan kan het rendabel zijn om op basis van de enthalpie te werken.

#### Spoelen.

Om bijmenging van beide luchtstromen zo veel mogelijk te voorkomen zal men trachten de retourlucht uit het wiel te spoelen voordat men de buitenlucht hier door naar binnen laat gaan.

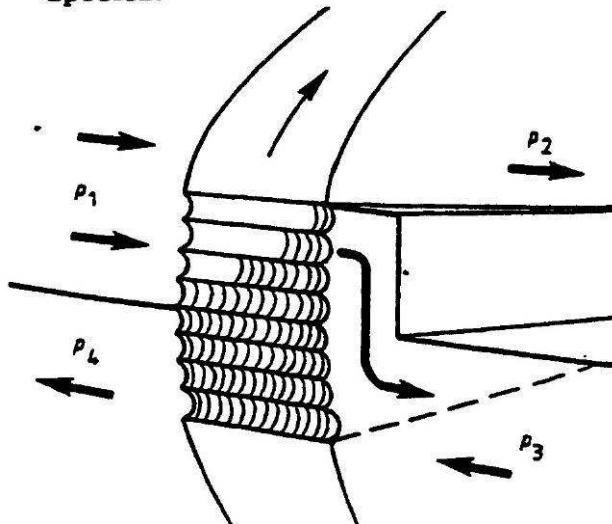
Hiertoe past men een "Spoelzone" toe. Zoals op de schets te zien zal de spoelzone slechts in 1 draairichting zijn werk goed doen, zodat het van het grootste belang is de draairichting goed te controleren.

**Lekkage.**

Door de constructie van het wiel zal er altijd een zekere lekkage plaats vinden van het vuile naar het schone gedeelte of omgekeerd.

Dit wordt veroorzaakt door:

- Afmetingen van de rotor
- Constructie van de afdichtingen
- Drukverschillen.

**Spoelen.**

De lekkage zal natuurlijk afhankelijk zijn van de drukken in de toe en afvoer kanalen. Zijn de drukken in de retour kanalen hoger dan die in de toevoer kanalen dan zal er een lekkage zijn van de retour naar de toevoer.

$$\Delta p_{tot} = (p_1 - p_4) + (p_2 - p_3) \text{ [Pa]}$$

Waarin :  $p_1$  = Druk toevoerlucht voor warmtewiel

$p_2$  = Druk toevoerlucht na warmtewiel

$p_3$  = Druk afvoerlucht voor warmtewiel

$p_4$  = Druk afvoerlucht na warmtewiel

Zie voorgaande schetsje.

Deze drukken kunnen natuurlijk positief en negatief zijn. Is dit totale drukverschil positief, dan is er lekkage van de toe- naar de afvoer en is dit negatief dan lekt het van de afvoer naar de toevoer. Men kan de optredende drukken sterk beïnvloeden door de plaatsing van de ventilatoren. (voor of na het wiel)

**Heatpipe.**

Een heatpipe bestaat uit een buis die uitwendig voorzien is van "koelribben".

De pijp is gevuld met een koudemiddel en heeft inwendig een geperforeerde capillaire mantel. Door nu één kant van de pijp in de warme lucht te hangen zal het koudemiddel gaan verdampen.

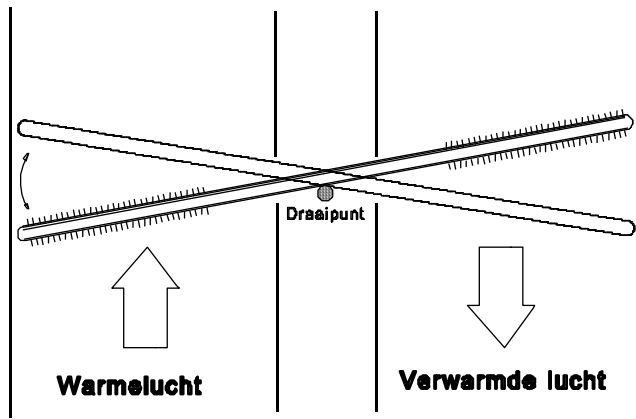
Plaatsen we nu het andere einde van de pijp iets hoger, dan zal het verdampte koude middel naar boven stijgen.

Plaatsen we nu het hoogste gedeelte in de koude luchtstroom dan zal het gas daar weer condenseren en via de capillaire wand weer naar beneden stromen.

**Regeling.**

Door de hellingshoek van de pijp te veranderen wordt de stroming van het koude middel in de

pijp veranderd, waardoor ook een capaciteitsverandering plaats vindt.



### Toepassing.

Voor zover mij bekend wordt deze uitvoering niet erg veel meer toegepast omdat de afdichting tussen beide luchtstromen de nodige problemen op kan leveren en ook omdat de kanalen altijd naast elkaar moeten liggen.

### Slotopmerking warmtewisselaars.

We zien dat warmtewisselaars worden gebruikt voor de uitwisseling van twee energiestromen. Dit houdt in dat we deze stromen bij elkaar moeten brengen (bv. Warmtewiel), of een tussenmedium moeten introduceren (b.v. twin coil).

Daar een tussenmedium altijd een extra warmte overdracht heeft, dus een  $\Delta t$  nodig heeft, zal theoretisch het warmte terugwin rendement lager zijn dan bij directe overdracht (Recirculatie).

We zien dan ook de ontwikkeling bij leveranciers ontstaan waarbij steeds betere rendementen worden beloofd.

## 12.4 Roosters

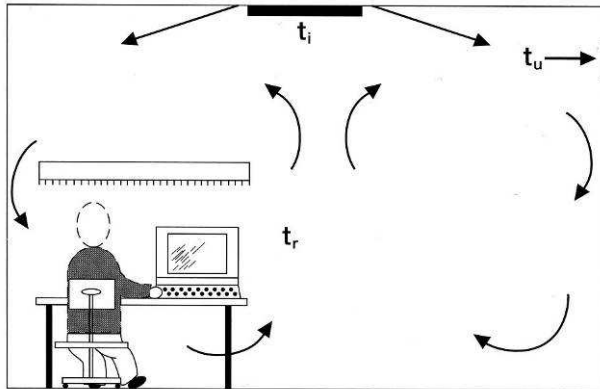
Roosters en andere inblaas voorzieningen hebben tot doel de ingebrachte lucht op zo goed mogelijke manier de ruimte in te brengen. Dit zal sterk afhankelijk zijn van de ruimte en van de lucht temperatuur (t.o.v. de ruimte temperatuur)

Afzuig roosters hebben vrijwel geen invloed op het aanzuigpatroon van de lucht en worden dan hoofdzakelijk gebruikt om het afgezogen debiet mee in te stellen en natuurlijk ook uit esthetisch oogpunt.

## Algemene informatie over luchtverdeelssystemen.

Deze aantekeningen zijn overgenomen uit "luchtverdeelapparatuur 2002" van Inatherm.

### Circulatieventilatie



Bij circulatieventilatie wordt de lucht met een relatief hoge snelheid buiten de verblijfszone toegevoerd, over het algemeen vanaf het plafond of de muur.

De hoge aanvoersnelheid leidt ertoe, dat er ook een aanzienlijke hoeveelheid ruimtelucht mee wordt gezogen. De aanvoersnelheid dient op een zodanig niveau te worden gehouden dat zeker is dat de vermenging efficiënt is en dat de snelheid tot het gewenste niveau is gedaald voordat de stralen de verblijfszone bereiken. (De verblijfszone is dat deel van de ruimte waarbinnen we gewoonlijk verblijven.) Dit stelt hoge eisen aan de efficiëntie van het aanvoerrooster ten aanzien van de

aanvoersnelheid en de vermenging.

Een verhoging van de aanvoersnelheid brengt een dienovereenkomstige verhoging van het geluidsniveau met zich mee. De behoefte aan een laag geluidsniveau beperkt dus tevens de efficiëntie van het rooster.

De temperaturen de verontreinigingsconcentratie zijn over het algemeen in de gehele kamer gelijk wanneer sprake is van toevoer van isotherme of gekoelde lucht.

De circulatieventilatie is relatief ongevoelig ten opzichte van invloeden van buitenaf en kan zowel voor verwarming als koeling worden gebruikt.

### Toevoer van verwarmde lucht

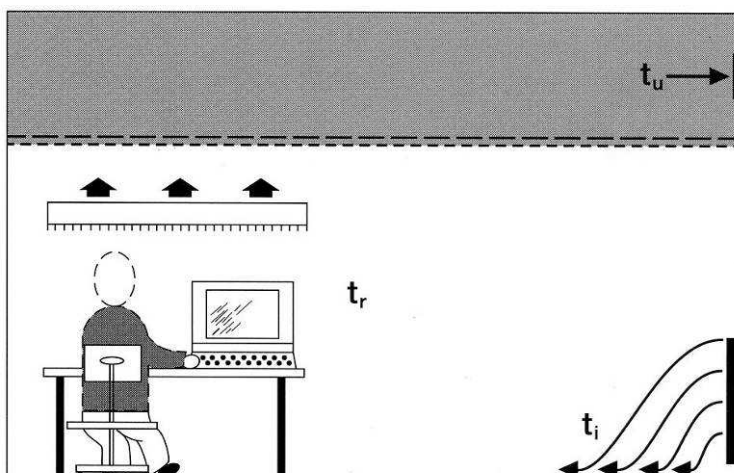
Aangezien verwarmde lucht lichter is dan de lucht in de kamer, is er flink veel energie nodig om de lucht de verblijfszone in te dwingen. Daardoor wordt de eis die wordt gesteld aan de aanvoersnelheid hoger bij toenemende plafondhoogte en stijgende verwarmings temperatuur.

Bij een zeer hoog plafond is het in de regel nodig om de lucht direct loodrecht naar beneden te blazen.

### Aanvoer van gekoelde lucht

De zwaardere gekoelde lucht, die vanaf het plafond wordt aangevoerd, kan bij grote thermische belastingen tot te hoge snelheden in de verblijfszone leiden. De stralen van de roosters (normaliter horizontaal) en de convectiestromen van de warmtebronnen (personen, verlichting, machines) resulteren in een snelheid in de verblijfszone, die (naast de aanvoersnelheid van het rooster) afhangt van het verwijderde vermogen per oppervlakte-eenheid ( $W/m^2$ ), de verdeling over de afzonderlijke roosters en het verspreidingspatroon van de roosters.

Toevoer van zowel verwarmde als gekoelde lucht in hetzelfde rooster vanaf het plafond kan normaal gesproken



niet gelijktijdig voldoen aan de eisen die aan detemperatuurgradiënt, ventilatie-efficiëntie en snelheid in de verblijfszone worden gesteld. De oplossing van dit probleem kan een toepassing van gemotoriseerde roosters zijn, die het aanvoerpatroon kunnen wijzigen. Een andere mogelijkheid is om de roosters voor de koelsituatie te dimensioneren en vervolgens bij de aanvoer van verwarmde lucht loodrechtgerichte hulpsproeiers toe te voegen.

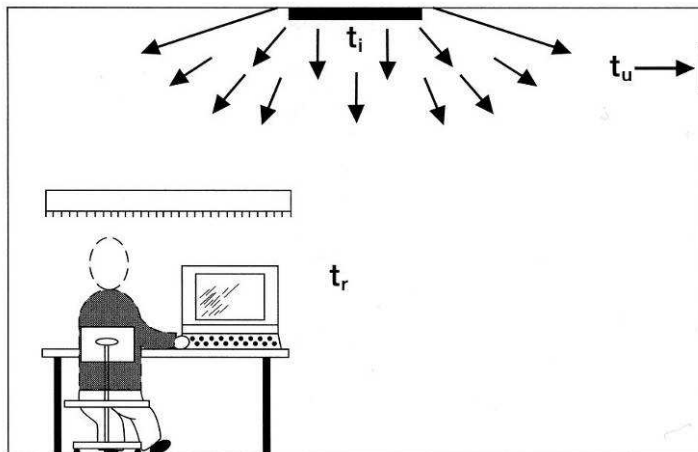
### Verdringsventilatie

Bij verdringingsventilatie regelen de thermische krachten van de warmtebronnen in de kamer de luchtverdeling. De lucht wordt rechtstreeks in de kamer op vloerniveau naar de verblijfszone geleid, met een lage snelheid en op koeltemperatuur. De lucht verspreidt zich over de gehele vloer en verdringt de warme verontreinigde lucht, die door de convectiestromen van de warmtebronnen naar het plafond wordt geleid. Afzuiging moet aan het plafond gebeuren, waar zich een warme, "verontreinigde" laag vormt.

De ventilatie-efficiëntie bij verdringingsventilatie is vanwege de verdeling in lagen groter dan bij circulatieventilatie. Het verschil wordt nog groter bij een zeer hoog plafond en een grote thermische belasting. Dankzij de grotere ventilatie-efficiëntie kan koelvermogen worden bespaard of kan het koelvermogen van de verse lucht beter worden benut.

Verdringingsventilatie kan onder normale omstandigheden niet voor verwarming worden gebruikt.

De nabijheidszone van rooster hangt in de eerste plaats af van de toegevoerde hoeveelheid lucht, de koeltemperatuur en de plaats van de rooster. In de tweede plaats van de geometrie van de rooster en het luchtverdelingssysteem. Het nabijheidszoneoppervlak hangt af van de hoeveelheid lucht en de koeltemperatuur. De geometrie van de nabijheidszone kan echter naar behoefte worden gewijzigd door de verdelingsnozzies bij te stellen.



#### Laagimpuisaanvoer

Bij laagimpuisaanvoer wordt gekoelde lucht vanaf het plafond toegevoerd met een lage snelheid. De zuivere lucht verdringt de verontreinigde lucht, die zo dicht mogelijk bij de vloer moet worden afgezogen.

Het beste resultaat wordt verkregen door de aangevoerde hoeveelheid lucht in kleine porties over het hele plafond te verdelen.

Het systeem kan niet voor verwarming worden gebruikt.

#### Keuze van het

### luchtverdelingssysteem

De verschillende systemen hebben allemaal hun voor- en nadelen. Deze moeten daarom nauwkeurig worden afgewogen voordat een keuze voor een bepaalde systeemoplossing wordt gemaakt.

Voor alle drie systeemoplossingen geldt dat hoe meer roosters worden gebruikt en hoe beter de roosters over de ruimte zijn verdeeld, hoe beter het thermisch comfort wordt.

De voor- en nadelen worden in het onderstaande overzicht weergegeven.

#### Circulatieventilatie

##### Positief

- Kan worden gebruikt voor koeling en verwarming.
- Grote inductie geeft de mogelijkheid van aanvoer met een hoge koeltemperatuur.
- Grotendeels dezelfde temperatuur in de gehele kamer. D.w.z. kleine temperatuurgradiënt.
- Stabiel stroompatroon.
- Flexibiliteit ten aanzien van de plaats van roosters.
- Geen vermindering van bruikbaar oppervlak.

##### Negatief

- Kans op kortsluiting / lage efficiëntie (Met name bij verwarming).
- Meer vermogen nodig bij koeling.
- Kans op tocht bij hoog koelvermogen.

#### Verdringingsventilatie

##### Positief:

- Hoge ventilatie-efficiëntie
- Lager ven-nogen nodig bij koeling.
- Lage snelheden in de verblijfszone, maar niet in de nabijheidszone.
- Geschikt voor koeling van ruimten met een hoog plafond.

##### Negatief:

- Vereist een grotere hoeveelheid lucht dan de circulatieoplossing.
- Minder vrijheid bij plaatsing van meubels.
- Vermindering van bruikbaar oppervlak.
- Lage inductie.
- Grote verticale temperatuurgradiënt.
- Verwarming niet mogelijk.

## Laagimpuls

### Positief:

- Geen vermindering van bruikbaar oppervlak.
- Geschikt bij grote luchtwisselingen met beperkte koeltemperatuur.
- Hoge lokale efficiëntie.

### Negatief

- Lage inductie.
- Niet bruikbaar voor verwarming.
- Vereist afzuiging dicht bij de vloer.

## Keuze van het luchtverdeelsysteem

|                                                                                                                    | Circulatie |              |                      |                         |                  |                     |                |              | Verdringing |             |               | Laagimpuls |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------|----------------------|-------------------------|------------------|---------------------|----------------|--------------|-------------|-------------|---------------|------------|
|                                                                                                                    | Nozzels    | Wandroosters | Wandinductieroosters | Eén spleet Lijnroosters | Geperf. roosters | Multinozzelroosters | Wervelroosters | Lijnroosters | Wand units  | Vloer units | Theater units |            |
| <b>Kantoren</b> Verwarmen+koeling<br>0-30 W/m <sup>2</sup><br>30-60 W/m <sup>2</sup><br>>60 W/m <sup>2</sup>       |            |              | ••                   | ••                      | ••               | ••                  | ••             | •            | ••          | ••          |               |            |
| <b>Zalen</b> Conferentieruimte<br>Theater, bioscoop<br>Collegezaal<br>Restaurant<br>Leslokaal<br>Tentoonstellingen |            | •            | ••                   | ••                      | ••               | ••                  | ••             | •            | ••          | ••          | ••            |            |
| <b>Bedrijven</b> Winkels<br>Supermarkten                                                                           | •          | •            | ••                   | ••                      | ••               | ••                  | ••             | •            |             |             |               |            |
| Sportthal<br>Zwembad                                                                                               | ••         | ••           |                      |                         | •                | ••                  | ••             |              | •           |             |               |            |
| Catering                                                                                                           |            |              |                      | •                       | ••               | ••                  | ••             |              | ••          |             |               | ••         |
| Laboratorium                                                                                                       |            |              |                      | •                       | ••               | ••                  | ••             |              | ••          |             |               | ••         |
| "Clean rooms"<br>Woonhuis                                                                                          |            | ••           | ••                   | ••                      | ••               |                     | ••             | ••           |             |             |               |            |

• : Redelijk    •• : Goed    ••• : Uitstekend

## Keuze van een luchtverdeelsysteem in een industriële omgeving

| Ventilatie<br>behoefte | Verwarmings-<br>behoefte | Koelings-<br>behoefte | Circulatie-<br>behoefte | Verdringings-<br>ventilatie | Laag-impuls |
|------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------|
| ❄                      | ❄                        | ❄                     | X                       |                             |             |
| ❄                      | ❄                        | ❄                     | X                       |                             |             |
| ❄                      | ❄                        | ❄                     | X                       |                             |             |
| ❄                      | ❄                        | ❄                     |                         | X                           | X           |
| ❄                      | ❄                        | ❄                     | X                       |                             | X           |
| ❄                      | ❄                        | ❄                     | X                       |                             |             |
| ❄                      | ❄                        | ❄                     | X                       |                             |             |
| ❄                      | ❄                        | ❄                     |                         | X                           | X           |

❄ : Geringe behoefte

❄ : Grote behoefte

### Circulatie ventilatie

Een rooster moet een bepaalde hoeveelheid lucht toevoeren, zodat de kamer voldoende geventileerd wordt, terwijl tegelijkertijd aan bepaalde eisen ten aanzien van geluidsniveau, luchtsnelheid en temperatuur quotiënt in de verblijfszone dient te worden voldaan.

Om aan deze eisen te kunnen voldoen, zijn bepaalde ontwerpsrichtlijnen nodig. Hieronder staan de belangrijkste vermeld.

### Aanduidingen

|                 |                                                                   |                        |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------|
| A               | Totale absorptie van de kamer                                     | m <sup>2</sup>         |
| b <sub>h</sub>  | Maximale horizontale spreiding tot eindsnelheid 0,2 m/s           | m                      |
| b <sub>v</sub>  | Maximale verticale spreiding tot eindsnelheid 0,2 m/s             | m                      |
| F               | "Vrije oppervlak" $\frac{q}{v_o}$ (v <sub>o</sub> gemeten)        | m <sup>2</sup>         |
| K <sub>ok</sub> | Correctiefactor voor geluidssterkte                               | dB                     |
| l <sub>02</sub> | Worplengte tot eindsnelheid 0,2 m/s                               | m                      |
| l <sub>b</sub>  | Afstand van het rooster tot de plaats van maximale spreiding      | m                      |
| L <sub>A</sub>  | Gebalanceerd geluidsdrukniveau                                    | dB(A)                  |
| L <sub>p</sub>  | Geluidsdrukniveau                                                 | dB                     |
| L <sub>w</sub>  | Geluidsvermogeniveau                                              | dB                     |
| L               | Geluiddemping                                                     | dB                     |
| P <sub>t</sub>  | Totaal drukverlies                                                | Pa                     |
| q               | Hoeveelheid lucht                                                 | m <sup>3</sup> /h, l/s |
| Q               | Richtingsfactor                                                   |                        |
| t               | Temperatuurverschil tussen lucht in de kamer en aangevoerde lucht | °C                     |
| v <sub>o</sub>  | Aanvoersnelheid van het rooster                                   | m/s                    |
| v <sub>x</sub>  | Straalsnelheid op afstand x vanaf het midden van het rooster      | m/s                    |

Bij de keuze van een rooster dient rekening te worden gehouden met de eisen ten aanzien van drukverlies, geluidsniveau en worplengte.

Deze gegevens worden voor elk afzonderlijk product gespecificeerd.

De selectie- en prestatiegegevens die in de catalogie staan, zijn het resultaat van metingen die in het laboratorium zijn uitgevoerd. In de praktijk zijn de omstandigheden zelden zo ideaal als in een laboratorium, aangezien de indeling van de ruimte, het meubilair, de plaats van de luchtverdelingsroosters e.d. van grote invloed op de verspreiding van lucht in de kamer zijn. Sommige leveranciers bieden daarom de mogelijkheid om een specifieke situatie in de praktijk te toetsen door op alle gebieden een volledig onderzoek uit te voeren - dit is vaak van grote waarde bij uitgebreide en gecompliceerde opdrachten.

### Drukverlies

De diagrammen geven de totale drukverlies (bij 1,2 kg/m<sup>3</sup>) aan, d.w.z. de som van de statische en dynamische druk van de rooster (evt. inclusief drukverdelingskast), indien deze is aangesloten met een recht kanaal met dezelfde afmeting als de rooster. Lengte 1 m.

### Isotherme aanvoer

Alle technische gegevens zijn van toepassing bij isotherme omstandigheden.

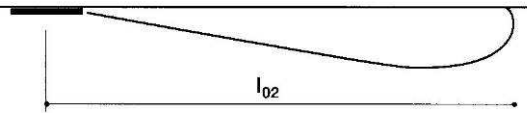
### Geluidsniveau

De diagrammen geven het geluidsniveau aan in dB(A), overeenkomstig een geluiddemping in een kamer van 4 dB voor roosters en evt. drukverdelingskast, indien deze zijn aangesloten met een recht kanaal met dezelfde afmeting als de rooster. Lengte: 1 m.

### Worplengte

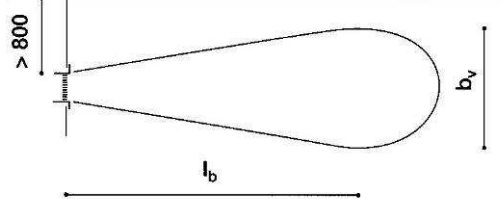
De worplengte l<sub>02</sub> wordt gedefinieerd als de grootste afstand van het midden van het rooster tot de eindsnelheid 0,2 m/s. De waarden van l<sub>02</sub> gelden voor roosters die aan het plafond zijn gemonteerd. (Fig. 1). Eindsnelheid: 0,2 m/s -90% fractiel.

Fig. 1



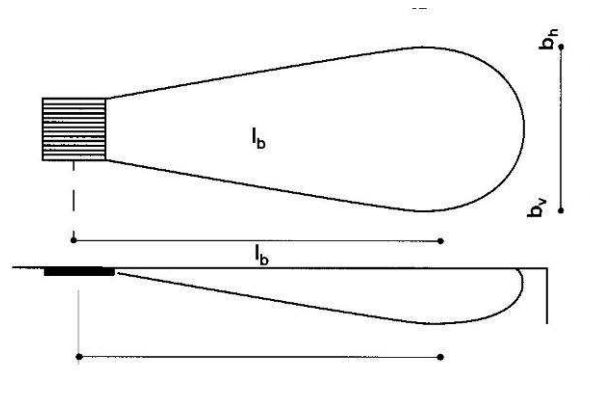
Voor wandroosters geldt  $l_{02}$  voor montage op meer dan 800 mm vanaf het plafond. (Fig. 2).  
Eindsnelheid: 0,2 m/s -gemiddelde waarde.

Fig. 2



De grootste verticale spreiding  $b_v$  geeft de grootste loodrechte afstand aan van het plafond tot de eindsnelheid van 0,2 m/s. De horizontale spreiding wordt aangeduid met  $b_h$  en geeft de maximale horizontale spreiding van de luchtstraal aan bij de eindsnelheid van 0,2 m/s. De afstand van de rooster tot het punt waar de grootste spreiding bestaat, wordt aangeduid met  $l_b$ . De waarden  $b_v$ ,  $b_h$  en  $l_b$  worden voor de afzonderlijke roosters aangegeven als functie van de worplengte  $l_{02}$

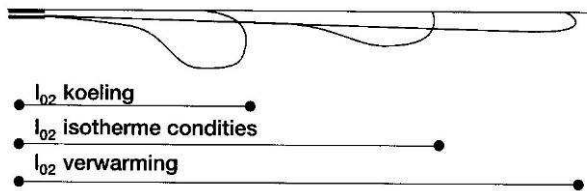
### Spreiding



### Niet-isotherme luchttoevoer

De cataloguswaarden voor worplengtes zijn allemaal van toepassing bij een isotherme aanvoer. Bij horizontale aanvoer met gekoelde lucht worden de worplengtes verkort met 1,5% per graad en neemt de verticale spreiding  $b_v$  toe.

Bij horizontale aanvoer met een hoge temperatuur worden de worplengtes verlengd met 2% per graad.

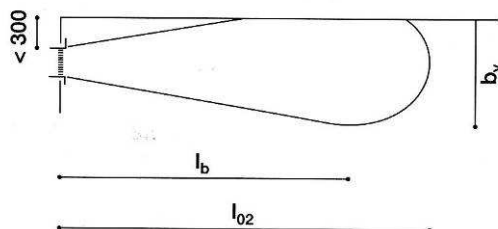


### Het coanda-effect

Als de lucht wordt aangevoerd langs een begrenzingsoppervlak, bijv. een plafond, ontstaat er een onderdruk tussen de luchtstraal en het plafond, waardoor de straal aan het plafond gaat "kleven" (het zogenaamde coanda-effect). Dit effect is van grote betekenis, met name bij de aanvoer van gekoelde lucht.

Om een zo groot mogelijk coanda-effect te krijgen, moet de lucht worden toegevoerd in kleine hoeveelheden per rooster, met een zo groot mogelijke spreiding op het plafond en met een zo groot mogelijke snelheid.

Het effect verdwijnt geheel bij snelheden beneden de 0,35 m/s.



De beste methode is daarom altijd om de lucht vanaf het rooster aan te voeren in een volledig 360° patroon zonder dat de zijanten worden afgedekt.

Met name lijnroosters (MTL) worden in actieve en inactieve secties verdeeld om afname te voorkomen.

Als een wandrooster op minder dan 300 mm van het plafond is gemonteerd, dienen de waarden voor de worplengte  $l_{02}$  te worden vermenigvuldigd met 1,4.

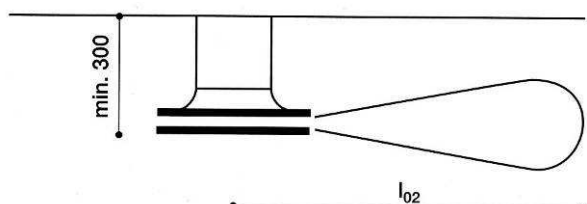
### Zwevende montage

De cataloguswaarden voor de worplengte gelden voor roosters die tegen het plafond zijn gemonteerd.

Bij een zwevende montage wordt de worplengte volgens de volgende formule verkort:

$$l_{02} \text{ zwevend} = 0,8 \times l_{02}$$

Verticale aanvoer vanaf het plafond



De worplengtes voor verticale aanvoer gelden bij isotherme omstandigheden. Bij gekoelde lucht  $t = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$  neemt de worplengte met 100% toe. Bij aanvoer van verwarmde lucht  $t = 10^{\circ}\text{C}$  dienen de catalogus waarden van  $l_{02}$  te worden vermenigvuldigd met 0,5.

### Geluidsniveau

Definities:

Geluidsvermogeniveau  $L_w = 10 \times \log \frac{N}{N_0}$ . [dB], waarbij

$N$  = de geluidssterkte (W) die aan de lucht wordt toegevoegd in de vorm van drukschommelingen.  
 $N_0 = 10^{-12}\text{ W}$

Geluidsdruk niveau  $L_p = 20 \times \log \frac{P}{P_0}$ . [dB], waarbij

$P$ , is de geluidsdruk ( $\text{N/m}^2$  en  $P_0 = 2 \times 10^{-5}\text{ N/m}^2$ ).

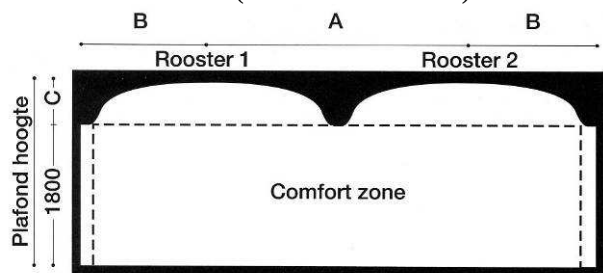
De geluidswaarden  $L_A$  dB(A) in de catalogus gelden bij een geluiddemping in de kamer van 4 dB, wat overeenkomt met de demping in het nagalmveld in een kamermet een kamerconstante van  $10\text{ m}^2$  Sabine.

Het geluidsvermogeniveau is te vinden in de formule

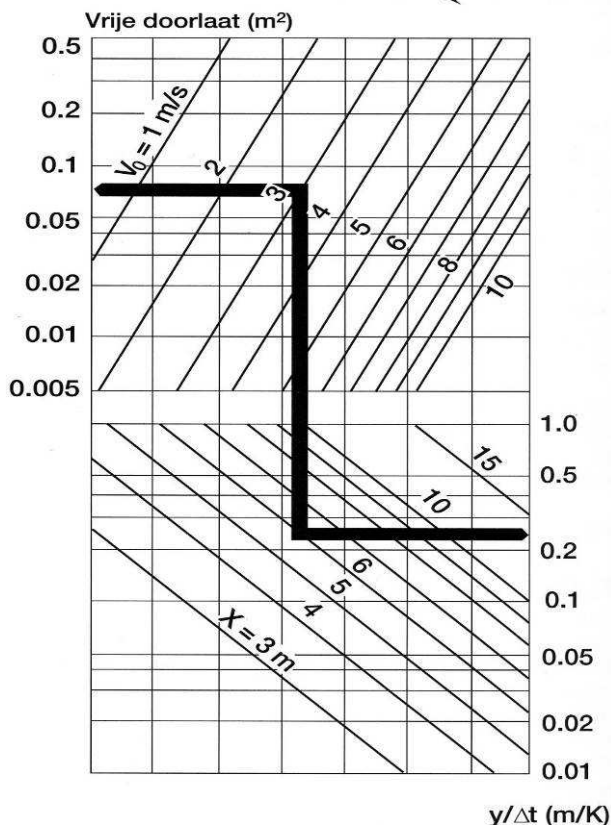
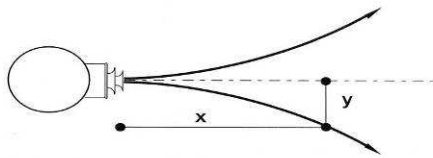
$$L_w = L_A + K_{ok}$$

De  $K_{ok}$  -waarden worden voor elk rooster in tabelvorm weergegeven.

Degeluiddemping  $L$ (dB) staat voor elk rooster aangegevenen toont de reductie van de geluidssterkte vanaf het kanaal naar de kamer (incl. de eindreflectie).



Stijging of daling van de lucht bij niet-isotherme aanvoer.



Om snelheden van meer dan  $0,2\text{ m/s}$  in de verblijfszone te voorkomen, moeten de roosters zodanig zijn gedimensioneerd dat de worplengtes  $l_{02}$  de juiste verhouding hebben tot de afstanden  $A$ ,  $B$  en  $C$ . Bij twee roosters die tegen elkaar blazen dient de volgende formule in acht te worden genomen:  
 $l_{02} A/2 + C$

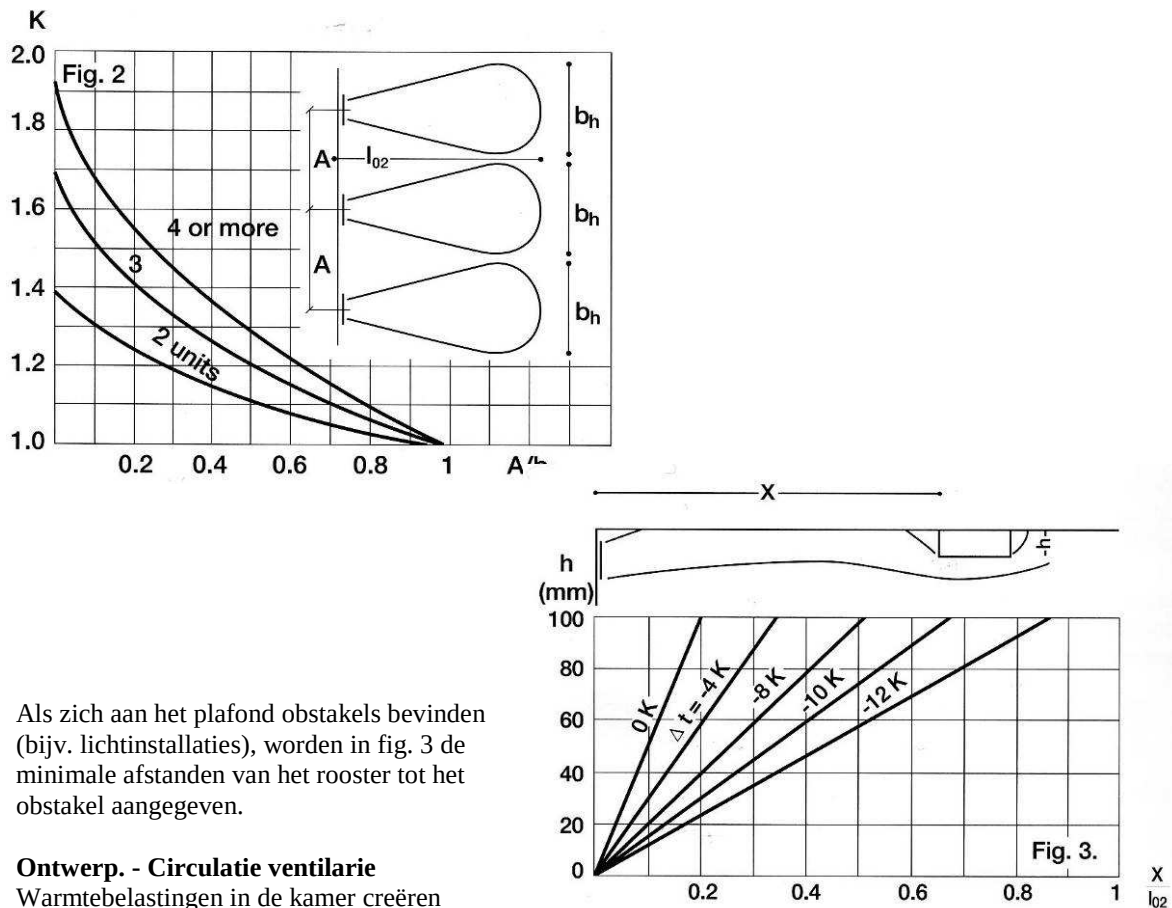
Voor een rooster dat tegen de muur blaast:  
 $l_{02} B + C$

Deze regels geven dus de maximale worplengte van de roosters aan. Om een adequate luchtverdeling te verkrijgen, mogen de worplengtes niet kleiner zijn dan 75% van deze maximale waarden.

Als 2 of meer roosters meteen parallele aanvoer van verse lucht (1-zijdig of 2-zijdig) worden geplaatst met een onderlinge afstand  $A$ , die kleiner is dan  $b_h'$  wordt de worplengte verlengd conform de formule:

$$l_{02} (\text{gecorrigeerd}) = K \times l_{02} (\text{diagram})$$

$K$  blijkt uit fig. 2.

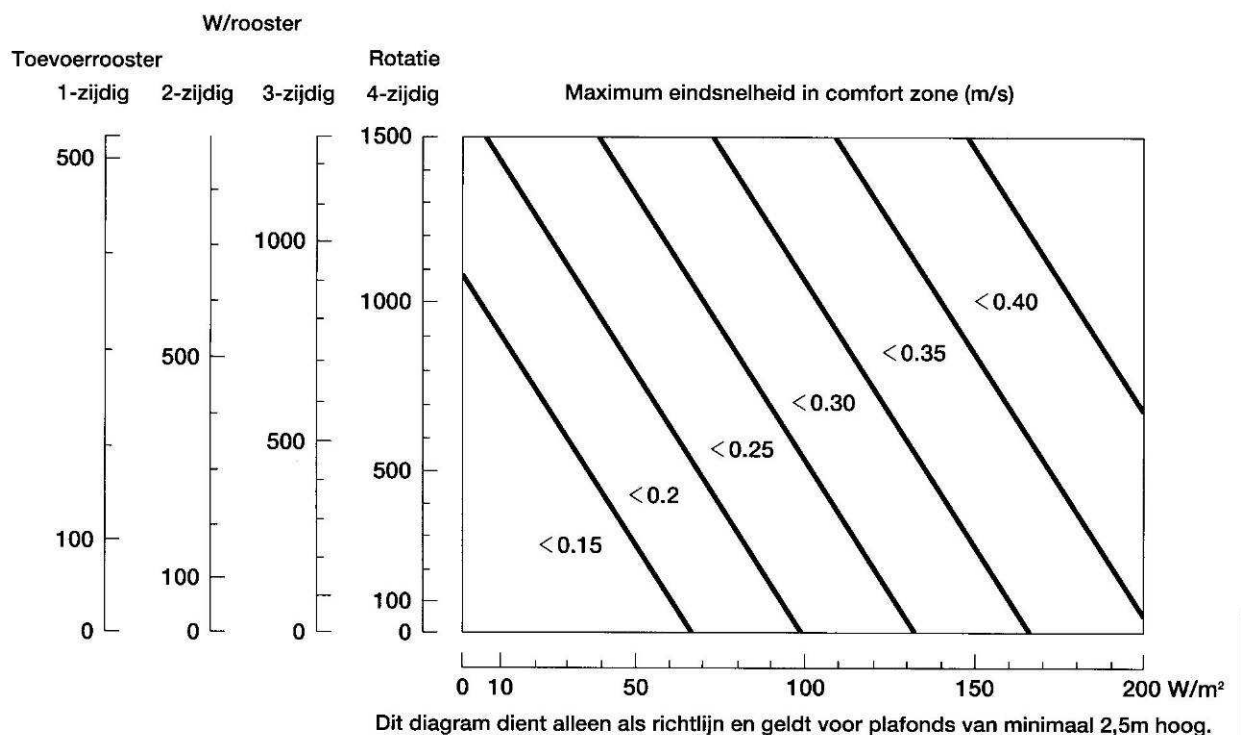


Als zich aan het plafond obstakels bevinden (bijv. lichtinstallaties), worden in fig. 3 de minimale afstanden van het rooster tot het obstakel aangegeven.

#### Ontwerp. - Circulatie ventilatie

Warmtebelastingen in de kamer creëren opwaartse convectiestromen van warme lucht, en dienovereenkomstig ontstaan er neerwaartse convectiestromen van koude lucht, veroorzaakt door de aangevoerde lucht.

De berekende maximale snelheid in de verblijfszone op basis van deze thermische stromen staat in het onderstaande diagram vermeld. Deze stromen zijn afhankelijk van de warmtebelasting in de kamer ( $W/M^2$ ) en van de verdeling van de aangevoerde lucht (aantal roosters en luchtpatroon), maar niet van de impuls van de aanvoer.



De berekening van de maximale snelheid in de verblijfszone wordt uitgevoerd met behulp van een empirisch model op basis van de warmtebelasting ( $W/m^2$ ), het aantal roosters ( $W/rooster$ ) en het luchtpatroon (1-, 2-, 3-, 4-zijdig).

### Ventilatie-efficiëntie, temperatuurefficiëntie

De efficiëntie bij verdringingsventilatie wordt door de verdeling in lagen groter dan bij circulatieventilatie. Het verschil wordt groter naarmate de plafonds hoger en de thermische belasting groter zijn. Het vermogen dat uit de kamer verdwijnt, is direct proportioneel met het temperatuurverschil tussen aanvoer en afzuiging ( $t_u - t_i$ ). Aangezien  $t_u$  bij verdringingsventilatie hoger wordt dan de kamertemperatuur  $t_r$ , kan men hetzelfde vermogen uit de kamer verwijderen met een hogere  $t_i$  ten opzichte van de circulatieventilatie, waarbij  $t_u \leq t_i$ . Dat betekent dat het mogelijk is om koelvermogen te besparen of het koelvermogen van de verse lucht beter te benutten.

Verdringingsventilatie is bovendien ten dele ook zelfregulerend bij een variërende thermische belasting, omdat een toenemende belasting in de eerste plaats een grotere temperatuurgradiënt oplevert en daarmee een hogere temperatuur aan het plafond.

$$\varepsilon_t = \frac{t_u - t_i}{t_r - t_i} \cdot 100\%$$

Bij verdringingsventilatie is  $\varepsilon_t > 100$

Bij Circulatieventilatie  $\varepsilon_t = 100$

$\varepsilon_t$  = temperatuur efficiëntie

$t_u$  = afzuigingstemperatuur ( $^{\circ}C$ )

$t_i$  = Luchttoevoer temperatuur ( $^{\circ}C$ )

$t_r$  = Kamertemperatuur ( $^{\circ}C$ )

### Nabijheidszone a<sub>0,2</sub> en b<sub>0,2</sub>

Het gebied rond het rooster waar de maximale snelheid hoger is dan 0,2 m/s, wordt de nabijheidszone genoemd. De grootte van de nabijheidszone staat voor elk rooster aangegeven bij een koeltemperatuur van  $t = t_r - t_i = 3K$ , waarbij  $t_i$  de luchttoevoertemperatuur is en  $t_r$  de kamertemperatuur, gemeten op 1,1 m boven de vloer. De nabijheidszone is gemeten met een regelmatig verdeelde thermische belasting.

### Drukverlies

De diagrammen geven het totale drukverlies (bij  $1,2 \text{ kg/m}^3$ ) aan, d.w.z. de som van de statische en dynamische druk van het rooster (evt. inclusief drukverdelingskast), indien deze is aangesloten met een recht kanaal met dezelfde afmeting als het rooster. Lengte 1 m.

### Geluidsniveau

De geluidswaarden  $L_A$  (dB(A)) in de catalogus gelden bij een geluiddemping in een kamer van 4 dB(A), wat overeenkomt met een geluiddemping in het nagalmveld in een kamer met een kamerconstante van  $10 \text{ m}^2$  SABINE.

De geluidswaarden zijn gemeten met een recht kanaal met dezelfde afmeting als de aansluiting van het rooster. Lengte: 1 m.

### Geluidsvermogeniveau $L_w$

Geluidsvermogeniveau  $L_w = L_A + K_{ok}$

$K_{ok}$  wordt voor alle roostertypes aangegeven.

### Ontwerpsadvies verdringingsventilatie.

Het plannen van een ventilatiesysteem volgens het verdringingsprincipe, dat op basis van de thermische krachten "werkt" en waarbij de aan gevoerde lucht rechtstreeks naar de verblijfszone wordt gevoerd, stelt speciale eisen aan de dimensionering en plaatsing van de luchtverdelingsroosters.

De roosters mogen bijvoorbeeld nooit vlak naast een radiator worden geplaatst. Fel zonlicht kan het systeem eveneens "verstoren" en in sommige gevallen tot gevolg hebben dat het als een circulatiesysteem gaat werken.

Grote, koude muur- en raampoppervlakken in de ruimte kunnen een terugstroming van verontreinigde lucht naar de verblijfszone veroorzaken.

Het systeem is niet geschikt voor verwarmingsdoeleinden en vereist daarom dat verwarming en ventilatie gescheiden worden, tenzij de verwarmingsperiode buiten de gebruiksperiode valt. De afzuiging dient altijd zo hoog mogelijk in de ruimte plaats te vinden.

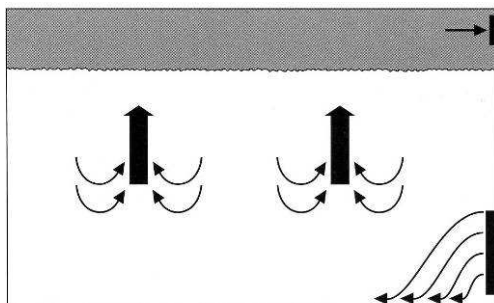


Fig. 3: Voldoende volumestroom

### Convectiestroom

De toegevoerde volumestroom dient minimaal overeen te komen met de totale convectiestroom in de kamer (fig. 3). Indien de toegevoerde volumestroom kleiner is, zal de convectiestroom verontreinigde lucht van bovenaf meevoeren, waardoor de verontreinigde laag mee de verblijfszone in wordt getrokken (fig. 4).

De volgende omstandigheden beïnvloeden de convectiestroom:

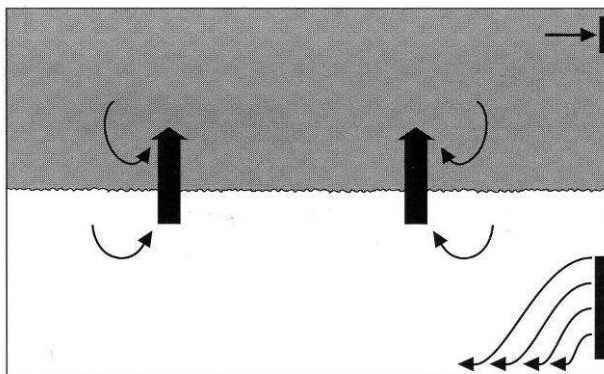
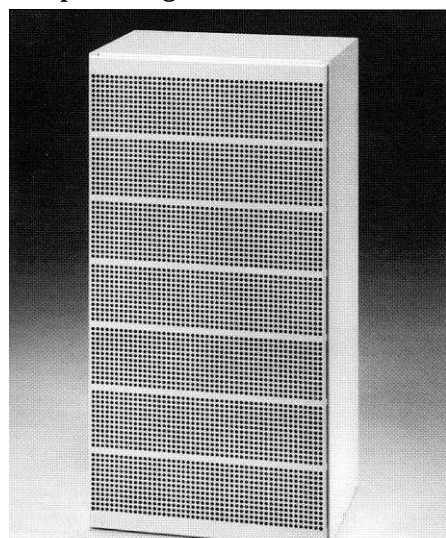


Fig. 4: Onvoldoende volumestroom

- De vorm en het oppervlak van de warmtebron
- De oppervlaktetemperatuur van de warmtebron
- Het convectieve deel van de afgegeven hoeveelheid warmte
- De gemiddelde temperatuur in de ruimte
- Het niveau van de verontreinigde zone ten opzichte van het niveau van de warmtebronnen in de ruimte

De convectiestromen van personen, verlichting en machines kunnen worden bepaald op basis van het vermogen en de verticale plaats van deze warmtebronnen in de kamer (zie tabel 1 en 2).

### Temperatuurgradiënt



De behoefte aan thermisch comfort in de verblijfszone beperkt de omvang van de temperatuurgradiënt. In tabel 3 staat de door de leverancier maximaal aanbevolen gradiënt bij verschillende activiteiten niveaus aangegeven. Bovendien staat de dienovereenkomstige maximaal toegestane koeltemperatuur ( $t_r - t_i$ ) bij toepassing van Comdif-roosters (merknaam Linbab) vermeld.

### Nabijheidszone.

De grootte van de nabijheidszone staat voor elk rooster in de catalogus vermeld. Als er verschillende roosters dicht bij elkaar worden aangebracht, zal de lengte van de nabijheidszone aanzienlijk toenemen. (fig 5).

Om zo klein mogelijke nabijheidszone te krijgen, en daardoor de beste benutting van de ruimte, dient de volumestroom over zo veel mogelijk roosters te worden verdeeld.

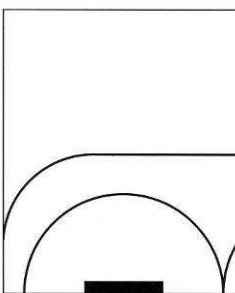


Fig. 5: Roosters die te dicht bij elkaar zijn (inductie van het rooster).

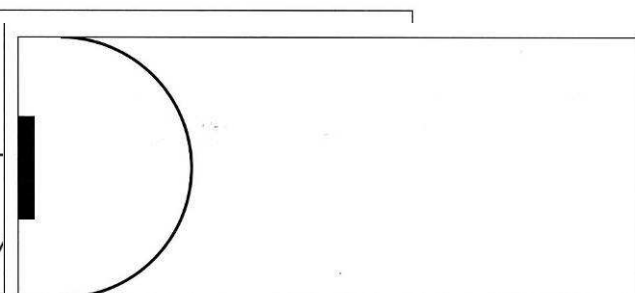


Fig. 6: Te grote volumestroom per rooster (grote nabijheidszone).

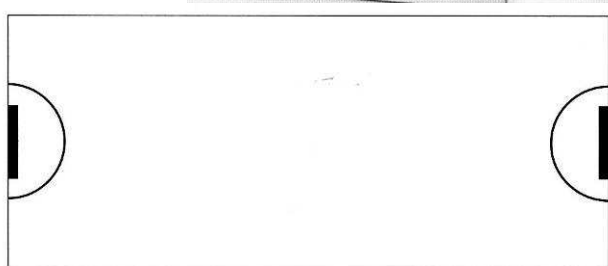


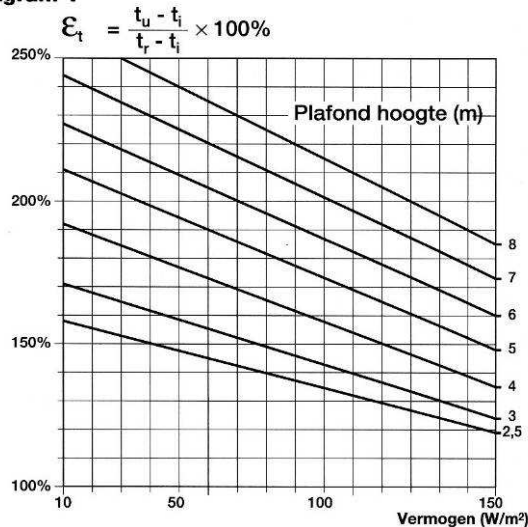
Fig. 7: Beperkte volumestroom per rooster (kleine nabijheidszone).

### Vermogen

Om het vermogen te berekenen dat meteen verdringingssysteem uit de kamer kan worden verwijderd, dient het temperatuurverschil  $t_r - t_i$  bekend te zijn. Dit verschil is afhankelijk van de thermische belasting, de plafondhoogte en de koeltemperatuur ( $t_r - t_i$ )

In diagram 1 wordt de  $t_r - t_i$  temperatuurefficiëntie  $\varepsilon_t = \frac{t_u - t_i}{t_r - t_i} \cdot 100\%$  vermeld.

**Diagram 1**



### Bepaling van het uiteindelijke geluidsniveau

De cataloguswaarden geven het geluidsniveau aan in dB(A), overeenkomstig een geluiddemping in een kamer van 4 dB. Om het uiteindelijke geluidsniveau in de kamer te bepalen, dient de geluiddemping in de kamer als volgt te worden berekend:

$$L_p - L_w = 10 \times \log \left( \frac{Q}{4r^2} + \frac{4}{A} \right).$$

Q : is de richtingsfactor conform fig. 1

r : is de afstand vanaf de rooster (m)

A : is de kamerabsorptie conform fig. 2

$L_p - L_w$  kan ook worden berekend op basis van fig. 3

Als de geluiddemping in een kamer groter is dan 4 dB, dient het verschil van de cataloguswaarden te worden afgetrokken. Als de demping kleiner is, dient het verschil te worden toegevoegd.

Bij meerdere geluidsbronnen in de zelfde kamer kan het uiteindelijke geluidsdrukniveau op een bepaald punt worden berekend met behulp van fig. 4 en 5. In een kamer met meerdere gelijke geluidsbronnen met sterkteniveau  $L_w$ , kan het uiteindelijke geluidsdrukniveau op een afstand r bij benadering worden berekend met behulp van de formule

$$L_p = 10 \times \log \left( \frac{Q}{4r^2} + \frac{4 \cdot n}{A} \right). \quad \text{dB}$$

waarbij n het aantal geluidsbronnen is.

De absorptie van de kamer kan ook worden bepaald met behulp van de nagalmtijd op basis van de formule:

$$A = 0,16 \times \left( \frac{V}{T_s} \right). \quad \text{Ts}$$

V = volume van de ruimte ( $\text{m}^3$ )

$T_s$  = nagalmtijd van de ruimte (s).

### Voorbeeld

In een kamer met de afmetingen H x B x L = 2,5 x 6 x 10 m

bevinden zich 4 roosters aan het plafond, die elk een geluids waarde hebben van 25 dB(A) volgens het capaciteits diagram. De kamer heeft een absorptiefactor van  $\alpha = 0,25$ . Wat wordt het uiteindelijke geluidsniveau op 1,5 m boven de vloer?:

$$L_p = L_w + 10 \log \left( \frac{Q}{4r^2} + \frac{4 \cdot n}{A} \right). \quad \text{dB}$$

$L_w$  = cataloguswaarde + 4dB

Q = 2 volgens fig. 1,  $r = 2,5 - 1,5 = 1$  m,  $n = 4$

A =  $50 \text{ m}^2$  volgens fig. 2

$$L_p = 29 + 10 \log \left( \frac{2}{4.1^2} + \frac{4.4}{50} \right) = 26 \text{ dB(A)}$$

Fig. 1

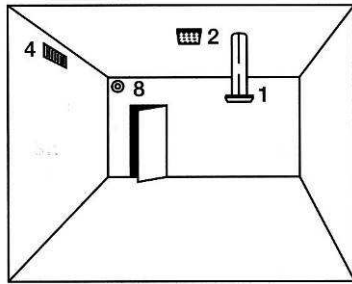


Fig. 2

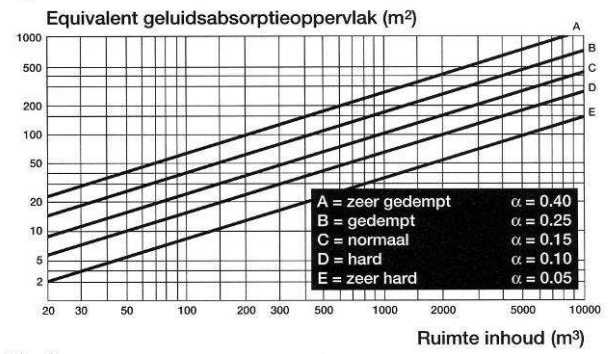


Fig. 3

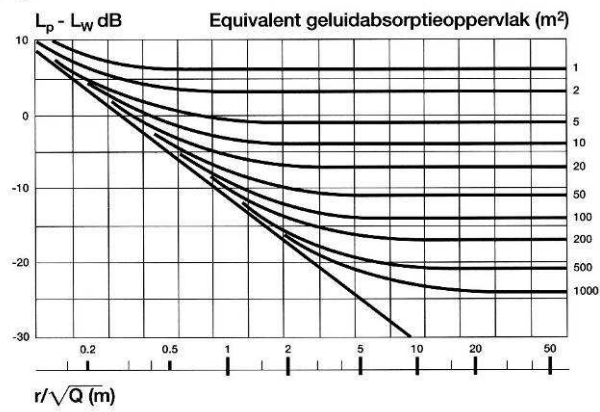
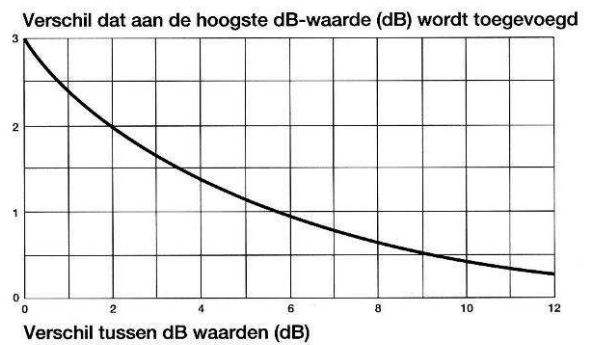
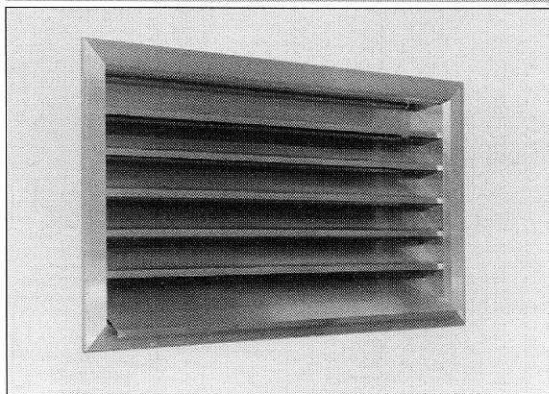


Fig. 4



## Voorbeeld "deurrooster" uit een catalogus.



### Beschrijving

Buitenluchtrooster type H1 is geschikt voor het aanvoeren van buitenlucht en voor afzuiging. Het rooster is aan de achterkant voorzien van een waterstop, druiprand en vogelgaas.

### Materiaal en afwerking:

Rooster en accessoires: Aluminium  
Standaard afwerking: Onbehandeld

Kan ook geanodiseerd of met poeder coating geleverd worden.

### Bestelling:

Productaanduiding: **H1 a bbb ccc**

Type

Onbehandeld 0

Muurankers 1

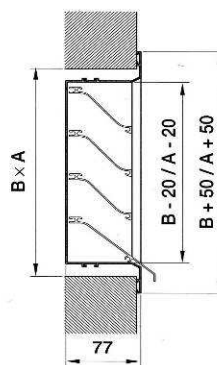
Schroefgaten 2

Inmetselraam 3

A afmeting

B afmeting

### Afmetingen



Kanaal afmeting A x B

| A           | B | F (m²) | Gewicht (kg) |
|-------------|---|--------|--------------|
| 300 × 325   |   | 0.043  | 1.0          |
| 400 × 325   |   | 0.058  | 1.4          |
| 500 × 325   |   | 0.073  | 1.7          |
| 600 × 325   |   | 0.089  | 2.1          |
| 400 × 425   |   | 0.081  | 1.9          |
| 500 × 425   |   | 0.102  | 2.4          |
| 600 × 425   |   | 0.123  | 2.9          |
| 800 × 425   |   | 0.166  | 3.9          |
| 500 × 525   |   | 0.131  | 3.1          |
| 600 × 525   |   | 0.158  | 3.8          |
| 800 × 525   |   | 0.213  | 5.1          |
| 1000 × 525  |   | 0.268  | 6.4          |
| 600 × 625   |   | 0.193  | 4.6          |
| 800 × 625   |   | 0.259  | 6.2          |
| 1000 × 625  |   | 0.326  | 7.8          |
| 1200 × 625  |   | 0.392  | 9.3          |
| 800 × 825   |   | 0.353  | 8.4          |
| 1000 × 825  |   | 0.443  | 10.5         |
| 1200 × 825  |   | 0.543  | 12.7         |
| 1400 × 825  |   | 0.625  | 15.9         |
| 1600 × 825  |   | 0.715  | 17.0         |
| 1000 × 1025 |   | 0.561  | 13.4         |
| 1200 × 1025 |   | 0.676  | 16.1         |
| 1400 × 1025 |   | 0.790  | 18.8         |
| 1600 × 1025 |   | 0.905  | 21.6         |
| 2000 × 1025 |   | 1.135  | 27.0         |

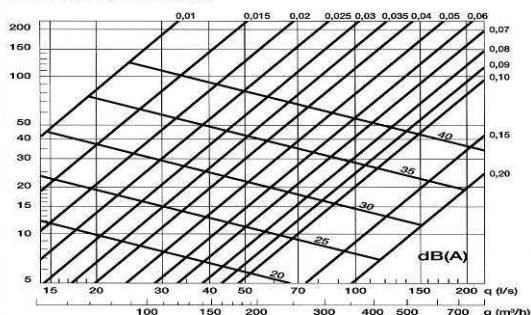
Verkrijgbaar in alle afmetingen

Recht op wijzigingen voorbehouden.

**LindabComfort®**

### Technische gegevens

Doorlaat oppervlak (m²)



Vrije doorlaat F (m²) = (A-15) (B-35) 0.4 × 10<sup>-16</sup> m²  
(A en B in mm)

### Capaciteit

De volumestroom q (l/s, m³/h), totaal drukverlies p<sub>t</sub> (Pa) en het geluidsdrukkniveau L<sub>A</sub> (dB(A)) zijn weergegeven in het diagram.

### Geluidsvermogeniveau L<sub>w</sub>

Geluidsvermogeniveau L<sub>w</sub> = L<sub>A</sub> + K<sub>ok</sub> - zie tabel 2.

Tabel 2 K<sub>ok</sub> (dB)

|                 | Midden frequentie (Hz) |     |     |     |      |      |      |      |
|-----------------|------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|
|                 | 63                     | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| K <sub>ok</sub> | 17                     | 11  | 8   | 1   | -2   | -6   | -10  | -12  |

## 13 Ventilatie installaties

In de moderne utiliteitsgebouwen komen we vrijwel altijd gebalanceerde systemen tegen. Dit houdt in dat er een toevoerkast aanwezig is en ook een afvoerkast, die samen zorgen dat de hoeveelheid aan het gebouw toegevoerde lucht in balans is met de hoeveelheid afgevoerde lucht.

Los van het feit dat er vanuit het bouwbesluit wel degelijk eisen gesteld worden aan de hoeveelheid ventilatielucht, spreken we dan toch niet van een “ventilatiesysteem”

We spreken van een ventilatiesysteem als we een installatie hebben die alleen bedoeld is om voor ventilatielucht te zorgen.

We komen deze installaties tegen in:

- Oudere gebouwen, waar men nog geen luchtbehandeling toegepast heeft.
- Schoolgebouwen, waar veelal men uit kosten overwegingen, er voor kiest om alleen (CO<sub>2</sub> gestuurd) te ventileren.
- Woonhuizen waar men tegenwoordig gebalanceerde ventilatie toepast (energiewinst)
- Eenvoudige systemen waarbij men er voor gekozen heeft om zo veel mogelijk het energietransport met water te doen en dan alleen de vereiste ventilatielucht toevoert.

Ventileren is van groot belang voor onze gezondheid, maar aan de andere kant leiden ventilatieverliezen tot een hoger energiegebruik voor verwarming. Het is zaak om ventilatieverliezen goed te kunnen beheersen en tevens te zorgen voor voldoende verse lucht. Daarom is veel aandacht nodig voor de luchtdoorlatendheid van de gebouwschil (het voorkomen van onbewuste ventilatie via naden en kieren), warmteterugwinning en de keuze van het ventilatiesysteem en ventilatieregelingen.

We onderscheiden een aantal verschillende ventilatie opties binnen gebouwen nl:

### 1. Volledige natuurlijke ventilatie

Dit ventilatiesysteem betreft zowel de toevoer als de afvoer van ventilatielucht via ramen, ventilatieroosters en kanalen. Voordelen zijn geruisloze werking (behalve bij harde wind) en er is geen elektrische hulpenergie nodig. De belangrijkste nadelen zijn dat voldoende ventilatie niet altijd gegarandeerd is en er is kans op tocht bij de gevels.

Natuurlijke ventilatie wordt in nieuwbouw zelden toegepast als gevolg van bovenstaande nadelen.

Verbetering is mogelijk door toepassing van zelfregulerende roosters (ook wel constant debietroosters genoemd). Deze reageren op winddruk; bij harde wind wordt minder lucht doorgelaten. De ventilatie blijft (te) beperkt bij minimale druk- of temperatuurverschillen.

In de utiliteitsbouw zijn bijzondere vormen van natuurlijke ventilatie toegepast met de afvoer van ventilatielucht via kanalen die werken op natuurlijke trek.

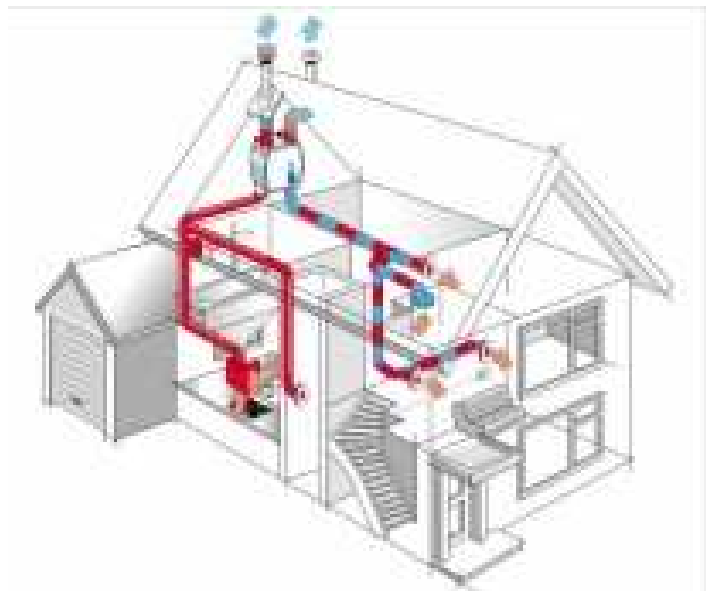
### 2. Natuurlijke toevoer en mechanische afvoer

De toevoer van ventilatielucht gaat via klepramen en/of ventilatieroosters; de afvoer van de ventilatielucht gaat via een mechanisch afzuigsysteem. Deze bestaat uit de ventilatie-eenheid (waarin één ventilator) met een kanalenstelsel daaraan gekoppeld. Het afzuigen vindt tenminste plaats vanuit keukens, badkamer en wc. Meestal zijn er drie ventilatiestanden: hoog, midden en laag. Voordelen zijn de eenvoud van het systeem terwijl de ventilatie redelijk beheersbaar is, vooral de vocht- en geurafvoer uit keukens en sanitaire ruimten zijn redelijk gegarandeerd. Nadelen zijn dat de luchttoevoer afhankelijk is van de bewoners, de kans bestaat dat bepaalde ruimten te weinig worden geventileerd. Daarnaast is er kans op tocht bij de gevels, mogelijke geluidhinder van de ventilator, er is elektrische hulpenergie nodig en er is geen WTW mogelijk.

Dit ventilatiesysteem is in de woningbouw zeer veel toegepast. Nu de EPC is aangescherpt komen ventilatiesystemen met WTW eerder in aanmerking.

### 3. Gebalanceerde ventilatie (mechanische toe- en afvoer)

Een gebalanceerd ventilatiesysteem bestaat uit een ventilatie-eenheid, voorzien van twee ventilatoren, een warmte terugwinunit (WTW) en twee kanalenstelsels. De WTW-unit is meestal in de ventilatie-eenheid opgenomen. Toevoer van de buitenlucht gebeurt door aanzuiging met een ventilator, via een



kanalenstelsel naar de slaapkamers en de woonkamer. Deze lucht wordt voorverwarmd door de WTW-unit (retour- en toevoerlucht gescheiden); naverwarming is niet nodig bij moderne HR-ventilatie. Afvoer van de ventilatielucht uit keuken, badkamer en wc gaat via een kanalenstelsel met behulp van de tweede ventilator. De hoeveelheid toe- en afvoerlucht zijn in principe gelijk (in balans). Dit ventilatiesysteem is te combineren met alle gangbare systemen voor ruimteverwarming, maar niet zondermeer met 'open' verbrandingstoestellen zoals houtkachels. Deze verbruiken n.l. ook een deel van de lucht waardoor de balans verstoord wordt.

Voordelen zijn goede beheersbaarheid en regelbaarheid, comfortabel, energiebesparing door warmteterugwinning, suskasten overbodig bij gevels met hoge geluidbelasting en door toepassing van een filter wordt aanvoer van mogelijk verontreinigde buitenlucht voorkomen.

Deze systemen staan, m.i. onterecht, op dit moment in een kwaad daglicht door de vele klachten rondom het mogelijk ziek worden van mensen.

Het systeem heeft een aantal punten waaraan, vooral in het begin, veel te weinig aandacht aan besteed is nl:

- Men zal nu naast afzuigkanalen ook toevoer kanalen moeten installeren. In de conventionele bouw was hier weinig plaats voor zodat vaak in de buurt van de afzuigpunten ook ingeblazen werd. Hierdoor spoelde een aantal ruimtes niet goed door.
- Doordat de systemen uitgerust zijn met filters is hiervoor meer onderhoud nodig. Doordat de gebruikers veelal niet goed geïnformeerd waren werd dit vaak niet of niet tijdig uitgevoerd. Het gevolg een sterk verminderd debiet en ook vuile lucht.
- Door een gebrekkige instructie van de gebruikers kwam het ook in vele gevallen voor dat de installatie vrijwel altijd in de laagste stand draaien of soms zelfs uitgezet werd.

Het systeem vereist zorgvuldig ontwerp, uitvoering en onderhoud: speciale aandacht is nodig voor maatregelen tegen tocht, voldoende nachtventilatie voor de zomersituatie, goede controle van ventilatie-debiet en geluidniveaus, afstemming van de woningplattegrond op het systeem in verband met een kort en vloeiend verloop van de kanalen, een relatief groot ruimtebeslag van de luchtkanalen en de woning moet zeer luchtdicht zijn. Tenslotte is er het nadeel van extra ventilatorenergie.

#### 4. Vraaggestuurde hybride ventilatiesystemen

Voor de natuurlijke toevoer van ventilatielucht zijn geavanceerde ventilatievoorzieningen ontwikkeld, die, afhankelijk van de omstandigheden, de capaciteit kunnen controleren. Deze systemen maken gebruik van natuurlijke toevoer en mechanische afzuiging, waarbij een regelunit zorgt voor een energiezuinige afstemming. De regelunit wordt ingesteld op basis van luchtkwaliteit door inregeling van het gebruikerspatroon of door CO<sub>2</sub>-sensoren die de luchtkwaliteit meten.

Er zijn verschillende innovaties in aantocht waarbij ook duurzame energie kan worden gebruikt. Op warme dagen kunnen ramen open en ook nachtventilatie maakt deel uit van deze systemen, zonder dat dit ten koste gaat van extra energiegebruik.

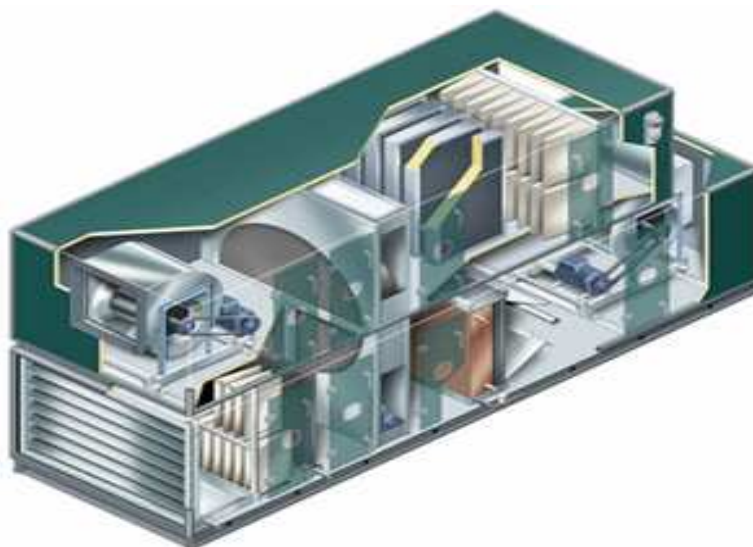
Afhankelijk van de omstandigheden gebruikt men het best passende ventilatiesysteem, aangestuurd door een regel- en controlesysteem, afgestemd op luchtkwaliteit, vochtigheidsgraad en energieverbruik.

Door de integratie van natuurlijke en mechanische systemen kun je spreken van een hybride ventilatiesysteem dat de voordelen van beide combineert: laag gebruik van elektrische hulpenenergie, minder geruis, voldoende ventilatiecapaciteit is gegarandeerd en warmteterugwinning blijft mogelijk.

## 14 luchtbehandelingskasten

### *inleiding:*

Hoewel de leveranciers (elk) proberen zo veel mogelijk te standaardiseren hebben we een enorme keuze mogelijkheid van luchtbehandelingskasten op de markt.  
Dit wordt veroorzaakt door het schier eindeloos aantal toepassingsmogelijkheden.  
We zullen daarom in dit hoofdstuk niet in gaan speciale toepassingen maar een overzicht van de functionaliteiten proberen te geven.



### Omkasting:

Aan de omkasting van een LBK (luchtbehandelingskast) worden, afhankelijk van het toepassingsgebied, verschillende eisen gesteld.  
Zo onderscheiden we kasten voor buitenopstelling, die bestand moeten zijn tegen de geldende weersomstandigheden of kasten voor binnenopstelling.  
Vaak is de kostprijs hierbij van doorslaggevende betekenis.

De lucht in de kast zal een behandeling ondergaan, waardoor de luchtconditie af zal gaan wijken van die buiten de kast.

Er zal dus een situatie kunnen ontstaan dat er energieverplaatsing zal kunnen gaan optreden. Dit zijn verliezen en moeten daarom voorkomen worden. Daarom zullen de omkastingen dan ook geïsoleerd worden. Zelf wordt de constructie zo uitgevoerd dat e.v. koudebruggen worden voorkomen.

De mate waarin dit gebeurt hangt ook af van de vraag of we een binnen of buitenopstelling hebben

Leveranciers proberen zich daarin te onderscheiden zie onderstaande tekst, overgenomen uit een verkoopbrochure van een leverancier.

*De basis van de omkasting bestaat uit een profielstalen constructie van verzinkte hoekstijlen en tussenstijlen met een materiaaldikte van 1,0 mm, voorzien van poedercoating (dikte 50 tot 80 micron) in de kleur RAL xxxx. In deze constructie worden dubbelwandige panelen, met tussenliggende thermische en akoestische isolatie opgenomen.*

*De panelen hebben een dikte van 60 mm en worden vervaardigd uit duurzaam verzinkt staal dat tweezijdig is behandeld met weers- en krasbestendige polymeer coating.*

*De kleur van de panelen voor binnen- en buitenopstelling is RAL xxxx.*

*De ondersteuning van de luchtbehandelingscentrales wordt gevormd door verzinkt stalen kokerprofielen, materiaaldikte 2,0 mm, voorzien van poedercoating in de kleur RAL xxxx.*

*De ondersteuningshoogte bedraagt, afhankelijk van kasttype en samenstelling, 62 of 160 mm.*

*Ten behoeve van onderhoud en inspectie zijn ruime toegangsdeuren opgenomen welke een gelijke wanddikte (60mm) hebben als de panelen.*

*De binnenzijde van de luchtbehandelingscentrales is volledig vlak waardoor onderhoud en reiniging optimaal mogelijk zijn.*

*Waar nodig of gewenst zijn kijkglazen en verlichtingsarmaturen opgenomen.*

*De buitenzijde oogt "strak" door het ontbreken van uitstekende delen.*

*De luchtbehandelingscentrales worden in principe geleverd in delen maar kunnen ook ter plaatse geheel uit stijlen en panelen worden opgebouwd.*

*De afzonderlijke delen worden bij aflevering verpakt in plastic folie.*

We zien een aantal punten waaraan aandacht wordt besteed:

- De behandeling van de kast wordt hier expliciet genoemd. Dit is, vooral bij buitenopstellingen, van groot belang voor het verlengen van de levensduur.
- De opbouw is aan de hand van geïsoleerde panelen, om warmteverlies te voorkomen.
- De tussenstijlen worden voorzien van thermische en akoestische isolatie. Thermisch ter voorkoming van energieverlies, maar in belangrijke mate ter voorkoming van koudebruggen. Akoestisch omdat geluid zeer belangrijk is.

- De binnenkant wordt “glad” genoemd. Hierdoor wordt de inwendige stromingsweerstand verminderd, maar niet in de laatste plaats worden hiermee “dode hoeken” voorkomen waarin zich vuil en dus mogelijke besmetting van de lucht kan worden voorkomen.
- Aanlevering kan modulair (of geheel compleet) gedaan worden (bouwtijd beperking op de bouwplaats) of in onderdelen op de bouwplaats in elkaar gezet worden. (voor het plaatsen in slecht toegankelijke ruimtes, b.v. bij renovatie projecten)
- Onderhoudsmogelijkheden zijn ook voorzien (deuren en kijkglazen)

#### Afmetingen:

De afmetingen van een kast worden bepaald door de volgende factoren:

- De doorsnede wordt bepaald door de benodigde hoeveelheid lucht die uiteindelijk door de kast heen moet.
- De lengte wordt bepaald door het aantal functies dat moet worden opgenomen, door de capaciteiten van deze functies en door de beschikbare ruimte.

#### Doorsnede:

Leveranciers hebben, i.v.m. de standaardisatie gekozen voor een beperkt aantal standaard maten. Het basis uitgangspunt is dat de inwendige luchtsnelheid niet te groot mag worden. Hierbij wordt rekening gehouden met het feit dat er natuurlijk diverse restricties zoals kleppen, filters, batterijen etc., opgenomen zijn in de kast.

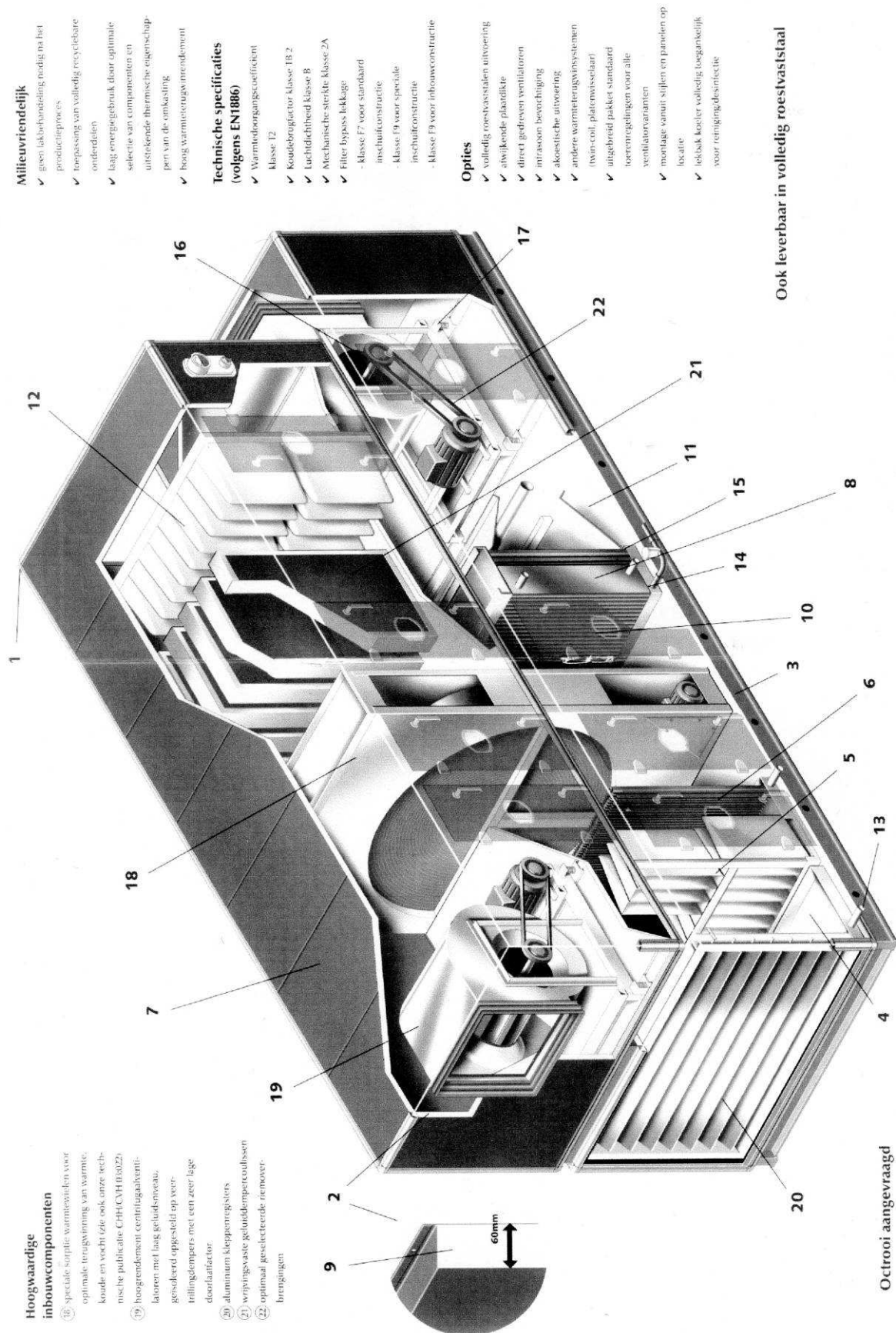
#### Opbouw van de kast:

Een luchtbehandelingkast (centrale) wordt opgebouwd uit een groot aantal componenten welke elk hun eigen functie hebben, waarbij ook de volgorde van plaatsing veelal belangrijk is.

Op de volgende bladzijde is een opengewerkte doorsnede van een kast van Holland Heating genomen en op basis daarvan bespreken we de daarin aanwezige componenten.

We zien twee kasten op elkaar. De onderste is de toevoerkast, waarbinnen de gewenste behandeling van de lucht plaats vindt en de bovenste kast is de afzuig kast. Het is niet noodzakelijk dat deze kasten op elkaar staan. Theoretisch kunnen ze ook op verschillende plaatsen staan, maar dat beperkt de mogelijkheid tot warmte terugwinning.

Er bestaan warmte terugwinsystemen waarvoor het toe en afvoer systeem bij elkaar gebracht worden. Deze systemen hebben veelal de hoogste uitwisselingsrendementen. Daarom zien we de beide kasten dan meestal boven of naast elkaar staan.



### Buitenluchtaanzuig/filterfunctie:

De lucht wordt aanzogen via een buitenlucht inlaatrooster (niet op de tekening) Achter dit inlaatrooster is meestal ook een grof filter aangebracht om de erg grove delen tegen te houden.

Vervolgens door een stuk aanzuig kanaal (afhankelijk van de plaats waar de kast staat t.o.v. de buitenwand) geplaatst waarna de lucht de kast ingezogen wordt via een kleppenregister (20). Hiermee kan de hoeveelheid aangezogen lucht enigszins geregeld kan worden. Tegenwoordig wordt de hoeveelheid lucht veelal geregeld door de toerengeregelde ventilatoren.

De aanzuigopening wordt geselecteerd over de volle doorsnede van de luchtbehandeling centrale en de zijwanden worden bekleed met kunststof platen die doorlopen tot in de RVS 316L lekbakken welke in aanzuig- en filterdeel worden aangebracht.

Deze lekbakken zijn elk voorzien van een aftapmogelijkheid met sifon (13). Deze lekbakken zijn nodig om ev. binnen komend vocht dat neerslaat op het kleppenregister af te kunnen voeren.

De binnenzijde van de deur is van RVS 316L en voorzien van “afwateringsprofiel”.

Achter het filter wordt een anti-corrosiescherm aangebracht bestaande uit kunststof druppelvanger lamellen die uitmonden in bovengenoemde lekbak.

Alle naden in buitenluchtaanzuig- en filterdeel worden afgekit, zodat vocht niet verder kan doordringen in de constructie.

### **Verwarmerfunctie**

In principe zal men de verwarmingsbatterij na de koelbatterij plaatsen (in dit voorbeeld is de verwarmingsbatterij niet geplaatst)

Dit is nodig op het moment dat we ook de luchtvochtigheid willen kunnen regelen. Willen we n.l. ontvochtigen, dan zullen we eerst moeten koelen tot aan het dauwpunt, om vervolgens door te koelen tot dat we de gewenste absolute vochtigheid bereiken.

Hierna moeten we de lucht echter weer opwarmen om de gewenste inblaas temperatuur te krijgen. (Denk aan “Mollier”)

In het voorbeeld is geen verwarmingselement opgenomen omdat men waarschijnlijk voldoende energie denkt terug te winnen door het daar geplaatste warmtewiel.

In tegen stelling tot een verwarmingsbatterij wordt de warmte terugwin installatie vrij snel na de inlaat geplaatst. Dit doet men omdat daar nog het grootste temperatuursverschil bestaat tussen de toevoer en de afvoer lucht en dus het grootste terugwin rendement te behalen is.

We zien in dit voorbeeld een warmtewiel toegepast. Maar er kunnen meerdere warmte terugwinsystemen worden toegepast. Denk hierbij aan “heat pipe” of een “twin coil”. In het laatste geval is hier niet meer noodzakelijk om de toe en afvoer kast tegen elkaar aan te plaatsen

Het warmtewiel bestaat uit een aluminium rotor in verzinkt stalen of aluzinc omkasting.

Warmtewielen zijn er in 3 uitvoeringen:

- type “condensatie” voor uitwisseling van voelbare warmte
- type “hygroscopisch” voor uitwisseling van voelbare en latente warmte
- type “sorptie” voor optimale terugwinning van warmte, koude en vocht.

We zien tegenwoordig ook warmtepompen toegepast. Deze kunnen in de zomer binnenkomende lucht koelen waarbij ze hun warmte afgeven aan de afgevoerde lucht. Een bijkomend voordeel hiervan is dat de afgezogen lucht in de zomer koeler is dan de buitenlucht waardoor de COP van de koelinstallatie beter wordt.

In de winter daar in tegen zal de unit worden ingezet als warmtepomp en wordt er energie gehaald uit de afgevoerde lucht en gebracht in de toevoerlucht.

### **Koelerfunctie**

De koelbatterij kan op verschillende manieren zijn uitgevoerd.

- Als DX batterij, dat wil zeggen als verdamper van een koelinstallatie waar dus het koelmiddel in de batterij verdampt. We hebben dan te maken met vrij lage oppervlakte temperaturen waardoor ontvochtiging zal optreden. Dit geldt ook voor de situatie dat de koelmachine ook als warmtepomp wordt gebruikt.
- Als watervoerende batterij. De koeling van de lucht komt tot stand door koud water door deze batterij te voeren. Afhankelijk van de temperatuur van het water zal er in meer of mindere mate worden ontvochtigd. Men kan in dit geval de batterij ook voor verwarmingsdoeleinden gebruiken (change over).

Er is een lekbak voorzien voor het afvoeren van het condenswater met daarachter een druppelvanger welke doorslag van waterdruppels af vangt.

### **Bevochtigingfunctie**

Indien gewenst kan de lucht ook bevochtig worden, hetgeen veelal in de winter noodzakelijk is. We zien dat op dit moment veelal gebruik gemaakt wordt van een stoombevochtiger. Deze is voorzien van speciale venturi en wervelplaat voor optimale stoomopname in korte bouw lengte.

Maar ook kan gebruik gemaakt worden van Infrasonische bevochtigingsfunctie, die bestaat uit een bevochtigingmodule in de luchtbehandelingcentrale en een losse pompeenheid.

De bevochtigingmodule bestaat uit een aluminium behuizing met daarin aangebracht een aantal verticale schotten waartussen fijn verneveld water via verstuivers wordt ingebracht.

De pompeenheid bestaat uit een regelbare elektromotor die via een hoge druk zuigerpomp aandrijft. De bevochtiger wordt aflopend opgesteld zodat geen water in de eenheid achterblijft.

We zien dat de bevochtigingsunit na de verwarmingsbatterij wordt geplaatst. Dit is, omdat verwarmde lucht gemakkelijker water op neemt. Dit kan op deze manier omdat er met stoom wordt bevochtigd.

Zouden we waterbevochtiging gebruiken (wat nu weinig meer wordt gebruikt vanwege het risico op legionella besmetting) dan zou er eerst voorverwarmd moeten worden tot een temperatuur die bij 100% RV de gewenste absolute vochtigheid heeft. Het water wordt dan ingebracht en de lucht adiabatisch bevochtigen, waarna er naverwarmd moet worden.

### **Ventilatorfunctie**

Er is een veelheid aan ventilatoren op de markt, waarbij elk zijn eigen karakteristieken heeft. We onderkennen o.a. de volgende uitvoeringen:

- Dubbel aanzuigende ventilatoren. Hierbij wordt de lucht van twee kanten af aangezogen. Deze ventilatoren zijn daardoor meer axiaal gebalanceerd.
- Enkel aanzuigende ventilatoren. (meest eenvoudige)
- Ventilatoren met voorovergebogen schoepen (Als er grote hoeveelheden lucht met weinig druk nodig zijn.
- Ventilatoren met achterovergebogen schoepen (komen in luchtbehandelingskasten het meeste voor) Deze kunnen meer druk leveren, hetgeen vaak nodig is om de weerstand van de luchtkanalen te overwinnen.

De meeste ventilatoren zijn tegenwoordig toeren geregeld, waardoor men de gewenste luchthoeveelheid nauwkeuriger kan regelen.

In het hier gebruikte voorbeeld wordt een dubbelaanzuigende hoogrendement centrifugaalventilator opgenomen, opgesteld op veertrillingdempers en middels een flexibele verbinding verbonden aan de kastwand.

Ventilator en motor zijn statisch en dynamisch uitgebalanceerd. Motor voorzien van thermistors en geschikt voor frequentieregeling.

De aandrijving is indirect middels optimaal geselecteerde riemoverbrengingen.

Ventilator-motorcombinatie zijn eenvoudig zijdelings uitneembaar.

### **Geluidsdempers.**

Vlak na de kast, in het luchtkanaal, is veelal een geluidsdemper opgenomen om te voorkomen dat het door de ventilator geproduceerde geluid via de luchtkanalen in de ruimtes kan komen. (We zien deze niet in de tekening)

### **Expansiefunctie**

Veelal wordt na de ventilator een expansiefunctie voorzien. Dit om de lucht welke door de ventilator samengeperst, maar ook in snelheid verhoogd is, de gelegenheid te geven weer tot een gelijkmatig stromingsbeeld te komen waarbij de verhouding tussen statische en dynamische druk geoptimaliseerd wordt.

### **Retour kast:**

In dit voorbeeld is de retourkast boven op de toevoerkast geplaatst omdat hier met een warmtewiel wordt gebruikt om warmte terug te winnen. Deze oplossing maakt het noodzakelijk de kasten bij elkaar te brengen. Verder zal de afgevoerde hoeveelheid lucht van deze kast vaak iets minder zijn dan hoeveelheid de toegevoerde lucht. Hiervoor zijn een tweetal redenen aan te voeren:

- Men wil het gebouw op een kleine overdruk houden. Zodat men iets meer in brengt.
- Men houdt rekening met het feit dat de toiletten een eigen afzuig installatie hebben. De daaruit weg gezogen lucht moet wel toegevoerd worden. Dit geldt ook voor gebouwen waarin b.v. een keukeninstallatie aanwezig is

### **Filter**

De afgezogen lucht wordt eerst gefilterd voordat het de kast ingezogen wordt. De reden hiervan is dat men wil voorkomen dat de kast, de geluidsdemper, maar vooral het warmtewiel zal vervuilen door stof en vuil dat mee afgezogen wordt uit het gebouw.

**Geluidsdemping:**

Ook hier is een geluidsdemper nodig om te voorkomen dat het geluid van de afzuigventilator terug door het retourkanaal het gebouw in komt.

**Rest van de kast:**

**Na de demper komen we het warmtewiel tegen en vervolgens de ventilator, waarna de lucht naar buiten afgeblazen wordt.**

## 15 Inhoudsopgave

|        |                                                          |    |
|--------|----------------------------------------------------------|----|
| 1.     | Inleiding.....                                           | 2  |
| 2      | Ontwerpfilosofie .....                                   | 3  |
| 2.1    | Inleiding.....                                           | 3  |
| 2.2    | De ontwerpfilosofie .....                                | 3  |
| 2.3    | De metafoor .....                                        | 4  |
| 2.4    | Functioneel Programma van Eisen .....                    | 4  |
| 2.5    | Technisch Programma van Eisen .....                      | 5  |
| 2.5.2  | Comfort.....                                             | 5  |
| 2.6    | Maatschappelijk verantwoord ontwerpen.....               | 6  |
| 2.7    | Systeemkeuzen .....                                      | 6  |
| 3.     | Integraal ontwerpen: .....                               | 8  |
| 3.1    | Samenvatting.....                                        | 8  |
| 3.2    | Wat is Integraal Ontwerpen? .....                        | 8  |
| 3.3    | Voorstelling van Integraal Ontwerpen. ....               | 9  |
| 3.4    | Traditionele bouwproces .....                            | 10 |
| 3.5    | Integraal Ontwerpen in de Gebouwde Omgeving .....        | 10 |
| 3.6    | Integraal Ontwerpen vereist een nieuwe werkwijze.....    | 11 |
| 3.7    | Integraal Ontwerpen vraagt om structureren. ....         | 13 |
| 3.7    | Voorbeeld Gebouwde Omgeving.....                         | 15 |
| 4.     | Energie en energiebesparingen. ....                      | 16 |
| 4.1    | Inleiding: .....                                         | 16 |
| 4.1.1  | Energie behoeften. ....                                  | 16 |
| 4.1.2  | Nu en Later. ....                                        | 16 |
| 4.2    | Mondiale voorraden energiedragers .....                  | 17 |
| 4.2.1  | Ontwikkelingen steenkoolvoorraden .....                  | 17 |
| 4.2.2  | Ontwikkelingen olie- en gasvoorraden .....               | 17 |
| 4.2.3  | Kernenergie.....                                         | 18 |
| 4.2.4  | Waterkracht.....                                         | 18 |
| 4.2.5  | Wat nu? .....                                            | 18 |
| 4.2.6  | Milieu.....                                              | 19 |
| 4.3    | Energiebesparing .....                                   | 19 |
| 4.3.1  | Inleiding.....                                           | 19 |
| 4.3.2  | Trias Energetica: .....                                  | 20 |
| 4.3.3  | Verlagen van het energie gebruik. ....                   | 20 |
| 4.3.4  | Energie hergebruiken.....                                | 20 |
| 4.3.5  | Toepassen van duurzame energie bronnen. ....             | 20 |
| 4.3.6  | Fossiele brandstoffen zo zinvol mogelijk gebruiken. .... | 21 |
| 4.3.7  | Praktisch. ....                                          | 21 |
| 5      | Koellast en warmtelast.....                              | 22 |
| 5.1    | Gebouw externe factoren: .....                           | 22 |
| 5.1.1  | Geluid .....                                             | 22 |
| 5.1.2. | Luchtkwaliteit .....                                     | 22 |
| 5.1.3  | Buitenklimaat.....                                       | 22 |
| 5.1.4  | zonnestraling.....                                       | 24 |
| 5.2    | Gebouw interne factoren: .....                           | 26 |
| 5.3    | Warmteverlies berekeningen: .....                        | 27 |
| 5.3    | Koellast berekeningen .....                              | 28 |
| 5.5    | Parameters bij beide berekeningen .....                  | 29 |
| 6      | Klimatiseringsconcepten.....                             | 33 |
| 6.1    | Denken in concepten .....                                | 33 |
| 6.2    | Het klimatiseringsconcept .....                          | 34 |
| 6.3    | Gebouw .....                                             | 34 |
| 6.4    | Klimatiseringsinstallaties .....                         | 35 |
| 6.5    | Externe randvoorwaarden.....                             | 35 |
| 6.6    | Klimaat en bouwwijze.....                                | 36 |
| 7.     | Klimaatregelinstallaties .....                           | 38 |
| 7.1    | Algemeen.....                                            | 38 |
| 7.2    | Energiedragers.....                                      | 40 |
| 7.3    | Belastingdiagram .....                                   | 41 |
| 7.4    | Indeling klimaatregelinstallaties .....                  | 42 |
| 7.5    | All air systemen.....                                    | 42 |
| 7.5.1  | Lage en hoge druk systemen.....                          | 43 |
| 7.5.2  | 1-zone en meerzone systemen .....                        | 44 |
| 7.6    | Twee-kanalen systemen .....                              | 45 |

|       |                                                          |    |
|-------|----------------------------------------------------------|----|
| 7.7   | Systemen met variabele luchtstroom (VAV).....            | 48 |
| 7.8   | "Lucht + water" systemen.....                            | 49 |
| 7.8.1 | 2-Pijps systeem .....                                    | 52 |
| 7.8.2 | Change over systeem .....                                | 52 |
| 7.8.4 | 3-pijps systeem .....                                    | 53 |
| 7.8.5 | 4-pijps systeem .....                                    | 53 |
| 8     | Koeling .....                                            | 55 |
| 8.1   | Inleiding .....                                          | 55 |
| 8.1.2 | Compressie koelproces .....                              | 55 |
| 8.1.3 | Het h log-p diagram .....                                | 56 |
| 8.1.4 | Opgave:.....                                             | 58 |
| 8.1.5 | Compressiesysteem.....                                   | 59 |
| 8.2   | Koudemiddelen .....                                      | 60 |
| 8.2.1 | Eisen aan koudemiddelen .....                            | 60 |
| 8.2.2 | Koolwaterstoffen .....                                   | 61 |
| 8.2.3 | HFK koudemiddelen.....                                   | 61 |
| 8.2.4 | HFK koudemiddelen.....                                   | 61 |
| 8.2.5 | Mengsels.....                                            | 61 |
| 8.3   | Compressoren.....                                        | 63 |
| 8.3.1 | Verdringer compressoren.....                             | 63 |
| 8.3.2 | De zuiger compressor .....                               | 63 |
| 8.3.6 | Samenvatting .....                                       | 63 |
| 8.4   | Verdampers .....                                         | 65 |
| 8.4.1 | De functie van verdampers .....                          | 65 |
| 8.4.2 | Diverse uitvoeringen.....                                | 65 |
| 8.4.3 | Koelerooppervlakte temperatuur .....                     | 65 |
| 8.4.4 | Bypass factor .....                                      | 66 |
| 8.5   | Condensors.....                                          | 66 |
| 8.5.1 | De functie van condensors.....                           | 66 |
| 8.5.2 | Diverse uitvoeringen.....                                | 66 |
| 8.6   | Expansie apparatuur .....                                | 66 |
| 8.6.1 | Diverse uitvoeringen.....                                | 66 |
| 8.6.2 | De capillaire leiding.....                               | 67 |
| 8.6.3 | Het automatisch expansieventiel.....                     | 67 |
| 8.6.4 | Het thermostatisch expansieventiel .....                 | 68 |
| 8.6.5 | Het thermostatisch expansieventiel met MOP vulling ..... | 70 |
| 8.6.6 | Het elektronisch gestuurd expansieventiel.....           | 71 |
| 8.6.7 | Vloeistofniveau regelingen .....                         | 71 |
| 8.7   | Absorptie koelmachine.....                               | 72 |
| 8.7.1 | De regeling .....                                        | 72 |
| 8.7.2 | Conclusie .....                                          | 73 |
| 8.8   | Toepassingen koelmachines:.....                          | 74 |
| 8.8.1 | Window koelers. ....                                     | 74 |
| 8.8.2 | Split units .....                                        | 75 |
| 8.8.3 | Multisplit units.....                                    | 76 |
| 8.8.4 | DX systemen in luchtbehandelingkasten. ....              | 77 |
| 8.8.5 | Koudwatermakers (Chiller) .....                          | 77 |
| 8.8.6 | EUROVENT .....                                           | 79 |
| 9.    | Warmteopwekking.....                                     | 80 |
| 9.1   | Ketels.....                                              | 80 |
| 9.2   | Verbranding en stookwaarde:.....                         | 81 |
| 9.3   | Praktijk: .....                                          | 82 |
| 9.4   | Warmte terugwinning uit waterdamp:.....                  | 83 |
| 9.5   | Gasgestookte ketels. ....                                | 83 |
| 9.5.1 | Conventioneel.....                                       | 84 |
| 9.5.2 | VR .....                                                 | 84 |
| 9.5.3 | HR .....                                                 | 84 |
| 9.5.4 | Optimalisatie.....                                       | 85 |
| 9.5.5 | Europese regelgeving:.....                               | 85 |
| 9.6   | Stadsverwarming.....                                     | 85 |
| 9.7   | warmtekracht installaties .....                          | 86 |
| 9.7.1 | Gasmotor-generator .....                                 | 89 |
| 9.7.2 | Gasturbine-generator .....                               | 91 |
| 9.8   | Warmtepompen .....                                       | 92 |
| 9.8.1 | Mechanisch gedreven warmtepompen.....                    | 93 |
| 9.8.2 | Absorptie warmtepompen.....                              | 96 |
| 9.8.3 | Chemische warmtepompen. ....                             | 96 |

|            |                                                                |     |
|------------|----------------------------------------------------------------|-----|
| 9.9        | Warmte transformatoren.....                                    | 97  |
| 9.10       | zonne-energie .....                                            | 97  |
| 9.10.1     | Passieve systemen.....                                         | 97  |
| 9.10.2     | Actieve systemen.....                                          | 97  |
| 9.10.4     | Zonne parabool.....                                            | 102 |
| 10         | Accumuleren van energie.....                                   | 103 |
| 10.1       | Warmteoverschotten opslag.....                                 | 103 |
| 10.2       | Opslag van energie overschotten in de Aquifers .....           | 103 |
| 10.2.1     | Aquifer.....                                                   | 104 |
| 10.2.2     | Systeem.....                                                   | 104 |
| 10.2.3     | Start.....                                                     | 105 |
| 10.2.4     | Gevolgen van de waterkwaliteit .....                           | 105 |
| 10.2.5     | Rendement.....                                                 | 105 |
| 10.2       | Koudeoverschotten opslag.....                                  | 106 |
| 10.3       | Opslag van warmte door temperatuur verhoging van de grond..... | 106 |
| 10.4       | Opslag van koude overschotten in ijs.....                      | 106 |
| 10.5.1     | Principe .....                                                 | 107 |
| 10.5.2     | Openbak systeem:.....                                          | 107 |
| 10.5.3     | Gesloten bak systeem.....                                      | 108 |
| 10.6       | Benutten van geaccumuleerde warmte van het gebouw .....        | 108 |
| 10.6.1     | De toepassing van betonkernactivering .....                    | 109 |
| 11         | Warmte/koude distributie .....                                 | 114 |
| 11.1       | Inleiding.....                                                 | 114 |
| 11.2       | Leidingen en luchtkanalen.....                                 | 114 |
| 11.3       | Andere watervoerende leidingen .....                           | 115 |
| 11.4       | Integratie in de gevelzone.....                                | 115 |
| 11.4.1     | Horizontale leidingen en kanalen.....                          | 115 |
| 11.4.2     | Randbalken .....                                               | 115 |
| 11.5       | Inbouwruijnte in verlaagde plafonds, e.d.....                  | 115 |
| 11.6       | Schachtruimte .....                                            | 117 |
| 11.7       | Drukzones in hoogbouw .....                                    | 118 |
| 11.8       | Dimensionering van leidingen.....                              | 119 |
| 11.8.1     | Theoretische grondslagen .....                                 | 119 |
| 11.8.2     | Dimensioneringsmethoden .....                                  | 120 |
| 11.8.3     | Dimensionering van verwarmings- en koelleidingen.....          | 120 |
| 11.9       | Verminderen energieverbruik.....                               | 124 |
| 11.9.1     | inleiding: .....                                               | 124 |
| 11.9.2     | Verminderen van verliezen: .....                               | 124 |
| 11.9.3     | Temperatuur verandering.....                                   | 125 |
| 11.9.4     | Isolatie.....                                                  | 125 |
| 11.9.4.1.1 | Delta "T" .....                                                | 125 |
| 11.9.4.1.2 | Oppervlak: .....                                               | 126 |
| 11.9.5     | Warmte doorgangscoefficiënt.....                               | 126 |
| 11.9.5     | Klimaat(raam) Gevel .....                                      | 127 |
| 11.3.6     | Tweede huid gevel:.....                                        | 128 |
| 11.3.7     | Kanaalisolatie: .....                                          | 129 |
| 11.3.8     | Andere redenen om te isoleren: .....                           | 129 |
| 12         | warmte- en koudeafgifte eindapparatuur .....                   | 134 |
| 12.3.1     | Inleiding.....                                                 | 141 |
| 12.3.2     | Recirculatie van lucht .....                                   | 142 |
| 12.3.3     | Warmtewisselaars.....                                          | 142 |
| 13         | Ventilatie installaties .....                                  | 144 |
| 14         | luchtbehandelingskasten.....                                   | 144 |
|            | Omkastijg: .....                                               | 144 |
|            | Opbouw van de kast: .....                                      | 144 |
| 15         | Inhoudsopgave .....                                            | 144 |