الوحدة 4: الارتياح الحراري في الأماكن المغلقة (الداخلية)

Unit 4: Indoor Thermal Comfort

أهداف الوحدة Unit objectives

- لتصبح متآلف مع النظام الحراري الأساسي لجسم الانسان
- فهم الطرق الرئيسية للتبادل الحراري بين جسم الانسان والبيئة المحيطة
- فهم المتطلبات الرئيسية للارتياح الحراري
- لتصبح متألفا مع المتغيرات المقاسة التي تؤثر على الارتياح الحراري لجسم الانسان
- فهم معايير التصميم الداخلي
- فهم الطرق الرئيسية التي يستخدمها نظام التكييف للحفاظ على الارتياح الحراري في الأماكن المغلقة في الفصول الباردة والدافئة.

مواضيع الوحدة Unit topics

- الارتياح الحراري

  نظام التنظيم الحراري لجسم الانسان

  التبادل الحراري
- العوامل المؤثرة على الارتياح الحراري

  العوامل البيئية

  العوامل الشخصية
- المؤشرات الحرارية
- معايير التصميم الداخلي
- أسئلة وتمارين

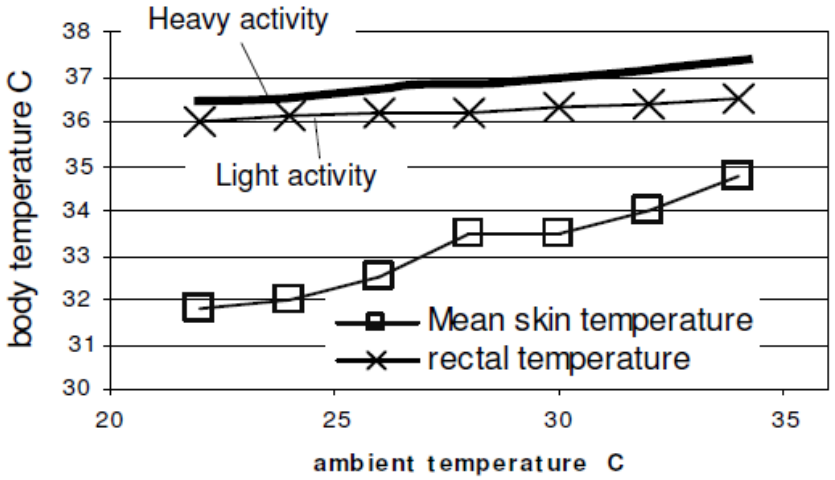
1.4 الارتياح الحراري للإنسان

1.1.4 نظام التنظيم الحراري لجسم الانسان

يعمل نظام التنظيم الحراري لجسم الانسان السليم على الحفاظ على درجة حرارة مركز الجسم قريبة من $37^{o}C$، حيث ان أعضاء الجسم الأعضاء الحيوية تعمل فقط بشكل مناسب في مدى ضيق من درجات الحرارة.

عندما يكتسب جسم الانسان طاقة من الأغذية فان حرارة الجسم يجب ان تتسرب إلى البيئة المحيطة.

يوضح الشكل 1.4 ان درجة حرارة جسم الانسان تتغير قليلا مع درجات الحرارة المحيطة. كما يوضح أيضا ارتفاع درجة حرارة جسم الانسان قليلا عندما يقوم الجسم بنشاط عضلي. تسعى كل هذا المحاولات للحفاظ على اتزان حراري مع البيئة المحيطة.



الشكل 1.4 استجابة درجة حرارة الجسم للتغير في درجة حرارة البيئة

يتم التوصل لهذا الامر من خلال التحكم بواسطة الالهايبوتلاموس (hypothalamus) الموجود في الدماغ والمسؤول عن التحكم في نظام التنظيم الحراري. في حالة الاجهاد الحراري يتدفق الدم في الاوعية الدموية اسفل سطح الجلد مباشرة لكي يتم تبديد الحرارة بشكل فعال عند سطح الجسم. تعرف هذه العملية بـ *Vasodilation* أي توسعة الاوعية. بالمقابل، في حالة البرودة الشديدة فان الدم يتدفق إلى سطح الجسم ليقلل

من تأثير شدة البرودة ويحافظ على الجسم من الداخل. هذه تعرف بـ *Vasoconstriction* أي تضيق الاوعية.

2.1.4 التبادل الحراري Heat exchanges

في حالة عدم حدوث اتزان حراري يحدث استجابة لا ارادية مثل القشعريرة والعرق. يتم التحكم في الاتزان الحراري بين الجسم والمحيط من خلال عملية التبادل الحراري والتي تشتمل على ما يلي:

i. التبخير Evaporation – رطوبة من الجسم
ii. الاشعاع Radiation – تبادل بين الجلد واسطح الملابس مع الاسطح المحيطة.
iii. الحمل Convection – اسطح الجلد والملابس مع الاسطح المحيطة.

علاوة على هذه الطرق الثلاثة الأساسية للتبادل الحراري يحدث أيضا تبادل حراري في صورة توصيل conduction من خلال الملابس، وأيضا وبشكل اكثر تأثيرا في صورة تبادل حراري كامن ومحسوس بواسطة العرق.

وعليه فانه من الممكن ان نمثل الاتزان الحراري بمعادلة بسيطة:

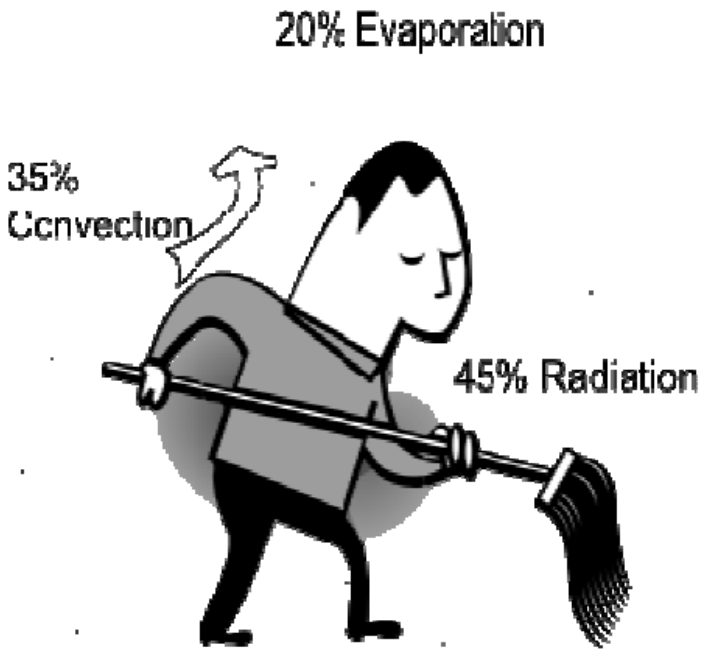
$$S = M - W + K + R + C - E - RES \qquad (4.1)$$

حيث ان:

S الحرارة المختزنة في الجسم.
M معدل الايض metabolic rate
W معدل بذل الشغل.
K التبادل الحراري بالتوصيل
R التبادل الحراري بالإشعاع
C التبادل الحراري بالحمل
E التبادل الحراري بالتبخير.
RES الحرارة المفقودة بواسطة العرق.
وكلها تقدر بوحدة الوات W

S=0 وهذا يعني انه لا يوجد تجمع للحرارة في داخل جسم الانسان. وهذا شرط جوهري للارتياح الحراري.

على أي حال، ان الحفاظ على تخزين حراري يساوي صفر في جسم الانسان فانه ليس من الضروري ان يعني هذا ان حالة الارتياح الحراري قد تحققت. كما ذكر سابقا فان Vasoconstriction يمكن ان تقلل الفقد الحراري لدرجة معينة، بينما العرق يحرر كمية كبيرة من الحرارة. معدل التنفس المتسارع غالبا ما يكون نتيجة لبذل جهد رياضي وهذا أيضا يزيد معدل الفقد الحراري الكامن والمحسوس. بالرغم من ان كل هذه الإجراءات يمكن ان تحافظ على تخزين حراري يساوي صفر داخل الجسم الا انها لا تحقق الارتياح الحراري.



الشكل 2.4 نسبة الحرارة المتحررة

كشفت الدراسات ان البيئة المريحة حراريا تتطلب وجود ثلاثة طرق لتحرير الحرارة من جسم الانسان في بنسب موضحة في الشكل 2.4. اذا اختل الاتزان بين الأجزاء الثلاثة تكون النتيجة غير مريحة حراريا.

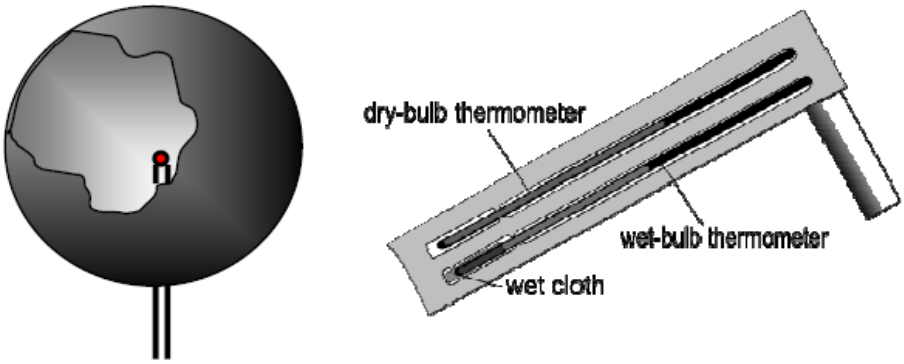
2.4 العوامل التي تؤثر على الارتياح الحراري Factors that influence thermal comfort

1.2.4 العوامل البيئية Environmental factors

العوامل البيئية التي تؤثر على أنماط الانتقال الحراري وبالتالي الارتياح الحراري هي

i) درجة الحرارة الجافة
ii) الرطوبة النسبية
iii) معدل حركة الهواء
iv) متوسط درجة حرارة المشع

حيث ان هذه العوامل يمكن ان تقاس بواسطة معدات خاصة فان هذه المتغيرات الأربعة تستخدم لتقييم الشروط الحرارية للبيئة الداخلية. يمكن ان يتم القياس بسهولة باستخدام مقياس حرارة بسيط مثل مقياس الحرارة الزئبقي لقياس درجة حرارة الهواء وجهاز قياس الرطوبة الجوية whirling/sling hygrometer والذي يحتوي على مقياس حرارة جاف ومقياس حرارة رطب لقياس الرطوبة النسبية (الشكل 3.4 على اليمين). قراءتين من مقياس الحرارة الجاف والرطب ترسم على مخطط السيكرومتري لإيجاد الرطوبة النسبية او نسبة التشبع.



الشكل 3.4 مقياس kata للحرارة (اليسار) ومقياس الرطوبة الجوية

يمكن قياس حركة الهواء باستخدام جهاز المرياح anemometer والذي يعطي قراءة لسرعة الهواء. عندما تكون سرعة الهواء منخفضة جدا فان حركة الهواء تقاس بواسطة مقياس kata الحراري، والذي يحتوي على مقياس حرارة عادي يوضع في مركز كرة سوداء قطرها 150mm (الشكل 3.4 على اليسار). مع ازدياد حركة الهواء يزداد التبادل الحراري بين سطح الكرة والهواء المحيط فان قراءة مقياس الحرارة في مركز الكرة يستجيب لهذه التغيرات الحادثة على السطح. يمكن تحويل قراءات درجة الحرارة إلى معدل حركة الهواء.

حيث ان سطح الكرة السوداء اكبر كثرا من طرف مقياس درجة الحرارة فان مقياس kata الحراري هو أيضا اكثر حساسية للتغيرات في الاشعاع للأسطح المحيطة، والتي تحدد بمعدل درجة الحرارة المشع. لهذا فان قراءة مقياس kata الحراري تعطي معلومات عن درجة حرارة الهواء، ومعدل حركة الهواء ومتوسط درجة حرارة المشع. الصيغة التجريبية التالية توضح كيف تساهم المتغيرات الثلاثة على متغير جديد وهو درجة الحرارة الشاملة global temperature.

$$t_g = \frac{t_r + 2.35\, t_{ai}\sqrt{v}}{1 + 2.35\sqrt{v}} \qquad (4.2)$$

حيث ان:

t_g هي درجة الحرارة الشاملة ^oC

t_r متوسط درجة حرارة المشع ^oC

t_{ai} درجة حرارة الهواء ^oC

v سرعة الرياح ms^{-1}

اذا لازالت شروط الهواء متواجدة (أي عندما $v \leq 0.1\ ms^{-1}$) فان مقياس الكرة الحراري يمكن ان يعتبر لقياس متوسط درجة حرارة المشع مباشرة.

2.2.4 العوامل الشخصية Personal factors

علاوة على المتغيرات البيئية الأربعة هناك متغيران يعرفان حالة جسم الانسان المؤثرة على الراحة الحرارية. تعرف باسم العوامل الشخصية وهي على النحو التالي:

i) مستوى النشاط بوحدة met

ii) الملابس بوحدة clo

يعتبر مستوى النشاط متغير مخصص لسكان المبنى عندما تكون وظيفتهم معروفة. هذا المتغير هو متغير يرتبط بمعدل الايض، والذي يحدد الحرارة المتولدة داخل الجسم كنتيجة لأكسدة الطعام. الوحدة المستخدمة لتحديد معدل الايض هي met ومقدار 1 met تعادل $58.2\ Wm^{-2}$ مرتبطة بمساحة سطح الجسم والتي يمكن اعتبارها $2m^2$ تقريبا لجسم انسان بالغ.

في معظم الأبنية فان الجزء الرئيسي للحرارة المتبددة من جسم السكان يكون عبر الملابس. لهذا فان هذا العامل هو المقاومة الحرارية التي يجب ان تحدد. اقترح CIBSE ان الخاصية الحرارية لملابس السكان تحدد بدلالة clo و1col يعادل $0.155m2KW^{-1}$ وهو المكافئ لرجل يرتدي ملابس داخلية وقميص وربطة عنق وبدلة عمل خفيفة.

activity	Wm^{-2}	met
reclining	46	0.8
Seated, relaxed	58	1.0
Standing, relaxed	70	1.2
Sedentary activity (office, dwelling, school, lab)	70	1.2
Standing activity (shopping, light work)	93	1.6
Standing activity(domestic work, machine work)	116	2.0
Medium activity (heavy machine work..)	165	2.8

الجدول 1.4 الأنشطة الشائعة في المباني والحرارة المتبددة المقابلة بوحدة Wm^{-2} وmet.

3.4 مؤشرات الارتياح الحراري Thermal comfort Indices

ستة متغيرات واشكال متنوعة للتبادل الحراري تجعل من الصعب تقييم الارتياح الحراري للغرفة من الناحية الهندسية. لذا فقد بذلت الكثير من المحاولات لدمج كل الخواص المقاسة في مقياس مناسب للارتياح الحراري. هذه المؤشرات الحرارية هي عديدة وتشمل درجة الحرارة الشاملة، ودرجة الحرارة المكافئة ودرجة الحرارة الفعالة المستخدمة في الولايات المتحدة الامريكية.

قام Fanger باشتقاق معامل باستخدام مقياس النقط السبعة التي تجعل من الممكن تقييم استجابة الارتياح الحراري بواسطة سكان لمكان ما وتأخذ في الحسبان كل المتغيرات. باستخدام مقياس الارتياح الحراري نحصل على صيغ توقع نسبة عدم الرضى (predicted percentage of dissatisfied) (PPD) من متوسط التصويت المتوقع (predicted mean vote) (PMV) لعدد من المواقع في الغرفة.

في بريطانيا اوصت CIBSE باستخدام محصلة درجة الحرارة الجافة كمؤشر درجة الحرارة لبيئة الداخلية المعتدلة. درجة الحرارة المحصلة t_{res} تكافئ درجة الحرارة المقاسة بالزئبق الموجود في مقياس درجة الحرارة الزجاجي عند مركز كرة سوداء قطرها 100mm ويمكن أيضا الحصول عليها من المعادلة التالية.

$$t_{res} = \frac{t_r + t_{ai}\sqrt{10v}}{1+\sqrt{10v}} \qquad (4.3)$$

في ظروف الهواء الساكن أي عندما $v=0.1ms^{-1}$ يمكن تبسيط هذه المعادلة لتصبح على النحو التالي:

$$t_{res} = 0.5t_r + 0.5t_{ai} \qquad (4.4)$$

درجات الحرارة المتوسطة التي توفر افضل راحة للسكان يمكن ايجادها نسخ قديمة من دليل CIBSE الارشادي A، الجزء A1. كما تجدر الإشارة إلى انها لا يوجد زيادة تذكر في عدم الرضى اذا بقيت درجات الحرارة في حدود $\pm 1.5\ ^0C$ للقيمة المختارة.

دليل CISBE الارشادي المحدث يدخل مؤشر درجة حرارة جديد وهو "درجة الحرارة الفعالة" لتكون متناسقة مع الواقع العملي في أوروبا وامريكا.

بشكل مشابه جدا لدرجة الحرارة المحصلة فان درجة الحرارة الفعالة تأخذ في الحسبان كلا من درجة حرارة الهواء ومتوسط درجة حرارة المشع وتحولهما إلى قيمة واحدة للمكان واحد. تعرف درجة الحرارة الفعالة t_c (^oC)على النحو التالي:

$$t_c = (1 - H)t_r + Ht_{air}; \qquad (4.5)$$

حيث ان t_{ai} هي درجة حرارة الهواء الداخلي (^oC) وt_r هي متوسط درجة حرارة المشع،

$$1 - H = \frac{h_r}{h_c + h_r} \quad \text{و} \quad H = \frac{h_c}{h_c + h_r}$$

حيث ان h_c وh_r هما معاملي الانتقال السطحي للحرارة بالحمل والاشعاع على التوالي $W.m^{-2}.K^{-1}$.

وجدت الكثير من الدراسات عدم وجود فرق بين قيم درجة الحرارة المحصلة ودرجة الحرارة الفعالة عندما يتم استخدامهما لنفس الغرفة.

4.4 معيار التصميم الداخلي Indoor design criteria

زودت CIBSE درجات الحرارة المحصلة الموصى بها في دليلها الارشادي A لكلا من السكان في حالة الجلوس وحالة الحركة (الشكل 1.4). في حالة الجلوس فان غالبية الناس لا تشعر بالدفء ولا البرد في الشتاء في غرف درجة حرارتها المحصلة بين 19 و23^oC. هذا عندما يكون معدل حركة الرياح اقل من $0.1\ ms^{-1}$ (أي في حالة هواء ساكن) والرطوبة النسبية تقع بين 40% و70%.

Season	Occupancy/category	Resultant temperature/°C	Relative humidity/%	elative idity/%
Summer	Continuous	20 to 22	50	50
	Transient	23	50	50
Winter	Continuous	19 to 20	50	50
	Transient	16 to 18	50	50
Summer	Continuous (optimum)	23	50	50
	Continuous (maximum)	25 26	60 45	60 45
	Transient (humid climate)	25 26	70 50	70 50
	Transient (arid climate)	27 28	45 40	45 40
Winter	Short winter (as in humid climate)	Generally no heating required		
	Long winter (as in arid climate)	22	45	45

الجدول 2.4 معيار CIBSE لشروط الحرارة الداخلية (دليل CIBSE الارشادي A1)

حيث ان العمل الفيزياء يتم في درجة حرارة محصلة من 3° إلى 5°C اقل من القيمة الموصى بها للسكان في حالة الجلوس. بعض الأنشطة الترفيهية تشتمل أيضا على درجة عالية من النشاط الفيزيائي ولكن أنشطة أخرى مثل السباحة تتم في ظروف دافئة مع حركة هواء منخفضة لان الناس في تلك الحالة ترتدي ملابس قليلة. في هذه الحالة فان درجة الحرارة المحصلة يجب ان تكون بين 25°C و30°C.

وضح Jones ان أنظمة التكييف توفر تحكم اتوتوماتيكي على درجة الحرارة الجافة مع اختيار معدل حركة هواء لتعطي توزيع هواء جيد.

في الصيف يكون تصميم درجة الحرارة بين 22 – 23°C وهذا خيار مناسب على المدى الطويل للسكان في حالة الجلوس في بريطانيا مع رطوبة مسموح بها بين 40% و60%. في الأماكن المشغولة لفترات زمنية قصيرة نسبيا فانه تقبل درجات حرارة اعلى مثل 25°C عندما تكون درجة حرارة الهواء الخارجي 28°C. خلال فصل الشتاء يمكن ان يسمح لدرجات حرارة الهواء الداخلي لان تنخفض إلى 20 – 21°C.

الجدول 5.1 معايير الارتياح الحراري الموصى بها لتطبيق محدد

Building/room type	Winter operative temp. range for stated activity and clothing levels*			Summer operative temp. range (air conditioned buildings†) for stated activity and clothing levels*			Suggested air supply rate / ($L.s^{-1}$ per person) unless stated otherwise	Filtration grade‡	Maintained illuminance¶ / lux	Noise rating§ (NR)
	Temp. / °C	Activity / met	Clothing / clo	Temp. / °C	Activity / met	Clothing / clo				
Airport terminals:										
— baggage reclaim	12–19[1]	1.8	1.15	21–25[1]	1.8	0.65	10[2]	F6–F7	200	45
— check-in areas[3]	18–20	1.4	1.15	21–23	1.4	0.65	10[2]	F6–F7	500[4]	45
— concourse (no seats)	19–24[1]	1.8	1.15	21–25[1]	1.8	0.65	10[2]	F6–F7	200	45
— customs area	18–20	1.4	1.15	21–23	1.4	0.65	10[2]	F6–F7	500	45
— departure lounge	19–21	1.3	1.15	22–24	1.3	0.65	10[2]	F6–F7	200	40
Art galleries — see *Museums and art galleries*										
Banks, building societies, post offices:										
— counters	19–21	1.4	1.0	21–23	1.4	0.65	10[2]	F6–F7	500	35–40
— public areas	19–21	1.4	1.0	21–23	1.4	0.65	10[2]	F5–F7	300	35–45
Bars/lounges	20–22	1.3	1.0	22–24	1.3	0.65	10[2]	F5–F7	100–200[5]	30–40
Bus/coach stations — see *Railway/coach stations*										
Churches	19–21	1.3	1.15	22–24	1.3	0.65	10[2]	G4–F6	100–200	25–30
Computer rooms[6]	19–21	1.4	1.0	21–23	1.4	0.65	10[2]	F7–F9	300	35–45
Conference/board rooms	22–23	1.1	1.0	23–25	1.1	0.65	10[2]	F6–F7	300/500[7]	25–30
Drawing offices	19–21	1.4	1.0	21–23	1.4	0.65	10[2]	F7	750	35–45

الشكل 3.4 معيار التصميم لاماكن داخلية متنوعة (دليل CISBE الارشادي A، الجدول 5.1)

5.4 الحفاظ على الشروط الداخلية Maintaining indoor conditions

كما هو ملخص في الوحدة 3 فان التغيرات في الطقس الخارجي يؤثر على الشروط الحرارية الداخلية. كذلك بسبب الكسب الحراري العرضي والذي سوف نقوم بمناقشته في الوحدة التالية، فان درجة حرارة الداخل سوف تتذبذب ويحدث استياء حراري بدون أنظمة خادمة لتذود حرارة او تتخلص من الحرارة حسب الحاجة.

الاستعداد المسبق للتسخين او التبريد يمكن ان نحصل عليه بعدة طرق، واحدها هو استخدام مكيف هواء. في الفصول الدافئة فان هذا يحدث باستخدام مكيف هواء عند درجة حرارة اقل قليلا من درجة الحرارة التي يجب الحفاظ عليها للراحة الحرارية للتخلص من الكسب الحراري الداخلي، وفي الفصول الباردة يتم الامر باستخدام هواء دافئ عند درجة حرارة اكثر بقليل من درجة الحرارة الداخلية الموصى بها.

يؤخذ الهواء المكيف من الخارج ولهذا عليه ان ينبثق حسب ما يحدده النظام والتشغيل. اختيار النظام وتحديد متغيرات التصميم هي المهمة الرئيسية في تصميم النظام.

مدة شروط الغرفة والهواء الخارجي اثناء العام قد تم تحديدها مسبقا. انه من الضروري اثبات كيف ان هذه الشروط تحدد خيار معدات التكييف. كما يجب ان تتضمن التغيرات اليومية في الغرفة للأحمال الحرارية المحسوسة والكامنة سوف تتسبب في تغير العلاقة بين المزود وشروط هواء الغرفة والتحكم في معدات التكييف لتتبع هذه التغيرات.

1.5.4 التحكم في شروط الغرفة Control of room conditions

يتطلب تغير الاحمال الحرارية المحسوسة والكامنة نظام تحكم لمراقبة وتصحيح التغيرات في درجة الحرارة الجافة للغرفة والرطوبة. لكي يتم تصنيع نظام تحكم اوتوماتيكي فان اختيار المعدات يجب ان تكون قادرة على توفير خرج كهربي يمكن ان يستخدم من خلال النظام للتحكم في تشغيل صمامات تدفق الحرارة او البرودة في الوسط الرئيسي.

يمكن التوصل إلى قياس درجة الحرارة باستخدام ترانسديوسر تتمدد فيه قطعة لتعمل على تشغيل سلسلة التحكم او من خلال تغيرات في المقاومة الكهربية مع درجة حرارة العنصر. هذا يعطي إشارة مستمرة في شكل فرق جهد متغير لتيار ثابت او العكس بالعكس.

يعتمد التحكم في الرطوبة بشكل أساسي على تغير المقاومة الكهربية لعنصر يمتص الرطوبة: املاح تمتص وتحتفظ بالرطوبة مثل كلوريد الليثيوم يمكن ان يستخدم بهذه الطريقة لإعطاء فرق جهد متغير بشكل مستمر.

يمكن تثبيت شاشة التحكم لهذا النوع اما في الغرفة او على مجرى السحب من الغرفة. ويعتبر تثبيت شاشة التحكم على مجرى السحب ميزة للحصول على متوسط درجة حرارة والرطوبة للغرفة.

2.5.4 استخدام خليط الهواء المسحوب (المستخلص) والنقي The use of extract and fresh air mixtures

يجب استخدام ادنى كمية من الهواء النقي لأغراض التهوية. بعد هذا فان النسبة المستخدمة في الخليط مع الهواء المعاد تدويره يجب التحكم بها لتعطي اكثر نظام اقتصادي للتشغيل. في الصيف عندما تكون درجة الحرارة الخارجية عالية جدا فان كمية قليلة من الهواء النقي يجب ان تستخدم. عندما تكون تنخفض درجة الحرارة الرطبة الخارجية ادنى من درجة حرارة الغرفة فانه يجب استخدام هواء نقي بالكامل لدعم عملية التبريد. في الشتاء يجب تسخين الهواء الخارجي، والحجم الأعلى من ادنى قيمة مستخدمة يعتمد على شروط الخلط المطلوبة للهواء الداخل إلى النظام.

3.5.4 دورة الشتاء Winter cycles

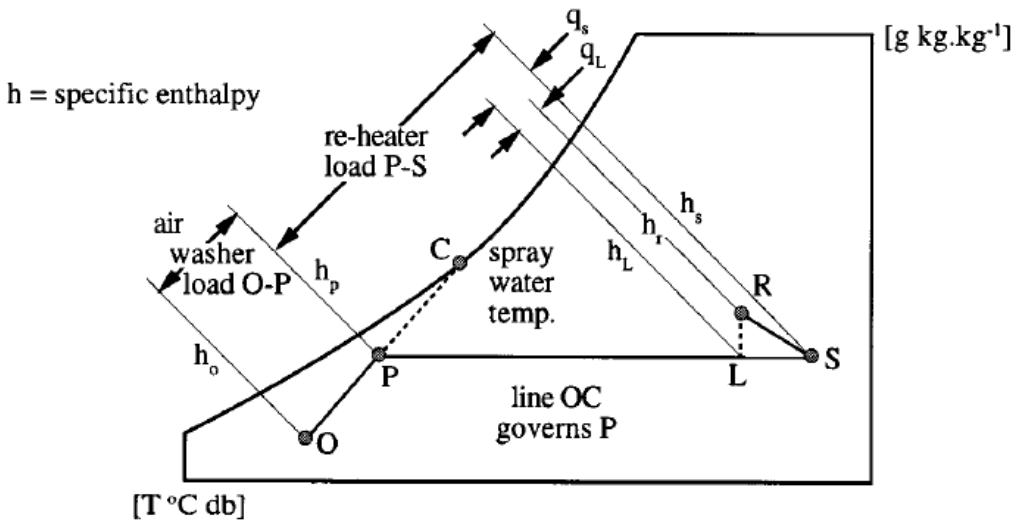
هنا يتطلب الامر تسخين الهواء الخارجي وكذلك زيادة محتوى رطوبته. بصفة عامة نقطة الغرف سوف تكون اعلى وإلى يسار مزود الهواء المكيف.

غسالة الهواء وإعادة التسخين Air washer and re-heater

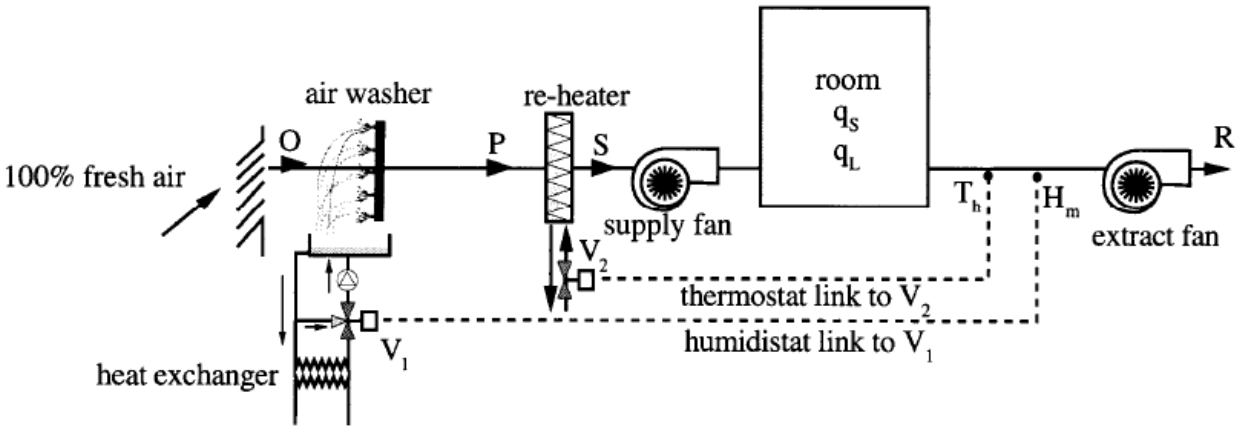
غسالة هواء تستخدم الماء عند درجة حرارة اعلى من درجة الحرارة الرطبة تعمل على تسخين وزيادة رطوبة الهواء المار عبرها. اذا تبع هذا ملف تسخين للحصول على التحكم للكسب الحراري المحسوس فان مثل هذا النظام يمكن ان يستخدم في الشتاء، ويستخدم 100% هواء خارجي كما هو موضح ادناه.

بالرجوع إلى المخطط فان التحكم في درجة حرارة رذاذ الهواء من خلال مقياس الرطوبة وخلط صمام V1 يسمح بتغير موضع النقطة P. كما ان هذا يؤثر أيضا على درجة الحرارة الجافة عند الدخول إلى إعادة التسخين. يقوم كلا من ثيرموستات وصمام التحكم V2 بالتحكم في مقدار كتلة التدفق إلى بطارية إعادة التسخين.

الغسلات وملفات التبريد لا تستخدم هذه الأيام بسبب الخطر الناشئ عن الـ Legionnella وهي نوع من البكتيريا القاتلة وتعرف باسم الفيلقية. مع ذلك فهي لا تزال كتمرين اكاديمي مفيد لدراسة عمليات السيكرومتري المرتبطة بهذه المعدات.



الشكل 4.4



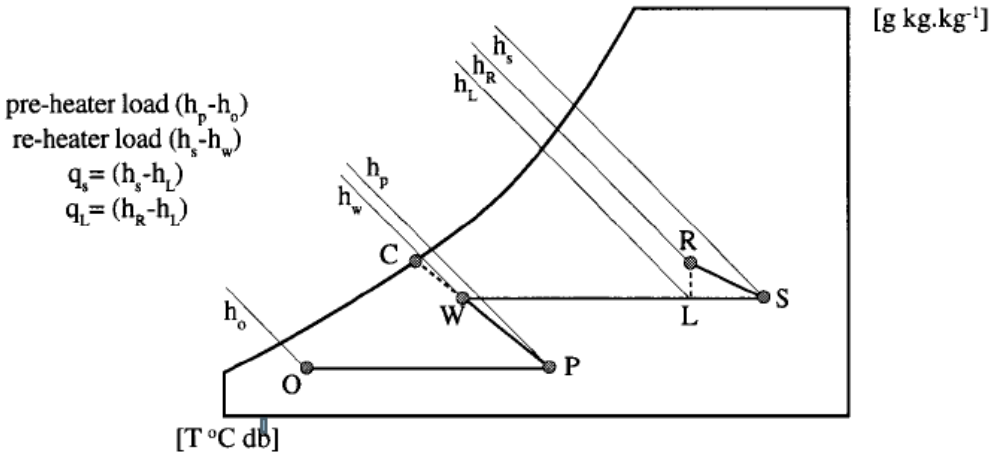
الشكل 5.4

التسخين المسبق وغسالة الهواء وإعادة التسخين Pre-heater, air washer and re-heater

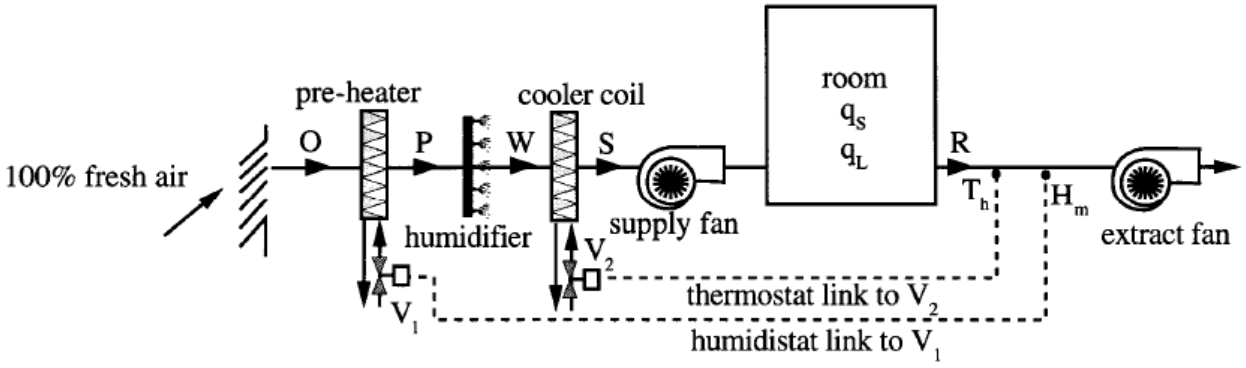
لتجنب مرور هواء بارد جدا من خلال المحطة فان نظام تسخين مسبق يتبعه عملية ترطيب مشبعة اديباتيكية يمكن ان تستخدم لاستبدال غسالة الهواء التي ذكرت أعلاه. استخدم هذا النظام أيضا يسمح بالتعامل بشكل منفصل في التحم في الرطوبة ودرجة الحرارة الجافة، والتي لها مزايا هامة في جزء تشغيل الحمل.

موضع النقطة P وحالة الهواء عند دخولها لجهاز الترطيب يمكن التحكم به بواسطة مرطب مرتبط مع صمام التحكم في التدفق على مزود التسخين المسبق. هذا بدوره يؤثر على محتوى الرطوبة النهائي من خلال مرور هواء الغسالة إلى النقطة W. في النهاية يتم التحكم في الحمل المحسوس بواسطة ثيرموستات مرتبطة مع صمام التحكم في التدفق لبطارية إعادة التسخين.

تجدر الملاحظة هنا ان أجهزة التحكم هذه تستجيب فقط للتغيرات في احمال الغرفة أي درجة اشغال الغرفة والاقمشة المفقودة أو المكتسبة والاضاءة إلخ. أي تغيرات في الشروط الخارجية او في حالة تسخين الوسط يجب ان يستشعر بواسطة الثيرموستات ومقياس الرطوبة في مجرى التزويد وهي غير موضحة هنا لكن يمكن ربطها في التحكم. الصمامات V1 وV2 ادناه.



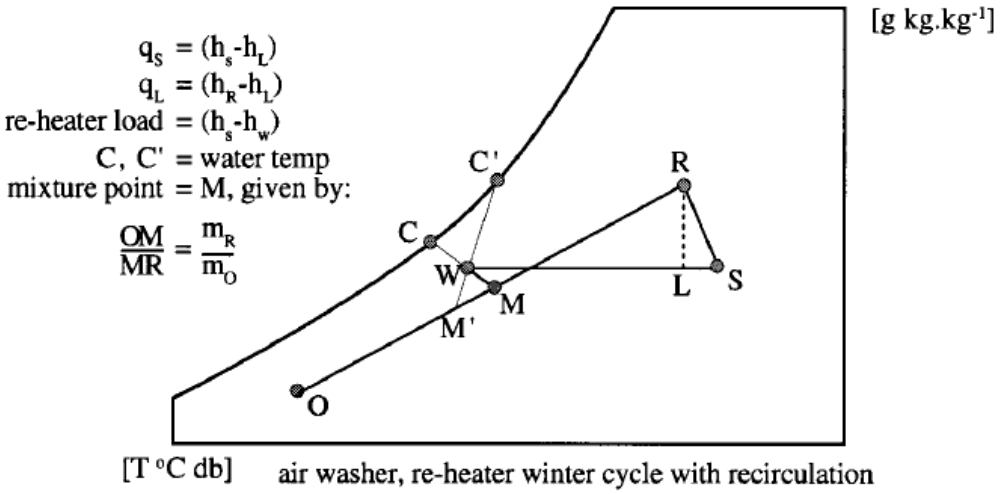
الشكل 6.4



الشكل 7.4

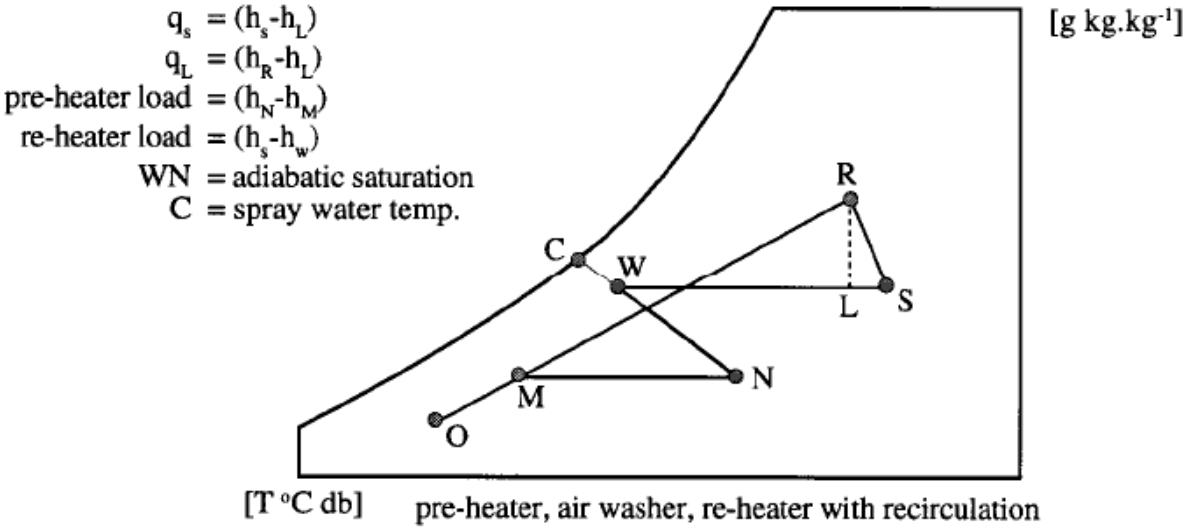
إعادة التدوير Re-circulation

الهواء النقي والهواء المعاد تدويره يمكن ان يستخدم كميزة في دورة الشتاء. لغسالة الهواء ودائرة إعادة التسخين يمكن ترتيب نسب الخلط لتعطي نقطة M ادناه مما يسمح بتشبع اديباتيكي إلى W. اذا أتت M قريبة جدا من WS فان رذاذ الماء يجب ان يبرد، بالمقابل اذا وصل إلى M_1 يتم تسخين رذاذ الماء.



الشكل 8.4

اذا درجة الحرارة الخارجية منخفضة جدا، اقل من 0^oC يستخدم التسخين المسبق كما هو موضح ادناه لأخذ شروط الخليط من M إلى N وبالتالي تجنب إمكانية حدوث التجمد في غرفة الرذاذ. يمكن استخدام التشبع الاديباتيكي لترطيب الهواء حتى النقطة W.



الشكل 9.4

4.5.4 دورات الصيف Summer cycles

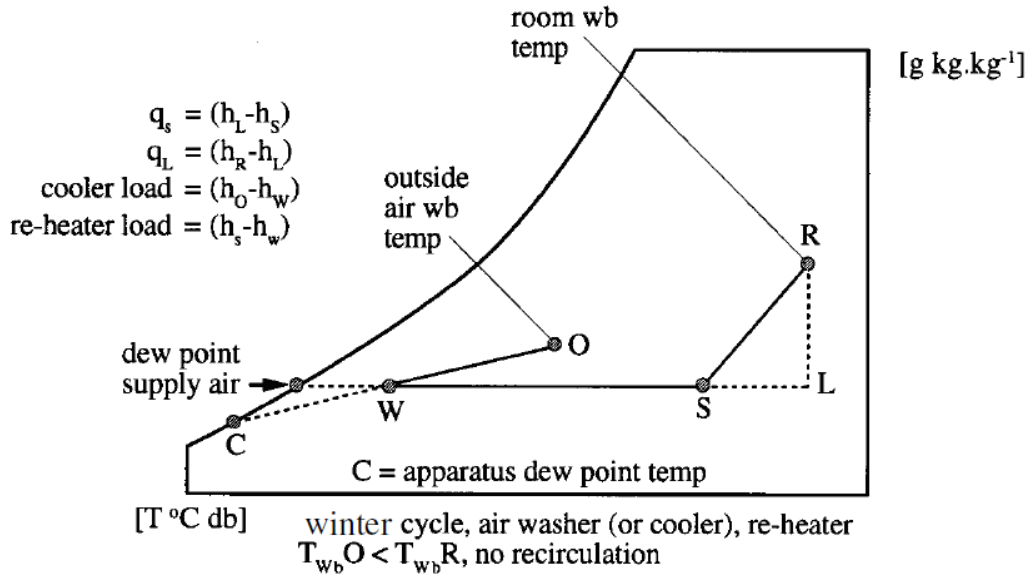
غسالة الهواء او ملفات التبريد او إعادة التسخين Air washer or cooling coils and re-heater

في دورة الصيف يتم تزويد الهواء إلى الغرفة سوف يكون عادة ادنى من درجة الحرارة الجافة أي إلى يسار نقطة الغرفة على المخطط السكومتري.

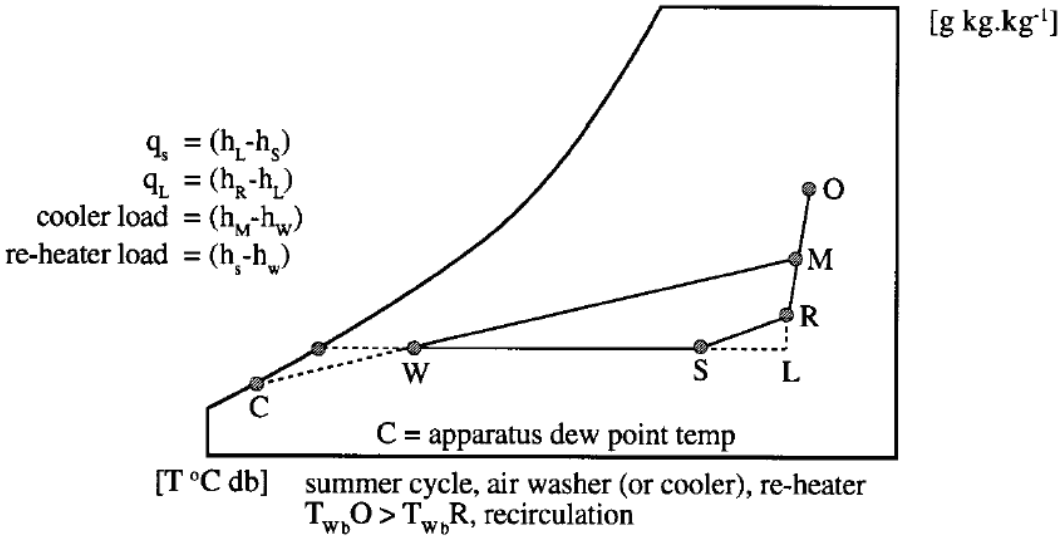
مع ارتفاع درجة الحرارة الخارجية فانه من الضروري تبريد وإزالة رطوبة الهواء الخارجي قبل ان يزود إلى الغرفة المكيفة.

نظام دورة الصيف يجب ان تستخدم هواء نقي بالكامل، اذا درجة الحرارة الرطبة اقل من درجة حرارة الغرفة ولكن اعلى من الهواء المزود أي عند النقطة S ادناه.

عندما تكون درجة الحرارة الرطبة الخارجية اعلى من الغرفة فان ادنى هواء نقي يجب ان يستخدم لتقليل حمل التبريد، موضح من خلال فروقات المحتوى الحراري (enthalpy) h_o-h_w و $h_m - h_w$.



الشكل 11.4

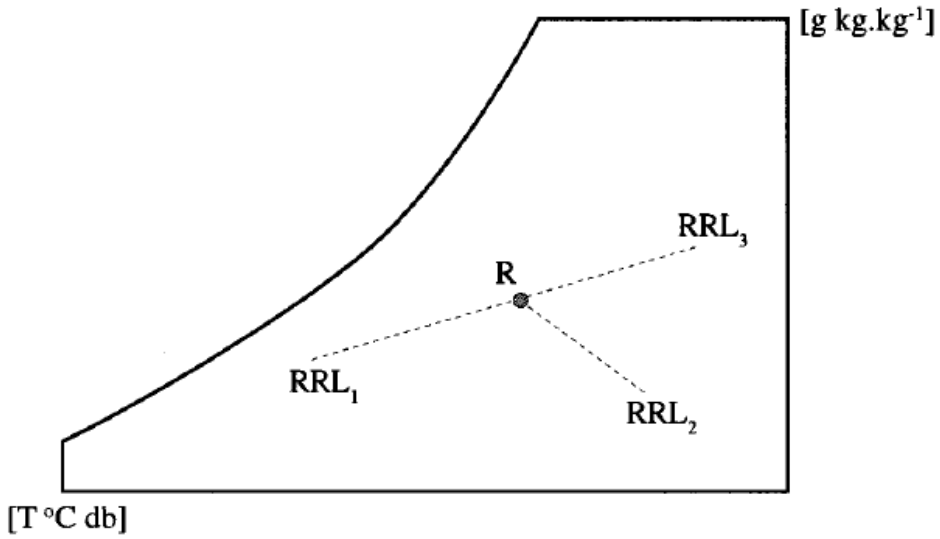


الشكل 12.4

6.4 بعض التعليقات الاستنتاجية Some concluding comments

يشير ميل خط نسبة الغرفة إلى الحمل الحراري المحسوس إلى الحمل الحراري الكلي. هناك عدد من الترابطات للكسب والفقد الحراري الكامن والمحسوس. المخطط ادناه يشير إلى التأثير على RRL لبعض من هذه الترابطات.

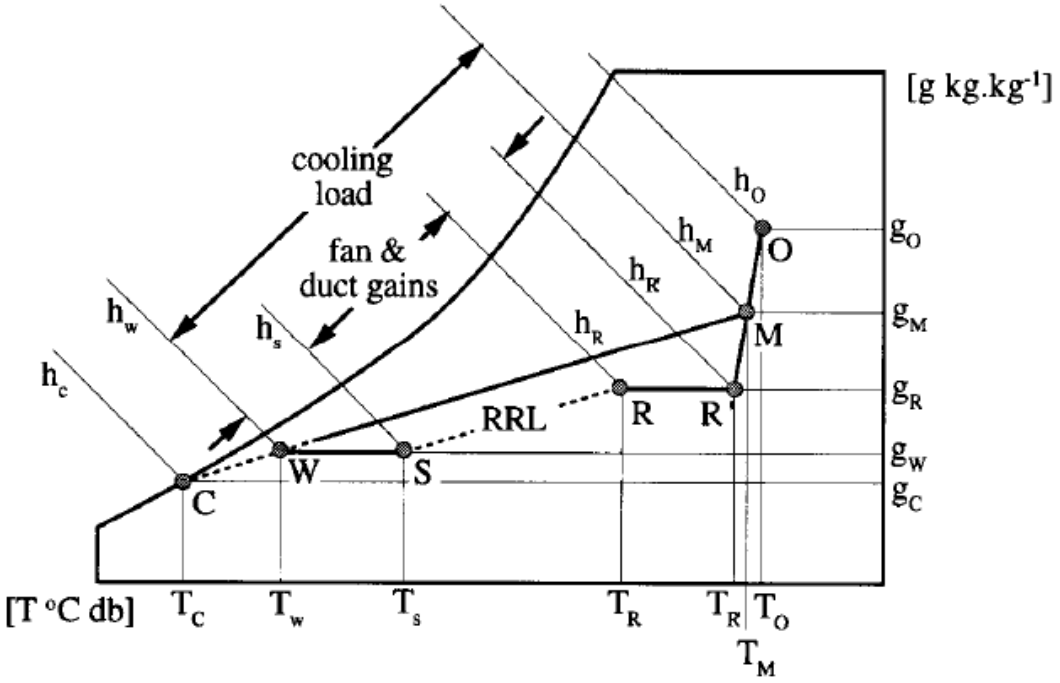
تمثل RRL_1 الحالة عندما يحدث كلا من الكسب المحسوس والكامن في نفس الوقت. ترتبط RRL_2 مع حالة الشتاء القياسية عندما يحدث فقد حراري محسوس وكسب حراري كامن مع بعض. في النهاية تمثل RRL_3 حالة الخسار المحسوسة والكامنة التي تحدث بشكل متزامن.

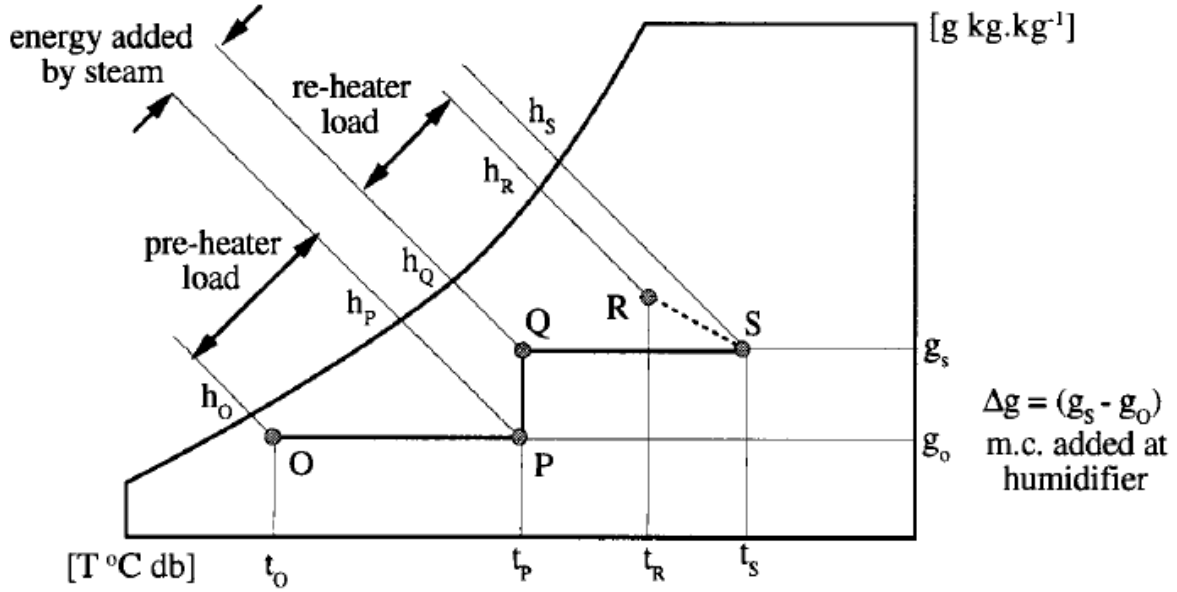


الشكل 13.4

موضح ادناه دورة الصيف القياسية ودورة الشتاء القياسية لمنطقة مفردة، ونظام حجم ثابت. ترتبط دورة الصيف مع نظام إعادة التدوير والدورة تشتمل على مروحة ومجرى كسب لكلا من نظام التزويد ونظام السحب الجانبي.

دورة الشتاء المرتبطة مع نظام الهواء النقي بالكامل يستخدم تدفق رطب مع عمليات التسخين المسبق وإعادة التسخين.





Pre-heater, steam injection, re-heater winter cycle, no recirculation

الشكل 14.4

الخيار لحالة مزود هواء مناسب يخضع لأربعة قضايا عملية:

i) الحاجة إلى تقليل كمية الهواء التي يتعامل معها النظام. بصفة عامة لتوزيع الهواء داخل المكان المكيف فان فرق درجة الحرارة بين الغرفة ومزود الهواء عادة ما تكون في حدود $11^oC - 8^o$.

ii) خيار ملف التبريد يحد من معامل ملف التوصيل إلى 0.8 و0.85.

iii) يجب الاخذ في الحسبان المروحة ومجرى الكسب حيث يمكن ان تزداد درجة حرارة مجرى الكسب بمقدار حتى 2^oC داخل النظام و1^oC لكل kPa من ضغط المروحة الكلي المتوقع. تعمل أنظمة السرعة المنخفضة عند ضغط 600 – 750 Pa وأنظمة السرعة العالية عند 2000 Pa.

iv) يتجمد الماء عند 0^oC وهذا يقيد درجات حرارة الماء المتجمد المزود للملفات بين 5^oC و6^oC مع درجات حرارة الماء العائد بين 10^oC و11^oC.

بصفة عامة معظم أنظمة التكييف يتم اختيارها باستخدام معدل تدفق حجمي بدلا من معدل تدفق الكتلة. يمكن تقدير حجم التزويد بواسطة تحديد معدل التدفق الحجمي المطلوبة للتغلب على الكسب الحراري المحسوس التي تحدث في المكان المكيف، ويمكن تحديد محتوى الرطوبة للهواء يجب ان يتغلب على كسب الحرارة الكامنة. المعادلات التالي يمكن استخدامها.

$$\dot{v}_t = \frac{Q_{SHG}}{(t_r - t_s)} x \frac{(273+t)}{358} \quad \text{or} \quad \dot{m}_t = \frac{Q_{SHG}}{C_p (t_r - t_s)} \quad \text{and,} \qquad (4.6)$$

$$\dot{v}_t = \frac{Q_{LHG}}{(g_r - g_s)} x \frac{(273+t)}{856} \qquad (4.7)$$

Q_{SHG} الكسب الحراري الكلي المحسوس في الغرفة بوحدة W
Q_{LHG} الكسب الحراري الكلي الكامن في الغرفة بوحدة W
t_s درجة حرارة المزود بوحدة ^oC
t_r درجة حرارة الغرفة ^oC
C_p الحرارة النوعية لمزود الهواء وتؤخذ غالبا ك، $1.2\ kJ.kg^{-1}K^{-1}$
$\dot{m}_t$ معدل كتلة التدفق للهواء بوحدة kgs^{-1}
$\dot{v}_t$ معدل التدفق الحجمي لمزود الهواء بوحدة m^3s^{-1}
gs محتوى الرطوبة لمزود الهواء بوحدة $g.kg^{-1}$ للهواء الجاف
g_r محتوى الرطوبة للهواء الداخلي بوحدة $g.kg^{-1}$ للهواء الجاف

مسائل تدريبية Tutorial questions

1.4 ادرج واشرح العوامل التي تؤثر على الارتياح الحراري وقم بوصف الطرق المستخدمة لتقدير هذه العوامل عند المحاولة لتعزيز شروط الارتياح الحراري داخل المكان المشغول.

2.4 اشرح كيف يتبادل جسم الانسان الحرارة مع البيئة المحيطة ولماذا البيئة الداخلية لا تزال غير مرضية حراريا حتى مع الوصول إلى الاتزان الحراري.

3.4 باستخدام طريقة التقريب الموضحة في دليل CIBSE الارشادي A الجزء A2 حدد شروط التصميم للموقع باستخدام المعلومات العامة التالية:

شهر مع متوسط اعلى درجة حرارة جافة هو شهر يوليو

اعلى متوسط درجة حرارة جافة في يوليو هو $25.1^{o}C$

متوسط اعلى درجة حرارة جافة على مدار اليوم في شهر يوليو هي 18oC

متوسط ادنى رطوبة نسبية عند الساعة 15.00 في شهر يوليو هي 64%.

(الإجابة $25^{o}Cdb, 17^{o}Cwb$)

تمت الترجمة في المركز العلمي للترجمة

12 – 8 -2013

www.trgma.com