

# GELECEĞİN İKLİMLENDİRİLMİŞ ORTAMLARINDA İNSAN İHTİYAÇLARI ve MÜKEMMELLİĞE ULAŞMA ÇABALARI \*

Prof. Dr. P. Ole Fanger

## ÖZET

İklimlendirme, ılıman iklimlerde ekonomik gelişimde olumlu rol oynamasına karşın, konudan küresel bağlamda anlaşılan kavram karmaşık hale gelmiştir. Saha çalışmalarının gösterdiğine göre pek çok binada iklimlendirmeden memnun olmayan insan sayısı oldukça çoktur; mevcut standartlar ve yönetmeliklere uyulmuş olmasına karşın SBS semptomlarından rahatsız olanlar da mevcuttur. 21. yy'da, vasat seviyeden mükemmel seviyede iç ortam koşullarına geçiş yaşanacağı öngörülmektedir. Elimizdeki bilgilere ve yeni araştırma sonuçlarına dayanarak, yeni bir mükemmellik yaklaşımı çerçevesinde ileri sürülen beş adet ilke sözkonusudur: Daha iyi iç hava kalitesi verimliliği artırır ve SBS semptomlarına rastlanma sıklığını azaltır. Gereksiz iç hava kirlilik kaynaklarından kaçınılmalıdır. Havanın ortamdaki lere serin ve kuru olarak verilmesi gerekir. Düşük miktarlarda temiz hava nazik şekilde her bireyin soluma bölgesine yakın olarak verilmelidir. Isıl ortamın bireysel bazda kontrolü sağlanmalıdır. Bahsedilen bu mükemmellik ilkeleri enerji verimliliği ve ortamın muhafazası açısından da uyum sağlamaktadır.

## Giriş

Bina iklimlendir

mesi, ılıman iklime sahip olan veya yazları sıcak geçen bölgelerde ekonomik gelişme açısından temel öneme sahip olagelmıştır. İklimlendirmenin olumlu etkilerine ilişkin pek çok örnek vardır. Doğu Asya'da son 30 yılda gözlenen ve geniş çapta iklimlendirmenin kullanılmaması halinde pek mümkün olmayacak olan güçlü ekonomik büyüme hızları örnek verilebilir.

Günümüzde iklimlendirme, HVAC sistemlerinde ısıtma ve havalandırma ile bir arada, dünyanın pek çok yerinde kullanılmaktadır. Ancak sistemlerin imajı her zaman olumlu değildir. Pek çok sistemin amacı ısıl konfor sağlamak ve ortamı kullanan insanlara, kabul edilebilir kalitede iç ortam havası sunmaktadır. Ancak yapılan saha çalışmalarının (1,2,3) gösterdiğine göre pek çok binada iç ortamdaki memnuniyet oranları kayda değer düşüktür. Bunun temel nedenlerinden biri, mevcut havalandırma standartları ve yönetmeliklerinde yer alan zorunlu koşulların gereğinden düşük olmasıdır (4,5). Bu belgelerin prensibi iç hava kalitesinden mem-

nun olmayan insan oranını belirli bir yüzde değer (ör. %15, 20, 30) altında olduğu bir iç ortam yaratmaktır, geriye kalanlarda ise İHK (İç Hava Kalitesi) yalnızca kabul edilebilir değerlerin sınırlarını sağlayabil-

### Prof. Dr. P. Ole FANGER

Profesör P. Ole Fanger, Danimarka Teknik Üniversitesinde kurulmuş olan Uluslararası İç Ortam ve Enerji Merkezinin Müdürlüğünü yapmaktadır. Bu merkez farklı ülkelerden 40'in üzerinde uzman bulundurmaktadır. Profesör Fanger, iç ortam ve insan üzerindeki etkilerine ilişkin gerçekleştirdiği bilimsel çalışmalardan dolayı 14 ülkede 30'un üzerinde ödüle layık görülmüştür. İskandinavya'da bulunan ve 20.000 Tesisat Mühendisi üyesi bulunan SCANVAC'ın başkanlığını yürüten Fanger, Uluslararası İç Hava Bilimleri Akademisi'nin de başkanlığını yürütmektedir. 11 ülkede HVAC ve Soğutma mühendisliği derneklerinde onur üyeliği vardır.

\* TTMD IV. Uluslararası Yapıda Tesisat Bilim ve Teknoloji Sempozyumu Bildiriler Kitabı'ndan alınmıştır.

mektedir. Benzer bir yaklaşım ısıl ortam için de geçerlidir. HVAC sistemleri tasarımında izlenen bu prensip uygulamalarda oldukça

teşkil ettiğine inandığımız bazı prensipler ve yeni araştırma sonuçları ele alınacaktır.

İç ortam bu prensip uygulamalarında oldukça yüksek değerlerde (tahmin de edildiği üzere) memnun olmayan insan sayılarına yol açmıştır, iç ortamın üstün nitelikli olarak tanımlanabilmesi ise pek azında mümkündür. Bu arada, insan sağlığı üzerine pek çok olumsuz etki bulunduğu da bildirilmiştir. Pek çok insan HBS (Hasta Bina Sendromu) belirtilerinden şikayetçidir (1,2,3) ve alerji, astım vakalarına rastlanma oranlarında gözlenen önemli ölçüdeki artış da düşük İHK'ne atfedilmektedir.

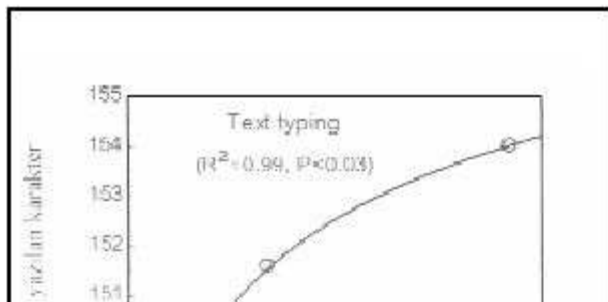
Sanırım, mevcut standartların sağlanmasına rağmen iç hava kalitesinin, mekanik havalandırılmalı binaların çoğunda oldukça vasat olduğunu söylemek yanlış olmaz. Yeni yüzyıla girerken iç ortamda mükemmellik arayışımızda örnek bir geçişe ihtiyacımız var. Amacımız, sağlık açısından hiçbir olumsuz etkisi olmayan, memnun edici ve taze olarak verilen iç ortam havası temin etmek ve hemen hemen tüm kullanıcılar tarafından rahat kabul edilen bir ısı ortamı yaratmak olmalıdır. Bu amaca erişmek yolunda enerji verimliliğine ve enerjinin sürekliliğinin korunmasına da yeterli önem verilmelidir. Bu konuyu uygulamada yürür hale getirmek için gerekli bilgiye sahip miyiz? Evet, ısı konforu konusunda kapsamlı bir veri tabanımız var ancak iç ortam hava kalitesine ilişkin bilgilerimizde hala eksiklikler bulunuyor. Bu durum ise iç ortam hava kalitesi ile insan konforu ve sağlığı arasındaki etkileşimin karmaşıklığının bir göstergesi. Yine de İHK hakkında biraz bilgimiz var, ayrıca insan kullanımı amacıyla iklimlendirilen veya havalandırılan ortamların gelecekteki tasarımında önemli etkileri olacak yeni ve önemli araştırma sonuçları da bulunuyor.

Bu makalede, yarının iç ortamlarında mükemmelliğin sağlanması açısından esas

## SAĞLIKLI ve İYİ İÇ ORTAMIN BİR BEDELİ VARDIR

Uluslararası İç Ortam ve Enerji Merkezinin de yapılan yeni araştırmaların sonuçları, iç ortam hava kalitesinin işyeri çalışanlarının üretkenliği üzerinde kaydedeğer ve pozitif bir etkisi olduğunu belgeleyen ilk sonuçlardır (6). İyi kontrol edilen normal bir işyerinde, ek bir kirlenme kaynağı kullanılmak ve dahil etmek veya edilmemek suretiyle iki farklı hava kalitesi elde edildi. Bu iki vaka, iç ortam tasarımına ilişkin Avrupa yönetmeliklerindeki tanıma göre düşük kirlilikte ve düşük kirlilikte olmayan bina koşullarına uygundu (5). İki ortamda memnun olmayan insan oranı %15 ve %23 idi. Aynı örnekleme grubu her iki hava kalitesinde 4.5 saat süre ile çalıştı. İyi hava kalitesindeki verimliliğin diğer ortama göre %6.5 daha yüksek ( $P < 0,003$ ) olduğu saptandı; bu grupta ayrıca HBS belirtileri de daha seyrek gözlemlendi (6). Bu çalışma daha sonra İsveç'te de yapılmış, benzer sonuç değerleri ve çıkarımlar elde edilmiştir (20). Uluslararası İç Hava Kalitesi Merkezinde kısa süre önce yapılan bir çalışmada ise (21), aynı örnekleme grubu bir işyerinde 3, 10 ve 30 litre/saniye-kişi değerlerinde çalışmış ve iş üretkenliğinin havalandırma oranına paralel olarak önemli ölçüde arttığı saptanmıştır (Şekil 1). Bu sonuçlar gelecekte işyeri çalışanları için sağlıklı hava kalitesinin temin edilmesini daha da teşvik edecektir.

Fisk ve Rosenfeld (7), düşük İHK'nin hastalık, izin ve üretim kaybından dolayı ABD'de yol açtığı ekonomik zararları tahmin etmiştir ve Seppänen (8) de Kuzey Avrupa koşullarında benzer tahminlere varmıştır. Her iki çalışmada ulaşılan çıkarım ve sonuçlar, bu şekilde tahmin edilen kayıpların HVAC sisteminin işletilmesinin maliyetinden daha yük-



ha iyi olmasının bir sebebi de budur.

İç ortama ilişkin yeni Avrupa yönetmeliklerinde (CEN CR 1752) (5), düşük kirlilik yaratan binaların tasarlanması kuvvetle teşvik edilmektedir; daha az kirlilik yaratan yapı malzemelerine ilişkin tavsiyeler verilmektedir. Kirlilik kaynağı malzemelerin kullanılmasından kaynaklanan bilinen SRS belirtilerinin



**Şekil 1: Havalandırma debisine bağlı olarak örneklem grubunun performansı (21).**

sek olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Düşük hava kalitesine benzer şekilde sıcaklıktan kaynaklanan rahatsızlık da üretkenlik ve verimde önemli miktarda azalmalara yol açabilmektedir (9).

## KİRLİLİK KAYNAĞI KONTROLÜ ve HAVALANDIRMA

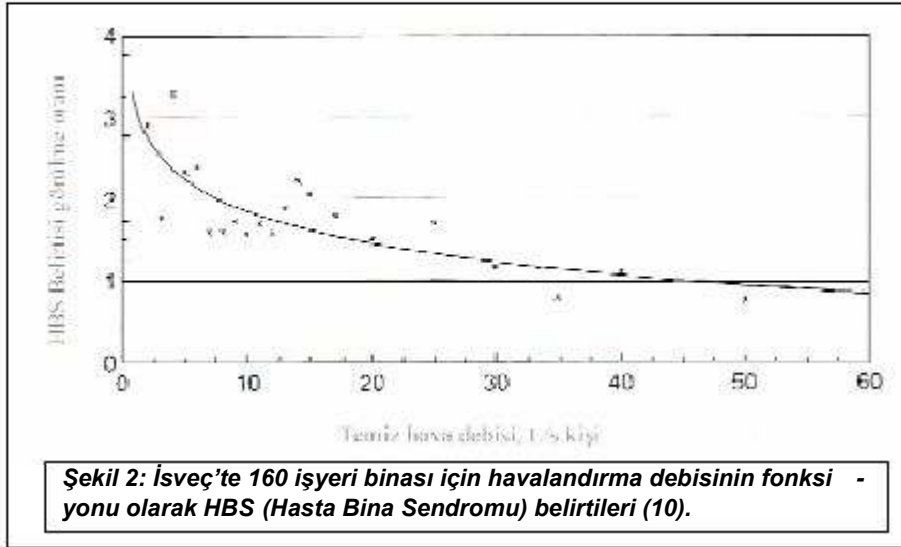
Gereksiz iç ortam hava kirletici kaynaklardan kaçınılması, İHK'ni iyileştirmenin en açık yollarından biridir. Verimlilik ve HBS belirtileri üzerindeki etkisi yukarıda bahsi geçen çalışmalarda sergilenmiştir (6, 20). Kaynak kontrolü dış ortamda da büyük başarı ile kullanılmıştır; zaten günümüzde gelişmiş ülkelerdeki pek çok şehrin dış ortam hava kalitesinin 20 veya 50 yıl öncesinden çok da-

şından kaynaklanan diğer CBS belirtilerinin önlenmesine yönelik sistematik malzeme seçimi birkaç ülkede uygulanmaktadır, ör. İskandinavya'da HVAC sistemi içinde kirlilik kaynaklarının bulunması ciddi bir hatadır, havanın daha iklimlendirilen ortama ulaşmadan önce kalitesinin düşmesine yol açar. Malzemelerin, sistem elemanlarının ve süreçlerin seçiminin yanısıra HVAC sisteminin bakımının yapılması hususlarına gelecekte en yüksek öncelik tanınmalıdır.

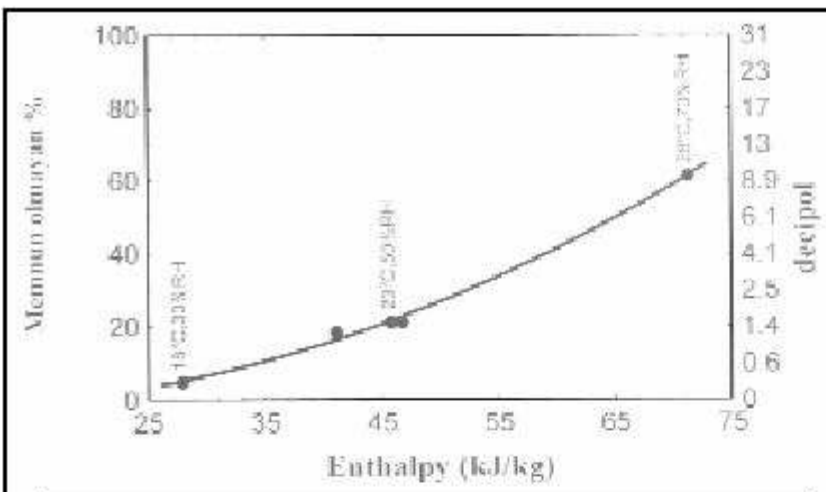
Kaynağın kontrol altına alınması paralelinde enerji tüketiminde de düşüşün sağlanacağı en açık yoldur. Ancak havalandırma da artışının da İHK'sini artırdığı ve HBS belirtilerini azalttığı Sundell'in çalışmaları ile (10) gösterilmiştir (Şekil 2). Enerji imaliyeti bu durumda verimli ısı geri kazanımı ile en aza indirilebilir.

## HAVAYI SERİN ve KURU OLARAK VERİN

Havalandırma standartlarında, iç ortam



**Şekil 2: İsveç'te 160 işyeri binası için havalandırma debisinin fonksiyonu olarak HBS (Hasta Bina Sendromu) belirtileri (10).**



lanan hava kalitesinin, soluduğumuz havanın sıcaklık ve neminden büyük oranda etkilendiğini doğrulamıştır. İnsanlar daha kuru ve serin havayı tercih etmektedir. Nem ve sıcaklığın algılanan hava kalitesi üzerindeki güçlü etkisi 36 adet katılımcının, bir iklim ortamında farklı tipik yapı malzemeleri ile kirlenmiş havanın kabul edile-

nemliliği onyıllardan beri gözardı edilmiştir. Genel olarak kabul edilen, bağıl nem oranının, yaklaşık olarak %30 ve %70 arasında tutulduğu sürece ortamdaki insanlar için önemsiz olduğu kanısı olmuştur (5,4). Bu yaklaşımın çıkış noktası ise aslında, konfor sıcaklık aralığında nemlilik oranının insan vücudunun ısı algılama mekanizmasında çok küçük etkisinin olmasıdır (11, 12).

Mevcut tüm havalandırma standartları ve yönetmelikleri şu mantık yapısına dayanmaktadır: Bir ortamda belirli kirlilik kaynakları vardır ve kimyasal kirlilik unsurlarının insanlar için kabul edilebilir seviyelere seyreltilmesi için havalandırma gereklidir. Bu düşünce yapısı, havanın yalnızca koku alma ve kimyasal duyularla algılandığı ve algılamanın yalnızca ortam havasının kimyasal yapısına dayandığı varsayımlarına dayanır. Buradan çıkarılan sonuç ise gerekli havalandırma debisinin sıcaklık ve nemden bağımsız olduğudur. Ancak 1989 yılında Berglund ve Cain tarafından sunulan çalışma, bir iklim ortamında temiz havanın algılanmasında sıcaklık ve nemliliğin de etkisi olduğunu göstermektedir (13).

Uluslararası İç Ortam ve Enerji Merkezinde yeni yapılan kapsamlı araştırmalar, algı

tır(14).

Şekil 3'te de görüldüğü üzere, algılanan hava kalitesi için esas teşkil eden unsur, havanın entalpisinde biraraya getirilen nem ve sıcaklığın etkisidir. Havanın kimyasal yapısı sabit tutularak, tüm vücudun sıcaklık duyusu da deneye katılanların giysilerinde değişiklik yapılmak suretiyle nötr tutularak yalnızca havanın entalpsi değiştirilmiştir. Kabul edilebilirlik zaman içinde değişmemiştir, bir diğer deyişle herhangi bir adaptasyon gerçekleşmemiştir.

Entalpinin algılanan hava kalitesi üzerinde etkisi memnun olmayan yüzdesi veya decipol cinsinden ifade edilmiştir. Uluslararası İç Ortam ve Enerji Merkezinde yapılan başka iki adet bağımsız çalışmada da yaklaşık 70 kişilik örneklem grubu yüzlerine doğru verilen havada çeşitli nem ve sıcaklık koşullarına maruz bırakılmış entalpi ile kabul edilebilirlik arasında mükemmel bir korelasyon saptanmış, entalpinin etkisi daha da güçlü olmuştur (15, 16).

İnsanların, havanın her solunmasında solunum yolunun serinlemesi duygusundan hoşlandığı açıktır. Bu işlem, hoşça giden bir tazelik duygusu verir. Doğru soğutma sağlanmazsa hava bayat, boğucu ve kabul edile

mez gelebilir. Yüksek bir entalpi, solunan havanın soğutma gücünün daha düşük olması anlamına gelir, bu yüzden de solunum yolunun konvektif ve buharlaşma yolu ile soğutulmasında da yetersizlik söz konusu olur; özellikle de burunda. Bu şekilde ortaya çıkan soğutma yetersizliği doğrudan, algılanan hava kalitesinin düşük olduğu duygusuna yol açar. Bu görüntü, alınan içeceklerin algılanan kalitelerinde sıcaklığın bilinen güçlü etkisi ile eşdeğer sayılabilir, ör. su veya şarabın sıcak veya soğuk tüketilmesi gibi.

Soluma ile ısı kaybı vücudun toplam ısı kaybının yalnızca %10'u civarındadır ve bu yüzden, bir bütün olarak vücudun ısı durumunda solunan havanın çok küçük bir rolü vardır. Bu durum muhtemelen, nemlilik oranının

Ortalamada daha düşük bir nemlilik oranının yanısıra, vücudun bir bütün olarak ısı nötralliği için gereken aralığın alt sınırında bir sıcaklığın muhafaza edilmesi avantajlıdır. Bu şekilde algılanan hava kalitesi iyileşecek ve gerekli havalandırma oranı azalacaktır. Saha çalışmaları (18,19), orta derecelerde hava sıcaklıkları ve nem oranlarının HBS belirtilerinde de azalmalara yol açtığını göstermektedir. Orta sıcaklıklar ve nem oranları daha da ileri aşamada, hem yazın hem kışın olası enerji tasarrufları ile sonuçlanabilir. Bu yüzden tavsiyemiz şudur: Havayı serin ve kuru verin.

### **HAVAYI TÜKETİLDİĞİ YERE VERİN**

Havalandırılan pek çok odada, ortama ve

ninin bugüne dek gozarı edilmiş olmasının nedenidir. Yeni çalışmalar ise sıcaklık ve nem solunum yolu üzerindeki lokal etkisinin ve bunun sonucu olarak da algılanan hava kalitesi üzerindeki etkisinin tüm vücut ısı algılarından on kat daha büyük olduğunu göstermektedir. Bu yeni bulgunun uygulamada oldukça çarpıcı ve kaydadeğer sonuçları vardır. Entalpinin havalandırma ihtiyaçları üzerinde ve bunun sonucu olarak da enerji tüketimi üzerinde güçlü bir etkisi bulunduğu açıktır. Fang ve arkadaşları (17) en son yaptıkları çalışma ile 20°C ve %40 BN'de ve 3.5 l/s.kişi gibi düşük bir havalandırma debisinde insanların İHK'ni algılamalarının, 10 l/s.kişi havalandırma debisinde %50 BN (bağıl nem)'de 23 °C sıcaklıkta algıladıklarına göre çok daha iyi olduğunu göstermiştir.



**Şekil 4: Kişiselleştirilmiş Hava (KH) Prensibi: Küçük miktarlarda serin, kuru ve temiz hava doğrudan ve nazikçe kullanıcının soluma bölgesine verilir.**

bazen de ETS ile kirlenir.

Normal mühendislik uygulamalarına göre, temiz havanın ve kirlilik kaynaklarının tam karışımı bir ideal kabul edilir. Deplasmanlı havalandırma sistemlerinde, 1.2 gibi bir havalandırma veriminin elde edilmesinden gurur duyulabilir. Gelecekte olmasını tahmin ettim sistemler ise her bir bireyin soluma bölgesi yakınına küçük miktarlarda temiz hava veren sistemlerdir. Burada düşünce her bir kullanıcıya, havada bulunabilecek kirlilik kaynaklarından mümkün olduğunca az etkilenmiş temiz hava sunulmasıdır. Genellikle, insan bioeffluentleri ile kirlenmiş bir yüzme havuzundan su içmeden önce duraksanız herhalde. Ancak insan bioeffluentleri ve diğer kirlilik kaynaklarıncı kirletilmiş iç ortam havasını solumayı kabul edebiliyoruz. Tüm iç ortama ortalama kalitede hava beslemek için se neden her bir kullanıcıya yüksek kalitede havayı doğrudan verelim? Bir işyerinde bu şekilde Kişiselleştirilmiş Hava (KH), ma-

şılabeledik bir uygulama olarak devam ettirilecekse bir işyerindeki havanın, kullanıcıların herhangi biri tarafından tercih edilen en düşük sıcaklığa karşılık gelen makul düşük bir sıcaklıkta tutulması önerilir. Bir işyerinde bu sıcaklık, yeterli ve uygun soğuk hava solunabilmesi için 20°C veya 21°C olabilir. Diğer tüm kullanıcılar ise orta değerlerde ek lokal ısıtmaya ihtiyaç duyacaktır; bu da kendi arzu ettikleri çalışma sıcaklığından ayarlanabilecektir. Bu küçük çaplı ısıtma yüklerinin radyasyon veya iletim ile sağlanması önemlidir, bu şekilde iç ortam havasının serinliği ve solunum rahatlığı muhafaza edilecektir.

## SONUÇLAR

İç ortam, pek çok binada genellikle vasat niteliklidir ve mevcut standartlara uyulmuş olmasına karşın sık sık şikayetlere yol açar. Yarın için, günümüzdeki memnuniyet-

sa üzerindeki PC'nin yanında bulunan bir menfezden verilebilir (Şekil 4). Kullanıcı te -  
miz, serin ve kuru havayı doğrudan jet çıkış  
merkezinden soluyabilecektir. Burada solu -  
nan hava, kirli iç ortam havası ile karışma -  
mıştır ve kuruluk yaratmayacak şekilde dü -  
şük hız ve türbülansa sunulur.

Burada dikkat edilmesi gereken bir husus  
da kişiselleştirilmiş havanın tüm vücut ısı  
konforu ile hiçbir ilgisi olmadığıdır, bu ihtiyaç  
ise başka yollarla karşılanmalıdır (aşağıya  
bkz.).

## BİREYSEL ISIL KONTROL

Pek çok insanın aynı mekanı paylaştığı  
binalarda herkes için ısı konforunun aynı anda  
sağlanması zor olabilir. Tercih edilen sıcak -  
lıklarda insandan insana önemli farklar ol -  
maktadır, bu farklı ihtiyaçların karşılanması  
için bireysel ısı kontrol da net bir çözümdür.  
Havalandırma havasının karıştırılması alı -

sizlik ve şikayetleri azaltma çabalarının yeri -  
ne vasat seviyedeki iç ortam havasından mü -  
kemmeli seviyedeki iç ortam koşullarına ge -  
çiş yaşanacağı öngörülmektedir.

-Bu şekilde yeni bir mükemmellik yaklaşı -  
mının gerçekleştirilmesinde aşağıdaki  
prensipler yararlı olabilir.

• Daha iyi kalitede hava, daha yüksek ve -  
rimlilik ve daha seyrek HBS belirtileri ile so -  
nuçlanarak kendi maliyetini çıkaracaktır.

• İnsanlar için havanın serin ve kuru ola -  
rak verilmesi gerekir.

• Düşük miktarlarda temiz hava, tüketildi -  
ği bölgeye verilmelidir, bir diğer deyişle "ki -  
şiselleştirilmiş hava" her bireyin soluma  
bölgesinin yakınına verilmelidir.

• Gereksiz kirlilik kaynaklarından kaçınıl -  
malıdır.

• Bireysel ısı kontrol sağlanarak ısı ter -  
cihleri açısından kişisel farklılıklar karşıla -  
nabilmelidir.

Yukarıdaki mükemmellik prensipleri enerji  
verimliliği ve sürekliliği açısından da uygun -  
dur.

## TEŞEKKÜR

Danimarka Teknik Araştırma Konseyi'ne,  
Uluslararası İç Ortam ve Enerji Merkezine  
katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

## REFERANSLAR

1. Fisk, W.J., Mendell, M.J., Daisey, J.M.,  
Faulkner, D., Hodgson, A.T., Macher, J.M.,  
1993, *The California healthy building study,  
Phase 1: a summary, Proc. of Indoor Air '93,  
Vol. 1, pp. 279-284.*

2. Mendell, M.J., 1993, *Non-specific  
symptoms in office workers: a review and  
summary of the epidemiologic literature, In -  
door Air, Vol. 3, pp. 227-236.*

3. Bluysen, P.M., de Oliveira Fernandes,  
E., Groes, L., Clausen, G., Fanger, P.O.,  
Valbjørn, O., Bernhard, C.A., Roulet C.A.,  
1996, *European indoor air quality audit pro -  
ject in 56 office buildings, Indoor Air, Vo. 6,  
pp. 221-238.*

4. ASHRAE Standard 62-1989, 1989,  
*Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality,*

*Air, Vol. 7, pp. 158-172 (Errata in Indoor Air,  
1998, Vol. 8, p. 301).*

8. Seppänen, O., 1999, *Estimated cost of  
indoor climate in Finnish buildings. Proc. of  
Indoor Air '99, Edinburg, Vol. 4, pp. 13-18.*

9. Wyon, D.P., 1996, *Estimated cost of in -  
door climate in Finnish buildings. Proc. of  
IAQ '96, Atlanta, GA, American Society for  
Heating, Refrigerating and Air-Conditioning  
Engineers, pp. 5-15.*

10. Sundell, J., 1994, *On the association  
between building ventilation characteristics,  
some indoor environmental exposures, some  
allergic manifestations and subjective symp -  
tom reports, Indoor Air, Supplement No. 2.*

11. *Thermal Environmental Conditions for  
Human Occupancy, 1992. Atlanta, GA, Ame -  
rican Society of Heating, Refrigerating and  
Air-Conditioning Engineers (ANSI/ASHRAE  
Standard 55. 1992).*

12. *International Organization for Stan -  
dardization, 1993, Moderate Thermal Envi -  
ronments - Determination of the PMV and  
PPD Indices and Specification of the Condi -  
tions for Thermal Comfort (EN ISO Standard  
7730).*

13. Berglund, L., Cain, W.S. 1989. *Perce*

Atlanta, USA, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

5. CEN, 1998, *Ventilation for Buildings: Design Criteria for the Indoor Environment*, Brussels, European Committee for Standardization (CR 1752).

6. Wargocki, P., Wyon, D.P., Baik, Y.K., Clausen, G., Fanger, P.O. 1999, *Perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity in an office with two different pollution loads*, *Indoor Air*, Vol. 9, No. 3, pp. 165-179.

7. Fisk, W.J. and Rosenfeld, A.H., 1997, *Estimates of improved productivity and health from better indoor environments*, *Indoor*

*air quality and the thermal environment*, Proc. of IAQ '89: *The Human Equation: Health and Comfort*, Atlanta, GA, American Society of Heating, Ventilating and Air-Conditioning Engineers, pp. 93-99.

14. Fang, L., Clausen, G., Fanger, P.O., 1997, *Impact of temperature and humidity on perception of indoor air quality during immediate and longer whole-body exposure*, *Indoor Air*, Vol. 8, No. 4, pp. 276-184.

15. Fang, L., Clausen, G., Fanger, P.O., 1998, *Impact of temperature and humidity on the perception of indoor air quality*, *Indoor Air*, Vol. 8, No. 2, pp. 80-90.

16. Toftum, J., Jorgensen, A.S., Fanger, P.O., 1998, *Upper limits for air humidity to*

---

*prevent jarm respiratory discomfort*, *Energy in Buildings*, Vol. 28, No. 1, pp. 15-23.

17. Fang, L., Wargocki, P., Witterseh, T., Clausen, G., Fanger, P.O., 1999, *Field study on the impact of temperature, humidity and ventilation on perceived air quality*, Proc. of *Indoor Air '99*, Vol. 2, pp. 107-112.

18. Andersson, N.H., Frisk, P., Löfstedt, B., Wyon, D.P., 1975, *Human Responses to Dry, Humidified and Intermittently Humidified Air in Large Office Buildings*. Gävle, Swedish Building Research (D11).

19. Krogstad, A.L., Swanbeck, G., Barregård, L. et al., 1991, *Besvär vid kontorsarbete med olika temperaturer i arbetslokalen -*

*prospektiv undersökning [A prospective study of indoor climate problems at different temperatures in offices]*, Göteborg, Volvo Truck Corp.

20. Lagercrantz, L., Wistrand, M., Willén, U., Wargocki, P., Wittirseh, T., Sundell, J., 2000, *Negative impact of air pollution on productivity: previous Danish findings repeated in new Swedish test room*, Paper submitted to *Healthy Buildings 2000*.

21. Wargocki, P., Fanger, P.O., 1999, *Impact of ventilation rates on SBS symptoms and productivity in offices*, Proc. of *DKV-Jahrestagung*, Berlin, Vol. IV.

