

Människors upplevelse av lufthastighetsvariationer

**Slutrapport för delprogram inom ELAN-
programmet**

Elforsk rapport 06:27

Människors upplevelse av lufthastighetsvariationer

**Slutrapport för delprogram inom ELAN-
programmet**

Elforsk rapport 06:27

Förord

Projektet har utförts inom ELAN-programmet, ett forskningsprogram kring elanvändning och beteenden på en avreglerad elmarknad. ELANs huvudfinansiärer är energiföretagen E.ON Sverige AB, Eskilstuna Energi & Miljö, Fortum, Göteborg Energi AB, Göteborg Energis forskningsstiftelse, Jämtkraft AB, Skellefteå Kraft AB, Skånska Energi AB, Umeå Energi AB och Vattenfall AB via Elforsk (Svenska Elföretagens Forsknings- och Utvecklings AB) samt Statens energimyndighet och Formas. Mer information om ELAN-programmet finns på www.elanprogram.nu.

Sammanfattning

Projektets övergripande syfte var att spara elenergi och minska effektuttaget i situationer med höga lufttemperaturer i lokaler som annars skulle kräva elenergi för kylning. Genom att generera hastighetsvariationer i de områden i lokalen där människor befinner sig skapas en tolerans för ökad lufttemperatur. Därigenom löses inneklimatproblemet utan någon extra elenergiförbrukning och ett lägre effektuttag. Metoderna för att skapa variationerna baseras på att endast små ingrepp behöver göras i befintliga installationer och kan därför tillämpas i många olika typer av lokaler. En hypotes är också att variationerna är prestationshöjande genom att variationer skapar stimulans. I projektet har metoder för att skapa hastighetsvariationer utvecklats och försök med försökspersoner genomförts. I alla försök har temperaturökningen varit densamma för referensgrupp och exponeringsgrupp. Referensgruppen exponerades för ett normalt hastighetsfält utan styrda variationerna meddans exponeringsgruppen utsattes för styrda hastighetsvariationer.

Resultaten visar att människor påverkas positivt av hastighetsvariationerna. Personer som exponerats för hastighetsvariationer upplever att temperaturökningen är mindre än vad personer i referensgruppen anser. De bibehåller även sin aktivitetsnivå och positiva sinnesstämning i större utsträckning.

Produkten som skapas av projektet är en helt ny produkt som löser kunders inneklimatproblem med maximal eleffektivitet genom att nästan ingen extra el förbrukas. Det är därför en mycket konkurrenskraftig produkt som elföretag med ett tjänstesäljande perspektiv kan erbjuda sina kunder och den har ett brett tillämpningsområde och därmed en stor marknad. Metoden är lämplig att använda i byggnader där man under begränsade tider har för hög temperatur.

Detta projekt är också ett bidrag till en början på en storskalig energibesparing och begränsning av effektuttaget genom att förändra synen på dagens rigida komfortkrav som för att uppfyllas kräver mycket energi och hög effekt. Dagens krav är ett hinder för att skapa energieffektiva lösningar som tillfredställer människors komfortbehov.

Summary

The main objective in this project has been to investigate the possibility to save energy and reduce power in situations where the room temperatures were too high. By generating air velocity variations in the occupied zone people gets more tolerant against increased room temperature. The methods to generate variations only require small adjustments of the existing ventilation system, which means that it could be used in many different types of settings.

In the present project the methods to generate air velocity variations have been developed and tests with subjects have been performed. In all experiments a control group and an exposure group have been exposed to the same thermal environment except the air velocity. A normal velocity field, without any variations, were used for the control group, whereas the others were exposed to a controlled velocity variation.

The results show that velocity variations do influence people in a positive way. Subjects that where exposed to velocity variations were less effected by the rise in room temperature. They also tend to remain their level of activation and positive mode. This project generates a new product that solves the problem with to high indoor temperatures. The solution has high electrical energy efficiency as it reduces the consumption of electric energy. Which means that it is a competitive product that the utilities could offer their customers. The variation method is suitable in settings where the room temperature is too high during limited periods.

Further this work is a contribution for a large-scale energy saving and power limitation as it tries to change today's comfort standard. Today's comfort standard requires a lot of energy and high power to be fulfilled, which makes it difficult to generate energy-efficient solutions that will satisfy people's need for comfort.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	2
1.2	MÅL.....	3
2	PROJEKTPRESENTATION.....	4
3	GENOMFÖRD VERKSAMHET.....	5
4	UPPNÅDDA RESULTAT	6
5	NATIONELLT OCH INTERNATIONELLT SAMARBETE SAMT INFORMATIONSAKTIVITETER.....	7
6	SLUTSATSER.....	8
7	REFERENSER	9

1 Inledning

Ca fyrtio procent av Sveriges energiförbrukning används för att tillfredsställa människors behov av komfort. En stor andel av denna energi är elenergi. Därför är formulering av komfortvillkor och val av tekniska lösningar för att uppfylla behoven starkt relaterad till elenergiförbrukning.

Våra byggnader med kontor och lokaler har en hög värmeisoleringsstandard. I många av dessa byggnader har de interna värmelasterna ökat vilket har lett till för höga inomhustemperaturen vilket medför dålig termisk komfort. I extrema fall får man kyla praktiskt tagit hela året. Men i många fall har man problem med för höga temperaturer under endast kortare tidsperioder. I ett första skede är dessa byggnader lämpliga för hastighetsvariationsmetoden. En viktig förutsättning är också att det mesta redan är byggt och den tekniska lösningen måste därför kunna genomföras genom små modifieringar av befintliga installationer. Den tekniska lösningen skall baseras på användning av standardkomponenter. Metoden för att skapa temperaturökningstolerans hos människor baseras på att generera lufthastighetsvariationer med ett bibehållet medelluftflöde. Därigenom löses inneklimatproblem utan att någon extra energi förbrukas. Den *icke* använda energin är den största besparing som kan uppnås. Dessutom baseras metoden på att små ingrepp görs i befintliga lokaler vilket medför en låg investeringskostnad. En hypotes är också att "Variationsmetoden" som används i projektet förväntas också förhöja prestationsförmågan hos personer.

I kontorsfastigheter är den största kostnaden per kvadratmeter personalens löner. I en sådan miljö är den prestationshöjande effekten hos personer den faktor som ger den största "besparingen". För elföretagen med ett tjänstesäljande perspektiv är detta en ny kraftfull produkt som kan erbjudas kunder.

Projektet stöttas ekonomiskt av ett fastighetsbolag som "äger" problemet genom att man tidvis har för höga temperaturer i sina skolfastigheter. Det är ett gemensamt problem för de flesta av Sveriges kommuner. Försöken genomförs därför i en skollokal. Men detta är ingen begränsning för tillämpningen av metoden i andra lokaler och i andra typer av fastigheter. Tvärt om, tillämpning av metoden i en lektionssal är ett av de svårare fallen genom att man skall åstadkomma variationer inom en stor vistelsezon. Tillämpning av metoden i ett cellkontor är mycket enklare. Metoden kan användas för att skapa en "temperaturökningstolerans" i kontorsfastigheter där temperaturen under vissa begränsade tider blir för hög. I de fall man ej har problem med höga temperaturer har variationsmetoden en potential att vara prestationshöjande. Därför har metoden en generell tillämpbarhet. I ett längre perspektiv kommer detta projekt att bidra till energibesparing genom att förändra synen på dagens rigida komfortkrav som i praktisk tillämpning är mycket energikrävande. Dagens krav är ett hinder för att skapa energieffektiva lösningar som tillfredställer människors behov. Projektet bidrar också till utveckling av styr- och ventilationsteknik för mycket flexibel behovsstyrning.

1.1 Bakgrund

Den aktuella synen på komfort domineras av två ”skolor” som populärt kallas för den ”västerländska” och den ”österländska”

-den ”västerländska” kodifierad i ISO standarden, ISO 7730 Moderate thermal environment

-den ”österländska” som ej finns kodifierad i standarder men som finns utmejslad som en värderingsmodell (adaptiv modell).

Det ”västerländska” synsättet är att vi människor föredrar konstanta förhållanden över hela årscykeln, oberoende av omgivningen. Den främste förespråkaren för detta synsätt är Prof. P.O Fanger vid DTU i Danmark. Nyckelbegrepp är indexen PMV(predicted mean vote) och PPD (predicted percentage dissatisfied).

Det ”österländska” synsättet är att vi människor inom ett stort intervall anpassar oss till olika förhållanden. En av föregrundsfigurerna för denna syn har varit M.A. Humphreys från England((1978) Outdoor Temperature and Comfort indoors. Building Research and Practice(*J CIB*),6(2) pp 92-105). Den nu främste företrädaren för detta synsätt är Richard de Dear från Australien (deDear, R & Brager,G (1998) Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *ASHRAE Transactions* 104 (1)).

Den vetenskapliga basen för den västerländska ISO standarden kommer från klimatkammarförsök medan den vetenskapliga basen för det österländska synsättet är observationer av människors beteende i deras naturliga miljö. I det ”västerländska synsättet” har man utgått ifrån de lösningar som de nya luftkonditionerings-, ventilations- och reglertekniken erbjöd. Denna ca 100 åriga teknikutveckling är intimt förknippad med utveckling och distribution av billig elenergi. Den nya teknikens möjligheter utnyttjades till att skapa maximal kontroll, dvs. i stort sett helt konstanta förhållanden. Ett uttryck som användes under första halvan av nittonhundratalet var ”man-made weather”, se Air-Conditioning America: Engineers and the Controlled Environment, 1900-1960 (Johns Hopkins Studies in the History of Technology. New Series, 23)). Från ett tillstånd där variationer i klimatet ingick som en naturlig del och som människors exponerats för i tusentals år övergick man under en mycket kort period till ett tillstånd med i stort sett helt konstanta förhållanden. Man kan förstå detta i ett teknikutvecklingsperspektiv. Den nya teknikens styrka demonstrerades, dvs. att den kunde behärska (bemästra) det tidigare okontrollerade tillståndet. Men man har antaget att konstanta förhållanden är det människor vill ha utan att fråga vad människor egentligen föredrar.

Kritiken mot de rigida komfortvillkoren som i praktisk tillämpning medför en mycket stor energiförbrukning har under senare år varit mycket omfattande. Detta har lett till att Fanger numera kallar sina komfortvillkor för ”conditions of excellence” (Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century Cumberland Lodge, Windsor 5 –8 April 2001, Conference Proceedings). Vi uppfattar dagens rigida komfortvillkor som ett kanske nödvändigt delsteg i en utveckling men inte de bästa och absolut inte de realistiska komfortvillkoren ur tillämpningssynpunkt. Det nästa naturliga steget är att undersöka vilka kontrollerade variationer människor föredrar. Det är i denna fas av teknikutvecklingen som vårt projekt kommer in. En annan kritik som framförs mot

Fanger är det sätt som hans försök har genomförts på. Försöken har genomförts i mycket artificiella klimatkamrar (stålkamrar) med en miljö långt ifrån den som finns i verkligheten. Detta har vi tagit lärdom av och våra försök genomförs i en miljö som efterliknar försökspersonernas naturliga miljö så långt som möjligt.

Det finns indikationer på att lämpliga variationer upplevs positivt men det finns inga systematiska studier genomförda för de förhållanden som råder i norra Europa. Det är känt att fönstervädring under en kortare tidsperiod upplevs positivt. Den huvudsakliga effekten av en kort fönstervädring är i själva verket att man åstadkommer en förändring under en kort tidsperiod vilket stöder hypotesen. Det är också en allmänmänsklig erfarenhet att vi människor vill ha variationer.

Vissa sporadiska studier av effekter av variationer finns rapporterade från förhållanden i områden med extremt varmt klimat, tex. områden med tropiskt klimat med en kombination av höga temperaturer och hög fuktighet. I sådana klimat är svettning en dominerande mekanism för att konstanthålla kroppstemperaturen. Hastigheterna är ofta över 1 m/s.

1.2 Mål

Forskningen syftar till att undersöka möjligheterna att använda styrda variationer i inomhusklimatet för att spara energi och tillgodose brukarnas krav under perioder med hög termisk belastning som genererar en stigande rumstemperatur. Forskningsförslaget baseras på hypotesen att variationer (förändringar) i lufthastighet, som genererar en variation i upplevd temperatur, upplevs positivt av människor, trots en stigande rumstemperatur. Hypotesen är att det är *förändringen i sig själv* som har en positiv inverkan på den termiska komforten. Ett exempel är en situation där temperaturen i rummet kan vara relativt hög och då upplevs en hög lufthastighet under en kortare tidsperiod positiv.

Det *vetenskapliga målet* med forskningen är att ge generell kunskap om hur snabba klimatvariationer påverkar människan.

Det *praktiska målet* är att ta fram en hastighetsvariationsprofil skapad av ventilation och/eller omrörningsfläktar som har en positiv inverkan på den termiska komforten hos brukarna under perioder med höga inomhustemperaturer.

2 Projektpresentation

Ett komfortabelt inomhusklimat, enligt nu rådande standard, uppnås om luftens temperatur hålls i det närmaste konstant. I lokaler med hög termisk last är det ofta svårt att transportera bort värmen. Det kräver dessutom installerad kyleffekt och förbrukar energi. En alternativ strategi är att låta luftens temperatur stiga och bara kyla personerna i lokalen genom att öka luftens hastighet, så kallad konvektiv kylning.

Ett problem med konstanta luftrörelser är att många människor upplever det som drag, en icke önskvärd lokal avkylning av huden.

I projektet har den konvektiva kylmetoden utvecklats i syfte att försöka undvika dragproblem. Hypotesen var att varierande lufthastighet kan generera en termiskt komfortabel situation utan att samtidigt skapa drag.

De parametrar som påverkar den termiska komforten är metabolism, klädselns isolation, strålningstemperatur, luftens temperatur, luftens fuktighet och luftens hastighet. Förutsättningen i det här projektet är att tillåta rumstemperaturen stiga för att kunna undersöka om hastighetsvariationer ger en ökad "temperaturtålighet". För att det ska vara möjligt att utvärdera om hastighetsvariationerna påverkar den termiska komforten gäller det att endast variabeln lufthastighet är olika för försökspersonerna i referensgrupp respektive exponeringsgrupp. Detta åstadkoms genom följande förutsättningar för respektive variabel;

Metabolism, alla försökspersoner arbetar på samma aktivitetsnivå och i samma sittande kroppsställning.

Klädselns isolation, alla försökspersoner uppmanas att anpassa sin klädsel till en välbekant termisk situation. Vilket ger en för individen anpassad isolation inför den förväntade situationen.

Strålningstemperatur, alla ytor i försökslokalen håller samma temperatur då experimenten startar.

Luftens temperatur, alla försökspersoner utsätts för samma temperaturökning genom att lokalens termiska last, tilluftens temperatur och medelluftflödet är lika.

Luftens fuktighet, samma fuktighet i tilluften och lika många personer i lokalen.

För att minimera inverkan av personliga preferenser har alla upplevelse- och prestationsmätningar genomförts två gånger vid varje försök.

3 Genomförd verksamhet

Arbetet har bestått av två delar.

- En rent teknisk del där olika tekniker för att generera ett homogent hastighetsfält i vistelsezonen och olika metoder för att styra hastighetsvariationerna studerats. Vid dessa studier simulerades personnärvaro genom användning av termiska mannekänger. En termisk mannekäng avger i det här fallet lika mycket värmeenergi som en person som sitter ned och utför normalt kontorsarbete. De har en yttemperatur liknande en människas.
- En beteendevetenskaplig del där försökspersonernas upplevelse av inomhusklimatet och deras prestationsförmåga mättes under kontrollerade försöksbetingelser. Försöken genomfördes som laboratorieförsök i en lokal uppbyggd som en realistisk skolsal där försökspersonerna arbetade med uppgifter liknande normalt skolarbete. Syftet var att placera försökspersonerna i en miljö de är van vid till skillnad från klimatkammarförsök som använts i andra studier.

4 Uppnådda resultat

Studierna visar att ett internt kanalbundet system där luftstrålen blåser rakt uppifrån ner har störst förmåga att generera ett homogent och stabilt hastighetsfält i vistelsezonen (ref. 1, 3, 6). Det är svårt att generera homogena hastighetsfält med hög hastighet över stora zoner (ref. 1). De korta höghastighetspulserna påverkar den totala värmeavgivningen ifrån människokroppen i liten utsträckning. För händer och huvud är däremot ökningen i värmeavgivning 20 % under pulsen (ref. 4). Resultaten visar att människor påverkas positivt av hastighetsvariationerna. Personer som exponerats för hastighetsvariationer upplever att temperaturökningen är mindre än vad personer i referensgruppen anser. De bibehåller även sin aktivitetsnivå och positiva sinnesstämning i större utsträckning (ref. 2, 5, 6). Ett problem med konstanta luftrörelser är att många människor upplever det som drag, en icke önskvärd lokal avkylning av huden. Genom att variera lufthastigheten och använda hög hastighet under korta perioder (5 min.) upplever endast ett fåtal drag (ref. 6).

Produkten som skapas av projektet är en helt ny produkt som löser kunders inneklimatproblem med maximal el-effektivitet genom att nästan ingen extra el förbrukas. Det är därför en mycket konkurrenskraftig produkt elföretagen kan erbjuda sina kunder och den har därför ett brett tillämpningsområde och därmed en stor marknad. Metoden är lämplig att använda i byggnader där man under begränsade tider har för hög temperatur.

5 Nationellt och internationellt samarbete samt informationsaktiviteter

Under hela projektiden har ett samarbete bedrivits med Stockholms Skolfastigheter AB. På internationell nivå har projektet presenterats vid 4 vetenskapliga konferenser. Två populärvetenskapliga artiklar har publicerats, en i Scanvac newsletter och en i Energi&Miljö. Samarbetet med Stockholms Skolfastigheter AB fortsätter även efter detta projekt där metoden går in i en implementeringsfas. Samarbetet som även stöds av Formas sträcker sig över två år.

6 Slutsatser

- Studierna visar att ett internt kanalbundet system har störst förmåga att generera ett homogent och stabilt hastighetsfält i vistelsezonen, under pulsen med hög hastighet.
- De korta pulserna genererar en ökning av värmeförlusten för händer och huvud med 20 %.
- Variationer i lufthastighet gör att temperaturen upplevs som lägre än vad den faktiskt är.
- Genom att använda hög hastighet under korta perioder upplever endast ett fåtal personer luftrörelserna som drag.
- Personer som exponerats för hastighetsvariationer känner sig mer aktiva och positiva.
- Metoden har hög el-effektivitet eftersom den endast kräver el till fläktar jämfört med konventionell kompressor-kylning.

7 Referenser

- Wigö, H. and Sandberg, M. (2001). Velocity variations in ventilated rooms as a method for creating comfort. Proceedings of 22nd AIVC Conference 2001, 27.1-27.12
- Wigö, H., Knez, I. and Sandberg, M. (2002). Effects of velocity variations in ventilated room on comfort, affect and cognitive performance. Proceedings of 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate 2002, Vol. 4, p 635-640.
- Wigö, H. & Sandberg, M. (2002) Creating velocity variations in a whole room. Proceedings of 8th Int. Conf. on Air Distribution in Rooms 273-276.
- Wigö, H & Nilsson, H. O. (2004) Evaluation of heat loss levels from subjects with a thermal manikin during air velocity and air temperature variations. The International Journal of Ventilation. Vol.3, No. 3, p 219-225.
- Wigö, H.& Knez, I. (2005) Psychological Impact of Air Velocity Variations in Ventilated Room. *Ergonomics* Vol. 48, No. 9, p 1086-1096.
- Wigö, H. (2005) Effects of intermittent air velocity on thermal and draught perception during transient temperature conditions. Submitted to The International Journal of Indoor Environment and Health.
- Wigö, H. and Sandberg, M. (2005). Draught free intermittent cooling at moderate over temperatures by generating pulses of high velocities. Proceedings of 10th International Conference on Indoor Air Quality and Climate 2005, Vol. 1, p 209-213.
- Wigö, H. (2005). Technique and human perception of intermittent air velocity variation. Royal Institute of Technology, Sweden.
Avhandlingen kan laddas ner ifrån:
<http://www.diva-portal.org/kth/theses/abstract.xsql?dbid=423>
- Wigö, H. (2005). Technique and human perception of intermittent air velocity variation. Scanvac Newsletter. 2/2005
SCANVAC – SCANDINAVIAN FEDERATION OF HEATING, VENTILATION AND SANITARY ENGINEERING ASSOCIATIONS IN DENMARK, FINLAND, ICELAND, NORWAY AND SWEDEN
- Sandberg, M., Wigö, H. och Nilsson, H. (2005) Varierad lufthastighet kan lösa problemet med kyla. *Energi&Miljö* No. 2

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS – ELFORSK – AB

Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31

Telefon: 08-677 25 30. Telefax 08-677 25 35

www.elforsk.se