

Energianvändning, innemiljö och beteendevetenskap

- Fas II: Behov och behovsstyrning

**Slutrapport för delprogram inom ELAN-
programmet**

Elforsk rapport 06:26

Energianvändning, innemiljö och beteendevetenskap

- Fas II: Behov och behovsstyrning

**Slutrapport för delprogram inom ELAN-
programmet**

Elforsk rapport 06:26

Avdelningen för Installationsteknik

CHALMERS



Per Fahlén, Andreas Karlsson, Bertil Thomas, Jan Gustén, Jennie Skoog, Lennart Jagemar, Mohsen Soleimani Mohseni, Niklas Fransson Februari 2006

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.

Forskningen inom projektet ”Energianvändning, inomhusmiljö och beteendevetenskap – Fas II: Behov och behovstyrning” har finansierats av:

- ELAN-programmet, anslag nr. 4184-CTH (finansierande företag anges ovan)
- Formas anslag 24.2/2002-0839
- Energimyndighetens anslag dnr 411-2004-02112, proj.nr. 21898-1
- EU-projektet EBOB
- Chalmers tekniska högskola AB

samt av företagen SenseAir AB, TAC AB, Västfastigheter och ÅF Infrastruktur AB

Sammanfattning

Klimathållning i byggnader svarar för mer än en tredjedel av såväl total energianvändning som el-användning i Sverige. I de flesta byggnader dominerar behovet för luftbehandling och därmed blir detta också en viktig faktor för energiföretagen att förhålla sig till. Det är svårt och dyrt att få till stånd ny tillförsel av el och bedömningar inom EU hävdar att det framtida energibehovet endast till hälften kan lösas med ny tillförsel. Resten måste åstadkommas genom effektivisering.

Inom ELAN-programmet har avdelningen för installationsteknik vid Chalmers tekniska högskola under perioden 2002-2006 genomfört projektet ”Energianvändning, inomhusmiljö och beteendevetenskap – Fas II: Behov och behovstyrning”. Projektet har omfattat delprojekten ”Brukarnas upplevelser och behov”, ”Integrerad, intelligent behovstyrning” och ”Behovsstyrd ventilation – Strömningstekniska konsekvenser”. Delprojektet om strömningstekniska konsekvenser har omfattat både kanalsystem, finansierat av ELAN och Formas, och tilluftsdon, som direktfinansierats av Energimyndigheten.

Människor har individuella behov och preferenser beträffande inomhusmiljön och byggnader har olika förutsättningar och nyttjandegrad. I många byggnader är inomhusmiljön otillfredsställande, medan kraven, framförallt på arbetsplatser, ökar. Om inte kunskapen om människors faktiska behov i olika situationer ökar och det kommer fram bättre tekniska lösningar kommer energi- och framförallt el-behovet att öka. Arbetshypotesen för projektet har varit att det finns tekniska lösningar och möjligheter att på ett intelligentare sätt koppla tillförsel och individuellt behov och därmed säkra ”*Rätt mängd och rätt kvalitet i rätt tid och på rätt plats*”.

Forskningens övergripande mål har varit att genom ökad kunskap om kopplingen mellan människa och teknik ge förutsättningar för att skapa bättre inomhusmiljö med minskad användning av energi även i komplicerade miljöer som sjukhus och livsmedelsbutiker. Kunskap om hur den upplevda inomhusmiljön påverkas av situationen för olika persongrupper, t.ex. personal och patienter, behövs för att kunna överföra behoven till mätbara storheter. Ett delmål har varit att studera möjligheterna att med hjälp av dessa storheter anpassa försörjningen efter faktiska behov med hjälp av avancerad styr- och reglerteknik. Detta har innefattat att gå från detaljstudier av specifika reglerproblem till att studera integrerad behovstyrning. Ett annat delmål har varit att undersöka vilka konsekvenser variationer i behoven får för system- och komponentkrav i t.ex. ventilationssystem.

Sammanfattning av resultat

Arbetet har genomförts med hjälp av litteraturstudier, enkätundersökningar, mätningar i verkliga lokaler (framförallt sjukhus), vissa laboratorieundersökningar samt modellering och simulering. Resultaten visar att enkäter, som vi utvecklat för kontorsmiljöer, även fungerar på sjukhus. Trots skilda förutsättningar mellan patienter och personal är båda grupperna rimligt tillfredsställda med det termiska klimatet. Däremot finns en tendens till att båda grupperna upplever luften som torr oavsett luftens faktiska tillstånd. Att okritiskt införa befuktning skulle därmed i onödan komplicera och fördyra anläggningen och samtidigt öka energianvändningen samt risken för andra problem.

Andra resultat visar att det är möjligt att förbättra inomhusklimatet och samtidigt minska energianvändningen genom att utnyttja reglertekniska hjälpmedel som dödband och framkoppling eller prediktion. Genom att koppla den komfortzon som gäller för en viss persongrupp till ett lämpligt dödband kan en enkel regulator t.o.m. ge bättre komfort och lägre energianvändning än en mer komplicerad traditionell lösning. Det har också visat sig att neurala nätverk kan användas både för parameteridentifiering till självinställande regulatorer och för att prediktera inomhusklimatet.

Temperering och transport av ventilationsluft är den dominerande energiposten för en stor del av fastighetsbeståndet. Projektresultaten visar att anpassning efter faktiska behov kan spara både el och värme men att detta ställer särskilda krav på kanalsystem och don. Kopplingen till krav på don och stabilitet visar också att system för låga tryckfall inte självklart är lågtryckssystem och att relationen mellan dynamiskt och statiskt tryck får en stor betydelse vid behovsstyrning. Friktionstryckfall i kanaler blir ofta små i behovsstyrda system och i stället dominerar tryckfall i aggregat, injusteringspjäll och slutapparater. Nya, anpassade systemlösningar kan drastiskt minska dessa tryckfall.

Den kunskap som tagits fram har presenterats i en doktorsavhandling, två licentiatuppsatser och ett stort antal artiklar, föredrag och seminarier. Kunskapen behövs för att bättre kunna utnyttja de möjligheter som dagens IT-system erbjuder för en integrerad behovsstyrning. Framtida lösningar kommer att kunna anpassa försörjningen i tid och rum och därmed bidra till minskad energianvändning, bättre effektutnyttjande, ökad behovstillfredsställelse och bättre hälsa. Detta ger ett mervärde för brukare, fastighetsägare, energiföretag m.fl.

Summary

Control of the indoor climate of buildings is responsible for more than a third of the total energy use as well as the electric energy use in Sweden. In most buildings, the need for air-conditioning dominates and hence this is an important factor for energy suppliers and utilities to consider. It is difficult and expensive to create new electric supply capacity and reports from EU claim that only half the future energy demand can be solved by building new power plants. The rest must be achieved by a more efficient use.

Within the framework of the ELAN research program the department of Building Services Engineering at Chalmers University of Technology has worked on the project *Energy use, indoor environment and behavioural science - Part II: Demand and control-on-demand*. The project has consisted of the subtasks 1. *User perception and demand*, 2. *Integrated, intelligent control-on-demand* and 3. *Demand Controlled Ventilation - Flow dynamic consequences*. The subtask on flow dynamic consequences comprised duct systems, funded by ELAN and Formas, as well as supply terminal devices, which has been funded by the Swedish Energy Agency.

Humans have individual needs and preferences concerning the indoor environment and buildings have different operating conditions and degrees of utilization. In many buildings, the indoor environment is unsatisfactory while at the same time demand, in particular in non-domestic applications, is increasing. Unless the knowledge improves regarding actual needs of humans in different situations and better technical solutions emerge, demands on energy will increase, in particular regarding electrical energy. The working hypothesis of this project has been that there are technical solutions and possibilities of connecting supply with individual demand in more intelligent ways in order to ascertain delivery of the *Right quantity and right quality at the right time and the right place*.

The overall aim of the research has been to provide an improved indoor environment using less energy, even in complex environments such as hospitals and supermarkets, by means of improved knowledge on the connection between man and technology. Knowledge on whether the perceived indoor environment is affected by the situation of different groups of people, e.g. staff and patients, is needed to enable a transformation of the needs to measurable quantities. A partial goal has been to study the possibilities to adapt supply to actual demand by means of these measurands using advanced control techniques. This has involved going from studies of specific problems in detail to the study of integrated control-on-demand. Another partial goal has been to investigate the consequences of variations in demand on the requirements of the design of systems and components in applications such as ventilation.

Summary of results

The work has been carried out by means of literature surveys, use of questionnaires, measurement in real-world situations (hospitals in particular), certain laboratory investigations and, finally, modelling and simulations. The results show that questionnaires that we developed for office environments also work in a hospital application. Despite different prerequisites for patients and staff, both groups were reasonably satisfied with the thermal climate. There was, however, a tendency that both groups perceive the air as dry irrespective of the actual state of the air. Humidification would hence not be a solution and would be an unnecessary complication of the installation, increasing the cost and use of energy as well as possibly introducing new hazards.

Other results show that it is possible to improve the indoor climate and reduce the use of energy at the same time by utilization of tools from control theory such as dead band and feed-forward or predictive control. By connecting the comfort zone that applies to a certain group of people to a suitable dead band, a simple controller may even provide a better comfort and lower use of energy than a more complex, traditional solution. It has also been shown that neural networks can be used for parameter identification in auto-tuning controllers as well as for prediction of the indoor climate.

Temperature control and transport of ventilation air is the dominant energy factor in a large portion of the building sector. Project results show that adaptation of supply in accordance with actual needs can save electricity and heat but also that this will impose certain requirements on duct systems and terminal devices. The connection with requirements on terminal devices and stability also show that systems designed for low pressure drops do not necessarily become low pressure systems. Furthermore, the relation between dynamic and static pressure becomes important in control-on-demand designs. The frictional pressure drop in ducts often becomes small in demand controlled ventilating systems. Instead, the pressure drops of air-handling units, balancing dampers and terminal devices dominate. New, adapted system designs can drastically reduce these pressure drops.

The knowledge that has been gathered has been presented in one Ph.D. thesis, two Lic. Eng. theses and a large number of articles, oral presentations and seminars. The knowledge is needed to make better use of the possibilities that today's IT systems present for designing integrated control-on-demand systems. Future solutions will be able to adapt supply in time and space and thus contribute to reduced use of energy, better use of supply capacity, increased user satisfaction and improved health. This will provide an added value to users, building owners, utilities etc.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND OCH PROBLEMSTÄLLNING	1
1.2	MÅL.....	1
1.3	GRUNDLÄGGANDE FÖRUTSÄTTNINGAR	2
1.4	SAMBAND OCH AVGRÄNSNINGAR.....	2
1.5	PROJEKTDELTAGARE	4
2	PROJEKTPRESENTATION.....	6
2.1	DELPROJEKT 1: BRUKARNAS UPPLEVELSER OCH BEHOV	7
2.2	DELPROJEKT 2: INTEGRERAD, INTELLIGENT BEHOVSSTYRNING	8
2.3	DELPROJEKT 3: BEHOVSSSTYRD VENTILATION – STRÖMNINGSTEKNISKA KONSEKVENSER - SYSTEMFRÅGOR.....	9
3	GENOMFÖRD VERKSAMHET	10
3.1	DELPROJEKT 1: BRUKARNAS UPPLEVELSER OCH BEHOV	10
3.1.1	<i>Kunskapsöversikt.....</i>	<i>10</i>
3.1.2	<i>Aktivitetsplanering</i>	<i>10</i>
3.1.3	<i>Val av lämpliga undersökningsobjekt.....</i>	<i>11</i>
3.1.4	<i>Genomförande av mätningar.....</i>	<i>11</i>
3.1.5	<i>Utvärdering</i>	<i>12</i>
3.1.6	<i>Tillämpning.....</i>	<i>12</i>
3.1.7	<i>Forskarexamen.....</i>	<i>12</i>
3.2	DELPROJEKT 2: INTEGRERAD, INTELLIGENT BEHOVSSTYRNING	13
3.2.1	<i>Kunskapsöversikt.....</i>	<i>13</i>
3.2.2	<i>Aktivitetsplanering</i>	<i>13</i>
3.2.3	<i>Val av lämpliga undersökningsobjekt.....</i>	<i>14</i>
3.2.4	<i>Modellering och simulering.....</i>	<i>14</i>
3.2.5	<i>Genomförande av mätningar</i>	<i>14</i>
3.2.6	<i>Utvärdering</i>	<i>15</i>
3.2.7	<i>Tillämpning.....</i>	<i>15</i>
3.2.8	<i>Forskarexamen.....</i>	<i>15</i>
3.3	DELPROJEKT 3: BEHOVSSSTYRD VENTILATION – STRÖMNINGSTEKNISKA KONSEKVENSER - SYSTEMFRÅGOR.....	16
3.3.1	<i>Kunskapsöversikt.....</i>	<i>16</i>
3.3.2	<i>Aktivitetsplan.....</i>	<i>16</i>
3.3.3	<i>Val av lämpliga undersökningsobjekt.....</i>	<i>16</i>
3.3.4	<i>Genomförande av beräkningar och mätningar.....</i>	<i>17</i>
3.3.5	<i>Utvärdering</i>	<i>17</i>
3.3.6	<i>Tillämpning.....</i>	<i>18</i>
3.3.7	<i>Slutredovisning: Licentiatavhandling.....</i>	<i>18</i>
3.4	DELPROJEKT 4: BEHOVSSSTYRD VENTILATION – STRÖMNINGSTEKNISKA KONSEKVENSER – INTELLIGENTA TILLUFTSDON	18
4	UPPNÅDDA RESULTAT	19
4.1	DELPROJEKT 1: BRUKARNAS UPPLEVELSER OCH BEHOV	19
4.1.1	<i>Projektresultat.....</i>	<i>19</i>
4.1.2	<i>Akademisk meritering.....</i>	<i>20</i>
4.1.3	<i>Publicering</i>	<i>20</i>
4.1.4	<i>Utbildning.....</i>	<i>21</i>
4.2	DELPROJEKT 2: INTEGRERAD, INTELLIGENT BEHOVSSTYRNING	22
4.2.1	<i>Projektresultat.....</i>	<i>22</i>
4.2.2	<i>Akademisk meritering.....</i>	<i>23</i>
4.2.3	<i>Publicering</i>	<i>24</i>

4.2.4	<i>Utbildning</i>	26
4.3	DELPROJEKT 3: BEHOVSSTYRD VENTILATION – STRÖMNINGSTEKNISKA KONSEKVENSER - SYSTEMFRÅGOR.....	26
4.3.1	<i>Projektresultat</i>	26
4.3.2	<i>Akademisk meritering</i>	28
4.3.3	<i>Publicering</i>	28
4.3.4	<i>Utbildning</i>	28
4.4	ÖVRIG PUBLICERING	29
4.5	NYTTIGGÖRANDE AV RESULTAT.....	30
5	NATIONELLT OCH INTERNATIONELLT SAMARBETE SAMT INFORMATIONSAKTIVITETER.....	31
5.1	PROJEKTAKTIVITETER.....	31
5.2	SEMINARIER/WORKSHOPS.....	32
5.3	NATIONELLA KONFERENSER	32
5.4	INTERNATIONELLA KONFERENSER	33
5.5	AKADEMISKA SEMINARIER.....	34
6	SLUTSATSER.....	35
6.1	DELPROJEKT 1: BRUKARNAS UPPLEVELSER OCH BEHOV.....	35
6.2	DELPROJEKT 2: INTEGRERAD, INTELLIGENT BEHOVSTYRNING	36
6.3	DELPROJEKT 3: BEHOVSSTYRD VENTILATION – STRÖMNINGSTEKNISKA KONSEKVENSER - SYSTEMFRÅGOR.....	38
6.4	SAMMANFATTNING	39
7	PUBLIKATIONER OCH FÖREDRAG	41

Bilagor

A EXAMENSARBETEN

1 Inledning

Inom ELAN-programmet har avdelningen för installationsteknik vid Chalmers tekniska högskola under perioden 2002-2005 genomfört projektet ”Energianvändning, inomhusmiljö och beteendevetenskap – Fas II: Behov och behovsstyrning”. Projektet har omfattat följande tre delprojekt:

1. ”Brukarnas upplevelser och behov”,
2. ”Integrerad, intelligent behovsstyrning”,
3. ”Behovsstyrd ventilation – Strömningstekniska konsekvenser”,

Forskningen har haft som övergripande syfte att koppla kunskap om människors individuella behov till de möjligheter och begränsningar att tillfredsställa dessa behov som ges av dagens och morgondagens tekniska lösningar.

1.1 Bakgrund och problemställning

Byggnader står för cirka 40 % av Sveriges totala energianvändning och mer än 50 % av el-användningen, människor vistas i byggnader större delen av sina liv och byggsektorns verksamhet har en avgörande betydelse för samhällsekonomin. Samtidigt fortsätter sektorn att vara drabbad av olika typer av problem av vilka de som drabbar människors hälsa och trivsel är särskilt allvarliga.

Ur energiföretagens perspektiv innebär byggnaders stora andel av energianvändningen också att byggnaderna får en avgörande betydelse för företagets försäljning. Samtidigt finns ett samhällsintresse att minska resursanvändning och miljöpåverkan från energisektorn. Därmed är kopplingen mellan människors behov och de tekniska systemens möjligheter att tillfredsställa behoven när de uppstår en mycket viktig frågeställning. Olika former av behovsstyrning har potential att erbjuda ett effektivare resursutnyttjande. Det finns ett gemensamt intresse för energiföretag och samhälle att hitta tekniska och administrativa system som ökar människors tillfredsställelse samtidigt som tillgängliga resurser utnyttjas effektivare. Strävan bör vara att få en nöjdare kund men med insats av färre kWh och detta kan ge energitjänster ett mervärde.

1.2 Mål

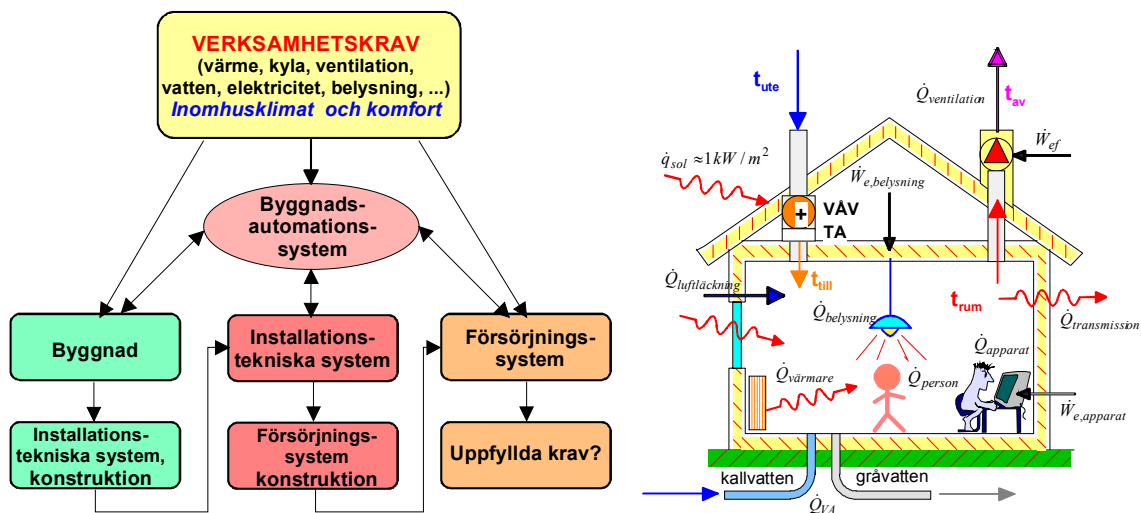
Forskningen inom projektet ”Behov och behovsstyrning” har syftat till att öka kunskapen om hur subjektiva behov av klimatisering, luft, belysning, information m.m. påverkas av olika persongrupper situation och hur dessa behov kan överföras till objektiva mått. Med denna kunskap kan man bättre utnyttja de möjligheter som dagens IT-system erbjuder och därmed öka mervärdet för brukare, energiföretag m.fl. Projektet i ELAN Fas II har behandlat individuella behov i ett vidare perspektiv än i fas I. Vi har också vidareutvecklat kopplingen mellan behov och mätbara storheter samt gått via detaljstudier av specifika reglerproblem till att hantera integrerad behovsstyrning.

Ett sekundärt mål har varit att skapa kontakter som överbryggat kompetensgränser mellan doktorander och seniorforskare/handledare som arbetat i delprojekten. Därför har vi inriktat arbetet mot en speciell kategori av byggnad som alla arbetat med på något sätt. Vill man studera ett brett spektrum av problemställningar utan att byta byggnadstyp är

sjukhus lämpliga tillämpningsobjekt eftersom de omfattar komplexa, installationstäta byggnader med kvalificerade processer och mycket skilda behov för olika persongrupper och lokaler (boende, kontorspersonal, patienter, vårdpersonal; äldreboende, kontor, vårdssalar, operationssalar, storkök, ...). Det finns således goda möjligheter att med resultat från sjukhus generera generell kunskap som kan användas vid exemplifiering av andra tillämpningar som kontorshus, skolor och småhus. Kunskapen kan t.ex. ge underlag för att formulera normkrav samt att peka på konsekvenser för energianvändning och effektbehov.

1.3 Grundläggande förutsättningar

Arbetet med "Behov och behovsstyrning" handlar i grunden om att på ett effektivt sätt tillfredsställa behovet av försörjning till olika typer av verksamheter. Verksamheternas behov bestäms av förutsättningar och krav för människor och processer. Kraven kommer att variera både i tiden och mellan olika delar av byggnader. Dessa villkor blir grundläggande för de krav som byggnader och deras tekniska installationer måste uppfylla (se figur 1.1). Villkoren och valet av byggnads- och installationstekniska lösningar kommer också att ge krav på försörjningen av el, värme m.m. i termer av effekt, energi, temperaturkvalitet, el-kvalitet etc. Därmed blir byggnaders verksamhet och tekniska system avgörande för vilka krav som energitjänstföretagen måste leva upp till för att få nöjda kunder med begränsade konsekvenser för miljö och övrigt resursutnyttjande.



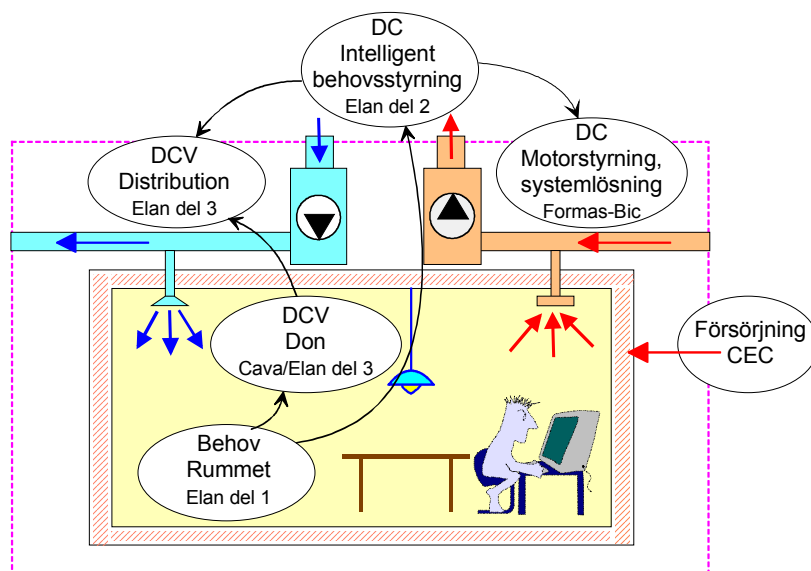
Figur 1.1 Grundläggande förutsättningar för kopplingen mellan behov, verksamhetens krav och de tekniska systemen [Fahlén, 12].

Behovsstyrning är självfallet intressant i första hand i lokaler som har varierande förutsättningar (jämför figur 6.6). Ju större variationer desto större potential för bättre funktion med behovsrelaterad styrning.

1.4 Samband och avgränsningar

Inom den forskning som bedrivs vid avdelningen för installationsteknik försöker vi få tydliga samband mellan de olika delprojekten. Därmed kan man på ett systematiskt sätt hantera projekt på komponent-, aggregat- och systemnivå. Inom området "Behov och

behovsstyrning” studerar vi hur man på olika sätt med hjälp av tekniska lösningar kan klara individuella behov på rumsklimat med en ökad grad av behovstillfredsställelse och lägre energi- och effektbehov. Det finns många länkar i den kedja som ska säkerställa ”Rätt mängd, rätt kvalitet, i rätt tid och på rätt plats”.



ELAN, delprojekt 1:

Brukarnas upplevelser och behov.

ELAN, delprojekt 2:

Integrerad, intelligent behovsstyrning.

ELAN, delprojekt 3:

Behovsstyrd ventilation - Strömningstekniska konsekvenser - Systemfrågor

CAVA, delprojekt 4:

Behovsstyrd ventilation - Strömningstekniska konsekvenser - Intelligent don

Formas-Bic, delprojekt 5:

Effektivisering av byggnadsrelaterad pump- och fläkt drift - Systemlösningar, motorteknik och styrning.

Figur 1.1 Samband och avgränsningar mellan de olika delprojekten [Fahlén, 12].

Vi har bedrivit tre projekt inom ELAN II plus två som har direkta kopplingar till ELAN II (se figur 1.1):

- Upplevelsen av rumsmiljön med behoven av till- och bortförsel av luft och värme (ELAN delprojekt 1).
- Möjligheterna att på ett intelligent sätt beräkna och styra mängden luft och värme som ska till- eller bortföras rummet i ett givet ögonblick med hänsyn till hela byggnadens situation och möjligheter till omfördelning i tid och rum (ELAN delprojekt 2).
- Konsekvenserna för kanalsystemets utformning och dimensionering av möjligheten till stora flödesvariationer och önskemål om små tryckfall (ELAN delprojekt 3).
- Möjligheterna att på ett intelligent sätt tillföra varierande mängder luft med varierande temperatur med uppfyllda krav på komfort (ELAN/Cava delprojekt 4)
- Möjligheterna att omsätta styrsystemets utstorheter till faktiska flödesvariationer i kanalsystem och don på ett energi- och effekteffektivt sätt med hjälp av effektiva och/eller kapacitetsreglerade fläktar med motorstyrning (Formas-Bic, Göteborg Energi, Energimyndigheten).

Dessutom pågår projekt om nya typer av värmeväxlare, som kan behövas i system med direkt flödesstyrning, och självoptimerande metoder för att koppla pump- och fläktmotor drifterna till behoven av värmekapacitetsflöden.

1.5 Projektdeltagare

I tabellerna 1.1 och 1.2 nedan anges namn, titel, adress, telefonnummer och e-postadress på projektledare, doktorander och övriga projektdeltagare.

Tabell 1.1 Deltagare från forskargruppen på Chalmers tekniska högskola.

[projektledare, handledare, examinerator del 1-4] Per Fahlén, professor Chalmers tekniska högskola, avdelningen för Installationsteknik, 412 96 GÖTEBORG telefon 031-772 1142 e-postadress per.fahlen@chalmers.se	
[huvudhandledare del 1 och 4, handledare del 2] Lennart Jagemar, docent Chalmers tekniska högskola, avdelningen för Installationsteknik, 412 96 GÖTEBORG telefon 031-772 1156 e-postadress lennart.jagemar@cit.chalmers.se [handledare del 1] Niklas Fransson, fil.dr. Chalmers tekniska högskola, avdelningen för Installationsteknik, 412 96 GÖTEBORG telefon 031-772 1169 e-postadress niklas.fransson@chalmers.se	[doktorand del 1] Jennie Skoog, tekn. lic. Chalmers tekniska högskola, avdelningen för Installationsteknik, 412 96 GÖTEBORG telefon 031-772 11 e-postadress jennie.skoog@chalmers.se
[huvudhandledare del 2] Manne Stenberg docent Chalmers tekniska högskola, avdelningen för digitala bildsystem och bildanalys, Box 8873, 402 72 GÖTEBORG telefon 031-772 57 33 e-postadress manne@chl.chalmers.se [handledare del 2] Bertil Thomas, tekn. dr. Chalmers tekniska högskola, avdelningen för reglerteknik, Box 8873, 402 72 GÖTEBORG telefon 031-772 57 43 e-postadress bertil@chl.chalmers.se	[doktorand del 2] Mohsen Soleimani Mohseni, tekn. dr. Chalmers tekniska högskola, avdelningen för Installationsteknik, 412 96 GÖTEBORG telefon 031-59 68 19 e-postadress msoleima@volvocars.com
[huvudhandledare del 3] Jan Gustén, bitr. prof. Chalmers tekniska högskola, avdelningen för Installationsteknik, 412 96 GÖTEBORG telefon 031-772 1144 e-postadress jan.gusten@chalmers.se	[doktorand del 3] Andreas Karlsson, tekn. lic. Chalmers tekniska högskola, avdelningen för Installationsteknik, 412 96 GÖTEBORG telefon 031-772 11 47 e-postadress andreas.karlsson@chalmers.se (Mari-Liis Maripuu, M.Sc., doktorand i del 4) Chalmers tekniska högskola, avdelningen för Installationsteknik, 412 96 GÖTEBORG telefon 031-772 11 68 e-postadress mari-liis.maripuu@chalmers.se

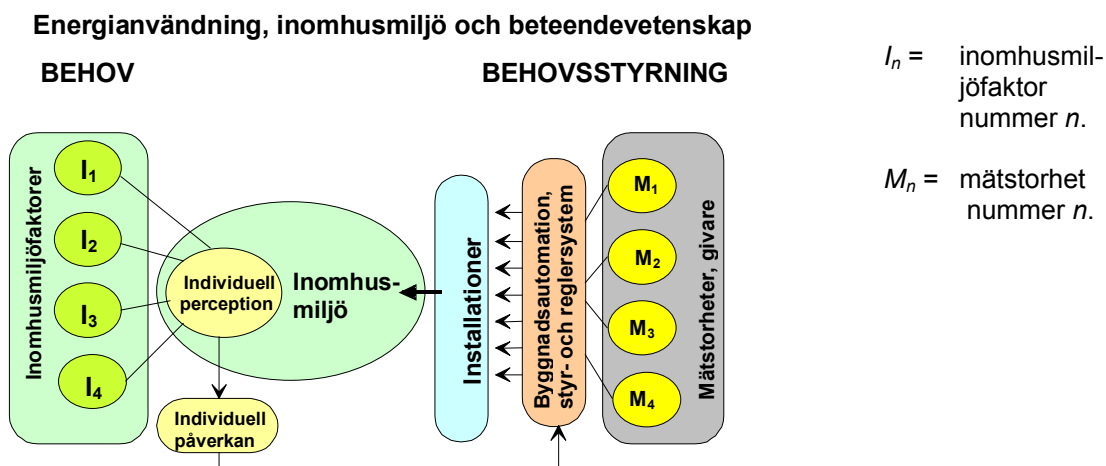
Tabell 1.2 Deltagare från finansörer och näringslivet.

[controller till 2004-10] Bertil Strand Carl Bro Energikonsult AB, Carl Gustafs väg 4 205 09 MALMÖ telefon 040 - 25 59 77 e-postadress bertil.strandh@carlbro.se	[controller fr.o.m. 2004-10] Peter Roots, Statens Energimyndighet, ESKILSTUNA telefon e-postadress peter.roots@stem.se
Knut-Olof Lagerkvist Västfastigheter - Driftområde Borås, Södra Älvsborgs Sjukhus, 501 82 BORÅS telefon 033-616 12 99 e-postadress knut-olof.lagerkvist@vgregion.se	Raimo Vainionpää Västfastigheter - Driftområde Borås, Södra Älvsborgs Sjukhus, 501 82 BORÅS telefon e-postadress raimo.vainionpaa@vgregion.se
Jan Brissman, TAC AB, Jägershillgatan 18, SE-213 75 MALMÖ telefon 040-38 68 80 e-postadress jan.brissman@tac.com	Per-Göran Persson TAC, Jägershillgatan 18, SE-213 75 MALMÖ telefon 040-31 68 12 e-postadress per-goran.persson@tac.com
Hans Martin SenseAir, Box 96, 820 60 DELSBO telefon 0653-71 77 70 e-postadress hans.martin@senseair.se	Joakim Lindfors SenseAir, Box 96, 820 60 DELSBO telefon 0653-71 e-postadress joakim.lindfors@senseair.se
Per Göransson ÅF Infrastruktur AB, Box 8133, 104 20 STOCKHOLM telefon 08-657 10 77 e-postadress per.goransson@af.se	Jörgen Eriksson ÅF Infrastruktur AB, Kvarnbergsgatan 2, 401 51 GÖTEBORG telefon 031-743 13 88 e-postadress jorgen.eriksson@af.se

2 Projektpresentation

Under ledstjärnan ”Rätt mängd, rätt kvalitet, i rätt tid och på rätt plats” har projektet ”Behov och behovsstyrning” bedrivits vid avdelningen för Installationsteknik på Chalmers. Projektet omfattar enligt 1.4 tre delprojekt, som direkt finansieras av ELAN, och två delprojekt med andra finansiärer.

Delprojekt 1 ”Brukarnas upplevelser och behov” försöker besvara frågor som ligger till grund för beräkningen av rätt mängd och kvalitet beträffande luft och luftens temperatur, fuktighet etc. Delprojekt 2 ”Integrerad, intelligent behovsstyrning” hanterar tekniska möjligheter att klara frågeställningarna ”rätt tid och rätt plats”. De krav på luftens distributionssystem, i form av kanaler och slutapparater (don), som blir följden behandlas inom delprojekten ”Behovsstyrd ventilation – Strömningstekniska konsekvenser - System” och ”Behovsstyrd ventilation – Strömningstekniska konsekvenser - Komponenter”. Slutligen kommer delprojekt 5 ”Effektivisering av byggnadsrelaterad pump- och fläktdrift – Systemlösningar, motorteknik och styrning” att studera nuvarande och framtida möjligheter att på ett energieffektivt sätt fördela luften genom distributionssystemet.



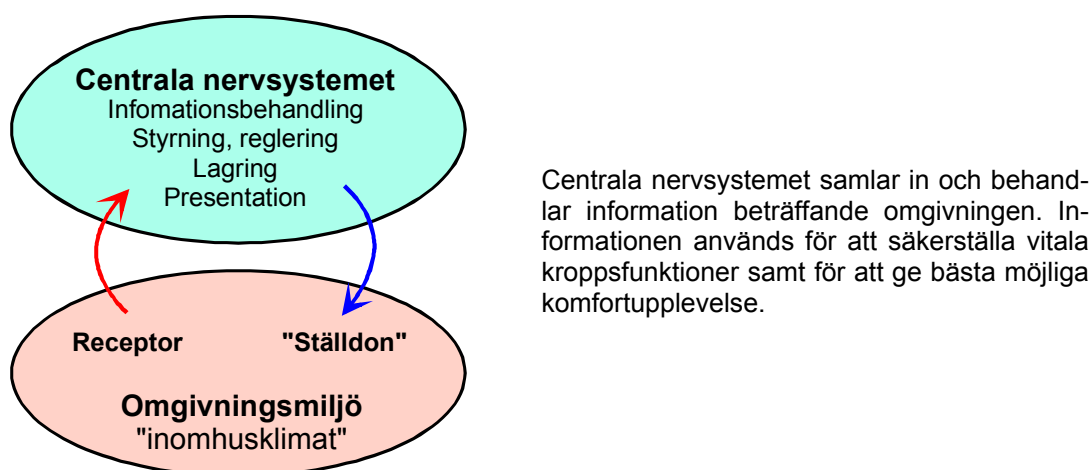
Figur 2.1 Illustration av principen för att studera behov och behovsstyrning [Fahlén, 12].

Figur 2.1 illustrerar kopplingen mellan olika inomhusmiljöfaktorer, som en människa kan registrera, och perception (upplevelse). Fysikaliska storheter, påverkansfaktorerna I , mäts av människan via kroppens receptorer (mekaniska, kemiska, elektromagnetiska etc., jämför med figur 2.2) och resulterar efter signalbehandling i hjärnan i en upplevelse av inomhusmiljön. I den mån man med tekniska mätsystem kan mäta samma storheter, M , kan man också i teorin beräkna en förväntad upplevelse. Detta ger en möjlighet att styra de klimathållande installationerna så att man klarar förutbestämda krav på komfort med minimerade behov av energi och/eller effekt.

2.1 Delprojekt 1: Brukarnas upplevelser och behov

Forskningsfråga 1: Hur får vi reda på vilka krav som de tekniska systemen i byggnader ska klara?

För att ta reda på vad som gör människor nöjda med inomhusmiljön måste hänsyn tas till både den fysiologiska och den sociala och/eller psykologiska miljön. Denna information kan erhållas genom att kombinera kunskap från både beteendevetenskapliga discipliner (psykologi) och tekniska (installationsteknik). När det gäller den fysiska miljön mäts och analyseras därför både faktiska fysikaliska variabler (t.ex. lufttemperatur och luftfuktigheter) och subjektiva upplevelsevariabler (t.ex. hur individen uppfattar luftfuktigheterna just nu och vilken grad av kontroll han/hon upplever sig ha över miljön) för att utröna deras relativa betydelse för tillfredsställelsen med inomhusmiljön. Beträffande den sociala/psykologiska miljön fokuseras även på variabler såsom upplevelsen av och bedömningen av det sociala klimatet, upplevd grad av kontroll över inomhusklimatet samt stress. Figur 2.2 illustrerar principen för hur människokroppens mät- och styrsystem hanterar påverkan av omgivningsmiljön.



Figur 2.2 Illustration av människokroppens mät- och styrsystem [Fahlén, 12].

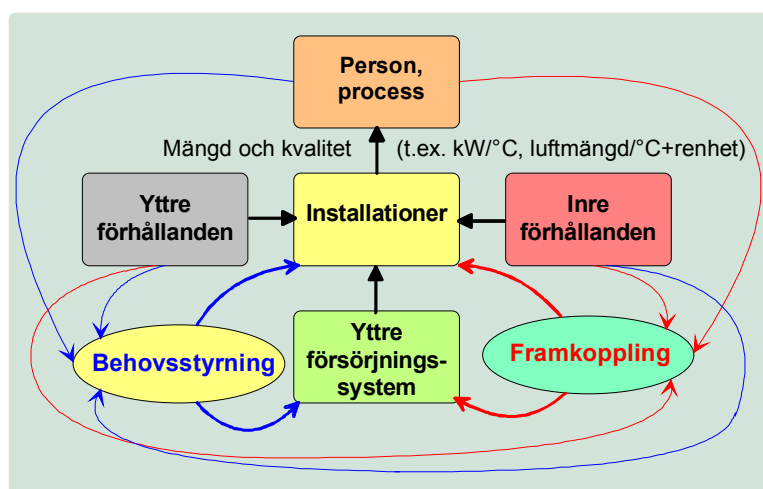
Ett förväntat resultat har varit att kunna identifiera vilken inomhusmiljö som leder till nöjda brukare i olika roller såsom kontorspersonal, boende, vårdpersonal och patient. Den fysiska miljön har både mätts och bedömts av brukarna. Därmed kan man identifiera gränser för de fysiska parametrarnas variationer som medger ett acceptabelt inomhusklimat för brukare i olika roller.

Ett annat förväntat resultat har varit att kunna rangordna de studerade variablerna (fysiska och sociala/psykologiska). Denna rangordning avser variablernas relativa viktighet för att brukarna skall uppleva komfort/vara nöjda med inomhusmiljön. Nyttan av en sådan rangordning skulle både tillfalla vetenskapssamhället och branschen/energiföretagen, då de senare med vägledning av denna rangordning kan prioritera insatser och resurser på de områden som är av störst betydelse för brukarnas välbefinnande. Denna nytta gäller såväl vid brukarmissnöje i befintliga miljöer som vid utveckling av nya system.

2.2 Delprojekt 2: Integrerad, intelligent behovsstyrning

Forskningsfråga 2: Hur kan vi utnyttja modern styr-, regler- och IT-teknik för att säkerställa att de tekniska systemen levererar enligt önskemål?

Delprojektet har främst varit inriktat på att undersöka reglerteknikens möjligheter i framtidens ”intelligenta hus”. Speciellt har vi studerat hur ny reglerteknik i kombination med ny IT-teknik (kommunikationsteknik m.m.) kan leda till minskad energiförbrukning, bättre fungerande klimatsystem och ökad användarvänlighet i framtidens byggnader vilket vi med ett samlingsnamn kallat för integrerad intelligent behovsstyrning.



En integrerad, intelligent behovsstyrning måste kunna hantera förändringar i de behov hos personer och processer som ska uppfyllas. Detta måste göras med beaktande av förändringar såväl beträffande byggnadens inre som dess yttre förhållanden. Hur väl detta lyckas påverkar både energi- och effektbehoven och är därför en intressant fråga för energiföretagen.

Figur 2.3 Illustration av principen för att hantera behov och behovsstyrning med styr- och reglerteknik [Fahlén, 12].

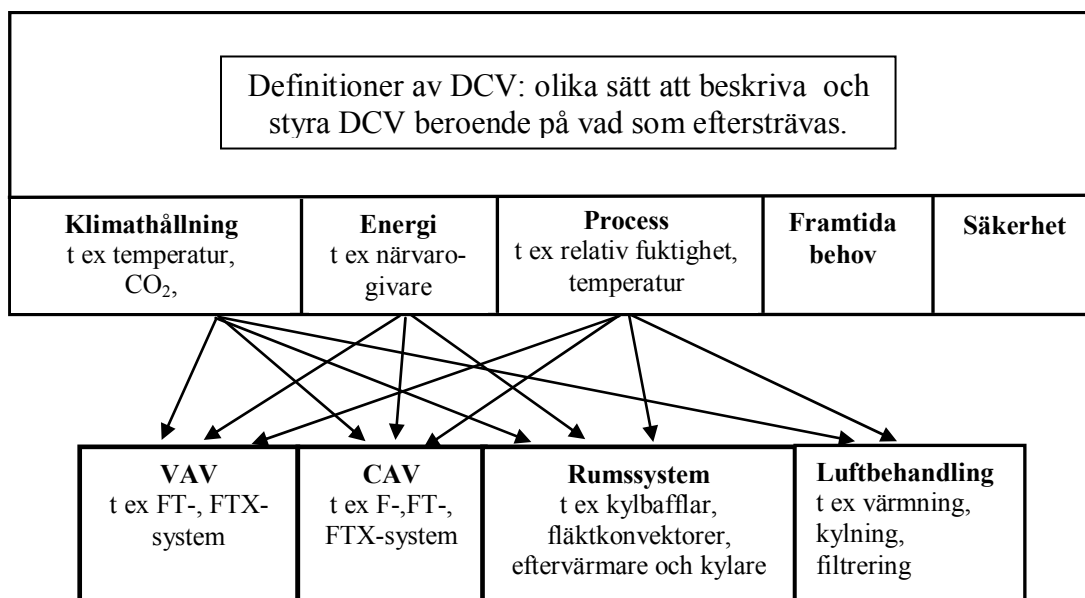
Ur forskningssynpunkt har vi förväntat oss att projektet skall ge en generell beskrivning av behovsstyrning och att vi kan identifiera möjligheter till integrerad behovsstyrning. I samråd med delprojekt 1 har vi försökt att identifiera prioriterade behov och därmed prioriterade styrvariabler. Genom bl.a. modellering och simulering har arbetet kunnat belysa möjligheterna till framkoppling, t.ex. med avseende på förutsägbara aktiviteter i olika typer av byggnader, väderprognoser, störvärdeskompensering etc.

Med hjälp av gränser för de fysiska variablernas variationsområden, som identifieras i delprojekt 1, har vi fått ett underlag för att ge rekommenderade krav på styrsystemen beträffande arbetsområde, möjliga dödband och krav på givarnas placering, noggrannhet och snabbhet. Vi har också eftersträvat att få ett underlag för eventuell modifiering av normkrav i de fall behovsstyrning tillämpas (i samråd med delprojekt 3). T.ex. är det inte nödvändigt att upprätthålla normkrav för ventilation som är baserade på personbelastning eller processer när personer inte finns i byggnaden eller då processerna inte pågår. För specifika tillämpningar ger simulering och mätning information om sammanlagringseffekter vid behovsstyrning, möjlig energibesparing, inverkan på komfort och möjligheter till feldetektering och diagnos (FDD). Detta gäller även alternativen med framkoppling. Slutligen har vi haft för avsikt att visa på möjligheterna med behovsstyrning och framkoppling i en lämplig demonstrationsbyggnad.

2.3 Delprojekt 3: Behovsstyrd ventilation – Strömningstekniska konsekvenser - Systemfrågor

Forskningsfråga 3: Vilka blir konsekvenserna för dimensionering och utformning av kanalsystem och don när ventilationsflödena varierar inom stora intervall?

I dagens samhälle blir energieffektivitet och minskad energianvändning allt viktigare. Byggnadssektorn står för en stor del av Sveriges totala energianvändning och ventilation är den största enskilda posten i en byggnads energibalans. Därför är behovsstyrd ventilation (DCV = Demand Controlled Ventilation) ett intressant och viktigt forskningsområde. Arbetet inom ELAN-projekt del 3 behandlar DCV i allmänhet med tyngdpunkten på distributionssystem för DCV. De huvudsakliga målen för arbetet är att definiera begreppet DCV och analysera de strömningstekniska konsekvenserna av att använda behovsstyrda system. Figur 2.4 visar en översiktlig beskrivning av sambandet mellan definitionen av DCV och systemvalet (ett resultat från ELAN-projektet).



Figur 2.4 Samband mellan definition av DCV och systemval [Karlsson, 20].

Självaste begreppet DCV säger att luftflödet kontrolleras av ett behov. Men DCV kan även innefatta själva uppbyggnaden av ventilationssystem för att kunna täcka framtida förändringar av behoven. Genom att kontrollera och styra storleken på luftflödena kan energianvändningen minskas. Värmeenergi sparas i direkt proportion till minskningen av luftflödet och drifttider. När det gäller driftenergi för fläktar är det däremot inte säkert att en minskning av luftflöde ger en minskning av använd energi. En minskning av luftflöden i ett ventilationssystem ger alltså alltid en minskad användning av värmeenergi men inte nödvändigtvis en minskning av driftenergi för fläktar (fläkt drift behandlas inom delprojekt 5).

3 Genomförd verksamhet

Verksamheten har i huvudsak genomförts enligt de projektplaner som låg till grund för att påbörja arbetet. I avsnitt 3.1-3.3 redovisas arbetet inom respektive delprojekt.

3.1 Delprojekt 1: Brukarnas upplevelser och behov

Företagen SenseAir, TAC, Västfastigheter och ÅF Infrastruktur har aktivt medverkat under hela genomförandefasen. Följande personer har varit involverade som forskningsutförare:

<i>Projektledare:</i>	Professor Per Fahlén
<i>Huvudhandledare:</i>	Docent Lennart Jagemar, installationsteknisk expert
<i>Handledare:</i>	Fil. dr. Niklas Fransson, psykolog
<i>Doktorand:</i>	Civ.ing. (numera tekn. lic.) Jennie Skoog

Delprojektet bygger vidare på den metodik som utvecklats i ett tidigare EU-projekt (SCATS) samt i ett delprojekt under ELAN fas I, för att undersöka brukarnas uppfattning av inomhusmiljön i stort och om de tekniska installationerna i synnerhet. Metodikens består av att brukarna får besvara en enkät rörande inomhusmiljön med hjälp av intervjuteknik och samtidig mätning av ett antal inomhusmiljöparametrar.

Enkät/intervjumetodiken är den vanligaste metodiken när människors bedömningar och preferenser är centrala för att besvara frågeställningarna inom projektet. Enkäterna har bestått av frågor och skalor som utgår från två huvudsakliga källor. Dessa källor är tidigare forskning, inklusive forskning vid institutionen, samt internationella standarder. Samtidigt som denna information insamlats har fysiska variabler såsom temperatur, belysningsstyrka, ljudnivåer, luftkvalitet och luftfuktighet mätts. Mätinstrument och procedur för att mäta dessa storheter har utvecklats i tidigare projekt vid avdelningen för Installationsteknik på Chalmers tekniska högskola.

Projektarbetet har varit strukturerat i sju delaktiviteter med tillhörande milstolpar. Parallellt med projektarbetet har doktoranden bedrivit forskarstudier.

3.1.1 Kunskapsöversikt.

En litteraturstudie har genomförts med speciell inriktning mot byggnader och personkategorier med speciella behov (vårdlokaler, butiker, m.m.).

Redovisning: Resultat från översikten finns bl.a. rapporterade vid en ASHRAE-konferens [Skoog et al 32].

3.1.2 Aktivitetsplanering

Parallellt med litteraturstudien gjordes en aktivitetsplan för projektets genomförande. Detta innefattade även ett fortsatt arbete med att utveckla enkäter och mätningar med utgångspunkt från resultaten från ELAN I och den förnyade kunskapsöversikten. Exempel på frågeställningar har varit:

- Hur värderar olika personkategorier olika funktioner under olika förutsättningar (komfort, ekonomi, säkerhet, ...)?
- Hur uppfattar olika personkategorier olika klimat under olika förutsättningar (patienter, vårdpersonal, kontorspersonal, ...)?
- Vilken grad av automation accepteras i relation till behovet av egna möjligheter till påverkan?
- Hur påverkas välbefinnande, produktivitet, tillfrisknande... av inneklimat och automationsgrad och av graden faktisk eller upplevd kontroll?
- Hur översätter man subjektiva behov till objektiva mätstorheter? Vilka storheter behövs? Vilka variationer tolereras, d.v.s. vilka krav finns på noggrannhet, stabilitet och dynamik?

Redovisning: Arbetet summerades i en intern aktivitetsplan.

3.1.3 Val av lämpliga undersökningsobjekt

Ett viktigt moment inför de planerade mätningarna var att hitta lämpliga undersökningsobjekt. Diskussioner hölls i samråd med delprojekt 2 och 3, eftersom vi haft som övergripande målsättning att doktoranderna skulle samverka med sina respektive kompetenser i tillämpningen. Efter diskussioner med Västfastigheter beslöt vi att genomföra studien i en vårdlokal på den ortopediska kliniken på Borås lasarett. I ett senare skede öppnades också en möjlighet via TAC att få med resultat från en kontorsbyggnad i Helsingborg. Byggnaden ingick som ett tillämpningsobjekt inom EU-projektet EBOB (Energy Efficient Behaviour in Office Buildings), där TAC redan medverkade.

Tillsammans med Västfastigheter i Borås (Borås lasarett) diskuterades och planerades undersökningarna av brukarnas uppfattning av inomhusmiljön i vårdlokaler. Motsvarande diskussioner hölls med TAC beträffande utvärderingen av kontorsfastigheten inom EBOB-projektet.

3.1.4 Genomförande av mätningar.

Två mätaktiviteter ingick i planerna, en sommarmätning och en vintermätning. Inför mätkampanjen uppdaterades utrustningen från ett delprojekt i Fas I. Bl.a. uppgraderades utrustningen med en ny koldioxidsensor från SenseAir AB. Enkätutformningen anpassades till vårdlokaler med beaktande av att två olika brukarkategorier berörs (personal och patienter).

Under sista halvan av augusti 2003 startade sommarmätningarna i en vårdlokal på ortopedien på Borås Lasarett. Därefter genomfördes vintermätningarna från mitten av januari 2004.

Redovisning: Sommarmätningarna redovisades vid en internationell konferens i USA i mars 2004 [Skoog et al 32]. Efter vintermätningarna sammanfattades och jämfördes båda undersökningarna i en vetenskaplig artikel [Skoog et al 31].

Beträffande kontorshus finns ett konferensbidrag [Fransson, Jagemar 19] samt två rapporter om EBOB-huset [Skoog 25, 27]. Rapporterna gör bl.a. jämförelser mellan förutsättningarna i vårdlokaler och kontor.

3.1.5 Utvärdering

Efter genomförandet av båda mätkampanjerna gjordes en ingående analys av resultaten för att kunna dra slutsatser och göra en syntes av arbetet (se 4.1).

Redovisning: Resultaten har redovisats i en licentiatuppsats (3.1.7), en vetenskaplig artikel [Skoog et al 31], ett konferensbidrag [Skoog 33] samt några populärvetenskapliga artiklar [Skoog 28-30].

3.1.6 Tillämpning

Enligt planerna skulle forskningsresultaten tillämpas i en lämplig demonstrationsbyggnad tillsammans med delprojekt 2 och 3. Den tillämpningen blev tyvärr aldrig realiserad men däremot inleddes ett samarbete med Facilities Management på Chalmers. Inom ramen för det samarbetet har Jennie Skoog fungerat som installationsteknisk ”konsult” åt ett examensarbete rörande nybyggnation av ett nytt Psykiatricentrum på Akademiska Sjukhuset i Uppsala (<http://www.fm.chalmers.se/uploaded/publikationer/psykiatricentrum.pdf>).

Dessutom har vi genomfört möten och seminarier med ett antal företag för att diskutera det pågående arbetet och se på vilket sätt företagen kan utnyttja en kunskap som kommit fram. Projektörer har utnyttjat den kompetens som nu finns etablerad med avseende på vårdlokaler i samband med nybyggnad av sjukhus (det pågår en omfattande om- och nybyggnadsverksamhet inom sjukhussektorn).

3.1.7 Forskarexamen

Slutredovisning: I enlighet med den planerade slutredovisningen försvarade Jennie Skoog sin licentiatavhandling [Skoog 26] vid ett seminarium 2004-06-11.

Efter den planerade licentiatexamen har Jennie Skoog påbörjat forskningsarbetet för sin doktorsavhandling. Arbetet, med bitr. prof. Jan Gustén som huvudhandledare, inriktas mot flerfaktorstudier av den termiska klimatupplevelsen under påverkan av fukt och buller (i samverkan med teknisk akustik på Chalmers). Formas finansierar den fortsatta forskningen och en artikel om fuktens betydelse i vårdlokaler har redan publicerats [Skoog 33].

3.2 Delprojekt 2: Integrerad, intelligent behovsstyrning

Referensgruppens företag SenseAir, TAC, Västfastigheter och ÅF Infrastruktur har aktivt medverkat under hela genomförandefasen. Utöver dessa företag har även Stifab-Farex ställt upp med laboratorieresurser. Följande personer har varit involverade som forskningsutförare:

<i>Projektledare:</i>	Professor Per Fahlén
<i>Huvudhandledare:</i>	Docent Manne Stenberg
<i>Handledare:</i>	Tekn. dr. Bertil Thomas, reglerteknisk expert
<i>Handledare:</i>	Docent Lennart Jagemar, installationsteknisk expert
<i>Doktorand:</i>	Civ.ing. (numera tekn. dr.) Mohsen Soleimani-Mohseni

Arbetet har genomförts i form av kunskapssammanställning, modellering och simulering, väldefinierade laboratorieförsök, fältmätningar samt en avslutande tillämpning med åtföljande utvärdering i ett demonstrationsobjekt. Projektarbetet har varit strukturerat i åtta delaktiviteter och tillhörande milstolpar. Parallellt med projektarbetet har doktoranden bedrivit forskarstudier. För detta delprojekt finns en omfattande publicering och därför anges bara några. En mer omfattande listning finns i avsnitt 4.2 (resultat).

3.2.1 Kunskapsöversikt.

Kunskapssammanställningen har syftat till att belysa hur behovsstyrning tillämpas idag inom byggnadssektorn och i vilken omfattning integrerad behovsstyrning behandlas. Dessutom har förekomsten av framkoppling inventerats och jämförelser har gjorts med tillämpningar inom andra sektorer som verkstadsindustri, processindustri etc. Kunskapsöversikten har utnyttjats i en förstudie för att utreda reglerteknikens möjligheter i framtidens intelligenta hus ur ett brett perspektiv.

Redovisning: Resultatet av förstudien har presenterats i en teknisk rapport[Thomas, Soleimani-Mohseni 48].

3.2.2 Aktivitetsplanering

Med utgångspunkt från resultaten från ELAN I och den förnyade kunskapsöversikten har det fortsatta arbetet med simulering och mätning planerats och sammanfattats i en aktivitetsplan. Exempel på frågeställningar som diskuterats har varit:

- Förutsättningar för integrerad behovsstyrning (värme, kyla, ventilation, belysning, ...)
- Möjligheter till framkoppling, följereglering i förhållande till uteklimat, optimering och FDD (Fault Detection and Diagnosis), sammanlagringseffekter.
- Behov av givare för reglering, givarplacering, förutsättningar för multivariabelgivning, statisk/dynamisk noggrannhet, tvärkänslighet.

Diskussionerna utmynnade i en aktivitetsplan som omfattade utveckling av modeller för att beräkna inomhusklimatet (i första hand temperatur och koldioxidhalt), modeller för att hantera framkoppling, prediktionsreglering och självinställande regulatorer samt modeller för att estimerat operativ temperatur utifrån andra mätstorheter.

Redovisning: Arbetet summerades i en intern aktivitetsplan.

3.2.3 Val av lämpliga undersökningsobjekt

Val av lämpliga undersökningsobjekt har diskuterats tillsammans med företagen och i samråd med delprojekt 1 och 3. Delprojektet har delvis inriktats mot behovsstyrd ventilation i samlings- och undervisningslokaler med prediktion och tillämpning av neurala nätverk. I detta sammanhang har diskussioner förts med Västfastigheter i Borås för fältstudier rörande reglerparametrar och funktioner vid behovsstyrd ventilation i samlingslokaler belägna på Borås Lasarett. I slutändan användes en föreläsningssal på Chalmers-Lindholmen för mätningarna med behovsstyrd ventilation medan småhus används för övriga fältmätningar.

3.2.4 Modellering och simulering

Klimatmodeller och en simuleringsplattform har utvecklats i Matlab-Simulink. Modeller har utvecklats för självinställning av reglerparametrar med hjälp av neurala nätverk. Tekniken gör att trimningen av regulatorer blir kraftigt förenklad, vilket ökar sannolikheten att regulatorerna arbetar med parametrar som är anpassade till regleruppgiften (ganska sällsynt att så är fallet med konventionella regulatorer). Neurala nätverk har även använts för att undersöka möjligheten med dynamisk prediktionsreglering av inomhusklimatet i byggnader. Prediktionsmodeller har tagits fram och verifierats genom mätningar i Stifab-Farex laboratorium.

Med hjälp av modellbeskrivningar har vi genomfört simuleringar för ett urval av intressanta tillämpningar med undersökning av möjligheter till framkoppling, prediktering, och självinställande regulatorer. Genom mätningar och simuleringar har även en modell över ventilationsdynamiken och luftutbytet i en föreläsningssal ställts upp. Modellen har därefter använts för att simulera olika sätt att utveckla tekniken med behovsstyrd ventilation.

Redovisning: Arbetet med modellering och simulering har redovisats i artiklar [Soleimani-Mohseni et al 46], [Thomas et al 56, 58] och konferensbidrag [Soleimani-Mohseni, Thomas 44, 45], [Thomas, Soleimani-Mohseni 49, 50, 51, 55].

3.2.5 Genomförande av mätningar

Modeller, simuleringsresultat och vissa givarfunktioner har verifieras med hjälp av laboratieförsök och fältmätningar. Inför mätningarna med DCV bidrog SenseAir AB med en koldioxidgivare. En mätteknisk delstudie i form av ett examensarbete har genomförts i en föreläsningssal på Chalmers Lindholmen. Underlaget har använts för verifiering av simuleringar.

Efter kontakter har med Stifab-Farex fick vi möjlighet att genomföra en omfattande experimentell studie i företagets laboratorium. Huvudsyftet med mätningarna var att ta fram prediktionsmodeller för inomhusklimatet. Mätningar har dessutom genomförts i en villa.

Redovisning: Arbetet med modellering och simulering har redovisats i konferensbidrag [Soleimani-Mohseni, Thomas 44], [Thomas, Soleimani-Mohseni 54].

3.2.6 Utvärdering

Utvärderingsresultaten från simuleringar och mätningar presenteras under resultatredovisningen i 4.2. Där finns även redovisningen presenterad.

3.2.7 Tillämpning

Tillämpningarna har varit en samlingslokal på Chalmers-Lindholmen samt ett småhus. I laboratoriemiljö har det varit möjligt att efterlikna ett kontorsrum.

3.2.8 Forskarexamen

Slutredovisning: I enlighet med den planerade slutredovisningen försvarade Mohsen Soleimani-Mohseni sin licentiatavhandling [Soleimani-Mohseni, 35] vid ett seminarium 2002-10-22 och sin doktorsavhandling [Soleimani-Mohseni, 36] vid en disputation 2006-05-20. Licentiatarbetet var en avslutning på ett arbete som startade under ELAN I.

En direkt fortsättning av arbetet har inte varit möjlig på grund av bristande finansiering. Det är beklagligt eftersom de hittills framtagna resultaten utgör en lämplig utgångspunkt för fortsatt forskning kring ”intelligens i byggnader”. Thomas och Soleimani-Mohseni har sammanfattat en del tankar kring möjligheterna i skriften ”Reglerteknikens möjligheter i framtidens intelligenta hus”[57].

3.3 Delprojekt 3: Behovsstyrd ventilation – Strömningstekniska konsekvenser - Systemfrågor

Utöver företagen i referensgruppen, d.v.s. SenseAir, TAC, Västfastigheter och ÅF Infrastruktur, har även Axro Consult, Bengt Dahlgren, Energo, Fläkt Woods och Swegon medverkat på olika sätt under genomförandefasen. Dessutom har Akademiska Hus och Lindinvent varit mycket aktiva i det angränsande delprojektet om DCV och donfunktion. Följande personer har varit involverade som forskningsutförare:

Projektledare: Professor Per Fahlén
Huvudhandledare: Bitr. prof. Jan Gustén, installationsteknisk expert
Handledare: Docent Lennart Jagemar, installationsteknisk expert
Doktorand: Civ.ing. (numera tekn. lic.) Andreas Karlsson

Arbetet genomfördes i form av kunskapssammanställning, modellering och simulering, väldefinierade laboratorieförsök, fältmätningar samt en avslutande tillämpning med åtföljande utvärdering i ett demonstrationsobjekt. Parallellt med projektarbetet har doktoranden bedrivit forskarstudier.

3.3.1 Kunskapsöversikt

En litteraturgenomgång har gjorts om behovsstyrd ventilation (DCV). Kunskapssammanställningen har haft som mål att belysa vilka behov som avses, vilka standarder och normkrav som finns för olika verksamheter och lokaler samt skillnaden mellan VAV (Variable Air Volume) och DCV (Demand Controlled Ventilation).

3.3.2 Aktivitetsplan

Med utgångspunkt från kunskapsöversikten och diskussioner i projektgruppen har en aktivitetsplan formulerats. Exempel på frågeställningar som behandlats är:

- Vilka ventilationsbehov har olika personkategorier under olika förutsättningar (samordning med delprojekt 1)
- Hur översätter man subjektiva behov till objektiva mätstorheter? Vilka storheter behövs? Vilka variationer tolereras, d.v.s. vilka krav finns på noggrannhet, stabilitet och dynamik?
- Alternativa distributionssystem med exempelvis kapacitetsreglering och direktstyrning av strömningssmaskiner (utan spjäll och shuntgrupper).
- Donfunktion vid stor flödesdynamik, alternativa sätt att lösa luftdistribution och filtrering.
- Projektering, injustering, mätteknik, sammanlagringseffekter.
- Jämförelse värmeåtervinning – behovsstyrning.

3.3.3 Val av lämpliga undersökningsobjekt

I samråd med delprojekt 1 och 2 har projektgruppen diskutera lämpliga objekt för de planerade fältmätningarna. I anslutning till dessa diskussioner togs även kontakt med några olika företag:

- installationskonsulter, bl.a. Bengt Dahlgren AB i Göteborg,

- tillverkare, främst Fläkt Woods i Jönköping,
- fastighetsägare, exempelvis Statens Fastighetsverk (Världskulturmuseet i Göteborg), Västfastigheter i Borås och Skanska i Stockholm.

Två huvudsakliga objekt valdes ut för att studera ett konventionellt distributionssystem (ett regionsjukhus) och en alternativ lösning med rundmatning (en sexvånings laboratoriebyggnad).

3.3.4 Genomförande av beräkningar och mätningar

Beräkningar har gjorts för att få ett underlag för bedömning av strömningstekniska konsekvenser av behovsstyrd ventilation. Detta har avsett hela luftbehandlingssystemet med uppbyggnad, komponenter, projekteringsprinciper, injusteringsprinciper och mättekniska aspekter. Arbetet har även behandlat frågor om dynamik och stabilitet. En viktig del i arbetet har varit att klargöra skillnaderna i förutsättningar för några principiellt olika distributions system, t.ex. rundmatade VAV-system och traditionellt förgrenade CAV-system. Enkla jämförelser har också gjorts mellan DCV och värmeåtervinning. Dessa kan ge riktlinjer för att välja det ena eller andra alternativet m.a.p. energi och inomhusmiljö (t.ex. inblåsningstemperatur, varierande överföring i roterande värmeväxlare m.m.).

För att få praktiska resultat som underlag för att värdera beräkningarna genomfördes ett antal mätningar i olika typer av system. Ett exempel är en mätteknisk studie, i form av ett examensarbete, beträffande funktionen av tilluftsdon i möteslokaler för olika typer av don med varierande luftflöde. Ett annat mättekniskt examensarbete har rört luftdistributionssystem med låga tryckfall. Dessutom har vi genomfört mätningar på kanalsystem, både traditionella och sådana där tryckfallen koncentrerats till donen (låga tryckfall i distributionsdelen). Mätningarna avser tryck- och flödesfördelningar och har genomförts vid Skövde lasarett och i Fysikhuset på Chalmers.

Det har också funnits en samverkan med delprojekt 4 för att dra nytta av mätresultat från ett par byggnader med VAV-system utrustade med intelligenta tilluftsdon (Lindinvent IDCC). I september 2003 togs ett ombyggt luftbehandlingssystem i drift på en del av ED-huset på Chalmers. I mars 2004 var det inflyttning i det nya Medicinska kunskapshuset för Sahlgrenska akademien på Medicinareberget. Båda byggnaderna ägs av Akademiska hus i Göteborg och mätningar genomfördes i dessa under ett år efter inflyttning.

3.3.5 Utvärdering

En analys av kunskapssammanställningen har gett information om vilka behov man behöver styra efter (i samråd med delprojekt 1) samt indikationer om verksamheter och byggnader som kan vara lämpliga för behovsstyrning. Utvärderingen har även behandlat hur dessa påverkar valet av klimathållningssystem. I samband med genomgången har olika typer av DCV definierats. Dessa beskriver olika sätt att styra ventilationen efter angivna behov. Definitionerna behandlar vilka delar av luftbehandlingssystemet som främst påverkas: luftdistributionssystemet eller luftbehandlingen på aggregatnivå. Arbe-

tet har skett i samverkan med delprojekt 4 (CAVA) beträffande kopplingen mellan don och distributionssystem.

3.3.6 Tillämpning

Den erhållna kunskapen har utnyttjats dels genom medverkan i en projekteringsuppgift och dels genom kunskapsöverföring i samband med besök och diskussioner med olika företag. I ett samarbete med Facilities Management på Chalmers har Andreas Karlsson fungerat som installationsteknisk ”konsult” i ett examensarbete rörande nybyggnation av ett nytt Psykiatricentrum på Akademiska Sjukhuset i Uppsala. Dessutom har Andreas Karlsson, själv eller tillsammans med de övriga doktoranderna Jennie Skoog och Mohsen Soleimani-Mohseni, presenterat sina arbeten och diskuterat med ett flertal företag, t.ex. installationskonsulter (Axro, Bengt Dahlgren AB, Energo); entreprenörer (Bravida); tillverkare (Fläkt Woods, Lindinvent, PM-Luft, Stifab-Farex) samt fastighetsägare (Akademiska Hus, Västfastigheter). Slutligen har Andreas Karlsson arbetat in kunskaper från projektet i Installationstekniks projekteringskurs i fjärde årskursen av civilingenjörsutbildningen.

3.3.7 Slutredovisning: Licentiatavhandling

Slutredovisning: I enlighet med den planerade slutredovisningen försvarade Andreas Karlsson sin licentiatavhandling [Karlsson 20] vid ett seminarium 2005-03-18.

Dessutom planerar Mari-Liis Maripuu att presentera sin licentiatuppsats om delprojekt 4 i mars 2006.

3.4 Delprojekt 4: Behovsstyrd ventilation – Strömningstekniska konsekvenser – Intelligent tilluftsdon

Delprojektet presenteras i en separat rapport till Energimyndigheten inom projektet CAVA. Arbetet har omfattat:

- litteraturgenomgång om VAV-system (VAV = Variable Air Volume, d.v.s. system med varierande luftflöden),
- mätningar på en ny typ av don på plats i fastigheter (Chalmers och Medicinarberget i Göteborg),
- uppbyggnad av ett speciellt provrum och mätningar i Installationstekniks laboratorium på Chalmers.

Två vetenskapliga konferensbidrag har hittills presenterats som resultat av arbetet [Maripuu, Jagemar 23, 24]. Dessutom har resultat utnyttjats i delprojekt 3.3.

4 Uppnådda resultat

Uppnådda resultat redovisas i form av vetenskapliga och praktiska projektresultat, akademisk meritering, publicering och genomslag i utbildningen (se även avsnitt 5).

4.1 Delprojekt 1: Brukarnas upplevelser och behov

I våra tidigare projekt (se 3.1) har vi visat att en metodik med samtidig fysisk mätning av ett antal inomhusmiljöparametrar och besvarande av en enkät fungerar utmärkt i byggnader med homogena brukargrupper för att få en bild av hur inomhusmiljön är beskaffad [Bengtsson 1]. Med en homogen brukargrupp avser vi en grupp med likartade krav, t.ex. personalen i ett kontorshus.

4.1.1 Projektresultat

I detta delprojekt inom ELAN II har metodiken från ELAN I vidareutvecklas till byggnader med flera brukargrupper med olika krav och vi har visat att metodiken fungerar även i denna tillämpning. Undersökningsresultaten kommer i detta fall från vårdlokaler med de två huvudgrupperna patienter och personal. Upplägget har bl.a. inneburit att vi arbetat med intervjuer, vilket ger en bättre kunskap om förutsättningarna för varje svar, mindre risk för feltolkning av frågorna samt möjlighet att genomföra enkäterna med ett bredare urval av persongrupper. T.ex. kan man hantera både barn och äldre som kanske inte klarar att läsa en enkät på egen hand.

Det insamlade materialet av objektiva (fysikaliska) mätningar och subjektiva (enkätsvar) uppfattningar visar att båda grupperna, patienter och personal, uppfattar inomhusklimatet på ett likartat sätt. Samstämmighet råder trots betydande skillnader i förutsättningarna beträffande klädsel och fysisk aktivitet. Förutsättningarna gör att de förväntade operativa temperaturerna skiljer mellan grupperna men trots detta är båda grupperna nöjda med den termiska komforten. Däremot fanns en tendens att båda grupperna uppfattade luften som torr både vintertid och sommartid, trots stora årstidsskillnader i relativt ångtryck. Vintertid var relativa ångtrycket ca. 16 %_{RH} för personalen och ca. 22 %_{RH} för patienterna medan motsvarande siffror för sommaren var ca. 43 %_{RH} respektive ca. 46 %_{RH}. Personalen uppfattade i allmänhet luften som något svalare och torrare än patienterna.

Ytterligare ett intressant resultat har framkommit vid en fortsatt bearbetning av insamlade data. Utvärderingen visar att en sammanvägning av de individuella enkätsvaren beträffande olika faktorer som rör inomhusklimatet är en bättre prediktor av totalkomforten än de fysikaliska mätstorheterna. Utvärderingen publiceras i en accepterad artikel till Building & Environment.

Inom delprojektet har även genomförts en omfattande litteraturstudie rörande inomhusmiljön i vårdlokaler. Studien visar att det bedrivits ganska lite forskning inom området under de senaste 10-20 åren. Slutsatsen är att de riktlinjer som finns är ca. femton år gamla och att lite hänsyn tas till att brukargrupperna har skilda krav på inomhusmiljön. Detta gäller främst Sverige men även internationellt har ganska lite hänt inom området under de senaste tio åren.

4.1.2 Akademisk meritering

Som följd av arbetet med ”Brukarnas upplevelser och behov har två licentiatuppsatser presenterats och försvarats vid avdelningen för Installationsteknik på Chalmers:

- Den 7 februari 2003 försvarade **Magnus Bengtsson** sin **licentiatuppsats** med titeln ”Brukarens uppfattning av inomhusmiljön – En fältundersökning i en modern kontorsbyggnad”. Diskussionsinledare var Associate Research Professor Jørn Toftum från Danmarks Tekniske Universitet (arbetet startade under ELAN I).
- Den 11 juni 2004 försvarade **Jennie Skoog** sin **licentiatuppsats** med titeln ”Indoor environment and user perception - A field study in a hospital ward”. Diskussionsledare var tekn.lic. Ulf Rengholt från CURAB och nätverket ”Indoor Health Society”.

Dessutom har ett antal arbeten för civilingenjörsexamen genomförts i anslutning till projektet (se bilaga A1).

4.1.3 Publicering

Utöver två licentiatuppsatser (se 4.1.2) har följande publikationer presenterats:

- **Vetenskapliga artiklar**
 - Skoog J, Fransson N, Jagemar L; "Thermal Environment in Swedish Hospitals - Summer and Winter Measurements", Energy and Buildings, 2005, vol. 37, sid. 872-877, Great Britain 2005.
 - Skoog J; "Relative humidity in hospital wards - User perception and technical consequences", Indoor and Built Environment, 2006.
- **Vetenskapliga konferenser**
 - Skoog J, Jagemar L, Fransson N, Fahlén P; "Indoor Environment in Hospital Wards: A Study in a Swedish Hospital", ASHRAE IAQ 2004 - Critical Operations: Supporting the Healing Environment through IAQ Performance Standards, ASHRAE, 2004-03, vol. 1, Tampa, Florida, USA 2004.
 - Fransson N, Jagemar L; "Users' Perceptions - Experiences from Swedish and Danish Office Buildings", FDSE meeting Closing the Loop: Post Occupancy Evaluation - The next steps, 2004-04-29--05-02, Windsor, England 2004.
 - Skoog J; "Relative humidity in hospital wards - User perception and technical consequences", 2nd International Conference on the Quality of the Indoor Environment in Hospitals, 2005-10-6—7, Prague, Czech Republic 2005.
- **Tekniska artiklar**
 - Bengtsson M, Fransson N; "Vad tycker brukaren om att arbeta i ett modernt kon-torshus?" Energi&Miljö, 2003-08, no. 8, vol. 74, sid. 59-60. Stockholm 2003.

- Skoog J; "Indoor Environment and User Perception - A Field Study in a Hospital Ward", Scanvac Newsletter, Oslo, Norway 2004.
- Skoog J; "Inomhusmiljö och hur den upplevs i vårdlokaler", Energi & Miljö, 2005-02, no. 2, vol. 76, sid. 57-58. Stockholm 2005.
- Skoog J, Fahlén P; "Patienter och personal kan enas om 22,5 grader", Vardagens elvanor, Elforsk, sid. 65-66, Stockholm 2005.
- **Rapporter**
 - Skoog J; "Environmental Control Systems in Buildings - A Comparison between Hospitals and Office Buildings", Report, EU-EBOB homepage, Contract No. NNE5/2001/263. 2004.
 - Skoog J; "Indoor Environment, Human Perception and Energy Savings - A Comparison Between Hospitals and Office Buildings", Report Ver. 1.0, EU-EBOB homepage, Contract No. NNE5/2001/263. 2004, USA 2004.
- **Övriga konferenser**
 - Skoog J; Forskarcafé: "Brukarnas upplevelser och behov", Elforskdagen 2004, Elforsk, Stockholm 2004-10-27.
- **Övriga föredrag**
 - Fransson N; "Behov, analys och kommunikation", Protek, Kungälv 2003.
 - Skoog, J; "Behovstillfredsställelse och erfarenheter från praktisk drift", Protek, Kungälv 2003.

4.1.4 Utbildning

Resultat och kunskap från projektet har använts både för vidareutbildning inom Västfastigheter samt inom civilingenjörs- och forskarutbildningen.

4.2 Delprojekt 2: Integrerad, intelligent behovsstyrning

Delprojekt 2 har resulterat i modellverktyg i Matlab-Simulink miljö, mätresultat från laboratorium och några olika, verkliga byggnader samt slutsatser baserade på simuleringar och mätningar.

4.2.1 Projektresultat

Resultaten av den forskning som beskrivits har till stora delar presenterats i en doktorsavhandling som presenterades våren 2005. Delar av resultaten har också presenterats i tidskriftsartiklar och konferensbidrag. Följande information kommer i huvudsak från rapporten ”Reglerteknikens möjligheter i framtidens intelligenta hus” [Thomas 57]).

4.2.1.1 Klimatmodeller, simulering

Matematiska/fysikaliska modeller av klimatdynamiken i ett antal byggnader har ställts upp och jämförts med varandra, samt med andra typer av modeller. Flera av modellerna har verifierats genom statiska och dynamiska mätningar i byggnader. Utöver detta har en Matlab-Simulink-miljö byggts upp med ovanstående matematiska modeller för att kunna simulera och utvärdera resultatet av olika reglertekniska lösningar i byggnaden. Delar av detta arbete har presenterats under ELAN I i ett konferensbidrag från 2001 [Thomas, Soleimani-Mohseni 49].

4.2.1.2 Studier av reglering med framkoppling i byggnader

Simuleringar med ovan beskrivna modeller och Matlab-Simulink-program har visat hur tekniska prestanda kan förbättras samt hur energiförbrukningen kan minskas genom att använda mer intelligenta reglerstrategier än vad som idag är brukligt. Speciellt har studerats hur ett ökat användande av statisk eller dynamisk framkoppling kan förbättra prestanda hos förekommande reglersystem. Det har visat sig att man mycket ofta kan få en förbättrad temperaturreglering (mindre temperaturvariationer) samtidigt med en minskad energiförbrukning genom att i ökad utsträckning använda framkoppling. Potentialen till förbättringar beror dock både på byggnadens dynamik (tidkonstanter, storlek, energilagring m.m.) och på vilka typer av störningar och störfrekvenser systemet huvudsakligen utsätts för (solinstrålning, vind, interna värmelaster m.m.). Resultatet beror också på vilken typ av klimathållande installationer som används samt av dynamiken i givare och värmeavgivande komponenter. Resultaten har hittills presenterats i två granskade konferensbidrag [Thomas, Soleimani-Mohseni 50, Soleimani-Mohseni, Thomas 44] samt i en licentiatuppsats [Soleimani-Mohseni 35]. Delresultat har också presenterats vid ELAN-konferenser, seminarier o.s.v.

4.2.1.3 Studier av behovsstyrd ventilation

Genom mätningar och simuleringar har en modell över ventilationsdynamiken och luftutbytet i en föreläsningssal ställts upp. Modellen har därefter använts för att simulera olika sätt att utveckla tekniken med behovsstyrd ventilation. Simuleringarna visar att den totala energianvändningen ofta kan reduceras genom att använda mer intelligent

reglering i kombination med behovsstyrning. Delar av resultatet finns presenterat i två examensarbeten och ett konferensbidrag [Thomas, Soleimani-Mohseni 53].

4.2.1.4 Studier av prediktionsmodeller och självinställande regulatorer i installationstekniska system

Utgående från praktiskt uppmätta data (temperaturer, solinstrålning m.m.) från en byggnad har olika modeller för prediktion av inomhusklimatet i byggnader ställts upp och jämförts. Resultaten visar att noggrannheten hos prediktionerna kan förbättras genom att använda (olinjära) neurala nätverk som modeller i stället för traditionella (linjära) ARX-modeller. Syftet med prediktionsmodellerna är bl.a. att de ska användas i samband med framkoppling och prediktionsreglering (Model Predictive Control), vilket förväntas kunna bli en framgångsrik reglerprincip för framtidens byggnader. Vi har också visat att dynamiska modeller för prediktion och reglering kan bestämmas med relativt liten arbetsinsats på ett standardbetonat sätt för de byggnader vi studerat.

Neurala nätverk har också använts i samband med en nyutvecklad metod för självinställning av PI- och PID-regulatorer. Metoden kan t.ex. användas för att förenkla arbetet med trimning av regulatorer i installationstekniska system för driftoperatörer och fastighetspersonal. Delar av ovanstående resultat finns beskrivet i två granskade konferensbidrag [Soleimani-Mohseni, Thomas 54], [Thomas, Soleimani-Mohseni 55] och en vetenskaplig artikel [Thomas, Soleimani-Mohseni 58]. Det finns också två examensarbeten som beskriver delar av detta arbete.

4.2.1.5 Estimering av operativ temperatur

Utgående från praktiskt uppmätta data (väggtemperaturer, solinstrålning m.m.) från en byggnad har olika modeller för estimering av den operativa temperaturen i två olika lokaler ställts upp och jämförts. Resultaten från försöken visar att den operativa temperaturen kan skattas med god noggrannhet utgående från andra mätbara storheter och genom användning av neurala nätverk som modeller. Fördelen med att kunna skatta (estimera) den operativa temperaturen är att man kan använda skattningen som indata till fastighetens reglersystem. Man kan alltså reglera på den upplevda (operativa) temperaturen i stället för lufttemperaturen, vilket är brukligt idag. Detta kan i sin tur leda till såväl bättre komfort som minskad energianvändning. (En anledning att man idag sällan mäter den operativa temperaturen i fastigheter är att givare för detta är dyra jämfört med vanliga givare för lufttemperatur och att det kan vara svårt att hitta en representativ placering.) Resultaten finns beskrivna i en internrapport [Thomas, Soleimani-Mohseni 51] och en tidskriftsartikel [Soleimani-Mohseni, Thomas, Fahlén 46].

4.2.2 Akademisk meritering

Som följd av arbetet med ”Integrerad, intelligent behovsstyrning” har en licentiatuppsats och en doktorsavhandling presenterats vid avdelningen för Installationsteknik på Chalmers:

- Den 25 oktober 2002 försvarade **Mohsen Soleimani-Mohseni** sin licentiatuppsats med titeln ”Feed-forward Control and Dynamic Modelling in Temperature Con-

trol of Buildings”. Diskussionsinledare var professor Lars Jensen, Lunds tekniska högskola.

- Den 20 maj 2005 försvarade **Mohsen Soleimani-Mohseni** sin doktorsavhandling med titeln ”Modelling and Intelligent Climate Control of Buildings”. Fakultetsopponent var professor Geoffrey Livermore från "Manchester Centre for Civil and Construction Engineering”.

Dessutom har ett antal arbeten för högskoleingenjörsexamen genomförts i anslutning till projektet (se bilaga A2).

4.2.3 Publicering

Utöver två licentiatuppsatser (se 4.1.2) har följande publikationer presenterats:

- **Vetenskapliga artiklar**
 - Thomas B, Soleimani-Mohseni M, Fahlén P; "Feed-forward in temperature control of buildings", Energy and Buildings, 2005, vol. 37, sid. 755-761. London, Great Britain 2005.
 - Soleimani-Mohseni M, Thomas B, Fahlén P; "Estimation of operative temperature in buildings using artificial networks", Energy and Buildings, 2006, London, Great Britain 2006.
 - Thomas B, Soleimani-Mohseni M; "Artificial neural network models for indoor temperature prediction - Investigations in two buildings" (inskickad, ej publicerad ännu), Neural Computing & Applications 2006.
- **Vetenskapliga konferenser**
 - Thomas B, Soleimani-Mohseni M; "A Simulink Model Environment for evaluation of Control-Strategies in Intelligent Buildings", Nordic Matlab Conference, sid. 136-141, Norway 2001.
 - Thomas B, Soleimani-Mohseni M; "Intelligent Thermostats Save Energy and Give Improved Control Performance", 2002 ACEEE Summer Study, California, USA. 2002.
 - Soleimani-Mohseni M, Thomas B; "Static and Dynamic Feed Forward in Temperature Control of Buildings", Proceedings of the Healthy Buildings 2003 Conference, 2003-12, National University of Singapore, Singapore 2003.
 - Thomas B, Soleimani-Mohseni M; "A Study of Demand-Controlled Ventilation (DCV) and Constant Air Volume Systems (CAV)", Proceedings of the Healthy Buildings 2003 Conference, 2003-12, National University of Singapore, Singapore 2003.

-
- Soleimani-Mohseni M, Thomas B; "Neural networks for self tuning of PI- and PID controlers", Intelligent Systems Design and Applications (ISDA), 2004, Budapest, Hungary 2004.
 - Thomas B, Soleimani-Mohseni M; "Neural network models for predictive climate control in intelligent buildings", Intelligent Systems Design and Applications (ISDA), 2004, Budapest, Hungary 2004.
 - **Tekniska artiklar**
 - Soleimani-Mohseni M, Thomas B, Fahlén P; "Att räkna människor och glödlampor ger förutsägelser av husets värmebehov", Vardagens elvanor, Elforsk, sid. 60-62, Stockholm 2005.
 - Soleimani-Mohseni M; "Modelling and intelligent climate control of buildings", Chalmers tekniska högskola, Installationsteknik, doktorsavhandling D2005:03, 216 sidor. Göteborg 2005.
 - Soleimani-Mohseni M; "Smartare användning gör fastighetsautomation klokar", Automation nr 7 sidan 12, 5 september 2005.
 - Soleimani-Mohseni M; "Smart styrning av fastigheter lockar få", VVS-Forum nr. 8 sidorna 98-99, augusti 2005.
 - Soleimani-Mohseni M; "Smart styrning spar energi", Miljö & Utveckling nr. 4 sidorna 36-37, 2005.
 - Soleimani-Mohseni M; "Energivinst och bättre inneklimat med smart styrning", Miljöforskning nr. 4 sidan 15, september 2005.
 - Soleimani-Mohseni M; "Energy gains and better indoor climate with smart control", Sustainability nr. 3 sidan 18, november 2005.
 - Soleimani-Mohseni M; "Tänkande styrsystem ska reagera snabbare", IT & Fastighet nr. 10 sidorna 12-13, 2005.
 - **Rapporter**
 - Thomas B, Soleimani-Mohseni M; "Reglerteknikens möjligheter i framtidens intelligenta hus - En förstudie", Chalmers Lindholmen högskola, rapport 7, Göteborg 2001.
 - Thomas B, Soleimani-Mohseni M; "Linear and non-linear neural network models for estimation of operative temperature in buildings - A comparison", Institutionen för data och elektronik, Chalmers Lindholmen, rapport 17, Göteborg 2004.

- Thomas B, Soleimani-Mohseni M, Stenberg M; "Reglerteknikens möjligheter i framtidens intelligenta hus - Integrerad intelligent behovsstyrning", Chalmers Lindholmen, Slutrapport, Göteborg 2006.
- **Övriga konferenser**
 - Fahlén P; "Energianvändning och inomhusmiljö - Intelligent behovsstyrning", ELAN-dagen, Elforsk, 2005-08-31, Stockholm 2005.
- **Övriga föredrag**
 - Fahlén P; "Framtiden - Byggnadsautomation och installationer", Protek - Teknisk utveckling - världens framtid, Chalmers/Västfastigheter, 2003-04-23, Kungälv 2003.

4.2.4 Utbildning

Resultat från arbetet har utnyttjats i utbildningen i reglerteknik vid Chalmers Lindholmen. Dessutom har flera examensarbeten genomförts i anslutning till delprojektet (se A2).

4.3 Delprojekt 3: Behovsstyrd ventilation – Strömningstekniska konsekvenser - Systemfrågor

Arbetet med behovsstyrd ventilation (DCV = Demand Controlled Ventilation) har omfattat både systemfrågor och komponentfrågor. Nedan redovisas endast resultat beträffande systemfunktionen.

4.3.1 Projektresultat

Själva begreppet DCV säger att luftflödet kontrolleras av ett behov. Men DCV kan även innefatta själva uppbyggnaden av ventilationssystem för att kunna täcka framtida förändringar av behoven. Genom att kontrollera och styra storleken på luftflödena kan energianvändningen minskas. Värmeenergi sparas i direkt proportion till minskningen av luftflödet och drifttider. När det gäller driftenergi för fläktar är det däremot inte säkert att en minskning av luftflöde ger en minskning av använd energi. En minskning av luftflöden i ett ventilationssystem ger alltså alltid en minskad användning av värmeenergi men inte nödvändigtvis en minskning av driftenergi för fläktar.

En litteraturstudie har visat att det finns mycket gjort med avseende på speciella lokaler, exempelvis reglering efter luftkvalitet i mötesrum och samlingslokaler. Däremot saknas övergripande systemstudier rörande variabelt luftflöde och behovsstyrd ventilation. Därför har en del av arbetet varit att ta fram definitioner av DCV, bl.a. genom att studera vilka behov som föranleder DCV och hur dessa påverkar klimathållningssystemet. Definitionerna skiljer på om påverkan främst avser luftbehandlingsaggregatet, kanalsystemet eller båda.

Resultat från mättekniska studier i ett regionsjukhus (Skövde) och i lokaler på Chalmers visar att man får en betydande tryckåterhämtning efter avgreningar i kanalsystemet. I

ringmatningssystem och andra system med låga tryckfall dominerar aggregattryckfallet helt över distributionssystemets tryckfall. Stabilitetsfrågorna blir därför särskilt viktiga i denna typ av system. Avhandlingsarbetet innehåller också en analys av systemfunktionen samt projekteringsprinciper för distributionssystem när det gäller luftflöden och tryckförhållanden. Det finns även en beskrivning av trycknivåerna i olika delar av distributionssystem och tryckförhållandena i lågtryckssystem och lågtryckfallssystem.

Det bör framhållas att man noga måste skilja mellan lågtryckssystem och system med låga tryckfall. Det är också viktigt att identifiera när dontryckfallet krävs p.g.a. donfunktionen eller p.g.a. distributionsfördelningen. Mätningarna visar på vissa svårigheter med injustering när traditionella metoder används. Projekterings- och injusteringsmetoder är därför viktiga delar i licentiatuppsatsen. Erfarenheterna av projektarbetet har redan tillämpats i civilingenjörskursen om installationsteknisk projektering.

Resultaten visar att behovsstyrning inte förutsätter en särskild uppbyggnad av distributionssystemet, som till exempel rundmatade system. Däremot måste distributionssystemet ha vissa egenskaper. Ett system med dessa egenskaper har även goda förutsättningar för att vara flexibla, stabila och symmetriska oavsett om det är ett behovsstyrt system eller inte. En konsekvens av detta är att distributionssystem som inte har dessa egenskaper saknar förutsättningar såväl för god funktion, flexibilitet och stabilitet som för energieffektivitet.

Resultaten av arbetet visar på behovet av ökad kunskap när det gäller trycknivåer och tryckförluster i distributionssystem. Detta gäller även underlag för beräkning av tryckförluster. Idag kan dessa beräkningar endast göras med begränsad noggrannhet vilket kan leda till onödigt höga trycknivåer och därmed större energianvändning.

4.3.2 Akademisk meritering

Som resultat av arbetet med "Behovsstyrd ventilation – Strömningstekniska konsekvenser" har en licentiatuppsats presenterats vid avdelningen för Installationsteknik på Chalmers:

- Den 18 mars 2005 försvarade **Andreas Karlsson** sin licentiatuppsats med titeln "Behovsstyrd ventilation av lokalbyggnader - Innebörd och strömningstekniska konsekvenser". Diskussionsledare var Teknikkonsult Kaj Hansson, f.d. teknikchef/kontorschef AB Ångpanneföreningen.

Dessutom har ett antal arbeten för civilingenjörsexamen genomförts i anslutning till projektet (se bilaga A3).

4.3.3 Publicering

Utöver en licentiatuppsats (se 4.3.2) har följande publikationer presenterats:

- **Vetenskapliga konferenser**
 - Maripuu M-L, Jagemar L; "Energy savings by installing Variable Air Volume systems in existing office buildings – Experience with a new supply device", REHVA, Vilnius 2004-10.
 - Maripuu M-L, Jagemar L; "Variable Air Volume systems for existing office buildings – A new supply air terminal device concept", 5th International Conference on Indoor Climate in Buildings 2004 - Health, comfort and safety by operation of HVAC systems Slovakia 2004-11.
 - Karlsson, A; "Requisite Pressure Levels in Large HVAC Systems - Design of Air-Distribution Systems and Air-handling Units" (inskickad), REHVA: 17th Air-conditioning and Ventilation Conference, Prag 17 - 19 maj 2006
- **Tekniska artiklar**
 - Karlsson A; "Control-on-demand ventilation of premises - Implications and fluid dynamic consequences", Scanvac Newsletter, 2005, no. 1, sid. 8-9. Oslo, Norway 2005.
 - Karlsson A, Fahlén P; "Ventilationssystemet kan anpassas till behovsstyrningen", Vardagens elvanor, Elforsk, sid. 67-68, Stockholm 2005.

4.3.4 Utbildning

Resultat från arbetet har utnyttjats i civilingenjörsutbildningen i Installationstekniks projekteringskurs. Dessutom har flera examensarbeten genomförts i anslutning till delprojektet (se A3).

4.4 Övrig publicering

Utöver den publicering som har varit planerad och varit direkt relaterad till ELAN-projektet har ett antal artiklar m.m. av allmänare karaktär skrivits. Dessa har antingen en direkt hänvisning eller åtminstone en tydlig koppling till projektarbetet. Nedan följer ett axplock av sådana publikationer:

- **Redigerade böcker**

- Fahlén P; "Indoor climate control", Achieving the desired indoor climate - Energy efficiency aspects of system design, Studentlitteratur, sid. 585-623, Lund, Sweden 2003.

- **Tekniska artiklar**

- Fahlén P; "Energibesparing i fastigheter", Fastighetsförvaltaren, 2004-12, no. 6, sid. 14. Göteborg 2004.
- Fahlén P; "Forskargruppen vid Chalmers tekniska högskola", Vardagens elvanor, Elforsk, sid. 58-59, Stockholm 2005.
- Fahlén P; "Forskning om inomhusklimat", VVS-Forum, 2005-10, Teknik & Installation, sid. 6. Stockholm 2005.
- Fahlén P; "Lönsamt att uppfylla behoven", VVS-Forum, 2005-10, Teknik & Installation, sid. 4-6. Stockholm 2005.
- Fahlén P; "Med hjärnan som modell - Smart styrning av framtidens inomhusklimat", VVS-Forum, 2005-10, Teknik & Installation, sid. 88-90. Stockholm 2005.
- Fahlén P; "Som naturen - eller bättre?" VVS-Forum, 2005-10, Teknik & Installation, sid. 90. Stockholm 2005.
- Fahlén P; "Utopi att uppfylla behoven hos varje människa i varje ögonblick", Vardagens elvanor, Elforsk, sid. 63-64, Stockholm 2005.
- Strandh B, Fahlén P; "En utmaning att definiera människors behov av energi", Vardagens elvanor, Elforsk, sid. 56-57, Stockholm 2005.
- **Övriga konferenser**
- Fahlén P; "Effektiv användning och försörjning av energi i byggnader - Behov och behovsstyrning", IT-bygg, 2004-01-15, Chalmers, Göteborg 2004.
- Fahlén P; "Låt behoven styra inomhusklimatet!" Elforskdagen, Elforsk, 2004-10-27, Stockholm 2004.
- Fahlén P; "Energianvändning och inomhusmiljö - Intelligent behovsstyrning", ELAN-dagen, Elforsk, 2005-08-31, Stockholm 2005.

- Fahlén P; "Energianvändning och inomhusmiljö - Låt behovet styra inomhusklimatet! - men vi kan påverka behoven", ELAN-dagen, Elforsk, 2005-08-31, Stockholm 2005.
- **Övriga föredrag**
- Fahlén P; "Behov och behovstyrning", ELAN-workshop, 2004-11-18, Stockholm 2004.
- Fahlén P; "Morgondagens VVS-system - En blick in i framtiden", Seminarium, 2003-04-23, Gothia Towers, Göteborg 2004.

4.5 Nyttiggörande av resultat

Resultaten nyttiggörs främst genom kunskapsförmedling till teknologer i civilingenjörsutbildningen, till andra doktorander i forskarutbildningen samt tillverkande, projekterande och fastighetsförvaltande företag (se 5.1-5.2). Resultaten nyttiggörs också i angränsande forskningsprojekt, t.ex. CAVA (delprojekt 4), EBOB (en del av delprojekt 1 som finansierats med EU-medel) och projekt om variabelflödessystem med nya elmotorer och motorstyrningar (delprojekt 5 som finansieras av Formas-Bic, Göteborg Energis forskningsstiftelse och Energimyndigheten).

Ett exempel på kunskapsöverföring är att samtliga doktorander och flera handledare arrangerade och medverkade i ett heldagsseminarium på Fars Hatt i Kungälv om *Teknisk utveckling – Vårdens framtid* (se 5.2). Seminariet ingick som en del i ett kompetensutvecklingsprogram för samtliga drifttekniker och driftansvariga i Västra Götalands Landsting och hade 42 deltagare. Programmet arrangerades av Installationsteknik på Chalmers och omfattade dels några egna presentationer och dels ledning, utvärdering och sammanställning av grupparbeten. Genom seminariet kunde tidigare erfarenheter, pågående forskning och tankar om framtiden presenteras för driftspersonalen. Samtidigt användes grupparbetena för att samla driftspersonalens erfarenheter och önskringar för framtiden.

5 Nationellt och internationellt samarbete samt informationsaktiviteter

Inom ramen för ELAN-projektet har ett antal samverkans- och informationsaktiviteter genomförts. Dessa har bestått av projektmöten, sammankomster med företag och branschorganisationer, seminarier, konferenser, artiklar, rapporter och avhandlingar.

5.1 Projektaktiviteter

Under perioden har åtta protokollförda referensgruppsmöten hållits. Medverkan i externa aktiviteter redovisas under 5.1-5.2 Dessutom har ett antal möten/seminarier genomförts med enskilda företag och grupper av företag, t.ex.

- Diskussionspart vid förslag till utformning av ny psykiatriavdelning vid Uppsala lasarett inom ramen för ett examensarbete vid sektionen för arkitektur på Chalmers (HT 2002 – VT 2003).
- ”Indoor Environment”. Avsnitt i doktorandkurs HT 2003.
- Seminarium med branschorganisationen Svensk Ventilation 2004-01-28.
- Projektinformation och diskussion med PM-Luft (Kvänum) 2004-03-24.
- Seminarium med Stifab-Farex om behov och behovstyrning 2004-06-16 (Göteborg) och 2004-10-18 (Tomelilla).
- Projektinformation och diskussion samt senare uppföljande diskussioner med Lindinvent (Lund) 2004-09-24.
- Projektinformation och diskussion samt senare uppföljande diskussioner med Bravida (Stockholm) 2004-10-05.
- Projektinformation och diskussion samt senare uppföljande diskussioner med Akademiska Hus (Göteborg) 2004-10-27.
- Projektinformation och diskussion samt senare uppföljande diskussioner med Energo (Stockholm) 2004-11-04.
- Projektinformation och diskussion samt senare uppföljande diskussioner med Bengt Dahlgren AB (Göteborg) 2004-11-04.
- Projektinformation och diskussion samt senare uppföljande diskussioner med Axro (Göteborg) 2004-12-02.

- Medverkan i V4-kursen "Termodynamik och installationstekniska system" i samband med ett seminarium om "Skyddsventilation för operationsrum och termiskt klimat i vårdlokaler" HT 2004.

Utöver alla kontakter med svenska företag och organisationer har vi också haft vissa kontakter och diskussioner med Centre for Indoor Climate vid Danmarks tekniska universitet i Lyngby.

5.2 Seminarier/workshops

Konferenser och andra externa arrangemang finns under avsnitt 5.3-5.4. Forskargruppen har arrangerat eller medverkat i ett antal seminarier och workshops med direkt anknytning till programmet:

Seminarium på Chalmers 2002-11-26. "Installationsteknik - Inomhusmiljö, installationer, effektiv resursanvändning".

Protek - Teknisk utveckling - vårdens framtid, 2003-04-23, Chalmers / Västfastigheter, Kungälv 2003. Seminarium arrangerat av Chalmers och Västfastigheter med grupparbeten samt presentationerna:

- "Behov, analys och kommunikation" (Niklas Fransson)
- "Behovstillfredsställelse och erfarenheter från praktisk drift" (Jennie Skoog),
- "Framtiden – Byggnadsautomationssystem och installationer" (Per Fahlén).

Pumpseminarium 2003-04-23, Gothia Towers, Göteborg 2004. Fahlén P; "Morgondagens VVS-system - En blick in i framtiden".

CAVA-projektet, workshop 2004-06-23, Marieholm, Göteborg. Fahlén, Per, 2004. Effektiv användning och försörjning av energi i byggnader - Behov och behovsstyrning.

ELAN-workshop 2003, Linköping, med inriktning mot el-industrin 2003-11-20.

ELAN-workshop 2004, Stockholm 2004-11-18. Fahlén P; "Behov och behovsstyrning".

5.3 Nationella konferenser

Elforskdagen 2004, Elforsk, Stockholm 2004-10-27. Fahlén P; "Låt behoven styra inomhusklimatet!"

Elforskdagen 2004, Elforsk, Stockholm 2004-10-27. Skoog J; Forskarcafé: "Brukarnas upplevelser och behov".

IT-bygg 2004, Chalmers, Göteborg 2004-01-15. Fahlén P; "Effektiv användning och försörjning av energi i byggnader - Behov och behovsstyrning",

ELAN-dagen 2005, Elforsk, Stockholm 2005-08-31. Fahlén P; "Energianvändning och inomhusmiljö - Intelligent behovsstyrning",

ELAN-dagen 2005, Elforsk, Stockholm 2005-08-31. Fahlén P; "Energianvändning och inomhusmiljö - Låt behovet styra inomhusklimatet! - men vi kan påverka behoven",

5.4 Internationella konferenser

Resultat från forskningsarbetet har presenterats vid ett antal internationella konferenser (se även publikationsförteckningen):

Nordic Matlab Conference 2001, Norway. Thomas B, Soleimani-Mohseni M; "A Simulink Model Environment for evaluation of Control-Strategies in Intelligent Buildings".

2002 ACEEE Summer Study, California, USA. 2002. Thomas B, Soleimani-Mohseni M; "Intelligent Thermostats Save Energy and Give Improved Control Performance".

Healthy Buildings 2003 Conference, 2003-12, National University of Singapore, Singapore 2003. Soleimani-Mohseni M, Thomas B; "Static and Dynamic Feed Forward in Temperature Control of Buildings".

Healthy Buildings 2003 Conference, 2003-12, National University of Singapore, Singapore 2003. Thomas B, Soleimani-Mohseni M; "A Study of Demand-Controlled Ventilation (DCV) and Constant Air Volume Systems (CAV)".

ASHRAE IAQ 2004 - Critical Operations: Supporting the Healing Environment through IAQ Performance Standards, ASHRAE, 2004-03, vol. 1, Tampa, Florida, USA 2004. Skoog J, Jagemar L, Fransson N, Fahlén P; "Indoor Environment in Hospital Wards: A Study in a Swedish Hospital".

FDSE meeting 2004 Closing the Loop: Post Occupancy Evaluation - The next steps, 2004-04-29--05-02, Windsor, England. Fransson N, Jagemar L; "Users' Perceptions - Experiences from Swedish and Danish Office Buildings".

Intelligent Systems Design and Applications (ISDA), 2004, Budapest, Hungary 2004. Soleimani-Mohseni M, Thomas B; "Neural networks for self tuning of PI- and PID controllers".

Intelligent Systems Design and Applications (ISDA), 2004, Budapest, Hungary 2004. Thomas B, Soleimani-Mohseni M; "Neural network models for predictive climate control in intelligent buildings".

5.5 Akademiska seminarier

Vid avdelningen för installationsteknik har fyra licentiatuppsatser och en doktorsavhandling försvarats vid offentliga seminarier med stöd av arbetet inom ELAN-projektet "Behov och behovsstyrning" (se "Akademisk meritering"). Dessutom har femton examensarbeten genomförts vid Data och Elektronik på Chalmers Lindholmen och 6 examensarbeten vid Installationsteknik på Chalmers genomförts i anslutning till delprojektet (se förteckning över examensarbeten i bilaga A).

- Den 25 oktober 2002 försvarade Mohsen Soleimani-Mohseni sin licentiatuppsats med titeln "Feed-forward Control and Dynamic Modelling in Temperature Control of Buildings". Diskussionsinledare var professor Lars Jensen, Lunds tekniska högskola.
- Den 7 februari 2003 försvarade Magnus Bengtsson sin licentiatuppsats med titeln "Brukarens uppfattning av inomhusmiljön – En fältundersökning i en modern kontorsbyggnad". Diskussionsinledare var Associate Research Professor Jørn Toftum från Danmarks Tekniske Universitet.
- Den 11 juni 2004 försvarade Jennie Skoog sin licentiatuppsats med titeln "Indoor environment and user perception - A field study in a hospital ward". Diskussionsledare var tekn.lic. Ulf Rengholt från CURAB och nätverket "Indoor Health Society".
- Den 20 maj 2005 försvarade Mohsen Soleimani-Mohseni sin doktorsavhandling med titeln "Modelling and Intelligent Climate Control of Buildings". Fakultetsopponent var professor Geoffrey Livermore från "Manchester Centre for Civil and Construction Engineering".
- Den 18 mars 2005 försvarade Andreas Karlsson sin licentiatuppsats med titeln "Behovsstyrd ventilation av lokalbyggnader - Innebörd och strömningstekniska konsekvenser". Diskussionsledare var Teknikkonsult Kaj Hansson, f.d. teknikchef/kontorschef AB Ångpanneföreningen.

Dessutom planerar Mari-Liis Maripuu att presentera sin licentiatuppsats om delprojekt 4 i mars 2006.

6 Slutsatser

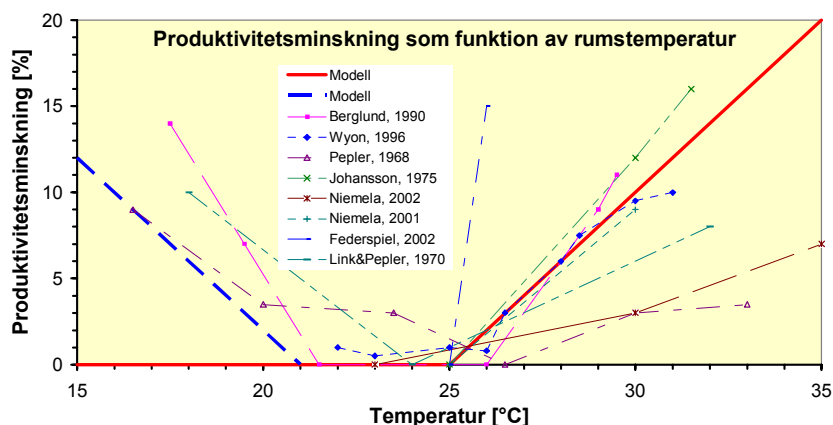
Resultaten från ELAN-projektet ”Behov och behovsstyrning” stöder den ursprungliga hypotesen att det går att skapa bättre inomhusmiljö med lägre energi- och effektbehov i de flesta typer av byggnader genom behovsstyrning. Den övergripande slutsatsen blir således: **Låt behoven styra inomhusklimatet!**

Behoven är emellertid inte givna, vi kan påverka behoven genom olika åtgärder. Rätt behovsbeskrivning och anpassade tekniska lösningar kan spara människors hälsa, energi, miljö och pengar. Behovsanpassad försörjning av de tekniska byggnadsinstallatio- nerna man bl.a. nå genom intelligent teknikanvändning. Känn av omvärlden på samma sätt som människor gör, styr efter människors behov, optimera försörjningen och kom- municera resultatet till brukaren. Här finns utrymme för att inte bara använda traditio- nella metoder utan även olika modellverktyg som ”fuzzy logic”, neurala nätverk, m.m.

Tyvärr är det emellertid fortfarande så att det inte räcker med bara teknik. Vi kan klara att hantera behov i tekniska termer, åtminstone i teorin. Många lösningar behöver emel- lertid studeras och valideras och vi också utveckla ny teknik som är robust och använ- darvänlig. De största och avgörande kunskapsluckorna finns dock fortfarande på det medicinska och beteendevetenskapliga planet.

6.1 Delprojekt 1: Brukarnas upplevelser och behov

Vi har i detta delprojekt studerat inverkan av i första hand det termiska klimatet i rela- tion till persongrupper med olika förutsättningar. Arbetet har genomförts med hjälp av litteraturstudier, enkätundersökningar, mätningar i verkliga lokaler (framförallt sjuk- hus), vissa laboratorieundersökningar samt modellering och simulering. Resultaten visar att enkäter som vi utvecklat för kontorsmiljöer även fungerar på sjukhus. Trots skilda förutsättningar mellan patienter och personal är båda grupper rimligt tillfredsställda med det termiska klimatet. Däremot finns en tendens till att båda grupperna upplever luften som torr oavsett luftens faktiska tillstånd. Att införa befuktning skulle därmed inte vara en lösning och skulle i onödan komplicera och fördyra anläggningen och samtidigt öka energianvändningen samt risken för andra problem.

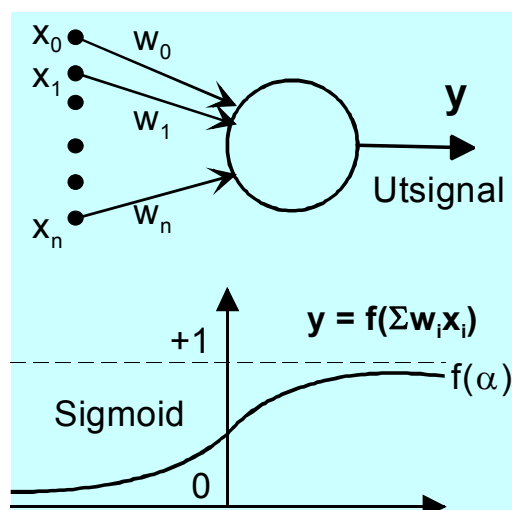


Figur 6.1 Produktivetsminskning som funktion av rumstemperatur (efter förlaga från Sep-penän).

Många byggnader har problem med inomhusklimatet och kraven kommer att öka i framtiden, särskild beträffande arbetsplatser. Inverkan på produktivitet och människors välbefinnande kommer i framtiden att få ett större erkännande än det har idag, alltefter-som kunskapen om inomhusmiljöns betydelse ökar. Både termiskt klimat (lufttempera-tur, strålningstemperatur, lufthastighet och luftfuktighet; se figur 6.1) och luftkvalitet (koldioxidhalt, partikelhalt, främmande gaser etc.) har betydelse för produktionsförlus-ter (kvalitet och kvantitet), sjukfrånvaro och personalomsättning samt klagomål (mer arbete för fastighetsdriften).

6.2 Delprojekt 2: Integrerad, intelligent behovsstyrning

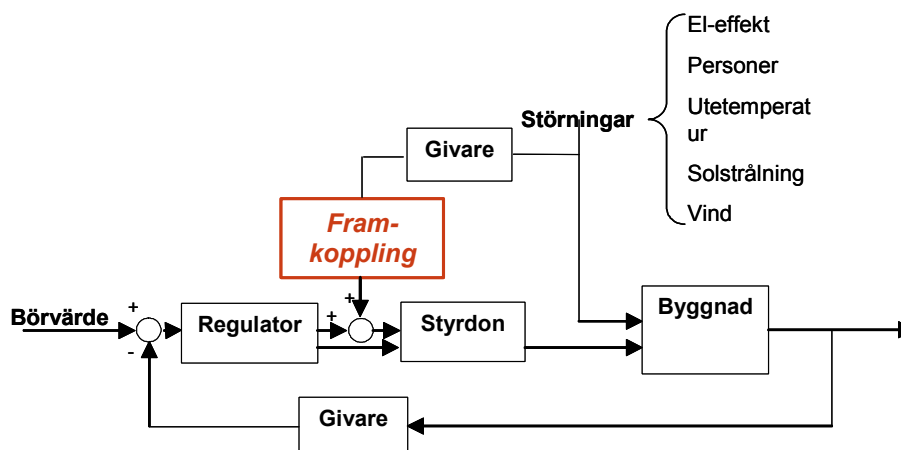
Inom delprojekt 2 har vi visat att det är möjligt att förbättra inomhusklimatet och samti-digt minska energianvändningen genom att utnyttja reglertekniska hjälpmedel som död-band och framkoppling eller prediktion. Genom att koppla den komfortzon som gäller för en viss persongrupp till ett lämpligt dödband kan en enkel regulator t.o.m. ge bättre komfort och lägre energianvändning än en mer komplicerad traditionell lösning. Det har också visat sig att neurala nätverk kan användas både för parameteridentifiering till självinställande regulatorer och för att prediktera inomhusklimatet. Resultaten visar att neurala nätverk (olinjära) är bättre än ARX-modeller (linjära), fler instorheter förbättrar resultatet, tidsangivelse är en nyttig insignal och att det är möjligt att skatta den operati-va temperaturen från andra mätningar.



Figur 6.2 Principen för neurala nätverk [Fahlén 12].

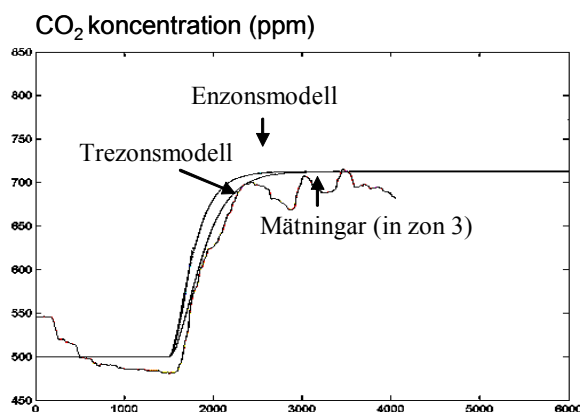
Neurala nätverk försöker efterlikna människans sätt att effektivt hantera stora mängder information. Ett antal signaler från receptorer eller andra neuroner summeras, med olika grad av viktning w , till en gemensam utsignal. Ibland används någon form av tröskelvärde, där utsignalen går från 0 till 1. I andra fall används en kontinuerlig utsignal, som blir en viktad funktion av insignalerna, en s.k. sigmo-id.

Ett annat viktigt resultat från arbetet är att visa på potentialen för att använda information utöver den som fås från den reglerade storheten. Därmed kan man ta hänsyn till faktorer som kommer att påverka funktionen i framtiden innan deras påverkan inträffat, s.k. framkoppling (se figur 6.3). Undersökningarna har omfattat reglering med eller utan *dynamisk framkoppling*, med eller utan *statisk framkoppling* samt med eller utan *dödband*. Resultaten visar att dynamisk framkoppling är bättre än statisk men att statisk framkoppling är bättre än ingen alls.



Figur 6.3 Principen för framkoppling [Soleimani-Mohseni 36].

Slutligen har studier beträffande behovsstyrd ventilation (DCV), med direkt koppling till delprojekt 3, visat att användning och teknisk lösning avgör potentialen för DCV. I en fallstudie uppnåddes en energibesparing med 75 %. Det bör framhållas att relationen mellan försörjningssystem och byggnad är avgörande för styrsystemets betydelse och vissa fall är styrprincipen i sig inte så viktig. Figur 6.4 visar en jämförelse mellan uppmätta och modellerade värden för koldioxidkoncentrationen i en fallstudie med koldioxidstyrd behovsstyrd ventilation.



Figur 6.4 Fallstudie med koldioxidstyrd DCV i en föreläsningssal [Soleimani-Mohseni 36].

Med de hjälpmedel som studerats i projektet kan man hantera både *yttre laster* som väder och vind och *inre laster* som personer och verksamhetsrelaterade apparater. De yttre lasterna kan vara både snabba (h, dygn) och långsamma (månader). De inre lasterna kan ha en ojämn fördelning i tid och rum (använd behovsstyrning) och ge stora variationer på rumsnivå (utnyttja framkoppling). Den teknik som provats och utvecklats i detta projekt kan i förlängningen innebära att nya hjälpmedel och produkter utvecklas för driftsoperatörer och brukare. Några exempel är utvecklingen av nya ”intelligenta termostater”, ”självinställande regulatorer” i fastigheter, bättre hjälpmedel vid felsökning, nya tjänster mm. Forskningen kan också innebära att nya koncept för reglering av inomhusklimatet provas i full skala. Reglering av inomhusklimatet baserad på prediktioner är ett område med stora möjligheter. Det är ett område som provats med stor framgång i flera andra teknikbranscher och där företag i Sverige har potential att bli ledande i Europa.

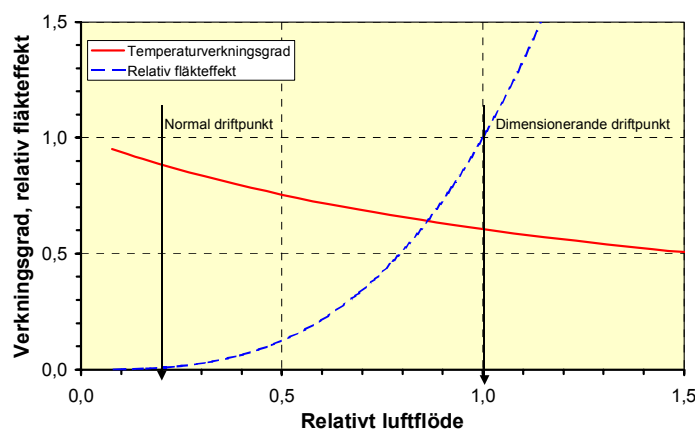
I projektet har vi sammanfattningsvis kunnat konstatera att reglertekniken i styrsystemen för inomhusklimatet i en byggnad har mycket stor betydelse både när det gäller energianvändningen och när det gäller kvaliteten på inomhusklimatet. Genom att använda dagens bästa teknik finns det stora potentialer till energibesparingar.

6.3 Delprojekt 3: Behovsstyrd ventilation – Strömningstekniska konsekvenser - Systemfrågor

Temperering och transport av ventilationsluft är den dominerande energiposten för en stor del av fastighetsbeståndet. Projektresultaten visar att anpassning efter faktiska behov kan spara både el och värme men att detta ställer särskilda krav på kanalsystem och don. Kopplingen till donkrav och stabilitet visar också att system för låga tryckfall inte självklart är lågtryckssystem och att relationen mellan dynamiskt och statiskt tryck får en stor betydelse vid behovsstyrning. Friktionstryckfall i kanaler blir ofta små i behovsstyrda system och i stället dominerar tryckfall i aggregat, injusteringspjäll och slutapparater. Nya, anpassade systemlösningar kan drastiskt minska dessa tryckfall.

Ett viktigt resultat från delprojekt 3 är att system med låga tryckfall, t.ex. DCV system vid nedreglerad drift, måste hantera ”fördelningsfrågor” med eftertanke. Praktiska studier visade att man faktiskt fick ”tryckåterhämtning”, d.v.s. stigande statiskt tryck i strömningsriktningen. En viktig anledning till att använda DCV är att man kan spara

både el och värme. Därmed kan DCV vara ett alternativ till värmeåtervinning men även ett komplement. Vid nedreglering ökar verkningsgraden för värmeåtervinningen (se figur 6.5). Det bör noteras att bättre funktion och flexibilitet kan vara lika viktiga faktorer som energibesparingen i sig.

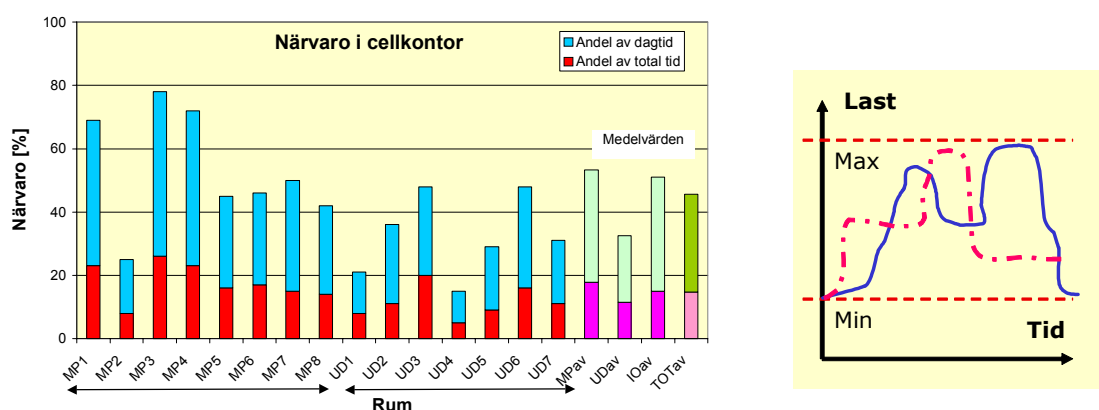


Figur 6.5 Inverkan av reducerat ventilationsflöde på fläkteffekt och verkningsgrad för värmeåtervinning [Fahlén 12].

Slutrapporten, i form av en licentiatuppsats, behandlar förutsättningarna för ventilationssystem i allmänhet, projekteringsfilosofi, innebörden av behovsstyrd ventilation och vilka strömningstekniska konsekvenser som kan bli följden av DCV. Analysen underbyggs med mätningar på lågtryckfallssystem och variabelflödessystem.

6.4 Sammanfattning

Behov och behovsstyrning är intressant i alla byggnader med variationer i användningen, d.v.s. de flesta byggnader. Variationen kan vara för hela byggnaden eller på rumsnivå (se figur 6.6).



Figur 6.6 Variationer i närvaro och behov på rumsnivå [Dennis Johansson 2004]. Belastning och dess effekt ligger ofta fasförskjutna vilket ger möjligheter för framkoppling [Fahlén 12].

Sammanfattningsvis kan vi konstatera att kunskap om verkliga *behov* och hur de *tillfredsställs* kan ge:

- Bättre *inomhusmiljö*, vilket kan leda till ökad *produktivitet*, ökad trivsel, minskad sjukfrånvaro etc.
- Lägre *effekt- och energibehov* med hjälp av styr- och reglerteknik
Ex. DCV: Minskat flöde ger *minskad fläkteffekt* plus *ökad verkningsgrad* för eventuell värmeåtervinning;
Ökat flöde ger bättre *inomhusklimat*
- Möjligheter för helt nya systemlösningar
- Bättre effektutnyttjande och nöjdare kunder för energiföretagen.

7 Publikationer och föredrag

I anslutning till projektet "Behov och behovsstyrning" har ett antal publikationer och presentationer kommit fram: 1 doktorsavhandling, 4 licentiatuppsatser, 6 vetenskapliga artiklar, 11 vetenskapliga konferensbidrag, 21 populära artiklar, 6 tekniska rapporter, 5 övriga konferensbidrag och 3 övriga föredrag. Nedan följer en listning av dessa i författarordning.

- [1] Bengtsson M; "Brukarens uppfattning av inomhusmiljön - En fältundersökning i en modern kontorsbyggnad", Chalmers tekniska högskola, Installationsteknik, licentiatuppsats D2003:01, 163 sidor. Göteborg 2003.
- [2] Bengtsson M, Fransson N; "Vad tycker brukaren om att arbeta i ett modernt kontorshus?" Energi & Miljö, 2003-08, nr. 8, vol. 74, sid. 59-60. Stockholm 2003.
- [3] Fahlén P; "Effektiv användning och försörjning av energi i byggnader - Behov och behovsstyrning", Effektiv användning och försörjning av energi i byggnader, 2003-01-30, Chalmers, Göteborg 2003.
- [4] Fahlén P; "Framtiden - Byggnadsautomation och installationer", Protek - Teknisk utveckling - vårdens framtid, Chalmers/Västfastigheter, 2003-04-23, Kungälv 2003.
- [5] Fahlén P; "Indoor climate control", Achieving the desired indoor climate - Energy efficiency aspects of system design, Studentlitteratur, sid. 585-623, Lund, Sweden 2003.
- [6] Fahlén P; "Behov och behovsstyrning", ELAN-workshop, 2004-11-18, Stockholm 2004.
- [7] Fahlén P; "Effektiv användning och försörjning av energi i byggnader - Behov och behovsstyrning", IT-bygg, 2004-01-15, Chalmers, Göteborg 2004.
- [8] Fahlén P; "Energibesparing i fastigheter", Fastighetsförvaltaren, 2004-12, no. 6, sid. 14. Göteborg 2004.
- [9] Fahlén P; "Låt behoven styra inomhusklimatet!" Elforskdagen, Elforsk, 2004-10-27, Stockholm 2004.
- [10] Fahlén P; "Morgondagens VVS-system - En blick in i framtiden", Pumpseminarium, 2003-04-23, Göteborg 2004.

- [11] Fahlén P; "Energianvändning och inomhusmiljö - Intelligent behovsstyrning", ELAN-dagen, Elforsk, 2005-08-31, Stockholm 2005.
- [12] Fahlén P; "Energianvändning och inomhusmiljö - Låt behovet styra inomhusklimatet! - men vi kan påverka behoven", ELAN-dagen, Elforsk, 2005-08-31, Stockholm 2005.
- [13] Fahlén P; "Forskargruppen vid Chalmers tekniska högskola", Vardagens elvanor, Elforsk, sid. 58-59, Stockholm 2005.
- [14] Fahlén P; "Forskning om inomhusklimat", VVS-Forum, 2005-10, specialnr. Teknik & Installation, sid. 6. Stockholm 2005.
- [15] Fahlén P; "Lönsamt att uppfylla behoven", VVS-Forum, 2005-10, specialnr. Teknik & Installation, sid. 4-6. Stockholm 2005.
- [16] Fahlén P; "Med hjärnan som modell - Smart styrning av framtidens inomhusklimat", VVS-Forum, 2005-10, specialnr. Teknik & Installation, sid. 88-90. Stockholm 2005.
- [17] Fahlén P; "Som naturen - eller bättre?" VVS-Forum, 2005-10, specialnr. Teknik & Installation, sid. 90. Stockholm 2005.
- [18] Fahlén P; "Utopi att uppfylla behoven hos varje människa i varje ögonblick", Vardagens elvanor, Elforsk, sid. 63-64, Stockholm 2005.
- [19] Fransson N, Jagemar L; "Users' Perceptions - Experiences from Swedish and Danish Office Buildings", FDSE meeting Closing the Loop:Post Occupancy Evaluation - The next steps, 2004-04-29--05-02, Windsor, England 2004.
- [20] Karlsson A; "Behovsstyrd ventilation i lokalbyggnader - Innebörd och strömningstekniska konsekvenser", Chalmers tekniska högskola, Installationsteknik, licentiatuppsats D2005:01, 139 sidor. Göteborg 2005.
- [21] Karlsson A; "Control-on-demand ventilation of premises - Implications and fluid dynamic consequences", Scanvac Newsletter, 2005, nr. 1, sid. 8-9. Oslo, Norway 2005.
- [22] Karlsson A, Fahlén P; "Ventilationssystemet kan anpassas till behovsstyrningen", Vardagens elvanor, Elforsk, sid. 67-68, Stockholm 2005.

-
- [23] Maripuu M-L, Jagemar L; "Energy savings by installing Variable Air Volume systems in existing office buildings – Experience with a new supply device", REHVA, Vilnius 2004-10.
- [24] Maripuu M-L, Jagemar L; "Variable Air Volume systems for existing office buildings – A new supply air terminal device concept", 5th International Conference on Indoor Climate in Buildings 2004 - Health, comfort and safety by operation of HVAC systems Slovakia 2004-11.
- [25] Skoog J; "Environmental Control Systems in Buildings - A Comparison between Hospitals and Office Buildings", Report, EU-EBOB homepage, Contract No. NNE5/2001/263. 2004.
- [26] Skoog J; "Indoor environment and user perception - A field study in a hospital ward", Chalmers tekniska högskola, Installationsteknik, licentiatuppsats D2004:03. Göteborg 2004.
- [27] Skoog J; "Indoor Environment, Human Perception and Energy Savings - A Comparison Between Hospitals and Office Buildings", Report Ver 1.0, EU-EBOB homepage, Contract No. NNE5/2001/263. 2004, USA 2004.
- [28] Skoog J; "Indoor Environment and User Perception - A Field Study in a Hospital Ward", Scanvac Newsletter, Oslo, Norway 2004.
- [29] Skoog J; "Inomhusmiljö och hur den upplevs i vårdlokaler", Energi & Miljö, 2005-02, nr. 2, vol. 76, sid. 57-58. Stockholm 2005.
- [30] Skoog J, Fahlén P; "Patienter och personal kan enas om 22,5 grader", Vardagens elvanor, Elforsk, sid. 65-66, Stockholm 2005.
- [31] Skoog J, Fransson N, Jagemar L; "Thermal Environment in Swedish Hospitals - Summer and Winter Measurements", Energy and Buildings, 2005, vol. 37, sid. 872-877 2005.
- [32] Skoog J, Jagemar L, Fransson N, Fahlén P; "Indoor Environment in Hospital Wards: A Study in a Swedish Hospital", ASHRAE IAQ 2004 - Critical Operations: Supporting the Healing Environment through IAQ Performance Standards, ASHRAE, 2004-03, vol. 1, Tampa, Florida, USA 2004.
- [33] Skoog J; "Relative humidity in hospital wards - User perception and technical consequences", 2nd International Conference on the Quality of the Indoor Environment in Hospitals, 2005-10-6—7, Prague, Czech Republic 2005.

- [34] Skoog J; "Relative humidity in hospital wards - User perception and technical consequences", Indoor and Built Environment 2006.
- [35] Soleimani-Mohseni M; "Feed-forward control and dynamic modelling in temperature control of buildings", Chalmers tekniska högskola, Installationsteknik, licentiatuppsats D65:2002, 111 sidor. Göteborg 2002.
- [36] Soleimani-Mohseni M; "Modelling and intelligent climate control of buildings", Chalmers tekniska högskola, Installationsteknik, doktorsavhandling D2005:03, 216 sidor. Göteborg 2005.
- [37] Soleimani-Mohseni M; "Smartare användning gör fastighetsautomation klokare", Automation nr 7 sidan 12, 5 september 2005.
- [38] Soleimani-Mohseni M; "Smart styrning av fastigheter lockar få", VVS-Forum nr. 8 sidorna 98-99, augusti 2005.
- [39] Soleimani-Mohseni M; "Smart styrning spar energi", Miljö & Utveckling nr. 4 sidorna 36-37, 2005.
- [40] Soleimani-Mohseni M; "Energivinst och bättre inneklimat med smart styrning", Miljöforskning nr. 4 sidan 15, september 2005.
- [41] Soleimani-Mohseni M; "Energy gains and better indoor climate with smart control", Sustainability nr. 3 sidan 18, november 2005.
- [42] Soleimani-Mohseni M; "Tänkande styrsystem ska reagera snabbare", IT & Fastighet nr. 10 sidorna 12-13, 2005.
- [43] Soleimani-Mohseni M, Thomas B, Fahlén P; "Att räkna människor och glödlampor ger förutsägelser av husets värmebehov", Vardagens elvanor, Elforsk, sid. 60-62, Stockholm 2005.
- [44] Soleimani-Mohseni M, Thomas B; "Static and Dynamic Feed Forward in Temperature Control of Buildings", Proceedings of the Healthy Buildings 2003 Conference, 2003-12, National University of Singapore, Singapore 2003.
- [45] Soleimani-Mohseni M, Thomas B; "Neural networks for self tuning of PI- and PID controllers", Intelligent Systems Design and Applications (ISDA), 2004, Budapest, Hungary 2004.

-
- [46] Soleimani-Mohseni M, Thomas B, Fahlén P; "Estimation of operative temperature in buildings using artificial networks", Energy and Buildings, 2006, London, Great Britain 2006.
- [47] Strandh B, Fahlén P; "En utmaning att definiera människors behov av energi", Vardagens elvanor, Elforsk, sid. 56-57, Stockholm 2005.
- [48] Thomas B, Soleimani-Mohseni M; "Reglerteknikens möjligheter i framtidens intelligenta hus - En förstudie", Chalmers Lindholmen högskola, rapport 7, Göteborg 2001.
- [49] Thomas B, Soleimani-Mohseni M; "A Simulink Model Environment for evaluation of Control-Strategies in Intelligent Buildings", Nordic Matlab Conference, sid. 136-141, Norway 2001.
- [50] Thomas B, Soleimani-Mohseni M; "Intelligent Thermostats Save Energy and Give Improved Control Performance", 2002 ACEEE Summer Study, California, USA. 2002.
- [51] Thomas B, Soleimani-Mohseni M; "Linear and non-linear neural network models for estimation of operative temperature in buildings - A comparison", Institutionen för data och elektronik, Chalmers Lindholmen, rapport 17, Göteborg 2004.
- [52] Thomas B, Soleimani-Mohseni M, Stenberg M; "Reglerteknikens möjligheter i framtidens intelligenta hus - Integrerad intelligent behovsstyrning", Chalmers Lindholmen högskola, 7, Göteborg 2004.
- [53] Thomas B, Soleimani-Mohseni M, Stenberg M; "Reglerteknikens möjligheter i framtidens intelligenta hus - Integrerad intelligent behovsstyrning", Chalmers Lindholmen, Slutrapport, Göteborg 2006.
- [54] Thomas B, Soleimani-Mohseni M; "A Study of Demand-Controlled Ventilation (DCV) and Constant Air Volume Systems (CAV)", Proceedings of the Healthy Buildings 2003 Conference, 2003-12, National University of Singapore, Singapore 2003.
- [55] Thomas B, Soleimani-Mohseni M; "Neural network models for predictive climate control in intelligent buildings", Intelligent Systems Design and Applications (ISDA), 2004, Budapest, Hungary 2004.
- [56] Thomas B, Soleimani-Mohseni M, Fahlén P; "Feed-forward in temperature control of buildings", Energy and Buildings, 2005, vol. 37, sid. 755-761. London, Great Britain 2005.

- [57] Thomas B, Soleimani-Mohseni M, Stenberg M; "Reglerteknikens möjligheter i framtidens intelligenta hus - Integrerad intelligent behovsstyrning", Chalmers Lindholmen, Slutrapport, Göteborg 2006.
- [58] Thomas B, Soleimani-Mohseni M; "Artificial neural network models for indoor temperature prediction - Investigations in two buildings" (inskickad, ej publicerad ännu), Neural Computing & Applications 2006.

A Examensarbeten

Nedan finns listat ett antal examensarbeten som genomförts i anslutning till eller som delar av ELAN-projektet Behov och behovsstyrning.

A.1 Delprojekt 1: Brukarnas upplevelser och behov

- [A1.] Johansson A, Skoog J; "Inomhusmiljö i vårdlokaler - Utökad kravformulering för termiskt klimat, luftkvalitet, ljus och färg", Chalmers tekniska högskola, Installationsteknik, Chalmers report E170:2001, 52 sidor. Göteborg, Sweden 2001.
- [A2.] Ryding J, Samuelsson L, Sörlin E; "Nya psykiatricentrum vid Akademiska sjukhuset i Uppsala", Chalmers tekniska högskola, School of Architecture. Göteborg 2003.
- [A3.] Eriksson J, Rydberg F; "Inomhusklimat i vårdlokaler: Mätstudie och underlag för kravformulering" (Indoor Climate in Hospital Wards: Measurement and Basic Data for Recommendations), Examensarbete 2006:1, Avdelningen för Installationsteknik, Institutionen för Energi & Miljö, Chalmers tekniska högskola, Göteborg 2006.

A.2 Delprojekt 2: Integrerad, intelligent behovsstyrning

- [A4.] Grolander D, Johansson M; "Gränssnitt för det intelligenta hemmet i spelkonsolmiljö", Examensarbete 2000:47, Chalmers Lindholmen. (I samarbete med företaget e-Hem i Göteborg), Göteborg 2000
- [A5.] Kazempour M, Stefanescu A E; "Modifiering och internetanslutning av väderstation", Examensarbete 2000:85, Chalmers Lindholmen, Göteborg 2000.
- [A6.] Hammarström R, Larsson J; "Regulatordimensionering med hjälp av neurala nätverk", Exjobb 2003:10, Chalmers Lindholmen, Göteborg 2003.
- [A7.] Andersson R, Persson A; "Uppskattning av regulatorparametrar med artificiella neurala nätverk", Examensarbete 2003:18., Chalmers Lindholmen, Göteborg 2003.
- [A8.] Pouralaei H, Norouzirad M; "Undersökning och utvärdering av behovsstyrd ventilation", Examensarbete 2003:44, Chalmers Lindholmen, Göteborg 2003.
- [A9.] Algården N, Rylander D; "Internetapplikation för LonWorks", Examensarbete 2003:46, Chalmers Lindholmen (Regelab AB), Göteborg 2003.
- [A10.] Regnstedt M; "Modellering och simulering av ventilationssystem med inriktning mot behovsstyrd ventilation", Examensarbete 2003:65, Chalmers Lindholmen, Göteborg 2003.

- [A11.] Esporlas G, Mazare Afshin; "Undersökning och utvärdering av reglerventiler", Examensarbete 2003:66, Chalmers Lindholmen, Göteborg 2003.
- [A12.] Ericsson M, Green T; "Simuleringsmiljö för tappvarmvatten i villa", Examensarbete 2004, Chalmers Lindholmen (KTC Control AB), Göteborg 2004.
- [A13.] Clase C; "Reglering av ljusflödet i byggnader", Examensarbete 2004, Göteborg 2004.
- [A14.] Pourfathollah M; "Energieffektivisering med hjälp av datoriserad styr- och övervakning via webb", Examensarbete 2004:77 Chalmers Lindholmen (Bengt Dahlgren AB), Göteborg 2004.
- [A15.] Gustavsson J, Lundell D; "Förstudie vid konstruktion av ny regulatorserie", AB Regin, Göteborg 2005.
- [A16.] Gjörlöf C, Ahmadi S; "Jämförelse av webbaserade styr- och övervakningssystem inom fastighetsautomation", Bengt Dahlgren AB, Göteborg 2005.
- [A17.] Bunne J, Josefsson J; "Modellering och simulering av klimatkammare", SenseAir AB, Göteborg 2005.
- [A18.] Lindberg A; "Modellering och reglering av elradiatorer", LVI-produkter, Göteborg 2005.

A.3 Delprojekt 2: Behovsstyrd ventilation - Strömningstekniska konsekvenser

- [A19.] Vestman R; "Luftdistribution i större kanalsystem – En mätstudie", Examensarbete 2003:2, Installationsteknik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg 2003.
- [A20.] Lindén R; "Luftdistributionssystem med låga tryckfall - En mätbaserad studie av tryck- och flödesförhållanden", Chalmers tekniska högskola, Installationsteknik, Examensarbete E2004:07. Göteborg 2004.
- [A21.] Lindström M, Sundin D; "Uppbyggnad av luftbehandlingssystem för operationsrum", Examensarbete E2005:03, Installationsteknik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg 2005.

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