

CHALMERS



Energikartläggning och förslag till en minskad energianvändning i HDK-huset

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg och vattenbyggnad

CARL PALSTAM

LISA HÅKANSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Byggnadsteknologi
Byggnadsfysik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2008
Examensarbete 2007:147

EXAMENSARBETE 2007:147

Energikartläggning och förslag till en minskad energianvändning i HDK-huset

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet

Carl Palstam

Lisa Håkansson

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Byggnadsteknologi
Byggnadsfysik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2008

Energikartläggning och förslag till minskad energianvändning i HDK-huset

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet

CARL PALSTAM

LISA HÅKANSSON

© CARL PALSTAM, LISA HÅKANSSON, 2008

Examensarbete 2007:

Institutionen för bygg och miljöteknik

Avdelningen för Byggnadsteknologi

Byggnadsfysik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

HDK-huset, huskropp byggd år 1904

Institutionen för bygg- och miljöteknik, Göteborg 2008

Energy survey and measures to reduce the energy use at the HDK-building
Master's Thesis Civil Engineering
LISA HÅKANSSON & CARL PALSTAM
Department of Civil and Environmental Engineering
Division of Building technology
Building physics
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Göteborg University has the aim to be a top level University in environmental research. To achieve this, different kinds of measures have been put forward and one of them is the energy use in their buildings. Göteborgs University environmental coordinate division is working with this topic and this particular report is dealing with the energy use at the Högskolan för Konst- och Designhantverk (HDK) building. This rapport is done to survey the energy use and to make suggestions for viable measures to reduce the energy use in the building.

To understand the current energy situation an energy survey of the building has been done and a questionnaire has been handed out to the staff and students in the building. This has then been the base for the further investigations of the building. The building is divided into a smaller zone so that simulations of the building can be done properly in the program IDA klimat och energi 3.0.

The performance of the building today is then compared with different types of energy-saving measures that are suggested and simulated. The measures that are discussed and simulated in IDA are solar shading, new lightning, new windows, improving roof insulation, optimizing the ventilation and reducing air infiltration. Other more general suggestions are also discussed. It was important that suggested measures should not inflict with the cultural value of the building and the function of the indoor environment. These aspects are also discussed in the report.

Conclusions from the study of the building are that the building can be more energy efficient and the indoor environment could be improved. With the different measures that have been suggested in the rapport the total energy can be reduced.

Keywords : Energy survey, energy-saving measures, IDA Energi och Klimat 3.0.

Energikartläggning och förslag till minskad energianvändning

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet

CARL PALSTAM

LISA HÅKANSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för Byggnadsteknologi

Byggnadsfysik

Chalmers Tekniska Högskola

SAMMANFATTNING

Göteborgs universitet är det enda universitet i världen som är miljöcertifierat enligt både ISO 14001 och EMAS. Universitetet ligger även i framkant vad gäller forskning och undervisning inom området hållbar utveckling. För att minska universitetets energiförbrukning genomförs en energikartläggning i några av universitetets lokaler på initiativ av miljöenheten och fastighetsavdelningen.

I denna rapport kartläggs energiförbrukningen i de lokaler som Högskolan för Konst- och Designhantverk (HDK) utnyttjar. Fastigheten hyrs av Higabgruppen som är ett kommunalt fastighetsbolag och står för underhållet av fastigheten. Fastigheten har en specifik energianvändning på 220 kWh/m² och år vilket ligger något över universitetets genomsnittliga specifika energiförbrukning på 211 kWh/m² och år. Verksamheten i fastigheten är väldigt varierande med verkstäder, datorsalar, ateljéer, café, arbetsrum m.m. Den komplexa verksamheten i kombination med varierande arbetstider hos brukarna ställer höga krav på de klimathållande systemen i fastigheten och har setts som en möjlighet då olika energibesparandeåtgärder arbetats fram.

Brukarnas upplevelse av inomhusklimatet har kartlagts med en enkät som delats ut till personal och studenter i fastigheten. Med hjälp av dessa enkäter och interjuver med brukarna har det kunnat konstateras att inomhusklimatet upplevs negativt främst på grund av alltför varierande inomhustemperaturer under året. Fastighetens energibalans har därefter tagits fram med hjälp av litteraturstudier, platsbesök, simuleringar och handberäkningar.

Utifrån dessa förstudier har energibesparande åtgärder och åtgärder som förbättrar inomhusklimatet arbetats fram. Åtgärderna har simulerats i programmet IDA Klimat och energi 3.0. Slutsatser av deras inverkan på energiförbrukningen och påverkan på inomhusklimatet har gjorts utifrån dessa simuleringar. Hela fastigheten har inte simulerats utan bara den del som upplevs extra problematisk gällande energiförbrukning och inomhusklimat aspekt har simulerats.

Med hjälp av simuleringsresultaten har det kunnat konstateras att det finns stor förbättrings potential och flera möjliga åtgärder för att minska energiförbrukningen och förbättra inomhusklimatet. Att optimera ventilationsaggregatets drifttider är en mycket effektiv och enkel åtgärd som ger en kostnadsbesparing på 11 500 SEK per år.

En central del för de föreslagna åtgärderna är att de följer de nationella krav som finns vid ombyggnad av befintlig bebyggelse. Att ta hänsyn till byggnadens befintliga värden och skapa lösningar som förhåller sig till husets historia har varit en viktig del.

Nyckelord: energikartläggning, energibesparande åtgärder, IDA klimat och energi
3.0

Innehåll

ABSTRACT	I
SAMMANFATTNING	II
INNEHÅLL	IV
FÖRORD	VII
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Metod	2
1.4 Avgränsning	2
1.5 Rapportöversikt	2
2 VIKTIGA BEGREPP	4
3 ENERGIANVÄNDNING I BEBYGGELSE	7
3.1 Krav och riktlinjer angående inomhusklimat och energieffektivisering.	7
3.1.1 Riktlinjer från Boverket	7
3.1.2 Riktlinjer från minimikrav på luftväxling 7 och R1	9
3.1.3 Krav på koldioxidhalt	10
3.1.4 Sammanfattning	11
3.2 Energideklarationen	11
3.3 Energieffektivisering i offentliga lokaler	12
3.3.1 En tillbakablick	12
3.3.2 I dagsläget	13
3.3.3 Aktuella stöd och pågående projekt	14
4 BESKRIVNING AV FASTIGHETEN	15
4.1 Beskrivning av klimatskalet	15
4.1.1 Byggnadsbeskrivning av originalbyggnaden	16
4.1.2 Byggnadsbeskrivning av huskroppen byggd år 1964	17
4.2 Miljöstörande material i fastigheterna	18
4.3 Beskrivning av installationstekniska system	19
4.3.1 Ventilationssystemet	19
4.3.2 Beskrivning av värmesystemet	20
4.3.3 Beskrivning av kylsystem	21
4.4 Beskrivning av verksamheten	21
4.5 Beskrivning av inomhusklimatet	22
4.6 Kulturhistoriska värden	23

5	UTVÄRDERING AV ENKÄTER OCH INTERJUVER	24
6	BYGGNADENS ENERGIBALANS	27
6.1	HDK- husets energibalans	27
6.2	Transmissionsförluster, Q_{trans}	28
6.3	Värmebehov för ventilationen, Q_{vent}	31
6.4	Värmeförluster genom luftläckage, $Q_{läck}$	32
6.5	Värmebehov för tappvarmvattnet, Q_{tvv}	33
6.6	Distributionsförluster och reglerförluster, Q_{dr}	33
6.7	Återvunnen värme med värmeåtervinningsaggregat, Q_{vwx}	33
6.8	Interntvärmestillskott, Q_{intern}	34
6.9	Värmestillskott från solinstrålningen, Q_{sol}	35
6.10	Elbehov	35
6.11	Analys av månadsstatistik, el och värmeförbrukning	36
7	ENERGIBESPARANDE ÅTGÄRDER	38
7.1	Resursanvändning och ekonomiska besparingar	38
7.2	Åtgärder på klimatskärmen	38
7.2.1	Minskning av transmissionsförluster	39
7.2.2	Frikyla	41
7.2.3	Solavskärmning	41
7.3	Installationstekniska åtgärder	42
7.3.1	Armatyr	42
7.3.2	Ventilation	44
7.3.3	Lagring av kyla i byggnadsmaterial	44
8	SIMULERINGAR OCH RESULTAT	45
8.1	Verifiering av simuleringar	45
8.2	Simuleringar zon 1	47
8.3	Verksamhetens möjlighet till minskad energiförbrukning och förbättrat inomhusklimat	58
9	DISKUSSION	60
10	SLUTSATS	62
11	REFERENSER	63

Förord

Förslaget att genomföra en energikartläggning i HDK-huset lades fram av miljöenheten på Göteborgs Universitet. Energiflödena i huset har kartlagts med hjälp av konstruktionsritningar, platsbesök, beräkningar, simuleringar samt handledning från våra två handledare Anette Gustafsson från Göteborgs Universitet miljöenhet och Angela Sasic institutionen för byggnadsfysik Chalmers. De föreslagna åtgärderna har arbetats fram utifrån vad simuleringsresultaten gav, litteraturstudier samt efter samråd med fastighetsägarna Higab. Examinator för examensarbetet är Anker Nielsen bitr. professor i byggnadsfysik, Chalmers tekniska högskola.

Arbetet med energikartläggningen har utförts i miljöenhetens lokaler. Att arbeta i denna miljö har varit utvecklande och lärorikt för oss och vi vill tacka alla på miljöenheten och Göteborgs miljövetenskapliga centrum (GMV) för hjälp. Våra handledare Angela Sasic och Anette Gustafsson har hjälpt oss under arbetets gång och då problem har uppstått, tack för all hjälp. Vi vill även tacka alla andra som har hjälpt oss under arbetets gång och bidragit med kloka ord och kommentarer.

Lisa Håkansson och Carl Palstam

Göteborg januari 2008

1 Inledning

Göteborgs universitet hyr sina lokaler av olika fastighetsägare, HDK-huset ägs och förvaltas av Higab-gruppen. Universitetet är en av Sveriges ledande universitet i forskning inom området hållbar utveckling och är det enda universitet i världen som är miljöcertifierat enligt både europeiska och internationella standarder. Därför är miljöbelastningen från universitetets fastigheter i form av förbrukad energi en mycket viktig fråga.

I denna rapport skall en av universitetets inhyrda fastigheter analyseras, energiförbrukningen skall kartläggas och åtgärder för att minska energiförbrukningen skall tas fram.

Fastigheten som skall studeras hyser forskning och undervisningslokaler för Högskolan för Design och Konsthantverk (HDK) och ligger på Kristinelundsgatan 6, Göteborg. Fastigheten består av två huskroppar, en del byggd år 1964 och en byggnad från år 1904.

Den specifika energianvändningen är i dagsläget $220,8 \text{ [kWh/m}^2_{\text{BTA}},\text{år]}$ vilket kan jämföras med Göteborgs universitets genomsnittliga energiförbrukning som är $211 \text{ [kWh/m}^2_{\text{BTA}},\text{år]}$

1.1 Bakgrund

Göteborgs universitet är miljöcertifierat och arbetar kontinuerligt med att minska sin miljöpåverkan. Energiförbrukningen för verksamheten är ett av områdena som påverkar miljön i högsta grad och därför är det viktigt att arbeta med denna fråga.

Göteborgs Universitet hyr sina lokaler av olika fastighetsägare, till exempel Akademiska hus och Higab-gruppen. Denna rapport kommer att inriktas på Högskolan för design och konsthantverks (HDK) lokaler som förvaltas av Higab-gruppen.

HDK-huset har många olika verksamheter som till exempel färglaboratorier, verkstäder, datorsalar, ateljéer, seminarierum och forskningslokaler. Den blandade verksamheten gör att klimathållningen i lokalerna blir komplex. Den ställer höga krav på styrsystem och det kan resultera i en onödigt hög energiförbrukning om systemet inte är optimerat för den aktuella verksamheten.

Husets ventilationssystem har byggts om i omgångar senast år 1993. Verksamheten har förändrats sedan dess och ventilationssystemet fyller idag inte sin funktion enligt personal och studenter i fastigheten.

Den gamla delen av huset är byggd år 1904 och är omnämnd i Göteborgsstads skrift om *kulturhistorisk värdefull bebyggelse - ett program för bevarande*, vilket gör att hänsyn till det arkitektoniska och kulturella värdet bör tas då energibesparande åtgärder föreslås.

1.2 Syfte

Syftet med rapporten är att göra en kartläggning över energianvändningen i HDK-huset vid Göteborgs Universitet. Energikartläggningen kommer att analyseras och jämföras med projekterade värden och riktlinjer som finns för ett energieffektivt inomhusklimat.

Rapportens huvudmål är att finna lösningar som sänker energiförbrukningen utan att försämra husets funktion, innemiljö, tekniska och kulturhistoriska kvalitéer.

Då energiförbrukningen är kartlagd kommer förslag som leder till en minskad energiförbrukning att presenteras. Förslagen kommer att diskuteras ur ekonomisk aspekt, hållbar synvinkel och även hur åtgärden kommer att påverka byggnadens kulturhistoriska värden. Det är viktigt att förslagen förbättrar inomhusklimatet och att föreslagna system är driftsäkra.

1.3 Metod

För att genomföra en kartläggning av energiförbrukningen i den befintliga byggnaden kommer ett simuleringsprogram att användas. Innan simuleringsprogrammet används kommer byggnadens energibalans att beskrivas, en byggnadsbeskrivning tas fram och VVS-systemet att kartläggas.

I samråd med våra handledare har simuleringsprogrammet *IDA klimat och energi 3.0* valts. Den befintliga byggnaden kommer först att simuleras och simuleringsresultatet används som referens då olika energibesparande åtgärder utvärderas. De olika förslagen kommer sedan att diskuteras och olika aspekter vägas mot varandra.

Personal och studenter i HDK-huset kommer att svara på en enkät om hur de uppfattar inomhusklimatet i byggnaden och hur deras beteende ser ut då de vistas i fastigheten. Enkäten kommer sedan att analyseras och ligga till grund för föreslagna åtgärder.

1.4 Avgränsning

Simuleringar kommer inte att göras på hela fastigheten utan kommer att utföras på en mindre del av byggnaden. Energibesparande åtgärder som gäller hela fastigheten kommer att presenteras och diskuteras i rapporten även om simuleringar endast utförs på en begränsad del av fastigheten.

1.5 Rapportöversikt

I kapitel 2 diskuteras de begrepp som används i rapporten. Det är begrepp som berör ämnen byggnadsfysik, installationsteknik och VVS-system. För den läsare som känner sig osäker på dessa ämnen kan en studie i detta kapitel rekommenderas. För den mer invigde läsaren kan detta kapitel användas i de fall då osäkerheter uppstår under läsandets gång.

Kapitel 3 är en sammanställning av väsentliga krav som ställs på byggnader i avseende på energianvändning, luftkvalitet och varsam ombyggnad.

Kapitel 4 Behandlar energieffektivisering i offentliga lokaler. Även historiska aspekter, erfarenheter, aktuella styrmedel och Sveriges miljökvalitetsmål diskuteras. Detta kapitel beskriver också fastighetens byggnadstekniska egenskaper, befintliga VVS-system och kulturhistoriska värden.

Kapitel 5 är en sammanställning av de enkäter som delats ut till personal och studenter i fastigheten. Enkäten berörde frågor kring brukarnas beteende, energiförbrukning och upplevelse av inomhusklimatet.

Kapitel 6 handlar om byggandens energibalans. Kylbehov, värmebehov samt vilka egenskaper och fenomen som påverkar byggandes energibehov diskuteras.

Kapitel 7 Energibesparande åtgärder som är relevanta för byggnaden diskuteras, kapitlet är uppdelat i två delkapitel; åtgärder på klimatskärmen och installationstekniska åtgärder.

Kapitel 8 De energibesparande åtgärderna som diskuteras i kapitel 7 utvärderas med hjälp av simuleringsprogrammet *IDA klimat och energi 3.0*. Resultatet av åtgärderna presenteras. De föreslagna åtgärderna diskuteras och ekonomiska aspekter, genomförbarhet, miljöpåverkan m.m. analyseras. En LCC-analys utförs på några av åtgärderna likaså en enklare LCA- analys.

Kapitel 9 Diskussion

Kapitel 10 Slutsats

2 Viktiga begrepp

Eftersom rapporten vänder sig till en bred målgrupp med varierande bakgrund presenteras här viktiga begrepp som används i rapporten. Den läsare som inte känner sig bekant med centrala begrepp inom byggnadsfysik, VVS och inomhusklimat rekommenderas att studera detta kapitel närmare.

Luftkvalitet

Bioeffluenter – Luftföroreningar i form av gaser och partiklar härrörande från människans metabolism.

Emission – Föroreningsavgivning från ett material eller en process till luft.

Luftförorening – Skadligt eller av andra skäl icke önskvärt ämne i luften.

Luftkvalitet – Kvalitetsbegrepp som beaktar luftens inverkan på människans hälsa och upplevelse av miljön.

Utspädningsekvationen – Beskriver ett samband mellan rumsluftens föroreningshalt beroende av föroreningsalstringen i rummet och ventilationen.

Ventilation

Avluft – Luft som förs ut till det fria från luftbehandlingsaggregatet.

Exfiltration – Läckning av luft ut från en byggnad genom otätheter i dess begränsningsytor mot det fria.

Frånluft – Luft som förs från rum.

Infiltration – Läckage av luft in i en byggnad genom otätheter i dess begränsningsytor mot det fria.

Luftbehandlingssystem – Anordning för att behandla den luft som tillförs en lokal, byggnad.

Luftväxling – Ventilationsflödet normerat till den fria luftvolymen i ett rum, dvs. kvoten mellan luftflödet och rumsvolymen. Beskriver hur stor del av rummets luft som hinner bytas ut på en timma.

Läckage – In- eller utströmning av luft till följd av otäthet.

Tilluft – Luft som förs till rum.

Uteluft – Luft i det fria som tas in i luftbehandlingsaggregatet.

Varaktighetsdiagram – En specifik orts uppmätta utomhustemperaturer är ordnade utefter deras varaktighet. Används vid värmebehovsberäkningar.

Vistelsezon – Den del av ett rum som utnyttjas av människorna i lokalen. De krav som ställs på inomhusklimatet skall vara uppfyllt i vistelsezonen. I socialstyrelsens allmänna råd om temperatur inomhus definieras vistelsezonen som ”zon i rum avgränsad horisontellt 0,1 meter och 2,0 meter över golv samt vertikalt 0,6 meter från innerväggen och 1,0 meter från ytterväggen”

VVX – Värmeväxlare, används för att överföra värmeenergi från ett medium till ett annat.

Termiskt klimat

Clo – Enhet som används för att uttrycka ett mått på klädernas värmeisolering.

Drag - Obehag orsakat av lokal nedkylning av någon kroppsdel. Risken för dragupplevelse ökar med ökande lufthastighet, ökande hastighetsfluktuationer och minskande lufttemperatur.

Ekvivalent temperatur – En klimatparameter som beräknas som en sammanvägning av luftens temperatur, luftens hastighet och medelstrålningstemperaturen från omgivande ytor.

Operativ temperatur – En klimatparameter som beräknas som en sammanvägning av luftens temperatur och medelstrålningstemperaturen från omgivande ytor.

Metabolism – Människans energiomsättning i kroppen. Denna storhet varierar med den fysiska aktiviteten och anges med enheten *met*.

Termisk komfort – Människans upplevelse av det termiska klimatet.

Ljus

Belysningsstyrka – Det ljusflöde som träffar en bestämd yta, enhet lux.

Energieffektivisering

BRA – Brukarea = bruttoarean – areor av omslutande ytterväggskonstruktioner.

BTA- Bruttoarea.

Energiprestanda - Byggnadens energianvändning uttryckt i kWh/m², år. Då byggnadens energiprestanda diskuteras är det viktigt att det framgår vilken area som avses det kan vara uppvärmd area eller någon av förkortningarna nedan som används.

Fastighetsel - Den el som används till fasta installationer som ventilation, uppvärmning av byggnaden, hissar mm.

Hushållsel - Elenergi som används för belysning, vitvaror och diverse elektrisk utrustning i byggnaden.

Levererad energi/köpt energi - Den energi som levereras fram till byggnaden, i vårt fall levererad värmemängd i fjärrvärmesystemet fram till undercentralen.

SFP - Specific Fan Power är summan av eleffekten för en fläkt i ventilationsaggregatet dividerat med det största tilluftflödet eller frånluftflödet.

Byggnadsfysik

Dagtemperatur - Den temperatur som luften lägst kan ha utan att kondens fälls ut.

Ledning - Värme leds genom materialet då det finns en temperaturdifferens som drivkraft.

LE-skikt – Ett lågmissionsskikt av tunn metallhinna som läggs på glasrutan. Skiktet minskar den långvågiga strålningen genom fönstret och förbättrar fönstrets värmetekniska egenskaper.

Konvektion - Värme överförs med luftströmmar. Tryckdifferens är drivkraften till värmetransporten.

Köldbrygga - En lokal förändring i konstruktionen som medför ett ökat värmeflöde i dessa delar jämfört med övriga. Tex. kan en genomgående stålbalk i en välisolerad vägg vara en köldbrygga om det sker ett värmeflöde genom väggen.

Strålning - Värme överförs från varmare ytor till kallare. Temperaturdifferens fungerar som en drivkraft.

U-värde - Mått på konstruktionsdelens isoleringsförmåga. Beskriver hur många Watt som passerar en kvadratmeter då det är en temperaturdifferens på 1 grad över materialet [$W/m^2 \cdot K$].

Värmetransport - Kan ske på tre olika sätt, genom ledning, strålning och konvektion.

Husteknik

Dreva - Täta med drev av jute, lin eller annat isoleringsmaterial.

Fasadtegel - Tegel som tål hårda klimatpåfrestningar utan att behöva behandlas och har även en estetisk funktion.

Formtegel - Tegelsten med speciell form som används för dekorativa utformningar.

Gesims - Krönande listverk på ytter och innerväggar. Ofta synliga på jugend inspirerade hus och kan bestå av t.ex. en växtgirland.

Hjärtvägg - Invändigt bärande vägg som löper i husets längdriktning.

Kalkbruk - Blandning av släckt bruk, sand och vatten som används för putsning och murning.

Kalkcementbruk/KC-bruk - Innehåller både kalk och cement som bindningsmedel. Detta bruk är hårdare än det traditionella kalkbruket.

Revertering - Putsbeklädnad på annat material som t.ex. tegel eller trä.

3 Energianvändning i bebyggelse

För att underlätta byggandet av sunda och energisnåla byggnader finns det flera olika krav och riktlinjer att följa. Den viktigaste litteraturen och de mest relevanta kraven och riktlinjer kommer att presenteras i detta kapitel.

Sveriges Riksdag har tagit fram 16 stycken miljö kvalitetsmål som Sverige aktivt skall arbeta med för att uppfylla. Dessa mål skall förbättra människors hälsa, trygga en god hushållning med naturresurser, värna om den biologiska mångfalden och naturmiljön m.m. Ett av dessa miljö kvalitetsmål är ”En god bebyggd miljö” och kommer diskuteras mer i kapitel 3.3.2.

3.1 Krav och riktlinjer angående inomhusklimat och energieffektivisering.

Krav och riktlinjer är hämtade ur olika litteraturkällor som presenteras i detta kapitel. Dessa skrifter används ofta av både beställare, konsulter och entreprenörer då nya byggnader skall projekteras men även vid ombyggnad av befintliga byggnader.

3.1.1 Riktlinjer från Boverket

Det finns två viktiga skrifter från Boverket. Boverket är den nationella myndigheten för frågor om samhällsplanering, stads- och bebyggelseutveckling, byggande och förvaltning samt bostadsfrågor.

BBR - Boverkets byggregler

BÄR - Boverkets allmänna råd om ändring av byggnad

BÄR gäller vid ombyggnad av befintligt bebyggelse, BBR gäller vid nybyggnation. BÄR hänvisar ofta till BBR.

BÄR

Byggnadens karaktärsdrag och värden skall bevaras och ändringar skall göras så varsamt att byggnaderna inte förvanskas. Hänsyn skall även tas till området kring bygganden såsom natur och kulturvärden likaså att stads- och landskapsvärden bevaras. Varsamheten bygger på respekt för brukarna, deras kunskap och uppfattning av bygganden, att hushålla med resurser och att vid projektering se till helheten – bygganden, grannskapet och brukarna. (Boverket BÄR 2006)

Begränsa ingrepp genom att bevara och reparera det som fungerar i bygganden, försök i så stor mån som möjligt att tillgodose nya funktionskrav genom att utnyttja byggnadens egna möjligheter och egenskaper. (Boverket BÄR 2006)

BÄR, Kap 4:3 skydd med hänsyn till hygien, hälsa och miljö.

BBR 6:4 Termiskt klimat bör eftersträvas vid ombyggnad. Om det är genomförbart skall U_m -värde för rum understiga $1 \text{ [W/m}^2\text{*K]}$ och ingen del av klimatskärmen skall ha ett U_m -värde som överstiger $2,5 \text{ [W/m}^2\text{*K]}$. Den operativa temperaturen skall inte understiga 18 C° i vistelsezonen enligt *BBR 6:42 Termisk komfort*.

Då nya VVS-system installeras i bygganden bör installationerna dimensioneras och utföras så att samma krav som vid nybyggnad uppfylls. (BBR 6:6 vatten och avlopp)

BÄR, kap 4:6 Energihushållning och värmeisolering

Byggnaden skall i första hand klara de krav som ställs i *BBR 9:2 bostäder* och *9:3 lokaler*. Om de kraven inte uppfylls skall förlusterna kartläggas och åtgärder vidtas. Åtgärderna skall vara förenliga med byggandens byggnadstekniska, historiska, kulturhistoriska, miljömässiga och konstnärliga värden.

Om förändringar sker i klimatskärmen, som till exempel vid tätning av anslutningsdetaljer, måste tilluft säkerställas.

Lokaler skall vara utformade så att byggnadens specifika energianvändning inte överstiger 100 kWh/m^2 , år, arean avser tempererad golvarea enligt *BBR 9:7 Lokaler*.

För att använda energi så effektivt som möjligt skall ett lågt SFP-värde väljas för systemet. Ett ventilationssystem med mekanisk från och tilluft inklusive en värmeåtervinnare skall ha ett SFP-värdet lägre än $2 \text{ [kW/(m}^3/\text{s)]}$, för att en effektiv elanvändning skall säkerställas.

Om ett kylbehov finns i fastigheten bör alternativa lösningar först prövas innan ett kylsystem installeras. Det kan vara solavskärmning, val och placering av fönster, minskning av interna laster, nattkyla eller utnyttjande av byggnadens värmetröghet. (Boverket BBR 2006, BÄR 2006)

3.1.2 Riktlinjer från minimikrav på luftväxling version 7 och R1

Då en byggnad simuleras är de interna lasterna viktiga att beakta för att få en så korrekt modell av byggnaden som möjligt. Människor i byggnaden påverkar värmebalansen eftersom de ställer både krav och påverkar det termiska klimatet och luftkvalitet. Tabell 3-1 framgår vilken effekt en människa avger vid olika aktiviteter och vilket met-värde det motsvarar. Dessa parametrar anges i det simuleringsprogram som används för att studera energiförbrukningen.

Tabell 3-1 *Metabolism och met-värden vid olika aktiviteter*

Aktivitet	Metabolism	
	W ⁽¹⁾	met
Vila	95	0,9
Sitta, avslappnad	120	1,1
Kontorsarbete, sittande	120-235	1,1-2,2
Stående, lätt aktivitet.	235-395	2,2-3,7
Fysiskt arbete, snickra, städa	395-630	3,7-6
Hårt fysiskt arbete	790	7,6

(1) baserat på en kroppsytta av 1,8 m²

(R1 2006)

För att få en god luftkvalitet i en lokal krävs ett visst luftflöde. Hur stort luftflödet bör vara beror på rummets area, antal personer i rummet och verksamheten. Det termiska klimatet kan styras med över eller undertempererad tilluft eller radiatorer och kylsystem. Ventilationssystemet skall utformas så att det lägsta ventilationsflödet motsvarar 0,35 l/s, m² golvarea. Detta flöde säkerställer att emitterade ämnen från byggnadsmaterial ventileras ut, men det är ofta ett personrelaterat krav som påverkar det dimensionerande luftflödet. Ett riktvärde är 7 l/s, person. Vid speciell verksamhet som till exempel i en idrottshall där brukarna har en hög aktivitet kan detta värde ökas. I generella rum kan grundflödet beräknas enligt ekvation 3-1.

$$V_{\text{till}} = 0,35 \text{ l/s, m}^2 + 7 \text{ l/s, pers [l/s]} \quad (3-1)$$

I Tabell 3-2 är krav på luftflöde och temperaturnivåer för olika verksamheter presenterade. Där framgår även vilka speciella verksamheter som kräver ett större personrelaterat luftflöde.

Tabell 3-2 Krav på luftväxling och temperaturnivåer

Rumstyp:	Krav på luftflöde:	Temperaturnivåer: (2)	Kommentar:
Verkstäder	T: 0,35 l/s.m ² +7 l/s .p	20 °C, om fysiskt arbete utförs i lokalen 14-15 C	Som regel är värmelast, föroreningar och processventilation dimensionerande för luftväxling AFS 00:42
Arbetsrum/ studentplats	T: 10 [l/s.p]	20 °C	M.h.t. CO ₂ (C:1)
Mötesrum/ konferens (1)	T: 0,35 l/s.m ² + 9,05 l/s .p	20 °C	Grundventilation T: 0,35 l/s.m ² + forcering till T: 3,85 l/s .p AFS 00:42
Kontorsrum	T: 0,35 l/s.m ² + 7-10 l/s .p	20 °C	Normalt T:20 l/s.p mht datorer. AFS 00:42
Modellverkstad/ Ateljé	T: 10 l/s .p	20 °C	Punktutsug vid maskiner, uttag för städning och fasta städuttag. AFS 00:42
Fotostudie	F: 7 l/s.m ²	20 °C	Som regel är värmelasten dimensionerande
Toa	F: 20 l/s	20 °C	
Fläktrum/ serverrum	Temperatur krav styr luftflödets storlek.	Max +35 °C	

(1) Enligt SOSF 99:25 ” För kontor är visat att ett uteluftflöde större än 15 l/s.p ger en låg förekomst av SBS-symtom” (Sick Building Syndrome)

(2) Lägsta lufttemperaturen i vistelsezonen.

Dragkriterium: hastighet lägre än 0,15 m/s i vistelsezon under uppvärmningssäsong, övrig tid lägre hastighet än 0,25 m/s. Det är viktigt att beakta att detta gäller i vistelsezon dvs. inte i direkt anslutning till ventilationsdon eller fönster. (R1 2006)

3.1.3 Krav på koldioxidhalt

Luft består av 21 % syre och 0,036 % koldioxid, i utandningsluften från en människa är förhållandet annorlunda 18 % syre och 1 % koldioxid. Utandningsluften innehåller mindre syre och betydligt mer koldioxid dvs. människan förbrukar syre men avger koldioxid. Människan avger olika typer av bioeffluenter men på grund av att det är lätt att mäta koldioxidhalten brukar den användas som gränsvärde för luftens kvalitet. Enligt WHO och arbetsmiljöverket (18§) bör inte koldioxidhalten i inomhusmiljön överstiga 1000 ppm. Hur lång tid det tar innan denna halt uppnås i ett rum kan

beräknas med utspädningsekvationen förutsatt att föroreningsalstring och begynnelse nivå, volymer och luftflöden är kända. (Elmroth 2006)

3.1.4 Sammanfattning

Sammanfattningsvis kan konstateras att det finns en uppsjö av olika rekommendationer, riktvärden och krav att uppfylla. De viktigaste sammanfattas nedan:

Den specifika energianvändningen i lokaler skall ej överstiga 100 kWh/m²,år uppvärmd golvarea, grundflödet till ett rum beräknas med hjälp av ekvation 3-1 och koldioxidhalten i ett rum bör ej överstiga 1000 ppm.

3.2 Energideklarationen

Sveriges Riksdag har anslagit flera miljö kvalitetsmål där ett av målen är att minska energianvändningen med 20 % till år 2020 och med 50 % till år 2050. Denna minskning är i referens till 1995 års energiförbrukning. När dessa mål utformades utgicks från 1995 års energiförbrukning i Sverige. Som ett led i denna utveckling infördes i oktober 2006 lagen för energideklaration för alla byggnader i Sverige. Lagen om energideklaration bygger på ett EG direktiv där målet är att trygga energiförsörjningen, skapa möjligheter för en hållbar samhällsutveckling och skapa förutsättningar för ett gott inomhusklimat. (www.boverket.se)

Energideklarationen skall utföras av en oberoende expert och det är ägaren av byggnaden som är ansvarig för att detta utförs. Utifrån energideklarationen kan förbättringar av byggnaden föreslås som gör att byggnadens energiförbrukning minskar och på så sett skall Sveriges bostäder bli mer miljövänliga.

Energideklarationen träder i kraft vid årsskiftet 2008/2009 och gäller då för de flesta byggnader. Det finns dock undantag för vissa byggnader så som industrilokaler, byggnader som är byggnadsminnen, tillfälliga byggnader mm.

Enligt lagen om energideklarationen (2006:985) skall energideklarationen innehålla följande punkter:

1. Uppgifter om byggnadens specifika energianvändning [kWh/m²]
2. Uppgift om obligatorisk funktionskontroll (OVK) av ventilationssystemet har utförts i byggnaden eller ej. Krav på ventilationssystemet skall presenteras det skall också framgå vilken typ av ventilationssystem som finns i byggnaden. Det skall framgå om OVK-rapporten är godkänd.
3. Uppgift om radonmätning har utförts i byggnaden eller ej och om en mätning har gjorts skall resultatet presenteras.
4. Om byggnadens energiprestanda kan förbättras med beaktande av en god inomhusmiljö och, om så är fallet, rekommendationer om kostnadseffektiva åtgärder för att förbättra byggnadens energiprestanda.

5. Referensvärden som gör det möjligt för konsumenter att bedöma byggnadens energiprestanda [$\text{kWh/m}^2, \text{år}$] och att jämföra med andra byggnader. (SFS 2006:985)

Energibesparande åtgärder

De energibesparande åtgärderna som föreslagits för huset skall minska energiförbrukningen för byggnaden och får inte försämra inomhusklimatet i byggnaden. Det ställs inga krav på ägaren att genomföra de förbättringsåtgärder som föreslås. Väljer fastighetsägaren att följa rekommendationerna så skall förslagen både gynna ägaren och miljön.

3.3 Energieffektivisering i offentliga lokaler

3.3.1 En tillbakablick

Sedan 1970-talet har det inte skett några stora förändringar av energianvändningen i bebyggelsen. Andel uppvärmd area har ökat och likaså har brukarnas beteende förändrats. Byggnadernas specifika energianvändning har minskat. Ökad uppvärmd area och minskad specifik energianvändning har tillsammans bidragit till en konstant total energiförbrukning.

Andelen driftel i lokaler har ökat från 17,2 [TWh/år_{1993}] till 18,9 [TWh/år_{2003}]. Eftersom ökningen av driftel motsvarar tillkommande lokalarea under tidsperioden kan konstateras att det inte skett någon elenergieffektivisering mellan 1993 och 2003. Kontorsutrustningen är i dagsläget mer energieffektiv än vad den var i mitten av 1990-talet. Det är istället antalet apparater med mer avancerade funktioner, ändrade drifttider m.m. som bidragit till en ökad elenergianvändning.

Nettovärmebehovet har minskat men andel levererad fjärrvärme har ökat. Nettovärme år 1993 var 23,5 TWh/år och år 2003 var användningen 22,4 TWh/år . Den areaspecifika nettovärmeanvändningen år 2003 var 149 $\text{kWh/m}^2, \text{år}$.

De stora besparingsåtgärderna de senaste åren bedöms enligt Chalmers Energi Centrum - CEC i rapporten "Åtgärder för ökad energieffektivisering i bebyggelsen, s. 33" vara:

- 47 % installation av värmeväxlare, tidsstyrning av ventilation
- 31 % fönsteråtgärder
- 28 % tätning och isolering

Enligt rapporten "åtgärder för ökad energieffektivisering i bebyggelse" av CEC har de statliga styrmedlen inte ändrats så att det medfört en minskad energiförbrukning i bebyggelsen. (Åtgärder för ökad energieffektivisering i bebyggelse CEC, 2005)

3.3.2 I dagsläget

Riksdagen har tagit fram de 16 nationella miljö kvalitetsmål som gäller i Sverige, det 15:e målet presenteras nedan:

15. God bebyggd miljö

Städer, tätorter och annan bebyggd miljö skall utgöra en god och hälsosam livsmiljö samt medverka till en god regional och global miljö. Natur- och kulturvärden skall tas till vara och utvecklas. Byggnader och anläggningar skall lokaliseras och utformas på ett miljöanpassat sätt och så att en långsiktigt god hushållning med mark, vatten och andra resurser främjas.

Strävan med dessa mål är att vi skall ha löst de stora miljöproblemen till nästa generation. För att realisera dessa mål har även delmål satts upp av riksdagen. Det finns flera olika delmål till huvudmålet ”god bebyggd miljö”, varav två presenteras i denna rapport.

Delmål 6. 2020/2050. Energianvändning m.m. i byggnader

Den totala energianvändningen per uppvärmd areaenhet i bostäder och lokaler minskar. Minskningen bör vara 20 % till år 2020 och 50 % till år 2050 i förhållande till användningen 1995. Till år 2020 skall beroendet av fossila bränslen för energianvändningen i bebyggelsesektorn vara brutet, samtidigt som andelen förnybar energi ökar kontinuerligt.

Ett annat intressant delmål är:

Delmål 2, 2010. Kulturhistoriskt värdefull bebyggelse

Bebyggelsens kulturhistoriska värden skall senast år 2010 vara identifierade och ha en långsiktigt hållbar förvaltning.

Det finns alltså mål uppsatta av regeringen att minska energianvändningen och dessa mål arbetar kommunerna regionalt med. I Västra Götaland anses arbetet med att minska energianvändningen gå framåt. Till exempel har 32 av 49 kommuner upprättat en energiplan och stöd delas ut för att konvertera el/olja som uppvärmning av fastigheter till fjärrvärme, men målen kommer enligt länet vara svåra att nå inom utsatt tid.(www.miljomal.nu)

Göteborgs universitet har en uttalad strävan att minska sin miljöpåverkan och verka för en hållbar samhällsutveckling. Om miljömålen studeras och kopplas samman med universitetet ”egna” fastigheter inses att GU redan tagit tag i energifrågan. Det är viktigt att universitetet själva fortsätter att driva frågan och ställa krav på sina fastighetsägare och arbeta aktivt med en minskad miljöpåverkan om universitetet skall uppnå miljö kvalitetsmålen.

3.3.3 Aktuella stöd och pågående projekt

På energimyndighetens hemsida presenteras diverse stödprogram och aktuella projekt som berör energieffektivisering i lokaler. Det finns en uppsjö av olika bidrag och stöd och flertalet projekt angående energieffektivisering i offentliga lokaler är presenterade. I denna rapport kommer inget specifikt stöd eller bidrag diskuteras. För mer information rekommenderar författarna till rapporten att läsaren själv läser mer på energimyndighetens hemsida. (www.energimyndigheten.se)

Fastighetsägare kan söka stöd hos Länsstyrelsen för flera olika åtgärder som minskar byggandens energiförbrukning. Stöden delas ut till flera olika åtgärder bl.a. att byta till så kallade energieffektiva fönster, energikartläggning och effektivisering av belysningen. För att läsa mer om styrmedel i syfte att minska energiförbrukningen rekommenderas åter igen energimyndighetens hemsida.

4 Beskrivning av fastigheten

Huset ligger på Kristinelundsgatan 6 i Göteborg. Huset består av två byggnadskroppar, en i tegel från år 1904 och en i betong byggd år 1964, se figur Figur 4-1.

Arkitekt till den äldre byggnadskroppen är Hans Hedlund, en svensk arkitekt som arbetade i Göteborg under sekelskiftet och anses vara en av Sveriges främsta jugendarkitekter, vilket syns tydligt på huset. Andra kända byggnader ritade av H. Hedlund är Saluhallen (1889) och Amerikaskjulet (1912). På 1960-talet byggdes den ursprungliga byggnaden ut med en lägre byggnad som knyter samman den ursprungliga byggnaden med Röhsska museet.

I dagsläget har huset en yta på 8707 kvm och hyser undervisningslokaler för högskolan för design och konsthantverk (HDK). Husets ursprungliga användningsområde är slöjdföreningens undervisningslokaler.



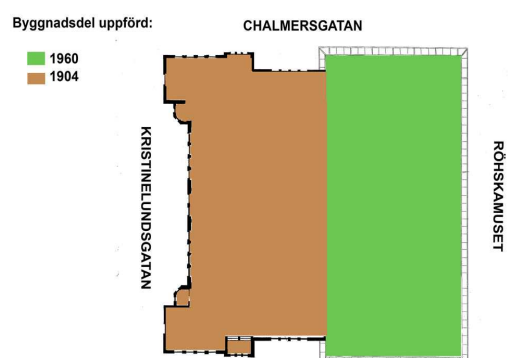
Figur 4-1 HDK-huset mot Teatergatan

I denna rapport är våningsplanen indelade med referens till markplan. Entréplanet är således plan 1 och källarplanet, plan 0. Denna numrering skiljer sig från den numrering som används i byggnadens sektionssritningar. Indelning har gjorts då författarna till rapporten anser att det är mer logiskt att referera våningsplanen till markplan. I bilaga 4 finns en sektionssritning där våningsplanen framgår.

4.1 Beskrivning av klimatskalet

Huset består av två olika huskonstruktioner, se figur Figur 4-1 och Figur 4-2. Den äldre delen består av massiva tegelväggar, klarglasfönster i originalutförande och stora rumsvolymer. Den nyare delen den så kallade nybyggnaden, har gråa prefabricerade betongfasadelement, relativt låga takhöjder och stora fönsterareor.

De olika byggnaderna skiljer sig väsentligt från varandra. De största skillnaderna är de värmetekniska egenskaper, byggnadsteknisk och arkitektonisk utformning.



Figur 4-2 De olika byggnadsdelarna i planlösning.

4.1.1 Byggnadsbeskrivning av originalbyggnaden

Fasad, grundmur och grundläggning.

Fasaden är i rödbränt tegel med inslag av ljusare tegel som går i band kring fasaden, se Figur 4-3. Det ursprungliga murbruket är kalkbaserat. Huset är troligtvis uppbyggt med en traditionell murverksteknik som de flesta andra tegelhus byggda under denna tid.

Tegelfasaden är troligtvis uppbyggd med 3-stens normaltegel (25x12x6.5 cm) i de lägsta våningsplanen och reverterad med kalkputs på insidan. Högre upp på fasaden har man minskat ner till 2-sten och förmodligen minskat ner till 1-sten på vindsvåningen.



Figur 4-3 Tegelfasad mot söder.

Grundsoken har en gråkulör och består av kalksten. Huset är grundlagt på gråsten som är förlagda i förband. Källargolvet är en oarmerad betongplatta som är gjuten direkt på en bädd av grus. I vissa delar finns även krypgrunds utrymmen, enligt sektionsritning ritad av Kvarnströms Arkitektkontor AB.

Fönster

Fönstren är i original, med vissa undantag då glasrutan har bytts ut på grund av skada. Fönsterkarmen är i trä och färgsatt i en mörkgrön kulör. I fönstret sitter 2-glasrutor med 3 cm mellanrum.

Tak

Takets ytbeklädnad är skifferplattor och kopparplåt. Ytbeklädnaden vilar på spontat virke som lastas av på en svensk takstol med hanbjälke och stödben. Kraften från takkonstruktionen förs sedan vidare ner i den bärande tegelmuren och grundläggningen. Taket har välvda former och en relativt brant lutning.

4.1.2 Byggnadsbeskrivning av huskroppen byggd år 1964

Grundmur och grundläggning

Grundplattan är gjuten direkt på mark, därmed finns det inga krypgrundsutrymmen. Källarvåningen används som förråd av Röhsska museet.

Tak

Taket är papptäkt och har en svag lutning. På insidan är taket isolerat med en 8 cm tjock mineralullsplatta



Figur 4-4 Huskropp byggd 1964

Fönster

Fönsterareorna är stora och vetter mot norr, väst och öst. Inga yttre avskärmningar finns. Det finns både 2 och 3-glas med fönsterbågar i aluminium tillverkade av Emmaboda Glas AB och av modellen Isonova. På den första våningen är fönsterna av 2-glas medans i resten av byggnaden har 3-glasfönster. Några av fönsterna har en liten öppning i nederkant, en vädrings lucka. Överlag är fönsterna av den typ som inte är öppningsbara.

Fasad

Fasaden är byggd i betong, innerst betong (0,3 m), sedan lättbetong (0,125m), luftspalt (0,02 m) och mot utsidan en kramlad betongskiva (0,06 m).

4.2 Miljöstörande material i fastigheterna

I fastigheten finns det risk för miljöstörande ämnen. I byggnaden som byggdes år 1964 finns det risk att påträffa ämnen som kräver sanering och speciella åtgärder vid deponering. Kostnaderna för att sanera miljöstörande material bör beaktas då åtgärder diskuteras. De ämnen som kan finnas i byggnaden är PCB, asbest, blåbetong m.m. PCB (polyklorerade bifenyler) är ett miljögift som ofta förekommer i fogmassor, golvmassor och i isolerrutor. Det är ett starkt miljögift med stor spridningsrisk och påverkar fortplantningsförmåga, nervsystemet och immunförsvaret. Från och med år 2007 finns en lag som kräver att förekomsten av PCB inventeras och saneras. Asbest har byggts in i byggnader mellan åren 1930-1976. Asbest kan orsaka lungsjukdomar som asbestos och lungcancer och är främst skadlig då materialen skall hanteras vid åtgärder. Radonhaltig lättbetong användes som stom- och fasadmaterial mellan åren 1929 – 1975. Radon är en ädelgas som bildas då grundämnet radium sönderfaller. Vid sönderfallet uppstår det strålning som kan orsaka lungcancer om man andas in luft med hög koncentration av radon. Radon har påvisats vara farligt för människan vid långvarig exponering och risken att utveckla cancer ökar för rökare. I den äldre byggnaden finns det främst risk att miljöstörande material byggts in vid olika ingrepp och åtgärder på byggnaden. (Lundblad och Hult 2006)

4.3 Beskrivning av installationstekniska system

4.3.1 Ventilationssystemet

Husets ventilationssystem byggdes om år 1993-94. Nedan följer en beskrivning av ventilationssystemet efter denna ombyggnad. Det nya ventilationssystemet projekterades av VVS företaget Andersson och Hultmark AB i Göteborg.

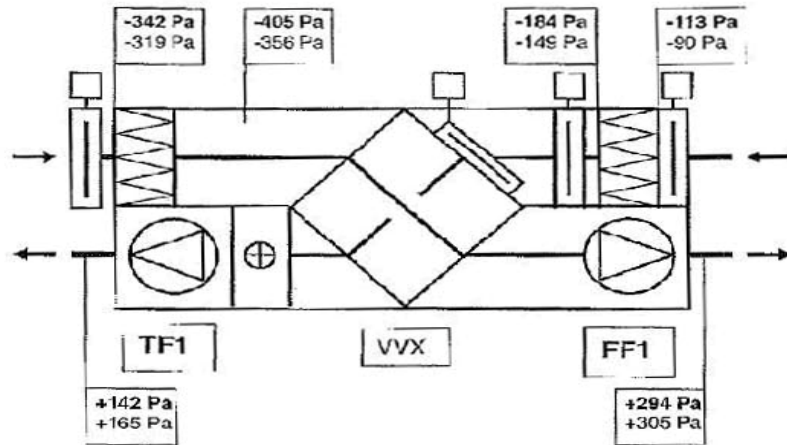
Lokalerna förses med luft från 9 olika luftbehandlingsaggregat som är placerade på vinden. I bilaga 7 finns en översikt över flödena för de olika aggregaten i byggnaden. Samtliga luftbehandlingsaggregat har värmeväxlare som tar till vara på energin i frånluften och överför den till tilluften. I luftbehandlingsaggregaten finns luftvärmare medan luftkylare saknas. Temperaturen på tilluften kan inte sänkas utan efterbehandlas endast av värmeväxlare och luftvärmare.

I några av undervisningslokalerna kan tilluftsflödet forceras för att öka luftomsättningen. Forceringen aktiveras lokalt med en knapp som sitter på väggen i rummet. Flödesmätningar i de olika ventilationssystemen har nyligen utförts då den obligatoriska ventilationskontrollen (OVK- kontroll) genomförts.

En del av byggnaden kommer att simuleras då olika energibesparande åtgärder utvärderas. Denna del försörjs av luftbehandlingsaggregat nummer 3 och benämns i fortsättningen som LB 3. I bilaga 7 framgår LB 3s data från OVK mätningarna och Figur 4-5 visar lufttrycken i LB 3. I några rum finns separata frånluftskanaler som inte är kopplade till de olika aggregaten. Det är framförallt dragskåp och rum för plastgjutning där hälsofarliga ämnen behandlas. Principschema och flödesschema över LB 3 presenteras i bilaga 7.

Luftbehandlingsaggregat nummer 3 försörjer textilrummen på plan 2 och 3 samt små omkringliggande rum i anslutning till textilrummen. Aggregatet har ett grundflöde på 6300 m³/h med en forceringsmöjlighet på upp till 9200 m³/h. Luftbehandlingsaggregatet hålls i drift 07⁰⁰-20⁰⁰ samtliga dagar i veckan. Efter den normala driftstiden kan aggregatet startas med hjälp av en timer i de flera av rummen. LB3s tilluftsfläkt och frånluftfläkt styrs med en frekvensomformare som aktiveras med timerknappen i rummet.

Frånluften passerar en värmeväxlare men två rum (textil och butylrum) på plan 2 har separat frånluft eftersom verksamheten i dessa rum inte tillåter värmeåtervinning.

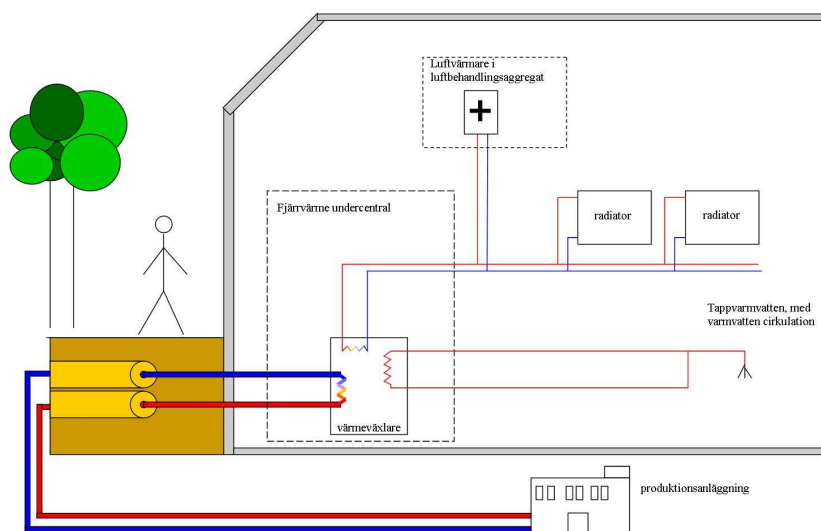


Figur 4-5 De uppmätta trycken över komponenterna i systemet LB 3, den övre siffran är från senaste OVK mätningen 2007, den undre från en tidigare utförd OVK.

4.3.2 Beskrivning av värmesystemet

Fastigheten är inkopplad på Göteborg Energi fjärrvärmenät. Värmeenergin produceras i stora anläggningar, den levererade energi produceras från olika energislag som t ex. stora värmepumpar, avfall, kärnkraft, naturgas och spillvärme. I Göteborg finns stora kvantiteter spillvärme från raffinaderierna vilket bidrar till att miljöpåverkan från den Göteborgsproducerade fjärrvärmen är liten i jämförelse med andra fjärrvärmeproduktionsanläggningar (Göteborg Energi, 2007-12-18).

Hett vatten distribueras i distributionsledningar fram till brukaren. I fastigheten finns en fjärrvärmeundercentral som innehåller styrsystem, värmeväxlare mm. Fjärrvärmevattnet passerar en värmeväxlare och värme överförs på så sätt till husets egna värmesystem, den så kallade sekundärkretsen, se Figur 4-6.



Figur 4-6 Schematisk bild över byggnadens värmesystem.

I huset finns system med varmvatten som cirkulerar i en radiatorkrets. Detta system förser huset med värme från radiatorerna och skall täcka husets värmebehov.

Då utetemperaturen är lägre än 17°C förvärms även tilluften med en luftvärmare. Luftvärmaren är kopplad till varmvattenkretsen och drivs med energi från fjärrvärmens produktionsanläggning.

Framledningstemperaturen till radiatorerna styrs med hjälp av temperaturgivare som mäter utomhustemperaturen. Det finns flera utomhusgivare placerade på fastighetens tak. Med hjälp av aktuell utetemperatur och kunskap om byggnadens värmetekniska prestanda skickas rätt temperatur ut till radiatorerna.

4.3.3 Beskrivning av kylsystem

När husets ventilationssystem byggdes om år 1993-94 ansågs det inte nödvändigt att installera en kylanläggning i huset. Verksamheten i byggnaden har förändrats de senare åren och en ökning av antalet studenter samt värmealstrande installationer har bidragit till att ett kylsystem installerades 2006 för att kunna hålla ett godtagbart inomhusklimat. Ett kylaggregat har placerats på taket av nybyggnaden och delar av huset har försetts med kyla. Kylaggregatet har överdimensionerad effekt för eventuell utbyggnad av det befintliga kylsystemet, köldmedium R410A, 23,4 kg.

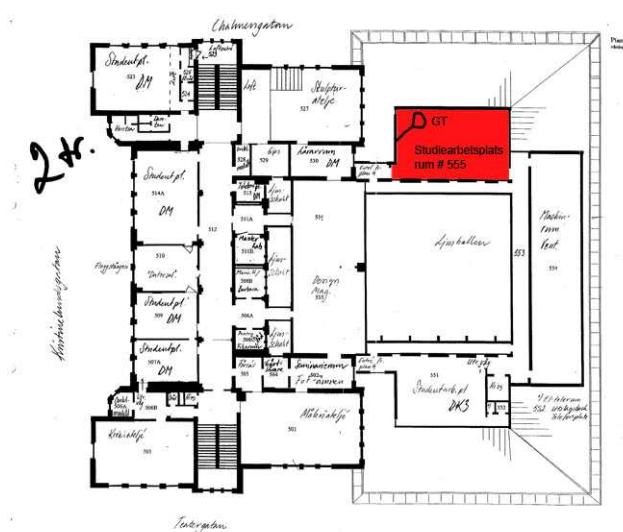
4.4 Beskrivning av verksamheten

HDK bedriver undervisning och forskning inom design och konsthantverk. Verksamheten är i högsta grad varierande med olika typer av verkstäder, utställningshallar, stora keramikugnar och kök där färg kokas. I andra lokaler bedrivs seminarier och forskning. Verksamheten är komplex med oregelbundna arbetstider, verksamhet med giftiga produkter, stillasittande arbete och lättare fysiskt arbete. De senaste 5 åren har användandet av datorer ökat kraftigt i undervisningen och separata datorsalar har inretts. I dagsläget är ca 450 studenter samt 50 lärare verksamma på skolan.

Den största delen av undervisningen sker på dagtid under terminerna, men även under kvällstid och sommartid förekommer viss verksamhet. Många av studenterna väljer att arbeta kvällstid vilket kräver att ventilationssystemet är i gång mer eller mindre dygnet runt om studenterna väljer att utnyttja forceringsknappen för ventilationen.

4.5 Beskrivning av inomhusklimatet

Det finns flera temperaturgivare i huset, dessa kan lagra inomhustemperaturerna. För att få studera den lagrade informationen krävs en aktivering av givaren först därefter börjar data loggas. I rum 555 på plan 3 finns en temperaturgivare som är placerad i ett av de rum där det varit stora problem med alltför höga och låga temperaturer. Denna givare var aktiverad under sommaren år 2007. Vid studie av mätdata från denna mätpunkt går det att se att temperaturen flera gånger under sommaren överstiger 34°C vilket anses vara en alltför hög temperatur om undervisning skall ske i byggnaden. I Figur 4-7 visas placeringen av temperaturgivaren. Mätdata för temperaturgivaren presenteras i kapitel 8.1.



Figur 4-7 Visar placering av temperaturgivare i rum 555 plan 2.

4.6 Kulturhistoriska värden

Riksantikvarieämbetet har på regeringens uppdrag formulerat byggnadsvårdsprinciper som bör tillämpas vid ombyggnad och underhåll av värdefull bebyggelse. Där behandlas förhållningssätt utifrån fem aspekter; *Kunskap, varsamhet* och att *förvalta* en byggnad varsamt genom att ta fram ett vårdprogram och att *förhålla sig till historien*. Kravet på att förhålla sig till historien uppfylls genom att ta ställning till de värden en byggnads olika tidsskikt representerar vid ändringsåtgärder. *Material och teknikfrågornas* betydelse för god byggnadsvård. (Riksantikvarieämbetet, 2002)

Områdets historia och värden

I början av 1800-talet bedrevs jordbruk i de områden som idag är Vasastaden och Lorensberg. Marken hyrdes ut till landerier som låg i området, förutom landerierna fanns det även mindre bostadshus.

År 1860 var det ursprungliga Göteborg innanför vallgraven helt utbyggt. Då utlystes en stadsplanetävling och nya planer för Vasastaden och Lorensberg skapades. Den befintliga bebyggelsen skulle rivras och nya förnäma bostadsområden skulle byggas. Planen genomfördes i stora drag som planerat, de nästan nybyggda villorna kring dagens Vasaplats revs och nya bostadsområden byggdes som än i dag kan beskådas.

I området finns flertalet byggnadsminnen och byggnader av riksintresse. Området anses av Stadsbyggnadskontoret, Stadsmuseet och Fastighetskontoret vara en kulturhistorisk värdefull bebyggelse väl värd att bevara. Området ingår i ett bevaringsprogram i Göteborg och omnämns i boken "Kulturhistorisk värdefull bebyggelse, del 1, ett program för bevarande". (Stadsbyggnadskontoret, 1999)

HDK-huset

HDK-huset ligger inom detta område och ingår således i bevaringsprogrammet. I den tidigare nämnda skriften är HDK-huset nämnt som ett hus med kulturhistoriska värden värda att bevara. Några speciella bevarandevärden diskuteras inte i skriften, utan en sakkunnig inom området borde göra en sådan utredning.

Den äldre byggnaden är byggd med formspråk och utformning från jugendstilen. Stora drag som de välvda formerna på taket, fönstrens placering även mindre inslag som växtgirlander kring huvudentrén skapar byggnadens karaktär. Den yngre byggnaden från år 1964 är byggd med typiskt formspråk och material från 1960-talet. Trots att den byggnaden ofta anses sakna arkitektoniskvärden är det viktigt att ta till vara på dessa.

Om det visar sig att det finns miljöstörande material i någon av byggnaderna bör detta självklart avlägsnas och ersättas med ett lämpligt material. Vid dessa fall skall man frångå byggnadsvårdsprincipen om förhållande till ursprungliga material.

5 Utvärdering av enkäter och interjuver

För att få en uppfattning om hur byggnaden används, vilka problem som upplevs i byggnaden och vilka krav som brukarna har på inomhusklimatet har en enkät delats ut till studenter och personal i byggnaden. Enkätens utformning och resultat finns i bilaga 11. I detta kapitel kommer en sammanställning av enkäterna att presenteras.

Studenter

Totalt har 129 studenter medverkat i enkätundersökningen. Alla studenter har inte svarat på samtliga frågor, men överlag är svarsfrekvensen god (ca 65 % av alla studenter svarade på enkäten).

Arbetstider

Enkäten visar att de flesta studenter (56 %) befinner sig i skolan under dagtid 9.00 - 17.00. Det är relativt få studenter som svarar att de arbetar kvällstid, men på frågan hur viktigt det är för studenterna till att arbeta kvällstid svarar 74 % att det är mycket viktigt att de kan arbeta kvällstid. Att arbeta i skolan under helger är vanligt, 85 % arbetar ofta under helger endast 15 % svarar att de aldrig gör det. Drygt hälften av studenterna svarar att de inte är villiga att ändra sina arbetstider trots att det hade inneburit en minskad energianvändning.

Inomhusmiljö

I flera arbetsrum finns möjlighet att forcera ventilationen men den funktionen känner bara 25 % av studenterna till och endast 10 % utnyttjar funktionen. Klimathållningen i byggnaden upplevs överlag som tämligen dålig och allt för varierande.

Under sommaren uppfattas klimatet som behagligare, 67 % anser att klimatet sommartid är bra. I de rum som har stora fönster blir det väldigt varmt och det termiska klimatet ojämnt. I rummet som används av designkandidaterna i åk 3 är det emellanåt väldigt varmt och ibland väldigt kallt. Generellt sett upplevs inomhusklimatet som sämst på vintern då anser 67 % att det är för kallt i fastigheten.

Flera ”problemrum” omnämns vilket diskuteras vidare i rapporten. Då de olika ”problemrummens” läge studerats konstateras att rummen ligger spridda i huset. Det vill säga att det dåliga klimatet, framför allt under vintertid, gäller hela byggnaden. Speciellt anges de rum med stora fönsterytor som skapar kallras i zonen närmast fönstret. I dessa rum klagas det på drag i närheten av fönster och dörrar. I datorsalen är det också dragigt, vilket beror på felplacerad och feldimensionerad ventilation som skapar ett dragigt inomhusklimat.

Betyget på luftkvaliteten i lokalerna är dåligt. Det klagas speciellt på datorsalarna och hörsalarna, det största problemet är att luften upplevs unken och gammal. Den dåliga luftkvaliteten påverkar studenternas studieresultat negativt, 69 % anser att deras resultat hade förbättrats om inomhusmiljön förbättrats. 93 % av studenterna anser även att arbetsmiljön hade förbättrats som inomhusklimatet i skolan varit bättre.

Elförbrukning

I stort sett alla (99 %) deltagare i enkätundersökningen uppger att de stänger av belysningen vid sin personliga arbetsplats. Trots det står onödig belysning på nattetid

enligt 49 % av studenterna och den onödiga belysningen står på lite överallt i bygganden, framför allt vid personliga arbetsplatser i verkstaden. 78 % av studenterna använder plattskärm vilken har en lägre energiförbrukning i jämförelse med en gammal stor skärm. Tyvärr är det endast 32 % som stänger av sin dator då de går hem för dagen. Enligt studenterna stänger de inte av datorerna eftersom skolan uppmanat dem att endast logga ut från datorn och låta den stå på.

Övriga åsikter från studenter:

”ha informationslappar uppsatta i skolan där det tydligt framgår hur mycket det kostar då en lampa eller elektrisk apparat används, som de har på konstfack”

”enklare sätt att stänga av och på datorerna då de inte används”

”sluta använda plastmuggar på toa”

”stänga av kopiatorer och skrivare på de tider då skolan inte utnyttjas”

”alldeles för kallt på skolan vinter och höst, bättre klimat hade skapat bättre arbetsmiljö och bättre studieresultat”

”använd lågenergilampor istället, men återvinn dem rätt”

”använd timer till apparater och rörelsedetektorer till lampor i korridorer, toa m.m.”

Personal

Av personalen på HDK svarade 27 st på enkäten (ca 60 % av all personal svarade på enkäten)

Arbetstider

De vanligaste arbetstiderna för personalen på HDK är mellan kl. 08.00-17.00 och personalen uppger att man sällan eller aldrig jobbar helgdagar.

Inomhusmiljö

Klimatet i byggnaden under sommaren uppfattas generellt som bra. Dock kan arbetsrummen ibland bli för varma under sommaren när solen skiner in i rummet. Under vintern tycker en majoritet att det är för kallt, framförallt i arbetsrummen där man får använda extra radiatorer under vintern. Vid fönster upplevs det som extra kallt på grund av kallras.

Luftkvaliteten i byggnaden kan ibland uppfattas som dålig och då framförallt i seminarierum och sammanträdesrum men även i andra delar av byggnaden. Luften i dessa lokaler uppfattas som unken och ”syrefattig”. Hela 95 % anser att en bättre luftkvalitet hade skapat en bättre arbetsmiljö.

Elförbrukning

Onödig belysning har 56 % av de tillfrågade observerat och då framförallt i korridorer och i studentarbetsrum.

Personalen stänger i de flesta fall av sin dator när de går hem (81 %) och de flesta använder sig av en platt datorskärm (67 %).

I de svar som kommit in från personal som använder dragskåp uppger några att det förekommer att kemikalier förvaras i dragskåp.

Förslag från personal

De förslag som kom från personalen var framförallt att installera rörelsedetektorer för belysning i byggnaden samt att se till att datorer stängs av ordentligt under natten när de inte används.

Slutsats:

Verksamheten bedrivs främst mellan klockan 8.00-17.00, studenterna vistas dock i huset både kvällar och helger. Det är mycket viktigt för studenterna att ha tillgång till lokalerna utöver de vanliga arbetstiderna. Luftkvaliteten uppfattas som dålig och det är en faktor som påverkar arbetsmiljön och studieresultaten negativt.

På sommaren uppfattas klimatet som bra, lokalerna utnyttjas inte fullt ut under denna tid och ett kylsystem finns installerat i vissa delar för att kunna hålla temperaturen nere på de nivåer som krävs för att skapa ett gott inomhusklimat.

På vintern upplevs klimatet som kallt, dragigt och luftens kvalitet är dålig och känns unken och gammal. Detta upplevs i hela huset av både personal och studenter och påverkar verksamheten negativt på flera olika sätt. För att höja temperaturen i arbetsrummen uppger personalen att de använder eldrivna värmebläktar.

6 Byggnadens energibalans

Med en byggnads energibehov avses den värmemängd som åtgår för en byggnads uppvärmning under året och har enheten Wh. Effektbehovet avser det maximala värmeflödet under året och har enheten W.

Husets energibalans bestäms av tillförd och bortförd energi enligt ekvation 6-1.

$$Q_{energi} = Q_{värme} + W_{el} \quad [\text{Wh}] \quad (6-1)$$

Q_{energi} energibehov vid användning av huset
 $Q_{värme}$ värmebehov i huset
 W_{el} elbehov vid användning av huset

Elbehovet kan delas upp i två olika poster enligt ekvation 6-2:

$$W_{el} = W_f + W_h \quad [\text{kWh}] \quad (6-2)$$

W_f , fastighetselen, den el som går åt för att driva klimatstyrande installationer som pumpar, fläktar m.m.

W_h , hushållsel, elanvändningen som beror på byggnadens verksamhet, i detta fall t.ex. drift av slipmaskiner, dragskåp, datorer etc.

Husets värmebehov beror på flera olika parametrar och beräknas enligt ekvation 6-3

$$Q_{värme} = Q_{trans} + Q_{vent} + Q_{läck} + Q_{tvv} + Q_{dr} - Q_{vux} - Q_{intern} - Q_{sol} \quad [\text{kWh}] \quad (6-3)$$

Q_{trans} = värmeförlust genom transmission i klimatskärmen [kWh]

Q_{vent} = värmebehov för ventilation, uppvärmning av uteluft till innetemperatur [kWh]

$Q_{läck}$ = värmeförlust på grund av luftläckage genom otätheter i klimatskärmen [kWh]

Q_{tvv} = värmebehov för uppvärmning av tappvarmvatten [kWh]

Q_{dr} = vattendistribution och reglerförluster inne i huset [kWh]

Q_{vux} = värme som återvinns med hjälp av värmeåtervinnare på frånluften [kWh]

Q_{intern} = internt värmetillskott från människor, värmealstring från maskiner mm [kWh]

Q_{sol} = värmetillskott genom solinstrålning genom fönster [kWh]

Det är vanligt att husets energiförbrukning redovisas i förbrukad energi per kvadratmeter. Detta kallas specifik energianvändning och har enheten kWh/m². Då energianvändningen presenteras på detta sätt är det viktigt att det framgår vilken area som avses, det kan t.ex. vara bruttoarea (BTA) eller tempereradarea (A_{temp})

6.1 HDK- husets energibalans

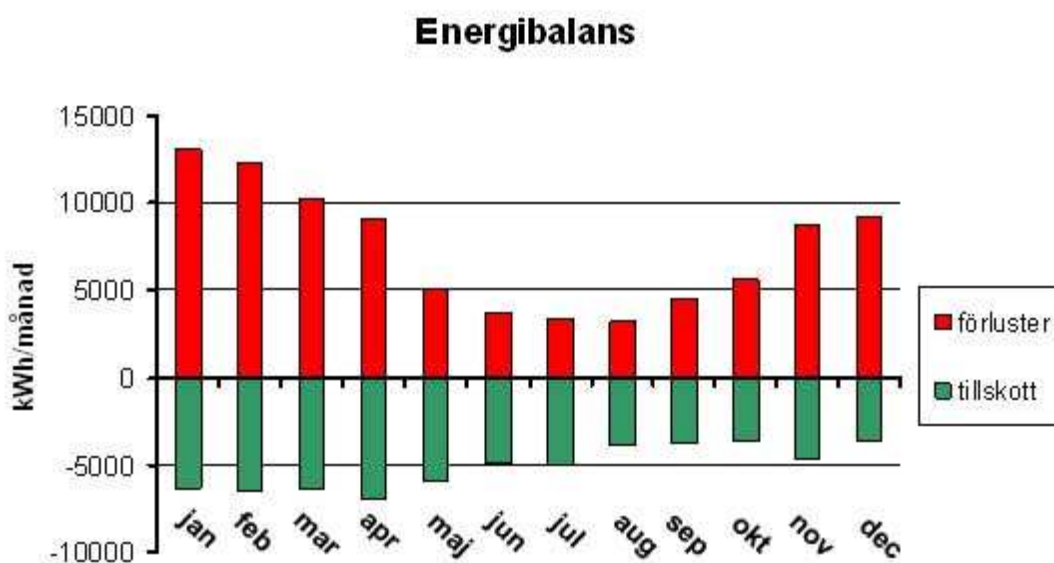
HDK-huset hade en specifik energianvändning på 220 kWh/år, m²_{BTA} år 2006, vilket inkluderar energibehovet för att värma upp byggnaden och elbehovet.

I HDK-huset årliga energiförbrukning är 1930 MWh/år och fördelningen mellan husets värmebehov och elbehov ser ut enligt:

$$Q_{värme} = 947,6 \text{ MWh/år}$$
$$W_{el} = 975,3 \text{ MWh/år}$$

Elbehovet $W_{el} = 975,3$ MWh/år kan delas upp i två olika poster enligt ekvation 6-2. I HDK-huset finns endast en mätpunkt för elen vilket gör det omöjligt att dela upp elen i de två olika posterna fastighetsel och driftel.

Simuleringsprogram kan användas för att uppskatta byggnadens värmebalans och där tas hänsyn till dynamiska effekter som att värma upp den värmetröga betong- och tegelstommen. Att simulera hela byggnaden skulle kräva mycket tid i själva framtagandet av modellen då internalaster, tidstyrningar m.m. skall definieras. Dessa beräkningar hade sedan tagit flera dygn för en simulering. Därför studeras byggnadens värmebalans i en del av byggnaden där det varit möjligt att verifiera simuleringsmodellen. Hur modellen tagit fram, indata och antaganden i den redovisas i kapitel 8.2.



Figur 6-1 Energibalans för en representativ del av byggnaden från år 1964.

En energibalans för en representativ del av byggnaden har tagits fram med simuleringsprogrammet IDA Klimat och Energi 3.0. I energibalansen har samtliga poster enligt ekvation 6-1 beräknats under ett år. I Figur 6-1 presenteras månadsmedelvärde för energiflödet i byggnaden. Enligt statistik har fastigheten ett specifikt värmebehov på $110 \text{ kWh/m}^2_{\text{BTA}}$ och i den simulerade modellen är värmebehovet snarlikt och ligger på $95 \text{ kWh/m}^2_{\text{BTA}}$. Det framgår att byggnaden har störst förluster under vinterhalvåret då utomhustemperaturen är låg. De interna tillskotten minskar under sommaren trots att solinstrålningen ökar. Detta på grund av att skolan inte är öppen under den tiden och värmealstringen från personer och apparater minskar. På sommaren har byggnaden ett kylbehov eftersom de interna lasterna då är större än värmebehovet, vintertid har byggnaden ett värmebehov.

6.2 Transmissionsförluster, Q_{trans}

Det sker värmeförluster genom byggnadens klimatskal då det finns en temperaturskillnad över klimatskalet. Värmeflödet är riktat från den höga temperaturen till den lägre temperaturen. Då det är kallare ute än inne sker alltså ett

värmefflöde från insidan av väggen till utsidan. Denna värmeförlust kallas för transmissionsförlust och mäts som förlorad energimängd i Wh.

Hur stort denna värmeförlust blir beror på byggnadsdelarnas U-värde. U-värdet har enheten $W/m^2 \cdot K$ och är ett mått på hur bra isoleringsvärde en konstruktionsdel har. Värdet anger hur många Watt som passerar en kvadratmeter av byggnadsdelen då det är $1^\circ C$ skillnad mellan de olika sidorna. Ju lägre U-värde desto mindre energi passerar genom byggnadsdelen. En byggnadsdel med ett lågt U-värde isolerar bättre än en byggnadsdel med ett högre U-värde.

Byggnadsdelens U-värde beräknas med hjälp av materialdata och kunskap om konstruktionens uppbyggnad enligt ekvation 6-5. Ekvation 6-4 visar sambandet mellan transmissionsförluster, U-värde, area och temperaturskillnad för en konstruktionsdel.

$$Q_{trans} = U \cdot A \cdot \Delta t \text{ [W]} \quad (6-4)$$

Q_{trans} = effektförlusten genom byggnadsdelen [W]

U = konstruktionsdelens U-värde [$W/m^2 \cdot K$]

A = omslutande area [m^2]

Δt = temperaturskillnaden över konstruktionsdelen ($\Delta t = t_{inne} - t_{ute}$) [K]

U-värdet för ett homogentskikt beräknas enligt ekvation 6-5.

$$U = 1/R_T \text{ [W/m}^2 \cdot K] \quad (6-5)$$

$R_T = R_{si} + R_{del} + R_{se}$	Konstruktionens totala värmemotstånd [$m^2 \cdot K/W$]
$R_{si} = 0,13 \text{ [m}^2 \cdot K/W]$	Inre värmeövergångsmotstånd
$R_{se} = 0,04 \text{ [m}^2 \cdot K/W]$	Yttre värmeövergångsmotstånd
$R_{del} = d/\lambda \text{ [m}^2 \cdot K/W]$	Värmemotstånd för homogentskikt
d = konstruktionens tjocklek [m]	
λ = byggnadsmaterialets värmekonduktivitet [$W/m \cdot K$]	

U-värdet skall korrigeras på grund av köldbryggor och andra defekter i byggnadsdelen som kan försämra isoleringsförmågan. Med hjälp av antaganden om husets konstruktion och handberäkningar har en förlustfaktor för köldbryggor beräknats. Faktors inverkan på den simulerade modellen visade sig vara mycket liten. Osäkerheten kring konstruktionens uppbyggnad samt den lilla inverkan förlustfaktorn hade på simuleringsresultatet medförde att förlustfaktorn har försumrats i simuleringarna.

Eftersom byggnadens konstruktionsdelar har olika U-värden, varierande areor och olika temperaturskillnader får transmissionsförlusterna beräknas för respektive konstruktionsdel och sedan adderas enligt ekvation 6-6.

$$Q_{trans} = Q_{grund} + Q_{fasad} + Q_{fönster \& \text{ dörr}} + Q_{tak} \text{ [W]} \quad (6-6)$$

För att beräkna husets transmissionsförluster krävs en djupare studie i husets konstruktion och byggnadsmaterial för att kunna använda rätt materialdata och korrigera för defekter. Med hjälp av konstruktionsritningar, litteratur och platsbesök har konstruktionens utformning fastställts. Nedan presenteras uppbygganden av fasaden, fönsterna, grundplattan och vindsbjälklag. Det är följande fakta som ligger

till grund för modellen som används för att utvärdera de olika energibesparande åtgärderna som presenteras i rapporten.

Fasad

Två olika typer av fasader finns i fastigheten, en tegelfasad och en fasad uppbyggd av prefabricerade fasadelement i betong. Tegelfasaden är massiv och har på insidan ett lager med puts. U-värdet har beräknats för en 60 cm tjock massiv tegelvägg och $U_{\text{fasad.tegel}} = 1,00 \text{ [W/m}^2\text{K]}$. Den nyare byggnadsdelens fasad är uppbyggd enligt kapitel 4.1.2 vilket ger ett U-värde på $0,75 \text{ [W/m}^2\text{K]}$. Det är detta U-värde som används i simuleringarna eftersom det är denna del av bygganden som kommer att simuleras.

Fönster

I den gamla byggnaden finns originalfönster kvar och U-värdet för ett klarglas fönster med en träkarm och 3 cm mellan rutorna kan sättas till $3 \text{ [W/m}^2\text{K]}$. Detta är ett riktvärde för fönster med samma ålder och liknande konstruktion. Avvikelse i fönstrets utformning kan påverka U-värdet. I den del som är byggd år 1964 finns det två typer av fönster av samma modell Isonova från Emmaboda Glas AB. Skillnaden på de två olika fönstren är att det förekommer både 3- och 2-glasfönster.

$$U_{1964,2\text{-glas}}=2,8 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$U_{1964,3\text{-glas}}=1,8 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Uppgifter enligt tillverkare och fastighetsskötare.

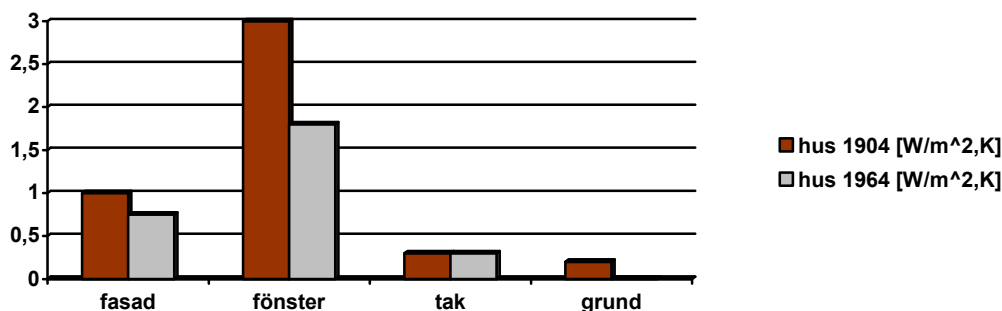
Grundplatta

U-värdet för grundplattan byggd år 1904 kan beräknas. Grundplattan är en oisolerad platta på mark, beräkningar på denna del av huset har inte gjorts eftersom den inte används i simuleringarna och energibesparande åtgärder på denna del av klimatskärmen har inte ansetts vara relevanta. Det understa bjälklaget i byggnaden byggd år 1964 angränsar till Röhsska museets förråd vilket är ett uppvärmt utrymme, således sker det ingen transmission över detta källarbjälklag.

Vindsbjälklag/tak

Byggnadens tak har dåliga värmekniska egenskaper, i den äldsta bygganden finns ingen speciell takisolering och i byggnaden från år 1964 består den endast av 8 cm mineralullsplatta. Att varm luft stiger uppåt är bekant för de flesta. Detta fenomen som kallas skorstenseffekten bidrar till att förlusterna blir extra stora genom taket eftersom temperaturskillnaden dvs. drivkraften för värmeflödet ökar.

I Figur 6-2 presenteras stapeldiagram över byggnadsdelarnas olika U-värden.



Figur 6-2 U-värden [W/m²·K] för de olika byggnadsdelarna presenterade i stapeldiagram, se även bilaga 8.

U-värdena är beräknade med hjälp av materialdata från litteratur i ämnet byggnadsfysik och presenteras i bilaga 8 och i Figur 6-2. I bilagan framgår vilka antaganden som gjorts i beräkningarna. U-värdena är inte korrigerade för köldbryggor eller andra defekter i konstruktionen som orsakar en försämring i den aktuella byggnadsdelen. Detta har inte gjorts eftersom det inte varit möjligt att kartlägga förekomsten och utformningen av eventuella köldbryggor. För att kartlägga dessa defekter hade det krävts större ingrepp i konstruktionen såsom demontering av vissa delar vilket författarna till rapporten ansett vara onödigt för att genomföra rapportens mål.

Då byggnadens konstruktion är känd kan en modell byggas upp i ett simuleringsprogram som beräknar transmissionsförlusterna under önskad period. Då byggnaden har simulerats för att ta fram en energibalans och då olika energibesparande åtgärder utvärderas har U-värden och konstruktionsuppbyggnad presenterade i kapitel 6.2 använts.

6.3 Värmebehov för ventilationen, Q_{vent}

I luftbehandlingsaggregatet behandlas uteluften innan den distribueras ut i lokalerna. Luften förvärms och temperaturnivån regleras med en utekompenserad tilluftsreglering. Utetemperaturgivaren förskjuter tilluftstempen enligt inställd kurva. Kurvan är min och maxbegränsad via en regulator (min ca 15°C max ca 20°C). Då värmebehovet för ventilationen beräknas i simuleringsprogrammet har en konstant inblåsningstemperatur på 17°C använts. Luftvärmaren värmer luften till 16°C och tilluftsfläkten värmer sedan luften ytterligare 1°C.

Luftvärmarens effektbehov varierar med flödet och uteluftens temperatur enligt ekvation 6-7.

$$Q_{vent} = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta t \quad [W] \quad (6-7)$$

$$V = \text{luftflödet} \quad [m^3/s]$$

$$\rho = \text{luftens densitet} \quad [kg/m^3]$$

c_p = luftens specifika värmekapacitet [J/kg*K]

Δt = luftens temperaturskillnad före och efter luftvärmaren $\Delta t = t_{in} - t_{ute}$

Tack vare att värmeåtervinnare är placerad i luftbehandlingsaggregaten kan värme återvinnas ur frånluften. Värmeväxlarens energibesparande funktion diskuteras mer i kapitel 7.3.2. En värmeväxlare installerad i luftbehandlingsaggregatet medför ett ökat tryckfall, vilket kräver en högre fläkteffekt som i sin tur ger en ökad elförbrukning för fläktarna i systemet vilket kan avspeglas i ett högt SFP-värde. SFP-värden för luftbehandlingsaggregaten är uppmätta och beräknade under hösten 2007. Luftbehandlingsaggregatens SFP-värden presenteras i bilaga 12 där redovisas också LB3's fläkteffekter och grundflöden.

Luftbehandlingsaggregaten i byggnaden har varierande drifttider, olika flöden och varierande verkningsgrad på värmeväxlaren. Dessa parametrar har viktats ihop, den viktade verkningsgraden blir då 55 % och det totala tilluftsflödet 15,5 m³/s. Genomsnittliga drifttider har viktats fram. Med en värmeväxlare och genomsnittliga drifttider blir det totala energibehovet för att värma tilluften 500 MWh/år.

6.4 Värmeförluster genom luftläckage, $Q_{läck}$

Ett okontrollerat luftläckage sker i de flesta byggnader. Luftläckaget medför oönskade värmeförluster genom klimatskärmen och kan även medföra att inomhusklimatet upplevs dragigt. Då den varma fuktiga inomhusluften tillåts läcka ut okontrollerat genom klimatskärmen sker en ökad fuktbelastning och risk för kondensutfällning i konstruktionen. Denna fuktbelastning kan orsaka fuktskador vilket sekundärt bidrar till ett försämrat inomhusklimat och ett lokalt försämrat U-värde. Då inomhusluften läcker ut minskar vinsten med värmeåtervinning på frånluften.

Okontrollerat läckage genom konstruktionen äventyrar byggnadens värmeprestanda, ökar energibehovet och försämrar inomhusklimatet. Läckaget sker främst i anslutningsdetaljer t.ex. kring fönster och dörrkarmar och genom otätheter i andra delar av klimatskärmen.

För att beräkna läckaget genom en klimatskärm krävs noggranna studier av konstruktion, anslutningsdetaljer, klimat samt fastighetens orientering och geografiska läge. HDK-huset ligger i en urban miljö med närliggande fastigheter som vindskydd. Trots att huset ligger i en kuststad utgör närområdets utformning ändå ett relativt kraftigt vindskydd och huset utsätts inte för några extrema vindlaster. Fastighetens två olika huskroppar har olika egenskaper med avseende på ofrivilligt luftläckage.

Den nyare delen är lägre och utgör ett mindre vindfång, den har även nyare fönster som troligtvis är tätare än de äldre fönstren. Den äldre huskroppen har ett större antal fönster och således fler löpmeter anslutningar där det sker förluster. Läckagets storlek beror på tryck- och temperaturdifferensen och antal otätheter i klimatskärmen.

Studier har utförts på Chalmers Tekniska Högskola och där har relationen mellan till- och frånluftflödet mätts upp i olika typer av fastigheter. Studien har utförts på en av Sahlgrenskas fastigheter, fastigheten har ungefär samma konstruktion som den byggnadskropp byggd år 1964 i HDK-huset. Flöden har mätts upp och stora luftläckage har observerats. Eftersom huskroppen byggd år 1964 har liknande konstruktion har samma värde på läckaget ansatts i denna rapportens beräkningar och

simuleringar. Då 30 % av det totala tilluftflödet antas läcka ut under hela året kommer 740 MWh/år att läcka ut genom byggnaden. (Mari-Liis Maripuu. 2006)

6.5 Värmebehov för tappvarmvattnet, Q_{tvv}

Varmvattnet värms med fjärrvärme. Hur stort värmebehovet för tappvarmvattnet blir beror på verksamheten, behov finns under årets alla drifttimmar. Eftersom byggnaden saknar större omklädningsrum eller verksamhet där stora mängder varmvatten krävs antas värmebehovet för tappvarmvattnet vara litet. Värmebehov för uppvärmning av vatten antas vara litet och har därför försumrats i denna rapports simuleringar.

6.6 Distributionsförluster och reglerförluster, Q_{dr}

Här summeras alla värme, regler- och distributionsförluster som sker i kanaler och ledningar. Då denna post är mycket svår att uppskatta och är en liten förlust i jämförelse med andra förluster som sker i byggnaden. Därför har dessa förluster försumrats i simuleringar och beräkningar.

6.7 Återvunnen värme med värmeåtervinningsaggregat, Q_{vvx}

Frånluften passerar genom en värmeväxlare som återvinner värmeenergin i frånluften. Det finns tre olika typer av värmeåtervinningsaggregat; indirekt rekuperativt system, direkt rekuperativt system och regenerativt system. De olika systemen har olika verkningsgrader och olika egenskaper.

Indirekt rekuperativt system; består av två värmebatterier placerade i från- och tilluftskanalerna med en mellanliggande vätske-cirkulationskrets. Verkningsgraden är något lägre för det indirekta rekuperativa systemet än för övriga värmeväxlare och ligger kring 50-60 %. Fördelen är att från- och tilluft inte behöver vara placerade i direkt anslutning till varandra och det finns inte någon risk att frånluften kan förorena tilluften.

Direkt rekuperativt system; Den varma frånluften strömmar genom en värmeväxlare yta som värmer upp tilluften. Verkningsgraden varierar från 60 % till 80 %. Det är denna typ av värmeväxlare som återfinns i fastighetens luftbehandlingsaggregat.

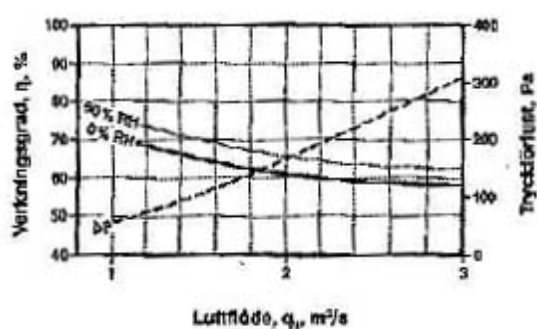
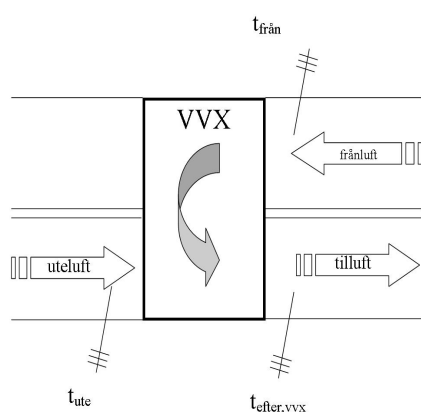
Regenerativt system; En värmeöverförande massa värms upp av frånluften, massan förflyttas sedan och kyls av samtidigt som tilluften värms. Läckaget från frånluften är relativt stort och det finns de värmeväxlare som även kan överföra fukt från frånluften till tilluften. Verkningsgraden ligger mellan 70 – 80 %.

Temperaturen på luften efter att de har passerat värmeväxlaren kan beräknas med ekvation 6-9.

$$t_{\text{efter,vvx}} = t_{\text{ute}} + \eta * (t_{\text{frånluft}} - t_{\text{ute}}) \quad (6-9)$$

$t_{\text{efter,vvx}}$	luftens temperatur efter värmeväxlaren [C, K]
η	värmeväxlarens verkningsgrad [-]
$t_{\text{frånluft}}$	temperaturen på frånluften [C, K]
t_{ute}	temperaturen utomhus [C, K]

Se även Figur 6-3 för illustration.



Figur 6-3 Schematisk bild över värmeväxlare. **Figur 6-4 Värmeväxlare ZL-22, samband mellan verkningsgrad, tryckförlust, luftflöde och relativfuktighet. (Novenco, produktblad)**

Aggregatet i LB 3 har ett flöde på runt $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ vilket gör att verkningsgraden ligger runt 65 % och tryckförlusterna blir 250 Pa, se Figur 6-4. Den uppmätta verkningsgraden för värmeväxlaren har dock upp mätts till 55 % under fastighetsägarens begäran. Det är den uppmätta verkningsgraden på 55 % som använts i simuleringarna.

En värmeväxlare spar mycket energi. Samtidigt är det viktigt att beakta det extra tryckfall som skapas då en värmeväxlare placeras i ett luftbehandlingsaggregat.

Byggnadens olika värmeväxlare har varierande verkningsgrader, olika drifttider och flöden. Dessa parametrar har viktats ihop, den viktade verkningsgraden blir då 55 % och det totala tilluftflödet $15,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Detta medför att 470 MWh återvinns per år för samtliga aggregat.

6.8 Interntvärmestillskott, Q_{intern}

Interna värmestillskott påverkar rummets och byggnadens balanstemperatur. Värmestillskottet kommer från maskiner, belysning, personer, datorer eller andra värmealstrande installationer i rummet som drivs med elenergi. Då byggnaden har ett värmeunderskott är det inte något problem utan det interna värmestillskottet kan tillgodoräknas som en extra värmekälla. När byggnaden däremot har ett värmeöverskott måste det interna värmestillskottet kylas bort vilket kräver energi.

Då de interna värmertilskotten hanteras i simuleringarna har platsbesök och interjuver använts som grund för att ta fram tidsscheman, aktivitetsnivå och vilken typ av apparater som använts.

I Tabell 3-1 finns avgivande effekter från människor likaså met-värde presenterade. Det är dessa värden som har angivits för de människor som vistas i lokalerna, då verksamheten är varierande har olika effekter angetts. Några har ett stillasittande arbete vilket ger ca 120 W medan andra har ett mer aktivt arbete t.ex. textiltryck då har ett högre värde angivits för dem. Apparater har lagts in i modellen och dess avgivna effekter har hämtats från energimyndighetens hemsida. En dator antas avge ca 150 W då den är påslagen. Tidsscheman som har använts i simuleringarna är satta till de arbetstider studenter och personal i de aktuella rummen uppgett vid interjuver.

6.9 Värmertilskott från solinstrålningen, Q_{sol}

Solinstrålningen påverkar energibalansen i stor grad, speciellt i bygganden från 60-talet. I den delen av fastigheten finns mycket stora fönstereor mot väst som tillåter solen att stråla in och påverka inomhustemperaturen. På vinterhalvåret bidrar solinstrålningen till att minska värmebehovet. Under de varma årstiderna ökar solinstrålningen kylbehovet samt bidrar till höjda inomhustemperaturer och ökad energiförbrukning i de lokaler som har kyla. Andel instrålade värme kan begränsas med solavskärmning eller genom att fönstereorna minskas. Hur mycket solinstrålning som passerar genom fönstret och in i byggnaden beror också på fönstrets transmittans. Fönstren är oftast inte helt rena vilket gör att transmittansen sjunker. I simuleringarna har transmittansen satts till 0,69 vilket minskar den instrålade effekten. Detta värde är ett standardvärde för ”normalsmutsiga fönster” enligt simuleringsprogrammet vilket även har validerats av vår handledare.

6.10 Elbehov

Elbehovet kan delas upp i två poster, fastighets- och hushållsel. Då simuleringar genomförs på byggnaden beaktas de installationernas avgivna effekter samt inlagda tidsscheman. Effektbehovet och drifttiden resulterar i elenergibehovet.

Fastighetsel

Denna el är den som krävs för att hålla byggnaden i drift. Det inkluderar fläkt- och pump elenergi m.m.

Fläktarna i ventilationssystemet trycksätter luften så att samtliga lokaler kan förses med rätt mängd luft. Fläkteffekten beror på fläktens verkningsgrad, mängden luft som skall transporteras samt vilka förluster som finns i systemet. Då en OVK genomfördes i bygganden uppmättes lufttrycken före och efter från- och tilluftsfläktar. Dessa värden har angetts i simuleringsprogrammet så att fläkten arbetar på rätt trycknivåer. Friktionsförlusternas storlek beror på mediet, hastighet, dimensioner och hur ledningarna är förlagda. Krökar och böjar ökar friktionsförlusterna i distributionsledningarna. Spjäll, filter och eftersatt underhåll av installationer ökar förlusterna ytterligare. Ett smutsigt filter ger ett större tryckfall än ett rent, ett ökat tryckfall ger ett ökat elenergibehov. Om spjäll och ventiler är felinställda eller uttjänta orsaka det onödigt höga förluster.

På grund av att ett nytt ventilationssystem har installerats i en befintlig byggnad med begränsade schaktområden kan distributionsförlusterna bli relativt höga. Stora dimensioner, raka dragningar samt genomtänkta systemutformningar är förutsättningar för låga tryckfall. Det är ofta svårt och kräver kunniga konstruktörer för att utforma energieffektiva systemlösningar, speciellt i befintliga byggnader då det inte finns möjlighet att dra kanaler fritt. I dagsläget finns det datorprogram (t.ex. MagicCAD) som utför tryckfallsberäkningar. Med hjälp av dessa program kan olika lösningar utvärderas och jämföras och en optimal lösning väljas.

Hushållsel

Det är brukaren som påverkar storleken på denna förbrukning. Om datorer eller belysning inte stängs av över natten orsakar det en onödig energiförbrukning. Då hushållselen simulerats har tidscheman för apparater samt avgivande effekt angivits.

6.11 Analys av månadsstatistik, el och värmeförbrukning

I slutet av år 2003 installerades el- och värmemängdsmätare för att föra statistik över förbrukningen. Delar av denna statistik finns i bilaga 6.

Fjärrvärmens köps från Göteborg Energi AB och emissioner från framställningen är relativt låga i jämförelse med andra energikällor. Se tabell 6-1

Tabell 6-1 Emissioner från olika energislag.

	Koldioxid [g/kWh]	Svavel [mg/kWh]	Kvävedioxid [mg/kWh]
Fjärrvärme¹	27/101	6	60
olja²	344	169	2,33
El-medelmix³	90	Uppgift saknas	Uppgift saknas
El-bra miljöval³	4,5	Uppgift saknas	Uppgift saknas

- 1) www.goteborgenergi.se, 2007 -11-30. Emissioner i form av koldioxid beror på vilka energikällor som används, 27 g/kWh vid medellast och 101 g/kWh vid marginallast.
- 2) www.effektiv.org/miljobel
- 3) Statens energimyndighet, *Miljövärdering av el* (2007-12-10)

Elförbrukningen

Elförbrukningen ligger runt 80-90 MWh/månad. Förbrukningen minskar under sommaren då skolan delvis är stängd. Sommaren år 2006 installerades ett kylsystem i byggnaden. Elförbrukningen ökar från 45 MWh år 2005 till 75 MWh år 2006. Den tidigare trenden med minskad elförbrukning under sommaren är nu bruten. Den ökade energiförbrukningen beror med största sannolikhet på installationen av kyla (B.Wigerud). Från år 2003 till år 2006 ses en trend på en minskad total elförbrukning/år.

Värmeförbrukning

Månadsförbrukningen är normalårskorrigerad till normalår. Då värmeförbrukningen normalårskorrigeras behandlas den statistiskt så att värmeförbrukningen inte påverkas av det specifika året som beaktas. Detta är nödvändigt då värmeförbrukningen skall jämföras mellan olika år och årets specifika klimat inte skall kunna påverka värmeförbrukningen. Värmeförbrukningen har minskat de senaste åren, år 2005 var den normalårskorrigerade förbrukningen 1091,4 MWh och år 2006 var den 947,6 MWh vilket ger en minskning på 13,2 %.

Energipriser

HDK-huset förses med Bra-miljöval el vilket kostar 0,7 kr/kWh exklusive moms (A.Gustafsson). För fjärrvärmen är kostnaden lägre och 1 kWh kostar 0,54 kr exklusive moms (T.Andreasson).

7 Energibesparande åtgärder

De olika energibesparande åtgärdsförslagen som kommer att presenteras kan delas upp i två grupper: åtgärder på klimatskärmen och installationstekniska åtgärder. Åtgärderna skall minska energiförbrukningen samtidigt som husets funktion, inomhusmiljö och tekniska och estetiska kvalitéer bibehålls.

Genom tiderna har olika energibesparingsåtgärder presenterats och genomförts i fastigheter med varierande resultat och konsekvenser. Åtgärder har ibland genomförts utan att byggnadens har beaktats som en helhet och på så sätt har problem och komplikationer uppstått. Ett exempel på detta har varit att hus tätats för att minska läckage genom klimatskärmen. Då har inte beaktats att huset förses med friskluft genom dessa otätheter och om byggnaden inte förses med friskluft på annat sätt skapas ett inomhusklimat med mycket dåligt luftkvalité. Ett annat exempel är fönsterbyten som helt förändrar byggnaden eftersom de nya fönstren inte alls har samma formspråk som originalfönstren och byggnadens karaktär har på så sett helt förändrats.

De är alltså mycket viktigt att försöka förutse och göra konsekvensbeskrivningar av vad olika åtgärder för energieffektivisering innebär för byggnadens tekniska egenskaper, inomhusmiljön samt hur åtgärderna påverkar verksamheten. Det är även viktigt att åtgärder utformas i samråd mer dem som har kunskap om bevarandevärden så att byggnadens eventuella estetiska och kulturhistoriska värden bevaras. De fem olika förhållningssätt och råd för underhåll och ombyggnad som Riksantikvarieämbetet tagit fram, se kapitel 4.6, bör beaktas.

7.1 Resursanvändning och ekonomiska besparingar

För att kunna utvärdera ekonomiska besparingar och miljöpåverkan av olika åtgärder finns det olika analyser att använda.

Ekonomiska aspekter och vinster för de olika förslagen kommer att analyseras med hjälp av en LCC-analys (Life Cycle Cost). I en LCC-analys sammanställs en åtgärds totala kostnad för en bestämd livslängd. Hänsyn tas till bland annat energiprisökningar, räntesatser, underhållkostnader, kapitalkostnader, energibesparingar m.m.

En åtgärds samtliga miljöbelastningar kan studeras med LCA-analys (Life Cycle Assessment). I en LCA-analys beräknas en åtgärds totala miljöbelastning. Miljöpåverkan vid framställning av råvaror till själva produkten, transporter, metoder för genomförande och även miljöbelastningar vid rivning skall beaktas. Hela cykeln skall analyseras och bedömas. Den internationella standardiseringsorganisationen (ISO) har tagit fram en standardisering för LCA (ISO 14040-serien). Denna djupare analys kan bli mycket komplex och faller utanför denna rapports ramar. Den kommer därför att behandlas mycket ytligt.

7.2 Åtgärder på klimatskärmen

Åtgärder på klimatskärmen minskar transmissionsförluster, minskar det ofrivilliga läckaget och höjer den ekvivalenta temperaturen i rummet.

7.2.1 Minskning av transmissionsförluster

Det finns många olika lösningar för att minska värmeförlusterna genom klimatskärmen bland annat genom tilläggsisolering av vindsbjälklaget, byte av fönster och en utvändig tilläggsisolering av fasaden. Fördelningen av transmissionsförluster och U_m -värden för olika delar i klimatskärmen har diskuterats och presenterats i kapitel 6.2

Åtgärder på fönster

I fastigheten återfinns tre olika typer av fönster, en modell från år 1904 med 2-glasfönster $U_{\text{fönster, år 1904}} = 3 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ med träspröjs, se Figur 7-1. Den andra fönstermodellen från år 1964 har mestadels 3-glasfönster och aluminiumspröjs $U_{\text{fönster, år 1964}} = 1,8 \text{ [W/m}^2\text{K]}$. Det finns även några fönster med 2-glas vilka har ett U-värde på $2,8 \text{ [W/m}^2\text{K]}$, se Figur 7-2.



Figur 7-1 Fönster från år 1904.



Figur 7-2 Fönster från år 1964.

De äldre fönstren från 1904 har sämst U-värde och läcker troligtvis en hel del luft (energiförlust) i anslutningar mellan bågar, fasad och glas. De fönstren har en tidstypisk estetisk utformning och påverkar byggnadens karaktär. Det finns två olika förslag för att minska värmeförlusten genom dessa fönster; byta till nya fönster med ett liknanden utseende eller renovera de befintliga fönstren.

Byta till nya: Om nya fönster monteras på den gamla huskroppen skall fönster med samma utseende, proportioner, material och kulör väljas så att byggnadens karaktär inte förändras. Nya fönster kommer troligtvis att få specialbeställas, då många av fönstren har speciella former och storlekar. Detta alternativ kommer att ge ett lägre U-värde. Om nya fönster skall installeras bör de ha ett U-värde lägre än $1 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ samt uppfylla de krav som ställs på ett energiklass 1 fönster enligt Energimyndigheten.

Renovera befintliga fönster: Renoveringen av de befintliga fönstren kan utföras på olika sätt, med olika resultat och varierande arbetsinsats. De två olika förslagen som presenteras här är:

- Traditionell renovering av fönstren. Glasrutan avlägsnas och gammalt kitt tas bort. Då fönsterrutan återmonteras in justeras fönsterrutan mellan båge och karm och nya tätningslister monteras. Fönstret återställs till originalskick och återfår sina ursprungliga värmetekniska åtgärder.
- Det andra alternativet är att renovering på samma sätt som i det första förslaget. De renoveringen genomförs ersätts den innersta originalrutan med en glasruta med LE-skikt.

Bertil Fredlund på institution för Byggnadsfysik på Lunds Tekniska Högskola har tillsammans med Fönsterhantverkarna AB presenterat en rapport ”*Lågmissionglas och renovering förbättrar äldre fönsters värmeisolering*”. I denna rapport har 3 stycken olika fönsters värmeegenskaper analyserats före och efter renovering. Fönstertyp nummer 1 i denna rapport har en mycket snarlik konstruktion och material som fönstren i den gamla HDK-byggnaden. Studien har utförts genom att ett fönster från 1880 har renoverats med nytt kitt, tätningslister och målats om. Fönstret har placerats i en s.k. HOT-box, där ett värmefflöde passerar genom fönstret och fönstrets verkliga U-värde kan mätas upp. De uppmätta U-värdena för de olika åtgärderna visas i Tabell 7-1.

Tabell 7-1 Uppmätta U-värden [W/m²K] för ett fönster tillverkat år 1880.

Fönster	Befintligt skick	Renoverat	Renoverat + LE-skikt
Fönster från år 1880	2,44	2,07	1,6

(Fredlund, 1999)

Fönstrets U-värde kan alltså sänkas med 34 % om det renoveras och original innerglaset byts mot ett floatglas med LE-skikt. Det är viktigt att tänka på att nya glas ofta tillverkas med en tjocklek på 4 mm. Kilfalsen i gamla fönsterbågar är relativt smal och glasskivan kan inte vara tjockare än 3 mm om den skall passa i äldre fönsters kilfalsar. Pilkington kan enligt rapporten leverera glasrutor med LE-skikt som har en tjocklek på 3 mm. LE-skikt är en hinna av metall (tenn eller silver) som glasrutan behandlas med, den är mycket tunn och dagljusinsläppet minskar med några få procent. Det är metallhinnan som minskar den långvågiga strålningen ut genom fönstret och fönstrets isolerande egenskaper förbättras. Då glasrutan monteras är det viktigt att den sida som är behandlad med metallbeläggningen hamnar mot luftspalten, för att uppnå så bra värmeisolerande effekt som möjligt. (Fredlund, 1999)

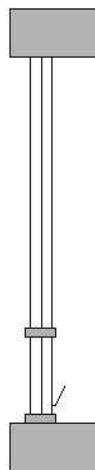
I den del av byggnaden som är uppförd år 1964 finns en annan typ av fönster, mestadels 3-glas med aluminiumkarm med undantag för några rum som har 2-glasfönster. Fönsterareorna i denna huskropp är mycket större än i den andra delen av huset. Fönsterarean är ca 35 % av fasadytan, varför en sänkning av fönstrens U-värde i denna del av huset har en betydelse för energiförbrukningen. De stora fönsterareorna är inte bara till problem för verksamheten, de släpper även in dagsljus i lokalerna vilket är positivt för stora delar av verksamheten med hänsyn till kontroll av färger i dagsljus m.m.

Kostnader och storlek på värmebehovet till följd av minskade transmissionsförluster visas i kapitel 8.2

7.2.2 Frikyla

Fönstren i den äldre byggnadskroppen går att öppna och där kan man reglera inomhustemperaturen på sommaren genom att vädra lokalen och använda frikyla. I byggnaden från år 1960-talet består de flesta fönstren av fasta fönster som inte kan öppnas. På några fönster finns en vädringslucka i nederkant som går att öppna vilket gör att det går att vädra lokalerna till viss del, se Figur 7-3. Denna öppning är liten och finns inte på alla fönster vilket begränsar funktionen med frikyla. Det finns ingen drivkraft som skapar ett luftombyte. Om det varit möjligt att öppna fönstret i överkant också hade den termiska drivkraften bidragit till en större genomströmning av uteluft. Hade fönstren kunnat öppnas i större grad skulle frikyla kunna utnyttjas i de rum med stora fönsterareor.

Fönster med
öppningsbar lucka



Figur 7-3 Skiss över det öppningsbara fönstret.

7.2.3 Solavskärmning

Idag finns det ingen yttre fönsteravskärmning på HDK-huset. I den gamla delen kan detta påverka den ursprungliga karaktären på byggnaden och det kan vara svårt att hitta något bra alternativ för att bevara denna med en yttre fönsteravskärmning. I rummen i den nyare delen finns det inre avskärmning med en tunn vit tyggardin som används för att minska solinstrålningen.

Den instrålade solenergin påverkar verksamheten, detta visar både interjuver, dataloggar från temperaturgivare och utvärdering av enkäter. Detta betyder att installation av en bättre solavskärmning än den befintliga skulle förbättra inomhusklimatet och sänka inomhustemperaturen under soliga dagar.

Det finns tre möjligheter till solavskärmning

- Utvändig
- Mellanliggande
- Invändig



Figur 7-4 Utvändig solavskärmning.



Figur 7-5 Invändig solavskärmning.

(www.nordiclight.se , 2007-11-12)

Utvändig solavskärmning är den avskärmning som är effektivast. Det är samtidigt denna åtgärd som förändrar fasadens utseende mest. Den inre avskärmningen påverkar inte fasaden, avskärmningens effekt är dock sämre.

Minskning av infallande solstrålning med olika typer av solavskärmningen:

Utvändig	50-90 %
Mellanliggande	30-85 %
Invändig	20-65 %

(www.nordiclight.se, 2007-11-12)

Styrning av solavskärmaren med sensorer eller temperaturgivare förbättrar avskärmarens användning. Den estetiska påverkan på fasaden minskas och det är möjligt att styra när solavskärmningen skall vara aktiv. En temperaturgivare på insidan av byggnaden kan installeras för att vid för höga temperaturer i lokalen styra solavskärmningen så att denna fälls ut. Ett annat alternativ är att solavskärmaren aktiveras vid en viss infallande solstrålning per kvm fönster. Olika typer av yttre avskärmning samt fasta och rörliga systems för- och nackdelar diskuteras i kapitel 8.2.

7.3 Installationstekniska åtgärder

7.3.1 Armatur

I HDK-huset används framförallt en äldre typ av belysning med en avgivande effekt på 58 W och lysrör av typen T8. Det finns flera olika typer av belysningar på marknaden som har en väsentligt lägre energiförbrukning än den belysning som finns i fastigheten.

HF-don är ett högfrekvent don som höjer växelströmmens frekvens från 50 hertz till mellan 30 000 och 70 000 hertz. Ljuset upplevs då som flimmerfritt av det mänskliga ögat. Energibesparing med en armatur med ett HF-don blir minst 20 % jämfört med

traditionell armatur. Livslängden på lysröret förbättras med ca 25-30 % då HF-donet skapar en varmstart och det dröjer någon sekund innan lysröret tänds. Detta gör också att det inte sker en blinkande start vid tändning av lysröret. (Ny teknik 2000-11-22). HF-donet gör det möjligt att dimma ner ljuset där fullt ljusflöde inte behövs vilket minskar energiförbrukningen med ca 20 %. Närvaro- och dagsljusdetektorer till HF-donen finns och med hjälp av dessa kan än mer energi sparas. Med HF-don till armaturen, närvarostyrning och T5 lysrör kan energiförbrukningen minska med 60 %. (Hållbar belysning, 2007-11-07)

T5 lysrör minskar energiförbrukningen och har en längre brinntid jämfört med de äldre T8 lysrören. Det finns dock produkter på marknaden som har en särklass bättre livslängd sk. "long life" lysrör. De har en 3 gånger längre livslängd än T5 lysrören, nackdelen med dessa lysrör är att de kostar ca 3 gånger mer än ett T5 lysrör.

T8 lysrören som används i HDK-huset har en diameter på 26 mm, T5 lysrören är mindre med en diameter på 16 mm. Det som skiljer dessa två är att T5 lysröret alltid drivs med ett HF-don.

En enkel åtgärd för både den befintliga belysningen och ev. ny belysning är att hålla den ren. Damm och smutspartiklar bör avlägsnas för att få ut maximalt ljusflöde. Då ljusflödet för en armatur beräknas bygger det ofta på att hela armaturen, ljuskälla mm är rena. Om det inte städas ordentligt kring belysningen försämras ljusflödet från belysningen med 10-20 % och det är då vanligt att mer belysning tänds och således ökar energiförbrukningen i onödan. (Hållbar belysning, 2007-11-07)

I korridorer och trapphus kan närvarodetektorer som känner av ifall någon rör sig i dessa utrymmen användas. Det finns även närvarodetektorer där ljuset dimmas ner då ingen vistas i utrymmet. Lysröret går ner till ca 10 % av maxeffekten när det inte finns någon närvarande och går sedan upp till 100 % när detektorn känner av närvaro. En sådan lösning kan vara bra under kvällstid då det inte vistas mycket folk i lokalerna och det samtidigt finns önskemål om en grundbelysning i lokalen. (Hållbar belysning, 2007-11-07)

I de rummen med stora fönsterareor kan dagsljussensorer användas, det infallande solljuset styr belysningsstyrkan i rummet. På så sätt anpassas belysningsstyrkan och armaturer närmast fönster som nås av mer solljus dimmas ner.

Vid användning av detektorer/sensorer till belysning finns det tre olika detektorer att välja emellan. De olika detektorerna lämpar sig i olika miljöer och lokaler.

Närvarodetektorer: När personer vistas i lokalen reagerar detektorn på värmestrålningen. Dessa detektorer har en hög känslighet på ett stort område i lokalen och lämpar sig i kontorsrum, undervisningslokaler, korridorer mm.

Rörelsedetektorer: En enklare variant av närvarodetektor som känner av värme i kombination med rörelse. Den har inte samma precision som närvarodetektorn och kan inte täcka ett lika stort område men är däremot ett billigare alternativ. Passar bäst i lokaler där detektorn kan känna av stora rörelser.

Ljusdetektorer: Detektorn reagerar på det infallande dagsljusets nivå och styr belysningen utifrån detta ljus. Passar bra i t.ex. skollokaler, kontor och för utebelysning.

7.3.2 Ventilation

Energibehovet för ventilationen beror på hur mycket luft som skall behandlas och på vilket sätt den behandlas, hur den transporteras samt drifttider. Dessa parametrar förutom drifttider vägs in då SFP-värdet för ett ventilationssystem skall beräknas. Luftvolym, fläktarnas verkningsgrad och tryckförluster avspeglas i fläktens effektbehov. Det är totala fläkteffekterna dividerat på största från eller tilluftflödet som ger SFP-värdet. Om fläktarnas verkningsgrad förbättras och förluster i luftdistributionen sänks kommer fläktarnas energibehov minskas. Denna åtgärd skulle ge en energibesparing som betalat sig inom 6-10 år enligt HIGAB som gjort en inventering av ventilationen i fastigheten. Från denna rapport framgår det även att ventilationssystemet är komplext och svårt att styra pga. många spjällstyrningar. Tryckförlusterna i systemet kan minskas genom att ventilationskanaler dras om. Detta är ett mycket komplicerat och orealistiskt åtgärd såvida inte hela ventilationssystemet skall bytas ut. Att minska förluster genom att byta ut gamla filter, rensa i kanaler och göra rent ventilationsdon är däremot åtgärder som kan genomföras relativt billigt och enkelt och minskar förlusterna i systemet.

Drifttiderna för aggregaten är lite varierande enligt bilaga 7. Det enda aggregatet med drifttid varje dag i veckan mellan klockan 7-20 är LB3. Hur mycket energi som kan besparas genom att optimera dessa drifttider redovisas i kapitel 8.2.

7.3.3 Lagring av kyla i byggnadsmaterial

Fastigheten består till stor del av byggnadsmaterial med hög värmekapacitet och hög densitet. Dessa materialegenskaper gör det möjligt att lagra kyla i husets stomme. Kyla ackumuleras i byggnadsmaterialen för att utnyttjas under nästkommande dag då inomhustemperaturen tenderar att stiga. Att kyla ner byggnaden med sval nattluft under de varma sommarmånaderna utnyttjas redan till viss del i HDK-huset. Denna dynamiska effekt kan i vissa delar av fastigheten vara full tillräcklig för att hålla inomhustemperaturnivåerna på behaglig nivå. Det är dock viktigt att beakta att drifttiden för ventilationsaggregaten ökar vilket medför ett ökat elbehov. En utökning av öppningsbara fönster skulle kunna förenkla kylningen av byggnaden under natten. Om denna effekt utnyttjas slipper nya kylsystem installeras och det befintliga ventilationssystemet utnyttjas vilket är både resurs och ekonomiskt effektivt.

8 Simuleringar och resultat

Simuleringar har utförts på en del av byggnaden som ligger på plan 2 och 3. Den simulerade zonen innefattar 10 stycken rum och har en bruttoarea på 548 m². Simuleringarna utförs med i programmet IDA klimat och energi 3.0. I bilaga 5 visas planlösningen och indelningen av den simulerade zonen.

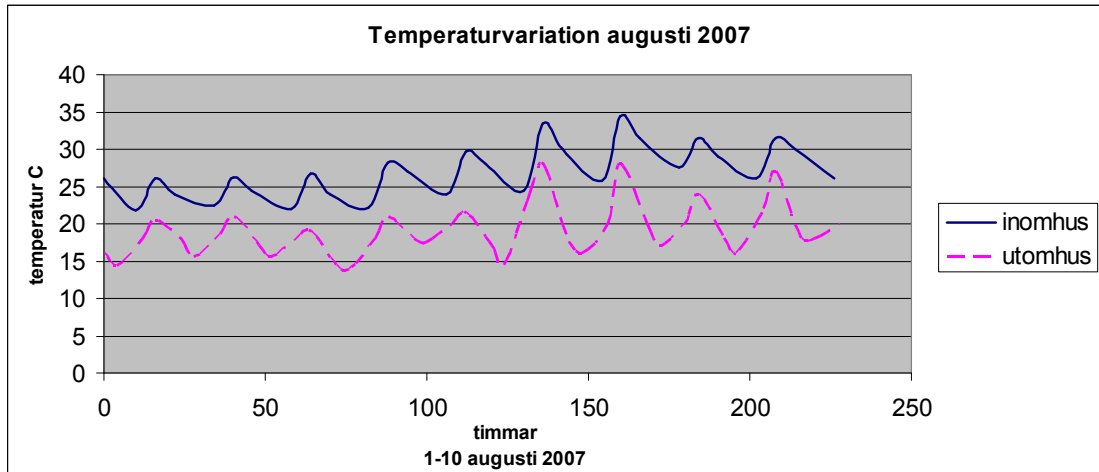
IDA klimat och energi 3.0 är ett svenskt simuleringsprogram som funnits sedan 1998 och är ett av de vanligaste simuleringsprogrammen då energibehov, lufttemperaturer och olika reglersystem i byggnader skall utvärderas. Byggnaden byggs upp i 3D därefter adderas interna laster, VVS-system och diverse olika funktioner som påverkar byggnadens energibehov. Klimatdata för den aktuella orten väljs och byggnadens orientering och läge anges. Byggnaden byggs upp med möbleman, inneväggar och en specifikation av klimatskalets uppbyggnad görs vilket gör det möjligt att ta hänsyn till lagringseffekter i byggnadsstommen. Simuleringarna skall användas då olika energibesparande åtgärder utvärderas och jämförs.

8.1 Verifiering av simuleringar

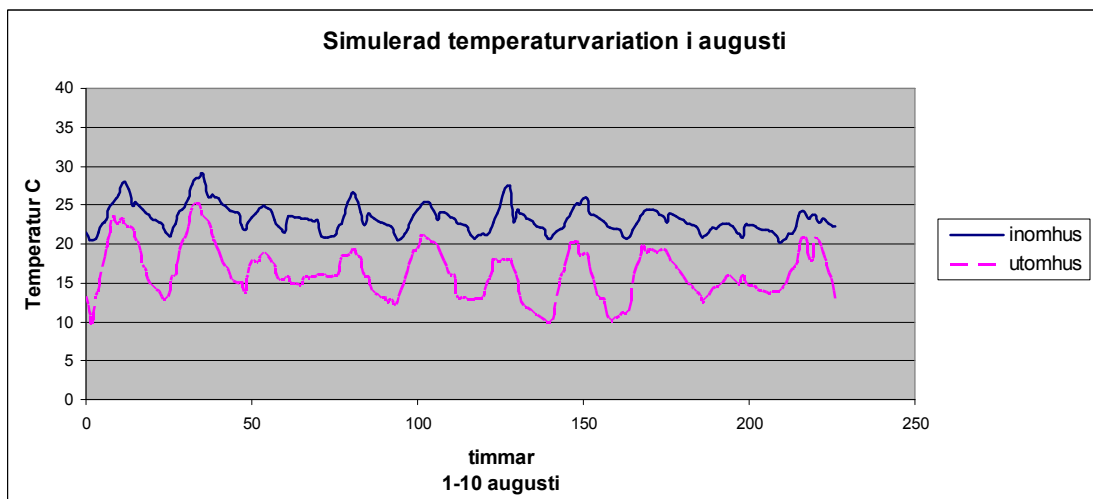
För att verifiera att den framtagna modellen har simuleringsdata jämförts med data från den befintliga byggnaden. Temperaturloggar från rum nummer 555 i augusti månad år 2007 har använts för att utvärdera simuleringsresultaten. De simulerade rumstemperaturernas variation har jämförts med de verkliga inomhustemperaturvariationerna. Inomhustemperaturerna har inte exakt samma storlek men ett snarlikt beteende. Orsaken till det är att i simuleringen har utomhustemperaturer använts för ett annat år. I simuleringen har klimatdata från Säve år 1977 använts. Orsaken till att klimatdata från år 1977 används är att det är den klimatdata som följer med IDA licensen att betala för ny klimatdata har inte ansetts relevant.

Modellen kan ändå verifieras eftersom inomhustemperaturen reagerar på utomhustemperatursvängningar på ett likartat sätt.

Verkliga utomhus- och inomhustemperaturer från augusti månad år 2007 åskådliggörs i Figur 8-1. Inomhustemperaturen är hämtad från rum 555 där det finns en temperaturgivare som lagrar rummets temperatur. Utomhustemperaturen är hämtad från SMHI och gäller för Säve. Den 7 augusti (efter ca 140 h) stiger utomhustemperaturen till 28-29°C. Denna temperaturvariation medför att inomhustemperaturen stiger till 34°C. Skillnaden mellan utomhus och inomhustemperaturen blir ca 5-6°C.



Figur 8-1 Temperaturvariationer inomhus och utomhus under de första 10 dagarna i augusti 2007.



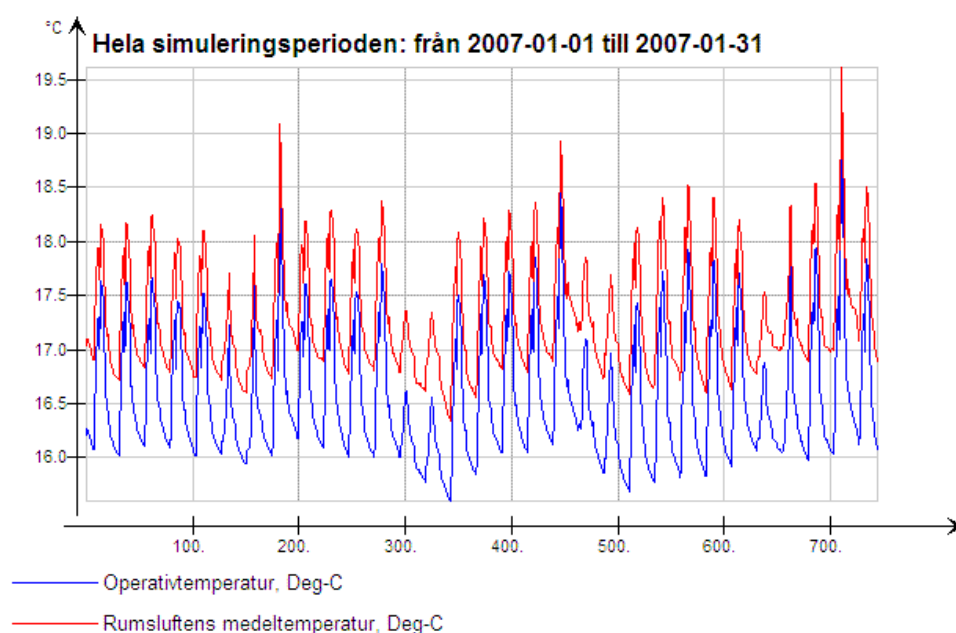
Figur 8-2 Simulerade inomhustemperaturvariationer under de första 10 dagarna i augusti. Utomhustemperaturvariation uppmätta av SMHI Säve augusti år 1977.

I Figur 8-2 åskådliggörs den simulerade inomhustemperaturen från de första tio dagarna i augusti. Då de simulerade inomhustemperaturerna jämförs med utomhustemperaturen framgår det att temperaturvariationen följer varandra väl. I början av månaden ökar utomhustemperaturen till 25°C och det resulterar i att inomhustemperaturen stiger till 30°C. Skillnaden mellan inomhus- och utomhustemperaturen är även i den simulerade modellen 5°C.

Den verkliga temperaturdifferensen mellan utomhus- och inomhustemperatur är 5-6°C en varm sommardag. För simuleringen en varm sommardag blir temperaturdifferensen liknande, ca 5°C. Utomhustemperaturen faller snabbare än inomhustemperaturen på natten i den simulerade modellen och enligt de uppmätta temperaturerna. Detta resulterar i att temperaturskillnaden är större på natten än på dagen.

När simuleringarna körs under januarimånad framgår det att inomhustemperaturerna blir låga. Inomhustemperaturen ligger runt 17,5°C. Den operativa temperaturen ligger

något lägre. Se Figur 8-3. Detta stämmer överens med hur man upplever temperaturen lokalerna. Svar från enkätundersökningar samt intervjuer på plats bekräftar att inomhusklimatet upplevs som mycket kallt under vintern.

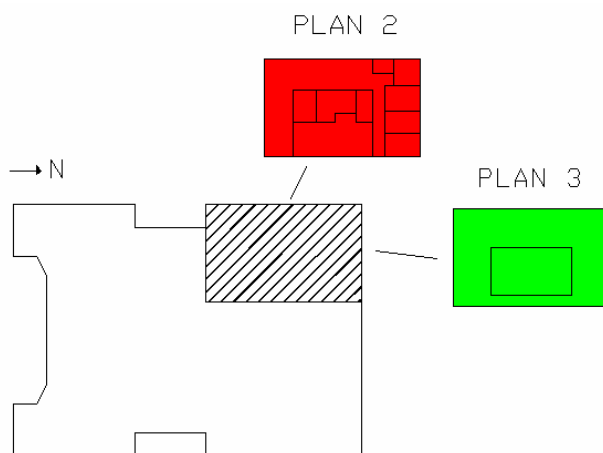


Figur 8-3 Inomhustemperatur under januari månad rum 555.

Värdena från simuleringen är inte exakta vilket inte heller varit huvudmålet utan målet har varit att försöka konstruera en modell med liknande beteende jämfört med den befintliga byggnaden. Med hjälp av ovanstående analys kan modellen verifieras som korrekt.

8.2 Simuleringar

Luftbehandlingsaggregat 3 klimathåller denna zon som är placerad i den nord-västra delen av huset. I Figur 8-4 framgår placeringen av den simulerade zonen och den aktuella planlösningen. Verksamheten är inriktad på textiltryck med tryckrum, färgkök, butylrum och arbetsrum. På den tredje, översta våningen, finns ett studentarbetsplatsrum (rum nr 555). I detta rum upplevs stora problem med alltför höga/låga temperaturer och för att undersöka detta har en temperaturgivare installerats, temperaturlogg för denna givare ses i bilaga 14. Fasaden i zonen består till stor del av fönster, vilket bidrar till att de som vistas i lokalerna upplever ett dåligt termiskt klimat med kallras och låga/höga ekvivalenta temperaturer.



Figur 8-4 Planlösning över den simulerade zonen på plan 2 och 3.

Då zonen simuleras i IDA Klimat och Energi 3.0 har vissa antaganden gjorts. Antagandena bygger främst på de platsbesök som gjorts i lokalerna samt på interjuver med personal och studenter. De antaganden som gjorts är sammanställda i bilaga 13. Nedan presenteras några av de viktigaste antaganden.

På andra våningen, 6 m över markplan ligger textilsalarna, på tredje våningen 11,5 m över markplan ligger studentarbetsrummet. Byggnadens verkliga orientering är inlagd i modellen och även omkringliggande byggnader är inlagda för att ta hänsyn till skuggningseffekter och vindprofiler. Eftersom luftbehandlingsaggregatet inte har möjlighet att kyla har verkningsgraden på kylanläggningen i aggregatet satts till 0. Tryckhöjning över till och frånluftsfläktar har hämtats från OVK rapporten som genomförts på byggnadens ventilationssystem. Verkningsgraden för värmeväxlaren är 60 % enligt Novencos produktblad. Fastighetsägarna Higab AB har låtit kontrollera värmeväxlarnas verkningsgrader och det visade sig då att den var lägre och ligger på 50 % vilket är den verkningsgrad som antagits i simuleringarna.

Under fönstren sitter det radiatorer, ca 45 cm höga. Det sitter radiatorer under alla fönster, dvs. det finns radiatorer längs hela fasaden. Maxeffekten på dessa radiatorer är okänd och på grund av radiatorernas ålder kan den antas vara relativt låg. Vi har antagit att en radiator på 3 x 0,45 x 0,05 meter har en maxeffekt på 800 W vilket ligger något under de tillgängliga effekter som en ny radiator i samma storlek levererar.

Interna laster har lagts till som bland annat personbelastning, belysning, möbler. De interna lasterna kan tidsstyras efter den verksamhet som bedrivs i rummet, detsamma gäller för övrig utrustning som datorer och köksapparater mm. Generellt används lokalerna under normal arbetstid med lunch kring klockan 12. Brukarna utför ett lätt fysiskt arbete vilket medför ett met-värde på 1,5 – 2,5 beroende på rum. Byggnaden är ganska gammal, drygt 40 år och vi har därför antagit att anslutningar mellan fasadelement, fönster m.m. inte är helt täta och det sker ett läckage genom klimatskärmen. Storleken på läckaget diskuteras mer i kapitel 6.4. Förhållandet mellan frånluftsflödet och tilluftflödet dvs. det ofrivilliga läckaget är satt till 30 % av tilluftflödet, dvs. $V_{\text{till}}/V_{\text{från}}=1,3$.

Fönstren har försetts med en solfaktor på 0,69 vilket reducerar den instrålade effekten, faktorn tar hänsyn till karmar och smutsiga rutor m.m.

Eftersom det i studierummet på plan tre finns en temperaturgivare har det varit möjligt att validera vår modell av byggnaden så att den stämmer överens med verkligheten. Byggnaden reagerar på temperaturvariationer och solinstrålning på samma sätt som den verkliga byggnaden.

Energibesparande åtgärder

Det finns flera olika åtgärder för att minska energiförbrukningen och förbättra inomhusklimatet. Följande åtgärder kommer att simuleras och utvärderas mer i detalj:

- Solavskärmning
- Ny armatur
- Tilläggisolering av tak
- Driftoptimering av luftbehandlingsaggregatet
- Förbättrat klimatskal

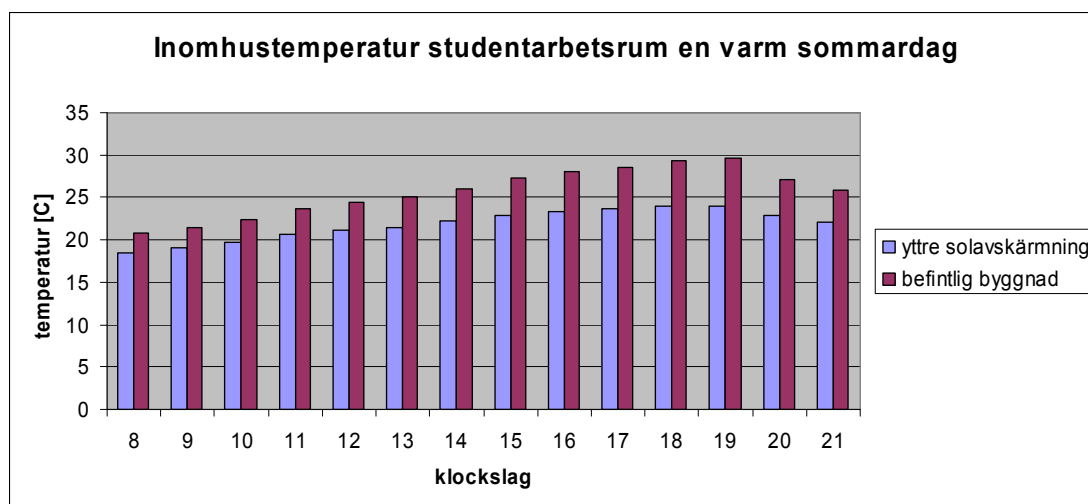
Solavskärmning

Eftersom verksamheten klagat på höga temperaturer under sommar- och vårmånaderna och detta bekräftas även av temperaturloggar för temperaturgivare i ett av rummen finns ett behov av att sänka temperaturen under viss tid av året. Att utnyttja den kylanläggning som finns i fastigheten är ett alternativ. En yttre solavskärmning minskar solinstrålningen genom de stora fönstereorna. Om istället en yttre avskärmning används kan kylbehovet minskas och inomhustemperaturerna hålls nere utan att behöva installera ett energikrävande kylsystem. Avskärmningen kan styras på flera olika sätt. Vår rekommendation är att avskärmningen styrs med en sensor som känner av infallande solstrålning, då rullas avskärmningen ut. Den bör även kunna manövreras manuellt från fastigheten. Då solen inte skiner bör avskärmningen vara inrullad så att den inte påverkar fasadens karaktär i onödan eller bidrar till ett ökat värmebehov. På vintern kan solinstrålningen utnyttjas som en gratis värmekälla och avskärmningen bör då inte användas dagtid.

Simuleringarna visar att en yttre solavskärmning på dagtid under vintern ökar energibehovet eftersom avskärmningen då sänker inomhustemperaturen, se bilaga 9. Solinstrålningen minskar då med ca 70 %. Om avskärmningen istället är utfälld på natten som ett extra skydd minskar energibehovet genom att hålla temperaturen uppe eftersom förlusterna genom fönstret minskar. Om solavskärmningen är utfälld mellan klockan 18.00 – 8.00 under de 4 kallaste vintermånaderna november till och med februari minskar värmebehovet med 400 kWh_{värme}/år vilket ger en kostnadsbesparing på 250 SEK/år.

I bilaga 9 visas medel inomhustemperaturen för den befintliga byggnaden och med en yttre avskärmning under augusti månad. Avskärmningen är styrd av en sensor och aktiveras då 400 W/m² infaller mot fönstren. Simuleringarna visar att det är möjligt att hålla nere temperaturerna under de varmaste månaderna utan att installera ett

kylsystem. En yttre solavskärmning sänker medelinomhustemperaturen med i genomsnitt 2,5°C under augusti månad. Den maximala inomhustemperaturen en varm sommar dag i augusti sänks från 30°C till 24°C, Figur 8-5 nedan. Om denna inomhustemperatur hade uppnåtts med kylaggregatet hade det kostat 340 kWh_{kyla} under en genomsnittlig sommarmånad. Det finns förutsättningar att skapa ett gott inomhusklimat med hjälp av en yttre solavskärmning, att installera ett kylsystem anses som resursslöseri.



Figur 8-5 Medel inomhustemperaturen i studentarbetsrummet en varm sommardag i augusti för den befintliga byggnaden och med yttre solavskärmning.

Det finns flera olika typer av yttre solavskärmning och det är viktigt att en avskärmning väljs som passar byggnadens karaktär och smälter in väl i fasaden. Författarna till denna rapport rekommenderar hemsidan www.byggfaktadocu.se, där flera olika företag och lösningar finns presenterade. En arkitekt eller byggnadsantikvarie med kunskap om att skapa genomtänkta och väl anpassade solavskärmningar bör konsulteras för utformning.

Prisexempel på olika solavskärmningar har erhållits från olika företag, ett ungefärligt prisförslag från Colt Nordic kommer här att presenteras.

1 kvm solavskärmning med sensor kostar 2 500 SEK. I den simulerade zonen behövs 45 kvm solavskärmning vilket kostar 112 500 SEK exklusive arbete, inklusive arbete blir den totala kostnaden för en yttre solavskärmning ca 170 000 SEK.

I dagsläget finns ingen kyla indragen till dessa lokaler, följande beräkningar bygger på att kyla är installerad i byggnaden. Om lokalerna hade kylts till samma temperaturer som en solavskärmning skapar hade det kostat ca 1400 kWh_{kyla} att kyla under 4 medelvarma sommarmånader. Att producera 1 kWh_{kyla} med en konventionell kompressordrivet kylaggregat kostar 0,3-0,5 kWh_{el} (Abel 2006), vilket gör att det kostar ca 500 SEK/ 4 sommarmånader. Då har ingen hänsyn tagit till kostnader för att installera kyla i lokalerna.

På vintern kan solavskärmningen minska värmeförlusterna genom fönstren. En genomsnittlig vinterdag sänks energibehovet med 400 kWh_{värme}/4 vintermånader.

Utgifter för åtgärden: grundinvestering 170 000 SEK

Besparing: 400 kWh_{värme}/år vilket motsvarar 250 SEK.

Till detta tillkommer underhållsavgifter av solavskärmningen.

Ny armatur

I dagsläget finns det till största del bara lysrör placerade i taket som belysningskälla i zonen. Armaturen är även gammal och av en äldre typ av lysrör. Det finns flera olika åtgärder som bidrar till att minska energiförbrukningen kopplad till belysningen. Att installera HF-don som ger samma ljusflöde till en lägre effekt är ett bra alternativ. HF-don diskuteras mer i kapitel 7.3.1. Om belysningen ändå ses över och byts ut bör olika ljuskällor kombineras beroende på verksamheten i lokalen. HF-don kan placeras i taken. Över arbetsbänkar borde speciell arbetsplatsbelysning installeras med lågenergilampor.

Att ha närvarodetektorer kopplade till de nya HF-donen minskar risken att onödig belysning lämnas påslagen. Den nya armaturen kan med fördel även utrustas med ljussensor som känner av när det infallande dagsljuset i lokalen är tillräckligt och då dimmas belysningen ner till dess att rätt ljusnivå uppnås i rummet. Som komplement till denna automatiska belysning kan det vara praktiskt att ha arbetsplatsbelysning som verksamheten själv kan styra, t.ex. i hantverkslokalerna där det finns ett mycket stort krav på rätt färgåtergivning och rätt belysningsstyrka.

Med befintlig armatur, 58 W: $6,25 \text{ W}_{\text{el}}/\text{m}^2_{\text{BTA}}$

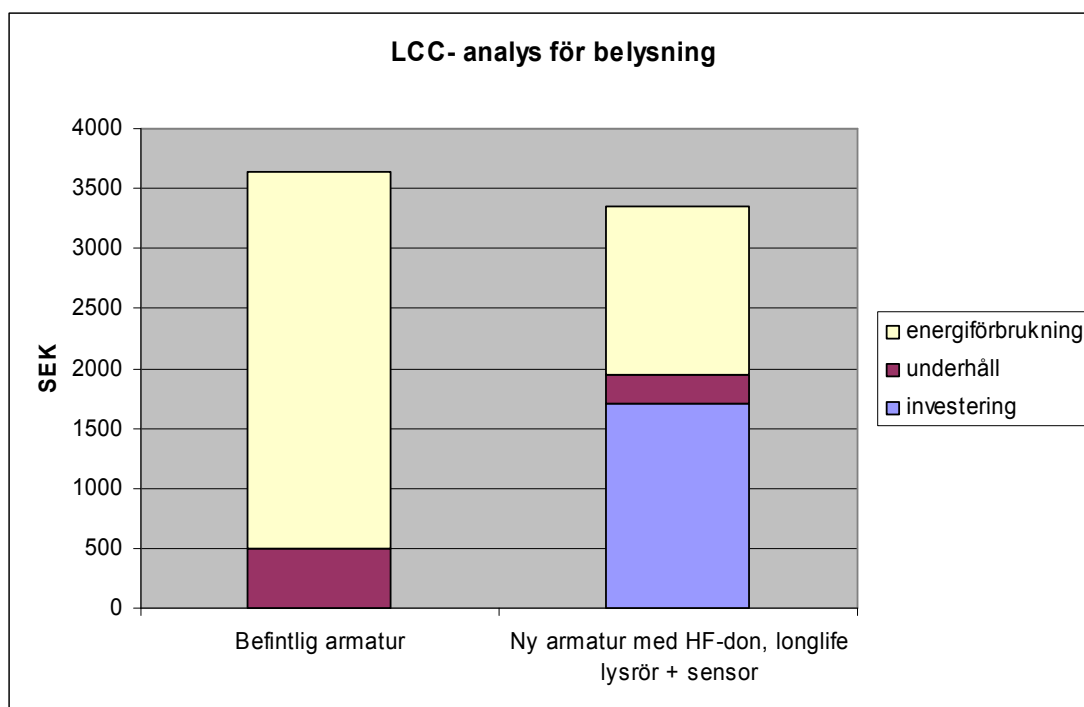
T5 lysrör med HF-don: $4,1 \text{ W}_{\text{el}}/\text{m}^2_{\text{BTA}}$

HF-don och närvarodetektorer: $3,3 \text{ W}_{\text{el}}/\text{m}^2_{\text{BTA}}$

Nyckeltal från akademiska hus: $6 \text{ W}_{\text{el}}/\text{m}^2_{\text{BTA}}$

I zonen finns totalt 59 stycken traditionella lysrör (58 W) vilket ger en avgivande effekt på 3422 W. Om istället T5-lysror med tillhörande HF-don används i zonen sänks effekten till 38 W och samma ljusflöde erhålls. Denna åtgärd sänker den avgivande effekten från 3422 W till 2242 W, vilket är en minskning med 35 %. Närvarodetektorer minskar energiförbrukningen ytterligare, ett riktvärde är en minskning på 20 % (Hållbar belysning, 2007-11-07). Energiförbrukningen kan minskas ytterligare om lågenergilampor används vid arbetsbord och antalet lysrör i taket minskar.

En lågenergilampa avger endast 1/6-del av vad traditionell glödlampa avger. En 60 W glödlampa kan bytas mot en lågenergilampa som drar 10 W och samtidigt ger samma ljus. Om T5 lysrör av ”long life” modell används förlängs brinntiden med 3 gånger, priset ökar också med 3 gånger jämfört med ett vanligt T5 lysrör.



Figur 8-6 LCC-analys för en belysningskälla under 15 år.

Det visar sig vara lönsamt att byta den befintliga belysningen till nyare belysning som har längre brinntid på lysrören och samtidigt lägre energiförbrukning. Enligt beräkningar som presenteras i Figur 8-6 och bilaga 10 blir den totala kostnaden 193 SEK lägre/belysningskälla om ny effektiv belysning används, i den simulerade zonen finns 59st belysningskällor vilket totalt ger en besparing på 11500 SEK. Beräkningarna bygger på ett fast elpris på 1 SEK/kWh_{el} under 15 år. Om elpriset stiger ytterligare, vilket det enligt energimyndigheten finns tydliga indikationer på är alternativet med ny belysning än mer lönsamt.

Tilläggsisolering

Takets värmeprestanda är dålig eftersom det endast finns en 8 cm mineralullsplatta i taket vilket medför ett högt U-värde. Ytskiktet på taket är s.k. ”underhållsfri” takpapp. Denna papp kommer att behöva underhållas tids nog och då bör en tilläggsisolering av taket starkt övervägas. I den befintliga byggnaden har taket ett U-värdet på 0,35 [W/m²*K] med ytterligare 20 cm tilläggsisolering blir det nya U-värdet lägre och ligger på 0,12 [W/m²*K]. Under ett år minskar denna åtgärd energiförbrukningen med 4 200 kWh_{värme}.

Att tilläggsisolera taket medför att mer energi kan återvinnas eftersom förlusterna genom taket minskar. Luftvärmarens energibehov minskar således med 966 kWh_{värme}/år. Radiatorernas energiförbrukning minskar med 3255 kWh_{värme}/år.

Om en tilläggsisolering utförs är det viktigt att en fuktspärre monteras på den varma sidan av isoleringen, i detta fall insidan, för att minimera risken att den varma fuktiga inomhusluften stiger upp i isoleringen och kyls av och fäller ut fukt. Fuktspärren skall förseglas med speciell tejp som är extra hållbar och framtagna till ändamålet. Anslutningar skall vara täta och fuktspärren skall kontrolleras så att den är intakt innan den byggs in, likaså bör infästningen av undertaket ske så att fuktspärren inte

skadas. Åtgärden höjer den ekvivalenta medeltemperaturen i rum 555 med 1°C under januari månad.

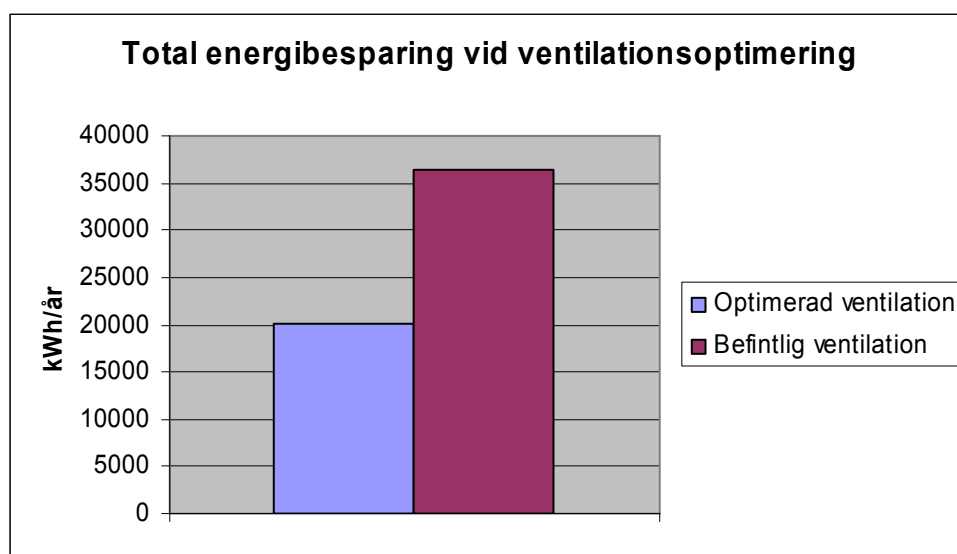
Kostnadsindikation ligger mellan 100 - 200 SEK/kvm för lösullsisolering enligt skriften ”Energisparguiden – Erfarenheter av energieffektivisering i offentliga lokaler”. För den simulerade zonen i denna rapport blir kostnaden då $200 \text{ SEK/m}^2 \cdot 450 \text{ m}^2_{\text{takyta}} = 90\,000 \text{ SEK}$ inklusive arbete. Om luftvärmaren och radiatorernas energiförbrukning sänks med 4200 kWh_{värme}/år medför det en kostnadsbesparing på 2268 SEK/år.

Driftoptimering av luftbehandlingsaggregat

Ventilationsaggregatets drifttid är mellan klockan 7.00-20.00 alla dagar i veckan, efter denna tid kan aggregatet startas med forceringsknapp. Efter samtal med personal i lokalerna och enkätundersökning har det framkommit att rummen används i stort sätt endast under normal arbetstid, dvs. mellan klockan 8.00-17.00 vardagar. Det finns alltså förutsättningar för att optimera drifttiderna för aggregatet. Om de nya drifttiderna sätts till 7.00-17.00 dvs. 3 h kortare drifttid per dag samt att aggregatet stängs av under helger, sparas 16500 kWh/år, eftersom funktionen med manuell forcering fortfarande finns kvar kommer brukarna själva kunna starta aggregatet övrig tid ifall behovet finns.

I informationsbladet för luftbehandlingsaggregatet skall verkningsgraden vara 60 %. Då den verkliga verkningsgraden undersökts visade det sig att den var lägre och låg på 50 %. Varför verkningsgraden är lägre än vad produkten skall kunna erbjuda bör undersökas och åtgärdas.

Om åtgärder vidtas för att höja verkningsgraden och drifttiden optimeras enligt ovan sänks energiförbrukningen med 16500 kWh/år, se Figur 8-7. Fläktens energiförbrukning minskar med 3 700 kWh_{el}/år och luftvärmarens förbrukning minskar med 1 300 kWh_{värme}/år vilket resulterar i en kostnadsbesparing på 10 000 SEK.



Figur 8-7 Optimering av drifttid på luftbehandlingsaggregatet.

Zonen förses med tilluft från luftbehandlingsaggregat 3. Detta aggregat har ett uppmätt SFP-värde på 2,3 [kW/(m³/s)] och Boverket rekommenderar ett SFP-värde lägre än 2 för att säkerställa en el-effektiv användning. Om ventilationssystemet har onödiga förluster bör dessa åtgärdas. Det kan vara t.ex. läckande ventilationstrummor, ventilationskanaler med stora förluster pga. krökar och böjar eller filter och don som bör rengöras. Att se över kanaldragningar och åtgärda dem är stora ingrepp och det bör istället diskuteras om ett helt nytt system skall byggas. Att rengöra filter, don och rör är billigare och enklare åtgärder, om kanaler och rensluckor är placerade på ett genomtänkt sätt bör detta inte vara ett problem. Dessa faktorer skapar onödiga tryckfall i systemen som avspeglar sig i onödigt höga fläkteffekter som i sin tur ger höga SFP-värden och energikrävande ventilationssystem.

Även om drifttiden optimeras och aggregatet stängs av klockan 17.00 finns fortfarande forceringsknappen kvar och möjligheten till att aktivera aggregatet utöver de fasta drifttiderna bör kvarstå så att luftbehandlingsaggregatet klarar de krav verksamheten ställer på flexibilitet.

Optimering av drifttider sparar 16 500 kWh_{el+värme}/år. Kostnaden för att genomföra denna åtgärd borde vara liten. Om en drifttekniker skulle kunna ändra drifttiderna i luftbehandlingsaggregatet på någon timma, detta en mycket lönsam åtgärd. Kostnadsbesparingen per år blir 10 000 SEK, att utföra åtgärden borde inte kosta mer än 1 000 SEK.

Förbättrat klimatskal

Genom klimatskärmen förloras mycket energi pga. det ofrivilliga läckaget. Energin skulle istället ha kunnat återvinnas med hjälp av värmeåtervinnaren och värmebehovet för fastigheten minskas. Nya fönster, tilläggsisolering av fasaden och tätning av klimatskalet minskar dessa förluster.



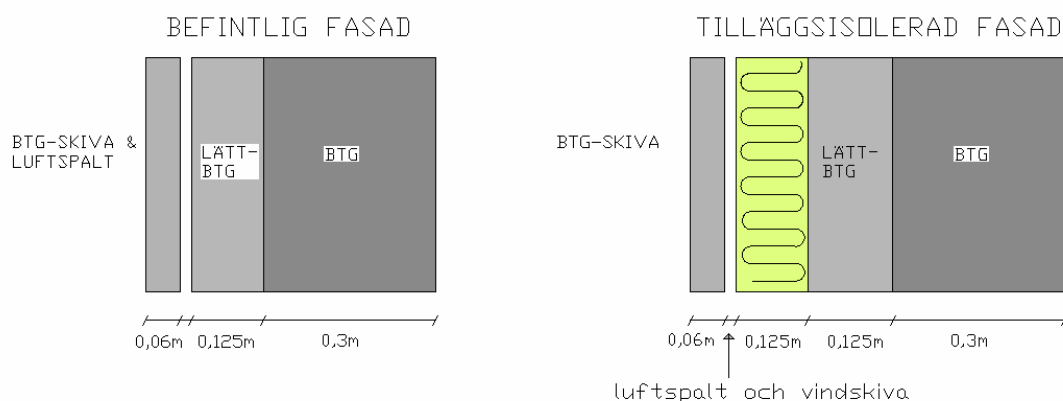
Då nya fönster monteras är det viktigt att anslutningar tätas ordentligt. Fasaden består av prefabricerade väggelement och i skarvar mellan dessa element läcker det med all säkerhet en del energi. Hur mycket och var energin läcker kan studeras med hjälp av en så kallad värmekamera. Fasaden fotas och kameran känner av objektets infraröda strålning och kameran omvandlar sedan informationen till en bild där yttemperaturerna redovisas, för exempel se Figur 8-9. (www.sedek.se) Med hjälp av en sådan undersökning kan förlusternas placering fastställas och åtgärd utföras på rätt ställe.

Figur 8-8 Termografering av en fastighet. Källa: www.sedek.se

En termografering av byggnaden har inte utförts i denna studie. Orsaken är att det föreligger en risk att PCB är inbyggt i fogar, motsatsen är i alla fall inte bevisad med provtagning. Om det visar sig vara ett faktum krävs en omfattande sanering av de förorenade delarna. Om det visar sig aktuellt med en sanering kan samtidigt åtgärder vidtas för att minska läckaget genom klimatskalet. Då är det aktuellt att termografera fastigheten för att kartlägga var de största förlusterna sker och på så sätt göra ingreppen på rätt ställe.

Då underhåll på byggnaden görs är det viktigt att krav ställs på utförandet för att minska läckaget. Till exempel är detta viktigt om fönster byts eller taket isoleras. Ett väl tätat klimatskal är inte bara bra ur energisynpunkt utan minskar även fuktbelastningen på byggnadsmaterialen som orsaka mikrobiell påväxt under vissa förutsättningar. Eftersom huset har mekanisk från- och tilluft skall inga problem med minskad luftväxling uppstå vid en tätning av klimatskalet, detta bör alltid utredas och beaktas vid en tätning av klimatskalet.

Denna åtgärd kräver omfattande ingrepp på huset och är den åtgärd som är dyrast. Om fönstren byts till nya med ett lägre U-värde runt $1 \text{ [W/m}^2\text{*K]}$, fasaden isoleras med 12 cm mineralullsplattor samtidigt tätas klimatskalet och om eventuella köldbryggor elimineras minskar energiförbrukningen markant. Då dessa åtgärder simuleras minskar den köpta primära energin med $24\,000 \text{ kWh}_{\text{värme}}/\text{år}$ vilket sparar $13\,000 \text{ SEK}/\text{år}$.



Figur 8-10 Utformning av befintliga fasad och fasad med tilläggsisolering.

Då fasaden skall tilläggsisoleras kan den befintliga konstruktionen med fördel bevaras. Betongskivorna flyttas utåt och innanför luftspalten placeras isoleringen och en vindskiva. I Figur 8-10 visas ett förslag på hur isoleringen bör placeras. Luftspalten skyddar isoleringen mot kapillärt inträngande fukt och vindpappen minskar konvektionen i isoleringen. Om fukt transporteras in i isoleringen kan den torkas ut genom luftspalten. Detta säkerställer en fuktsäker och energisnål lösning. En yttre fasadisolering håller konstruktionen varmare och köldbryggor elimineras mer effektivt än med en invändig tilläggsisolering. Fönstrens placering då fasaden blir tjockare bör diskuteras. Att placera fönstren i den varma delen av fasaden, dvs. långt in i fasaden, är ur värmeteknisk och energibesparande synvinkel den bästa placeringen. (Pettersson (2004) s. 195). Ur estetisk synvinkel förändrar detta fasadens karaktär, fönstren smälter inte ihop med fasaden på samma sätt som innan (Hemgren och Wannfors (2005) s. 139). I den befintliga byggnaden är fönstren placerade närmast fasadens ytersida. Om de fem byggnadsvårdsprinciper som tidigare nämnts i kapitel 4.6 skall tillämpas och kravet på att förhålla sig till historien bör fönstren istället placeras i liv med fasaden.

Nya fönster med ett U-värde på $1,0 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}$ är dyra och kostar ca 3 500 SEK/kvm enligt (U.F.O.S (2006) och Pilkinton). Den aktuella fönsterarean är 160 kvm vilket resulterar i en kostnad på 560 000 SEK med påslag för arbete på 50 % blir totala kostnaden 840 000 SEK.

Att tilläggsisolera fasaden kostar ca 250 SEK/kvm (U.F.O.S. (2006)), i det aktuella fallet är det 210 kvm fasad att isolera vilket resulterar i en kostnad på 80 000 SEK inklusive arbete.

Den årliga kostnadsbesparingen på grund av minskat uppvärmningsbehov uppskattas till 13 000 SEK/år.

Tabell 8-1 Sammanställning av simulerade åtgärder.

Åtgärd	Befintlig	Energibesparande åtgärd
Solavskärmning	Inre tunn gardin	Yttre reglerbar solavskärmning
Belysning	Traditionella lysrör	HF-don och T5 lysrör + närvarodetektorer
Driftoptimering	Grundflöde kl 7-21 7 dagar i veckan.	Optimerad drifttid
Förbättrat klimatskal	$V_{\text{till}}/V_{\text{från}} = 1,3$ $U_{\text{fasad}} = 0,7 \text{ [W/m}^2\text{*K]}$ $U_{\text{fönster}} = 1,8 \text{ [W/m}^2\text{*K]}$ $U_{\text{tak}} = 0,25 \text{ [W/m}^2\text{*K]}$	$V_{\text{till}}/V_{\text{från}} = 1,1$ $U_{\text{fasad}} = 0,2 \text{ [W/m}^2\text{*K]}$ $U_{\text{fönster}} = 1,0 \text{ [W/m}^2\text{*K]}$ $U_{\text{tak}} = 0,13 \text{ [W/m}^2\text{*K]}$

En minskad energiförbrukning innebär en minskad miljöbelastning. Vilka utsläpp som minskar beror på energikälla. Åtgärderna kräver materialresurser och miljöbelastningen kopplad till materialåtgången och montering är inte analyserad. För att genomföra en sådan analys, dvs. en LCA-analys där en åtgärds samtliga miljöbelastningar beaktas hade krävts att specifika produkter hade valts. Djupare studier i detta faller utanför denna rapports avgränsning. Att utnyttja byggnadens kvalitéer och inbyggda resurser bidrar till att minska miljöbelastningen. Detta förespråkas i åtgärden där fasaden tilläggisolerar. Den befintliga betongplattan återanvänds i förslaget istället för att den skulle transporteras iväg till deponi och en ny ytbeklädnad hade framställts och transporterats till fastigheten. Genom att utnyttja byggnadens egna möjligheter och egenskaper samt utforma en byggnad på ett miljöanpassat har den föreslagna åtgärden följt de rekommendationer från BÄR och Miljökvalitetsmål 15 – God bebyggd miljö, se kapitel 3.1.1 och 3.3.2.

Tabell 8-2 Olika energibesparandeåtgärders lönsamhet baserad på årlig besparing och kostnad för investering.

Åtgärd	Besparing i kWh/år och SEK/år ¹	Kostnad investering SEK inklusive arbete.	Lönsamhet
solavskärmning	250 SEK Förbättrat inomhusklimat	170'000 SEK	dålig
Ny belysning	Se resonemang om ny armatur i text.	Inköp: 1'700 SEK Utförande: 100 SEK	God
driftoptimering	16'500 kWh _{el+värme} 10'000 SEK	Utförande: ~1000 SEK	Mycket god!
Tilläggsisolering av tak	4'200 kWh _{värme} 2'268 SEK	90000 SEK ink. arbete	Dålig!
Förbättrat klimatskal ²	24'000 kWh _{värme} 13'000 SEK	ca 1 miljon	Mycket dålig

1) 1 kWh_{el} = 0,7 SEK och 1kWh_{värme} = 0,54 SEK båda exklusive moms

2) nya fönster, minskat läckage, tilläggsisolering av både tak och fasad.

8.3 Verksamhetens möjlighet till minskad energiförbrukning och förbättrat inomhusklimat

Utvärderingen av enkäten visar att verksamheten upplever inomhusklimatet som otillfredsställande och påverkar verksamheten negativt. Det framgår att studenterna uppmanas till att inte stänga av datorerna då de slutar i för dagen, då datorerna står på under hela dygnet ökar energiförbrukningen och samtidigt ökar de interna lasterna. Denna ökade interna last har medfört att kyla har installerats i byggnaden, installationen av kyla har medfört att elförbrukningen ökat. I dagsläget är datorerna påslagna dygnet runt, belysning glöms ofta på under nätter och helger enligt studenterna, samtidigt kylsystem håller temperaturerna nere på behaglig nivå. En datorsal med 20 datorer av äldre modell har simulerats. Den befintliga datorsalens energiförbrukning jämförs med en ny optimerad datorsal där nya datorer används (plattskärm) med drifttid sänks till 10 h/dygn och belysning med HF-don används. Simuleringarna visar att det finns en sparpotential på 20 000 kWh_{el} och kylbehovet reduceras från 15 000 kWh_{kyla} till 30 kWh_{kyl}.

Då verksamheten tidigare klagat på allt för låga temperaturer vintertid har fastighetstekniker åkt ut på plats och mätt luftens temperatur på fler ställen i fastigheten. Luftens temperatur har då legat runt 20 °C. Denna temperatur är dock inte

den temperatur som människan upplever eftersom hänsyn till strålningsutbyte och lufthastigheter ej tas. Värme transporteras på tre olika sätt genom ledning, strålning och konvektion. Då hänsyn tas till strålningsutbytet som en människa upplever då den står ca 1 m från en fönsteryta med yttemperaturen 12 ° C och luftens temperatur inomhus är 20 °C upplever människa en temperatur på 16 °C trots att luftens temperatur mäts till 20 °C enligt termometer. Detta fenomen är extra påtagligt i de delar av fastigheten som har stora fönster areor och således stora ytor med lägre temperatur. Detta är samma fenomen som kan upplevas i tex. fjällen då det blåser mycket. Termometern på väggen visar -5 ° men den upplevda temperaturen är lägre eftersom lufthastigheten påverkar konvektionen som är en av de tre olika fenomenen som driver värmeflödet. Om en temperatur mäts upp med termometer behöver det inte betyda att den upplevda temperaturen är den samma, det är alltså flera olika faktorer som påverkar den upplevda temperaturen som lufthastighet, luftfuktighet och omgivande ytors temperatur.

Att upplysa personal och studenter om deras möjlighet till att minska energiförbrukningen är en viktigt för att lyckas med Universitetets mål om en minskad energiförbrukning.

9 Diskussion

Flera olika åtgärder har presenterats, nackdelar och fördelar har beskrivits. Det har även konstaterats att det finns möjligheter att vidta åtgärder på och i byggnaden som minskar energianvändningen och förbättrar inomhusklimatet. De befintliga systemen i huset är dimensionerade för en annan verksamhet än den som råder i byggnaden. Detta medför att det med största sannolikhet kommer att ske en del underhåll och ombyggnationer för att möta nya krav. Det är då viktigt att Göteborgs Universitet klargör för fastighetsägarna i god tid vad som förväntas och vad målet är med förändringen. Om nya energieffektiva system skall utformas är det viktigt att Göteborgs Universitet ger klara besked i god tid. Mer tid gör det även möjligt att kunna beställa system och produkter med en lägre miljöbelastning och fler produkter kan då analyseras och utvärderas. Ett exempel på detta är då kyla byggdes in i huset. En kylmaskin med överkapacitet installerades, detta gör det möjligt att bygga ut kylsystemet, även om det är något författarna till denna rapport ser som en sista utväg. Samtidigt finns en fjärrkyla anläggning ca 300m från huset och att ansluta till den hade bidragit till en mindre miljöpåverkan. Tyvärr har det visat sig att det var ont om tid och det var troligtvis därför alternativet med fjärrkyla inte diskuterades.

Att simuleringarna koncentrerats till en mindre zon av byggnaden betyder inte att de simulerade förslagen bara skulle gälla för denna del. Flera av förslagen anses kunna göra motsvarande besparingar i övriga delar av byggnaden. Detta på grund av att byggnaden har liknande problem och energiflöden i hela fastigheten. Simuleringarna visar att förslagen är av sådan karaktär att de skulle medföra förbättring även i andra delar av fastigheten.

Att skapa lösningar som passar samtliga i verksamheten är komplext eftersom upplevelsen av klimatet är mycket individuellt. Genom att kartlägga verksamheten och eventuella kommande förändringar kan förutsättningar skapas för ett inomhusklimat som de flesta brukarna är nöjda med. Enkätundersökningen som utförts visar att inomhusklimatet på vintern uppfattas som alldeles för kallt. Den uppmätta inomhustemperaturen visar på en komfortabel temperaturnivå. Den upplevda temperaturen är oftast något helt annat eftersom hänsyn då tas till lufthastigheter och strålningsutbyte med omgivande ytor. För att mäta den upplevda temperaturen krävs det att dessa parametrar beaktas.

Under arbetet med detta projekt har det konstateras att brukarna inte alltid har kunskap om hur de klimatstyrande installationerna fungerar. Under platsbesök har flera olika faktorer som påverkar inomhusklimatet negativt observerats. Det kan ha varit felaktig placering av arbetsbord eller att möbler placerats så att luftflödet från de deplacerade donen hindras. Med hjälp av enkäterna visade det att få kände till möjligheten att forcera ventilationen efter ventilationsaggregatets ordinarie drifttider. Problem borde kunna lösas genom att brukarna får information om hur ventilationen, kallras m.m. fungerar och hur de bäst hanteras. Om en informationskampanj för detta genomförs vill vi rekommendera att samtidigt sprida information om verksamhetens möjlighet att spara energi. Det kan vara exempel på hur mycket energi en lampa förbrukar då den glöms på över natten.

Att tolerera en lägre inomhustemperatur är en effektiv energibesparingsåtgärd, detta kräver att brukarna har möjlighet att klä sig efter en lägre temperatur. Om arbetet är

stillasittande eller kräver hantering av olika materiel som vatten, lera, plast m.m. kan det vara svårt att klä sig efter en låg temperaturen utan att det påverkar ens arbetsinsats. Redan i dagsläget klagar personal och studenter på att det är för kallt för att de skall kunna prestera och sköta sina arbetsuppgifter på ett bra sätt. Därför anses inte detta vara en åtgärd som bör utföras.

Om åtgärderna som presenteras i rapporten vidtas är det viktigt att ingreppen sker varsamt och utformas så att de passar byggnadens karaktär och bevarar byggnadens olika värden. Vad gäller den äldre byggnadskroppen bör antikvarisk expertis kopplas in i projekteringen så att åtgärderna inte förvanskar byggnaden och smälter in bra. Inspiration till utformning av olika åtgärder kan hämtas från byggnader med liknande arkitektonisk utformning, byggnadens arkitektoniska värden har diskuterats i rapporten och byggnaden har ett tydligt formspråk från jugendstilen, vilket är relativt ovanligt i Göteborg. Arkitekten H. Hedlund var en etablerad arkitekt och möjligtvis kan inspiration till utformningar av åtgärder hämtas från andra byggnader han ritat. De åtgärder som tas fram bör vara reversibla och det bör vara möjligt att ta bort åtgärden utan att det sker någon skada på byggnaden. Detta eftersom teknikutvecklingen ständigt går framåt och effektivare och bättre lösningar kan bli aktuella, då är det bra om de befintliga lösningarna kan avlägsnas utan synliga ingrepp på byggnaden. Material och teknik från tidigt 1900-tal bör i första hand väljas, likaså är det viktigt att välja entreprenörer med kunskap och engagemang att praktisera ett varsamt hantverk. Vad gäller byggnadskroppen från 1960-talet är det vanligt att uppfattningen om byggnadens värde är mycket lågt och att det bara är en ”grå betongklump som ser tråkigt ut”. Denna åsikt är vanligt om byggnader som är några tiotal år gamla och historiskt sett kan det ses att många byggnader som i dagsläget ansetts som fantastiska och vackra rivits eftersom de ansetts sakna kvalitéer. Denna betongbyggnad speglar 1960-talets ideal och har även den värden värda att bevara.

När lönsamheten för de olika åtgärderna utvärderas framgår det att flera av åtgärderna är kostsamma att genomföra. Samtliga förslagna åtgärder leder till en minskad energiförbrukning men den ekonomiska lönsamheten är i några fall dålig. Några av de föreslagna åtgärderna kräver nya material som skall framställas och arbetsinsatser detta medför att den totala miljöpåverkan av en energibesparande åtgärd ändå blir betydande trots att byggnadens energibehov minskar. Flera av åtgärderna förbättrar inomhusklimatet genom att inomhustemperaturer höjs. Då en åtgärd utförs och projekteras är det således viktigt att veta vad som är målet med åtgärden och se till byggnaden som en helhet. Minska byggnadens energibehov, minska byggnadens totala miljöpåverkan, sänka driftkostnaderna eller förbättra inomhusklimatet.

Då lagen om energideklarationen träder i kraft kommer fastighetens energiförbrukning att bli än mer aktuell. Stigande energipriser är redan i dagsläget ett faktum och är ett stort incitament till att minska byggnadens energiförbrukning. Fastighetsägarna har redan börjat med att arbeta inför energideklarationen och deras positiva inställning till denna rapport samt vilja att förbättra situationen i HDK-huset är en god förutsättning för att minska energianvändningen.

10 Slutsats

Det har konstaterats att det finns potential att minska energiförbrukningen i HDK-huset. Flera olika åtgärder på och i bygganden har simulerats och samtliga medför en energibesparing. Den energibesparande åtgärden med störst lönsamhet, minst miljöpåverkan är optimering av ventilationsaggregatets drifttider. Drifttiden på aggregatet ändras så att den överensstämmer med verksamhetens arbetstid i denna del av fastigheten. Åtgärden är relativt enkel att genomföra och sparar 16500 kWh/år vilket motsvarar 10 000 SEK/år. En rekommendation som kan ges utifrån detta resultat är att se över drifttiderna för luftbehandlingsaggregaten och jämföra drifttiden med de tider som lokalerna används.

Den befintliga belysningen är ineffektiv ur energisynpunkt och kan förbättras om ny modern armatur med sensorer och närvarodetektorer installeras. Den nya effektvare armaturen är dyrare i inköp men kräver mindre underhåll och är ekonomiskt lönsam på en långsikt. Higab AB ansvarar för underhållet i fastigheten och de strävar efter att byta ut den gamla armaturen efterhand som belysningen går sönder.

Att förbättra klimatskalets värmetekniska egenskaper har simulerats. Den ekonomiska lönsamheten är låg, men energibehovet minskar och inomhusklimatet förbättras. De låga operativa temperaturerna som orsakat ett dåligt klimat höjs. Energibesparande åtgärder på klimatskalet bör utföras då annat underhållsarbete krävs bygganden, det ökar ekonomiska lönsamheten i åtgärden.

Det finns planer på att ansluta fler lokaler till byggnadens kylsystem för att hålla inomhustemperaturerna nere på behagliga nivåer. Simuleringar visar dock att det är möjligt att hålla nere inomhustemperaturerna på behagliga nivåer om en yttre solavskärmning installeras. Kostnaderna för att försörja lokalen med vattenburen kyla bör jämföras med kostnaderna för att installera solavskärmning.

Det är viktigt att brukarnas upplevelse av inomhusklimatet och framtida planer för verksamheten framgår till fastighetsägarna i god tid. Detta gör det möjligt för Higab AB att planera åtgärder i god tid, vilket är en av förutsättningarna för att skapa energieffektiva lösningar. Fastighetsägarna kan även bistå med instruktioner om hur den klimatstyrande utrustningen fungerar och se till att den används på rätt sätt.

Fastighetsägarna Higab AB och brukarna Göteborgs Universitet har båda mycket goda kunskaper om hur en energieffektiv byggnad skall vara utformad. Higab AB har redan börjat förarbetet inför kommande krav som energideklarationen medför och har en uttalad strävan efter att skapa lösningar som både är energisnåla och passar brukarna. Göteborgs Universitet arbetar aktivt med att minska sin miljöpåverkan och miljösamordnarna driver informationsspridning till sin egen personal och jobbar aktivt med frågor som berör energieffektivisering i sina fastigheter. Detta är utmärkta förutsättningar för att skapa och förvalta byggnader med sådan liten miljöpåverkan som möjligt.

Författarna till rapporten hoppas att denna skrift skapar en diskussion mellan fastighetsägarna och brukarna och att åtgärder så småningom vidtas för att minska energiförbrukningen.

11 Referenser

Litteratur

- Abel, Elmroth (2006) *Byggnadens som system* Formas, Stockholm
- Björk, Kallstenius, Reppen (2002) *Så byggdes husen*. Formas, Stockholm
- Peterson (2004) *Tillämpad byggnadsfysik*. Studentlitteratur, Lund
- Hagentoft (2001) *Introduction to building physics*. Studentlitteratur, Lund
- Abel (2003), *Byggnaden som klimatsystem*. Installatinsteknik Chalmers, Göteborg
- Johansson, Olofsdotter, Rolén, Sellberg (2005), *Energi och bebyggelse, teknik och politik*. Formas, Stockholm.
- U.F.O.S. Utveckling av fastighetsföretagande i offentlig sektor (2006), Energisparguiden – Efraranheter av energieffektivisering i offentliga lokaler. Alfa Print, Sundbyberg.
- Lundblad och Hult (2006), *Farliga material i hus*. Formas, Stockholm.
- Riksantikvarieämbetet (2002) *Fem pelare – en vägledning för god byggnadsvård*. Riksantikvarieämbetets förlag, Stockholm
- Stadsbyggnadskontoret (1999) *Kulturhistoriskt värdefull bebyggelse i Göteborg : ett program för bevarande*, Göteborg.
- Tidsskrift Ny teknik 15 november 2007 artikel ”Liten låda med elektronik gör lysrören mer attraktiva”
- VVS Tekniska föreningen 2006, *R1 Riktlinjer och specifikation av inneklimat*
- Boverket, *Allmänna råd om ändring av byggnad*, BÄR (2006)
- Mari-Liis Maripuu. 2006. *Adapting Variable Air Volume (VAV) Systems for Office Buildings without Active Control Dampers. Function and Demands for Air Distribution Components*. Licentiate thesis. Department of Energy and Environment. Building Services Engineering. Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.

Internet

www.byggfaktadocu.se

Nordic light, Guide Solavskärmning, Hämtat från www.nordic-light.com 2007-10-05

www.energimyndigheten.se

Boverket, *Vad är en energideklaration?*, Hämtat från www.boverket.se publicerad 2007-10-23

Chalmers Energi Centrum, *Åtgärder för ökad energieffektivisering i bebyggelse*, hämtat från www.boverket.se 2007-11-10

www.miljomal.nu

Statens energimyndighet, *Miljövärdering av el*, hämtad från www.energimyndigheten.se 2007-12-10

Muntliga källor och mail

Anders Olsson, Fastighetstekniker, Higab AB, kontinuerlig kontakt

Bosse Wigerud, Underhållsplanerare, Higab AB, möte den 23 november 2007-11-29

Thomas Andreasson, Kundansvarig, Higab AB, kontinuerlig mailkorrespondens.

Mattias Adolfsson, Energi, miljö och säkerhetssamordnare, Higab AB, uppgifter om fjärrvärme priser 2007-12-03, e-mail

Peter Olsson, fastighetsavdelningen på Göteborgs Universitet, kontinuerlig kontakt.

Peter Nilsson, Intendent på HDK, kontinuerlig kontakt.

Anette Gustafsson, Miljösamordnare, Göteborgs universitet, kontinuerlig kontakt och handledare

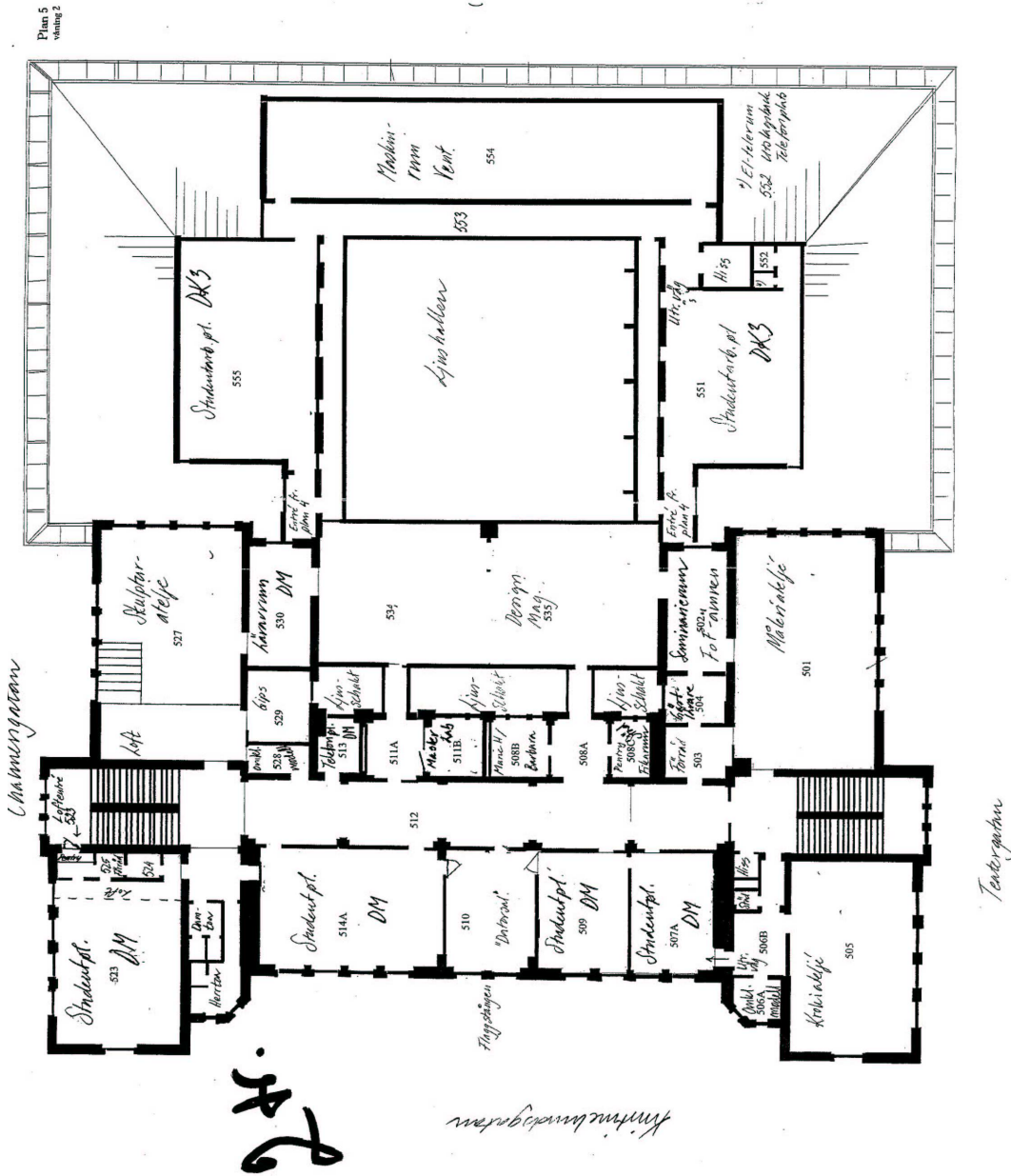
Angela Sasic Kalagasidis, Forskarassistent, Chalmers, kontinuerlig kontakt och handledare

Mauro Pusterli, Proton light, uppgifter om armaturer, 2007-11-13, e-mail

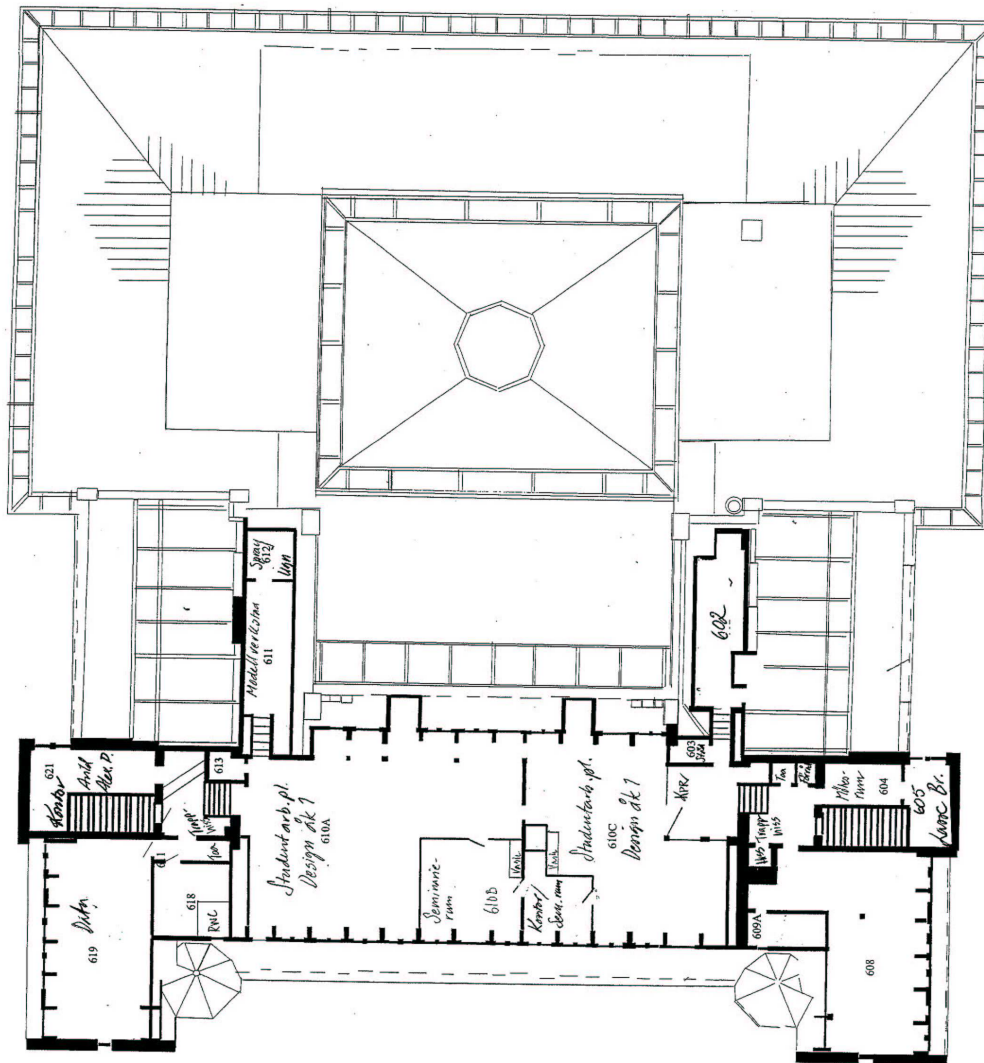
Seminarium

Hållbar belysning, 7 november 2007 på Pedagogen i Göteborg.

Bilaga 2 Plan3



Bilaga 3 Plan 4



J.F.

Bilaga 6 Värme och El statistik

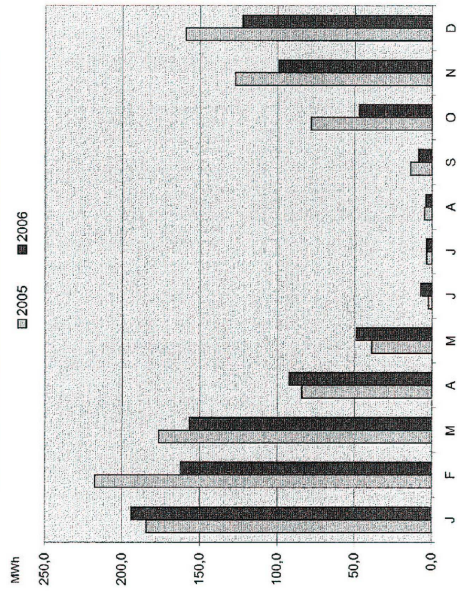
KIGAB AB
Göteborg
MÄNADSSTATISTIK
Värmemätare 271801 718 HDK
2007-01-03 11:28:50
Sid 1
År 2006
Månad 12
c:\kigab\06

Månad	2002	2003	2004	2005	2006	Avvikelse mot föreg år MWh	%	Verkligt förbrukning kWh	per km
Januari	0,0	0,0	180,5	184,4	184,0	9,6	5,2	211,9	
Februari	0,0	0,0	169,8	217,4	162,4	-55,0	-25,3	165,2	
Mars	0,0	0,0	152,9	176,5	156,7	-19,8	-11,2	185,2	
April	0,0	0,0	84,9	84,2	92,5	8,3	9,9	95,7	
Maj	0,0	0,0	43,9	38,1	49,2	10,1	25,8	94,2	
Juni	0,0	0,0	12,8	2,3	7,4	4,9	193,3	7,4	
Juli	0,0	0,0	5,3	2,9	4,6	0,1	1,8	3,6	
Augusti	0,0	0,0	1,3	2,9	4,6	0,1	1,8	3,6	
September	0,0	0,0	25,3	13,8	8,7	-5,3	-37,9	5,0	
Oktober	0,0	0,0	72,7	78,4	47,0	-31,4	-40,0	29,5	
November	0,0	127,0	134,3	127,3	98,3	-28,0	-22,0	79,0	
December	0,0	178,6	147,6	150,2	122,7	-36,4	-22,9	87,4	
Summa MWh	0,0	305,6	1 035,6	1 091,4	947,6	-143,8	-13,2	918,0	

MWh/kvm: 0 35,1 118,9 125,3
Yta = 8707 m2
0 lägenheter

Prognos 2006 918,0 105,4
Prognos normalår 980,5 113,8

Mätar nr: SF4-5386



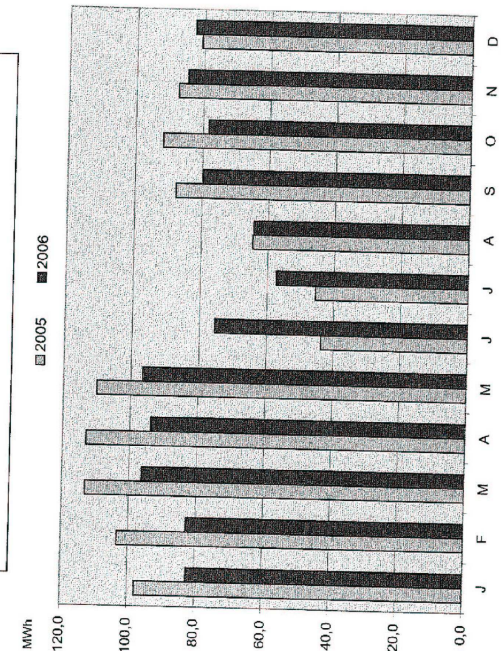
KIGAB AB
Göteborg
MÄNADSSTATISTIK
Elmätare 371801 718 HDK
2007-01-03 11:32:53
Sid 1
År 2006
Månad 12
c:\kigab\06

Månad	2002	2003	2004	2005	2006	Avvikelse mot föreg år MWh	%
Januari	0,0	0,0	137,9	82,7	156,6	-16,2	-15,6
Februari	0,0	0,0	103,6	113,3	82,9	-20,4	-19,8
Mars	0,0	0,0	113,3	113,0	84,4	-16,7	-14,8
April	0,0	0,0	111,4	110,0	96,8	-19,0	-16,8
Maj	0,0	0,0	80,3	43,7	75,5	31,6	122,2
Juni	0,0	0,0	87,9	45,6	57,3	11,8	25,8
Augusti	0,0	0,0	68,6	64,6	64,4	-0,3	-0,4
September	0,0	0,0	99,3	87,8	79,7	-8,1	-9,3
Oktober	0,0	0,0	105,0	91,9	78,5	-13,4	-14,6
November	0,0	106,3	107,8	87,4	84,7	-2,7	-3,1
December	0,0	96,4	105,3	60,8	82,7	1,9	2,3
Summa MWh	0,0	202,6	1 179,9	1 039,1	975,3	-63,8	-6,1

MWh/kvm: 0 35,1 118,9 125,3
Yta = 8707 m2
0 lägenheter

Prognos 2006 975,3 112,0
Prognos normalår 1 086,1 124,7

Mätar nr: GEY-386982 Konstänkt 120



Bilaga 7 Luftbehandlingsaggregat 3

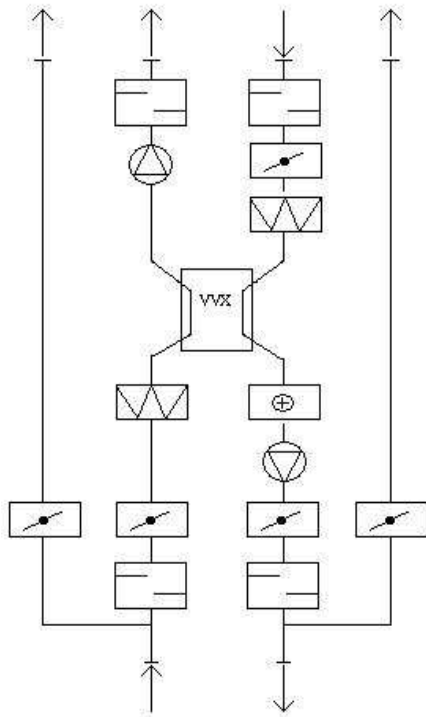
De olika aggregaten med deras olika flöden; grundflöde och forceringsflöde.

Luftbehandlingsaggregat	Grundflöde m ³ /h	Forcering m ³ /h
LB1 Aula	1000	9000
LB2	7400	9800
LB3 Textil	6300	9200
LB4 Träverkstad	3300	8000
LB5 Keramikverkstad	3800	9600
LB6	12200	15700
LB7	11300	17000
LB8 Metallverkstad	6200	12500
LB9	4200	5300
Totalt:	55700	

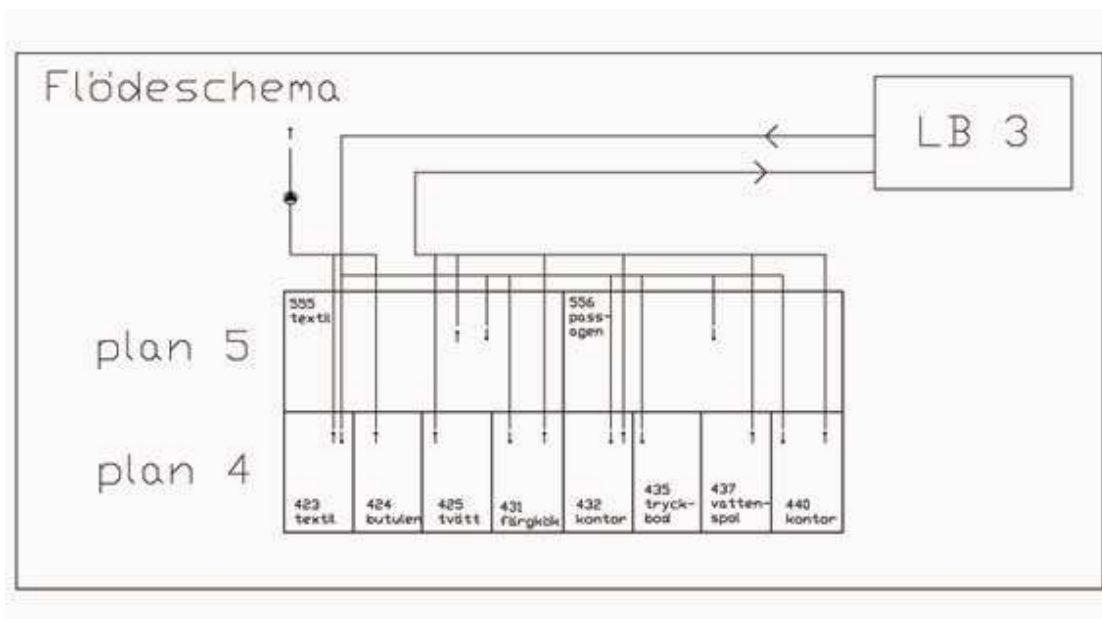
Totalt grundflöde 19 [m³/s] inklusive LB1-18

Sammanställning av OVK, luftbehandlingsaggregat 3

Aggregat/Fläkt	Betjäna	Grundflöde l/s	Forcering l/s	Märk effekt kW	Hz	Drifttid
LB3-TF1	Textil	1750	2560	5,5	35	0700-2000 Mån-Sön
LB3-FF1	Textil	1750	2560	4,0	44	0700-2000 Mån-Sön
LB3-FF2	Textil	55	195	0,18		Kontinuerlig
LB3-FF3	Butyl	110	222	0,1/0,4		Kontinuerlig halvfart



Principschema över luftbehandlingsaggregat 3



Flödesschema för luftbehandlingsaggregat 3

Bilaga 8 U-värden

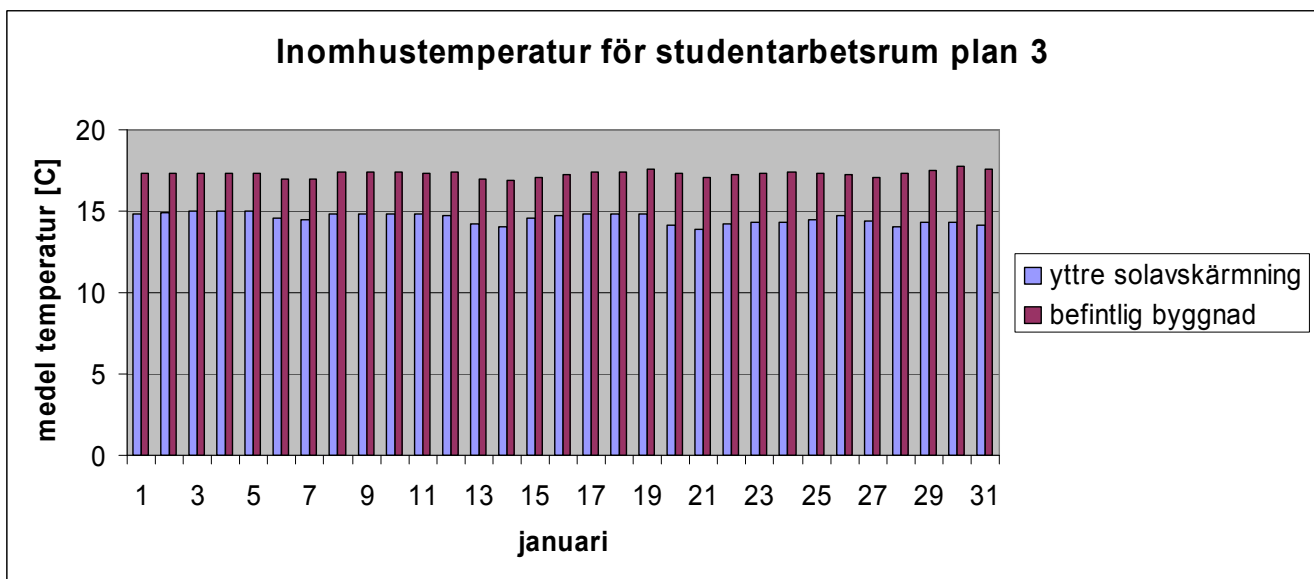
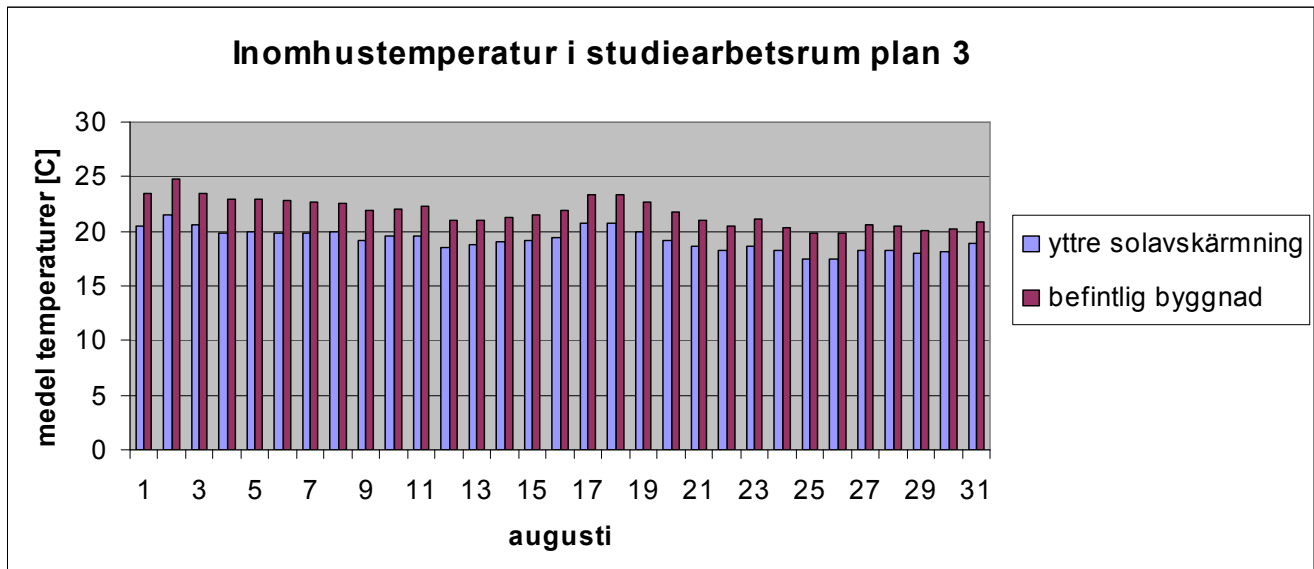
Sammanställning av U-värden [$\text{W/m}^2\text{K}$] för HDK-huset.

Konstruktionsdel	Huskropp byggd 1904	Huskropp byggd 1964
Fasad	1,00	0,75
fönster	3,0 ⁽¹⁾	2,9
grundplatta	0,12 ⁽²⁾	0,12 ⁽³⁾
Vindsbjälklag/tak	0,3	0,3

(1) antar 9 mm mellan fönsterrutorna.

(2) Stationära värmeflödet har beräknats och U_{grund} har tagits fram mha $Q_s = \lambda \cdot (T_i - T_0) \cdot L \cdot h_s \cdot (L/B, d/B)$ som gäller för stationärt värmeflöde genom platta på mark och sambandet $Q = U \cdot A \cdot \Delta t$, Avser bjälklag som avgränsar mot Röhsska museets förvaring ingen nettotransmission, därför har inte detta U-värde beräknats.

Bilaga 9 Temperaturer med solavskärmning



Bilaga 10 LCC-belysning

15 år

Befintlig armatur

investeringskostnad	0	
avgiven effekt	58 W	
drifttid	49275 h	
livslängd	10000	
antal lysrör	5 st	a´ 100 kr
uh kostnad	500 kr	
energiförbrukning	2857,95 kWh	
el pris	1 kr/kWh	
kostnad energi	2857,95 kr	
Livscykelkostnad 15 år	3358 kr	energi + underhåll

Ny armatur, HF-don T5 + sensor

investeringskostnad	1700 kr	
avgiven effekt	38 W	
drifttid	33642 h	0,7 pga sensor
livslängd	18000 h	
antal lysrör	2 st	a´ 100 kr
uh kostnad	187 kr	
energiförbrukning	1278 kWh	
el pris	1	
kostnad energi	1278	
Livscykelkostnad 15 år	3165 kr	investering + underhåll och energi

193 kr/armatur
59 armaturer
11367 kr

Bilaga 11 Enkät undersökning

Enkät om energiförbrukningen och inomhusklimatet i HDK huset

Resultat från enkätundersökning, personalens svar står inom parentes.

Arbetstider

► Är du:

student 82% personal 18% annat _____

► Mellan vilka tider under vardagarna befinner du dig vanligen i HDK huset?

Studenter	Personal
09 ⁰⁰ -17 ⁰⁰ 56%	08 ⁰⁰ -17 ⁰⁰ 52%
09 ⁰⁰ -18 ⁰⁰ 17%	08 ³⁰ -16 ³⁰ 17%
09 ⁰⁰ -21 ⁰⁰ 7%	08 ³⁰ -18 ⁰⁰ 17%
Övrig tid 20%	Övrig tid 14%

► Arbetar du i huset under helgerna?

Nej, aldrig **15% (64%)** Ja, ibland några gånger per år **5% (32%)**

Ja, någon gång i månaden **40% (0%)** Ja, flera gånger i månaden **40% (4%)**

► Om ni vistas i huset tider utöver de vanliga arbetstiderna 8⁰⁰-17⁰⁰ Mån-fre använder ni då timern för att starta ventilationen i de rum där det är möjligt ?

Ja alltid **3% (9%)** Ja ibland **10% (14%)** Nej aldrig **12% (50%)** Känner inte till funktionen **74% (27%)**

► Hur viktigt är det för dig att kunna arbeta i lokalerna utöver arbetstid 8⁰⁰-17⁰⁰ ?

Mycket viktigt **74% (4%)** Viktigt **21% (12%)** Inte så viktigt **5% (84%)**

► Skulle du kunna ändra dina arbetstider om det bidrar till en minskad energiförbrukning?

Ja **38% (44%)** Nej **62% (56%)**

Temperatur

► Hur uppfattar du temperaturen i lokalerna?

Under sommaren Bra **67% (50%)** För varmt **25% (46%)** För kallt **8% (4%)**

Under vinter Bra **30% (32%)** För varmt **2% (0%)** För kallt **68% (68%)**

Om Ni svarat för varmt/kallt var och när i lokalen uppfattas detta?

Studenter

Personal

Hörsalarna (kallt)

Vid stillasittande arbete (kallt)

Lokaler med stora fönster (kallt)

Tjänsterummen (kallt)

Keramiksalarerna (kallt)

Luftkvalitet

► *Hur upplever du luftkvaliteten i lokalerna?*

Bra **33% (27%)** Ibland dålig **46% (54%)** Ofta dålig **21% (19%)**

Om du tycker att luftkvaliteten är dålig, var i lokalen kan detta uppfattas?

Studenter

Personal

Datorsalar

Små seminarierummen

Lilla hörsalen

Lilla hörsalen

Modellverkstaden

Om du svarade ibland dålig/ofta dålig på tidigare fråga,

► *På vilket sätt tycker du att luftkvalitet är dålig?*

Luften känns unken **55% (63%)** Obehaglig lukt sprids via ventilationen **2% (12%)**
 Annat **43% (25%)**

► *Tror du att en bättre luftkvalitet hade förbättrat dina studieresultat?*

Ja **69% (75%)** Nej **31% (25%)**

► *Tror du att en bättre luftkvalitet hade givit en bättre arbetsmiljö?*

Ja **93% (95%)** Nej **7% (5%)**

► *Kan man uppleva störande drag i någon del av huset?*

Ja **40% (70%)** Nej **60% (30%)**

Om Ja vart i lokalerna kan detta upplevas?

Studenter

Personal

Datorsalar

Vid fönster

Vid fönster

Vid ventilationsdon

Vid ventilationsdon

Belysning

► *Släcker du belysningen vid din personliga arbetsplats när du går hem?*

Ja **99% (96%)** Nej **1% (4%)**

► Har du observerat att "onödig" belysning står på under nattetid?

Ja 49 % (58%) Nej 19 % (12%) Vet ej 32% (30%)

Var?

Studenter

Personal

Vid enskilda arbetsplatser

Korridorer

I Klassrum

Studentsalar

Korridorer

Datorer

► Stänger du av din dator när du går hem?

Ja 32% (81%) Nej 68% (19%)

► Vilken typ av skärm använder du till din dator?

Plattskärm 78% (67%) Gammal "stor" skärm 16% (33%) Olika 6%

Dragskåp (*Besvaras av personal/studenter som använder dragskåp*)

► Dras skåpsluckan till dragskåpet ner efter användning?

Ja 36% (-) Nej 64% (-)

► Förvaras kemikalier i dragskåp?

Ja 31% (-) Nej 69% (-)

Bilaga 12 SFP-värden

INVENTERING

Id: 718 HDK Högskolan för Design o Konsthantv.

Invent-luftsystem underrapport

Namn	Flöde m ³ /s	Drifttid, h/vecka	SFP kW/m ³ ,s	Verkn. grad VVX, %	Ålder centralutr.	Anmärkning
LB1	1,1	60	2,7	60	90..	Medelflöde. Korsströms VVX. CO2-styrt luftflöde via frekv.omformare.
LB2	113	76	2,3	60	90..	Medelflöde. Korsstr. VVX. Tryckst. av fläktar via frekv.omformare. Även sep. FF.
LB3	2,1	68	2,3	50	90..	Medelflöde. Korsstr. VVX. Tryckst. av fläktar via frekv.omformare. Även sep. FF.
LB4	0,7	68	3,3	60	90..	Medelflöde. Korstr. VVX. Tryckst. av fläktar via frekv.omformare.
LB5	0,7	92	2,5	50	90..	Medelflöde. Korsstr. VVX. Tryckst. av fläktar via frekv.omformare. Även sep. FF.
LB6	0,7	50	2,7	60	90..	Medelflöde. Korsstr. VVX. Tryckst. av fläktar via frekv.omformare.
LB7	0,7	50	2,8	60	90..	Medelflöde. Korsstr. VVX. Tryckst. av fläktar via frekv.omformare. Avst. sep. FF.
LB8	2,2	50	2,9	45	90..	Medelflöde. Korsstr. VVX. Tryckst. av fläktar via frekv.omformare. Även sep. FF.
LB9	1,6	55	2,5	45	90..	Medelflöde. Korsstr. VVX. Tryckst. av fläktar via frekv.omformare.
LB18	1 Σ 123,8	92	0,6	0	90..	Drifttid osäker. Styrs via tryckknapp. Omfattande spjällstyrningar/VAV.
FF-PU, 10	3	92	1,5	0	90..	Remdrivna, vissa av plast, vissa har raka radiella skovlar. Verk.grad c:a 45%.
FF-Diverse	3	168	0,5	0	90..	App.rum, hiss, el-central m m.

Bilaga 14 Temperaturlogg rum 555

