



# Seglet, ett energisnålt höghus



# Seglet, ett energisnålt höghus

Boverket mars 2009

Titel: Seglet, ett energisnålt höghus

Utgivare: Boverket mars 2009

Upplaga: 1:1

ISBN pdf: 978-91-86045-87-6

Sökord: Bostadsbyggande, energianvändning, energibesparing, energieffektivisering, byggnader, flerbostadshus, byggteknik, livscykelanalyser, livscykelperspektiv, LCC, luft, lufttäthet, klimatskal, Seglet, Karlstad.

Dnr: 504-1879/2005

Rapporten finns som pdf på Boverkets webbplats.  
Rapporten kan också tas fram i alternativt format på begäran.

©Boverket 2009

# Förord

Denna rapport är en sammanställning och redovisning av Projektet Seglet, ett energisnålt höghus. Rapporten visar på möjligheterna att bygga flerbostadshus energisnålt.

Projektet är ett förtätningsprojekt i ett befintligt miljonprogramsområde med fokus på att spara energi genom att skapa nya lösningar på gamla problem för såväl byggteknik som ventilation och värme.

Projektet är en del i Boverkets Byggekostnadsforum och har finansierats till viss del med hjälp av Boverket. Rapporten är sammanställd av Karlstads Bostads AB, som också svarar för innehållet i sak.

Karlskrona mars 2009

Ulf Troedson  
Överdirektör  
Boverket



# Innehåll

Bakgrund och läsanvisning.....	7
Sammanfattning .....	9
Ett tankeprång som landat .....	9
Byggprocess med förvaltningsfokus.....	11
Partnering som arbetssätt .....	11
<i>Dialogen</i> .....	11
De första stegen .....	12
<i>Inspiration</i> .....	12
<i>Byggjobb</i> .....	12
<i>Vägval</i> .....	12
<i>Projektering</i> .....	12
Utredningar.....	13
<i>Energibehov</i> .....	13
<i>Fönster</i> .....	13
<i>Materialval</i> .....	13
Kvalitetsuppföljning på bygget .....	14
<i>Arbetsberedning</i> .....	14
<i>Täthetsprovning</i> .....	14
<i>Värmekamera</i> .....	15
<i>Fortlöpande besiktningar</i> .....	15
Övertagandet till förvaltningen .....	16
Utbildning på arbetsplatsen.....	16
Byggtekniska lösningar.....	17
Klimatskal .....	17
<i>Ytterväggen</i> .....	17
<i>Tak</i> .....	18
<i>Balkonganslutning</i> .....	18
<i>Fönsterval</i> .....	18
Ventilationslösning .....	19
Värmesystem .....	20
Vattensäkert byggande .....	20
Utvärdering .....	21
Livscykelanalyser .....	21
Energianvändningen .....	21
Förbättringar i byggprocessen .....	22
Byggfilm.....	22
Kundupplevelsen.....	22
Fastighetsfakta .....	23
Lägenheterna .....	23
Ytor.....	23
Hyror.....	23
Ekonomi .....	24
Bidrag från Boverket .....	25
Bilagor	
1. Val av energieffektiva fönster till Kv. Seglet, Orrholmen Karlstad	
2. Kv. Seglet, Orrholmen, Karlstad, kompletteringar av rapport Val av fönster och glas	
3. Kv Seglet 1, Orrholmen, Karlstad, Val av fönster och glas	
4. Höghus Orrholmen	

5. Rapport: Kv. Seglet 1, Orrholmen
6. Resursanvändning i ett 12-vånings lågenergihus utan värmesystem
7. Örebro enkäten
8. Kv Seglet 1, Karlstad, Delrapport, Lågenergihus med 44 lägenheter

# Bakgrund och läsanvisning

Karlstads Bostads AB vill göra ett tankesprång avseende såväl byggprocess som byggtekniska lösningar för en hållbar framtid. Vi hoppas att denna rapport kan visa att det är ganska lätt att göra rätt om förutsättningarna finns för alla att hjälpas åt med stort engagemang.



# Sammanfattning

## Ett tankeprång som landat

Det går att bygga hus för framtiden. Tack vare entreprenadformen partnering där alla inblandade med stort engagemang har projektet i fokus har vi kunnat skapa ett mycket väl fungerande bostadshus med många nya lösningar på gamla problem såväl inom byggteknik som inom ventilation och värme. Ekonomiskt har projektet också varit lyckat utan fördyringar vilket gjort att KBAB kommer att fortsätta med konceptet i framtida nybyggnationer och av studiebesöken 2007 att döma så kan projektet sprida ringar på vattnet på många fler ställen, inte bara i Sverige.



# Byggprocess med förvaltningsfokus

När man som bostadsbolag har för avsikt att långsiktigt äga sina fastigheter finns incitamentet till att bygga nya bostäder som är lönsamma att förvalta under husets hela livscykel och där har entreprenadformen partnering varit nyckeln för att nå en önskad produkt.

## Partnering som arbetssätt

Partnering skapar förutsättningar att samarbeta med projektet i fokus. Alla parter sitter på samma sida bordet för att förbättra arbetssätt och medverka i val av produkter och detaljlösningar under byggprocessen. Beslut tas löpande för att skapa den mest prisvärda lösningen i ett längre perspektiv.

KBAB gjorde hösten 2004 en upphandling kallad ”Fler projekt i ett” där vi med ett partneringupplägg ville knyta en totalentreprenör till i fler än ett projekt. SKANSKA fick detta uppdrag.

### Dialogen

En lyckad byggprocess kräver en engagerad dialog under hela resan där projektörer, entreprenörer, hantverkare, byggledning och förvaltare känner sig värdefulla och vill bidra. På Seglet har vi haft ett väldigt fint samarbetsklimat där det varit roligt att lösa problem tillsammans. Arbetssättet har också ökat möjligheten till ständiga förbättringar då vi tar med oss erfarenheterna in i nästa projekt med samma personer.

De första stegen

Tack vare att samarbetsparterna upphandlats då bara projekten finns som tankar ger det möjlighet till att fler bidrar med kompetens redan i idéskedet.

## De första stegen

Tack vare att samarbetsparterna upphandlats då bara projekten finns som tankar ger det möjlighet till att fler bidrar med kompetens redan i idéskedet.

### Inspiration

När Seglet började planeras hade vi just byggt klart ett flerbostadshus med ett partneringupplägg i kv Järpen. Vi var nöjda med arbets sättet, men lite frustrerade över att byggtekniken inte kommit längre avseende köldbryggor och tätning. Vi började skissa på optimala klimatskal och sneglade på passivhusen i Lindås. Under en jubileumsdag på Ekobyn Tuggelite träffade KBAB-personal Hans Ek, arkitekt för passivhusen i Lindås. I december 2004 hade vi en inspirationsdag där Hans Ek, berättade om sina erfarenheter för KBAB, arkitekter, konstruktörer och SKANSKA. Resultatet blev en samsyn om att det måste vara rätt att bygga mer energisnålt. KBAB:s energijägare Anders Björbole uppmanade sina kollegor att skapa den optimala väggen. Flera förslag kom in, ”väggen Gunnar” blev det som realiserades

### Byggglabb

De nya konstruktionsidéerna ville vi prova i skala ett till ett. Vi anordnade ett byggglabb i den gamla butikslokalen som skulle rivas för det nya höghuset. En klurig snickare började bygga väggblock, fönster och bjälklag. Ventilatorer monterade ventilationssystem och tillsammans med rörmokaren testades alla schakttyper.

Detaljdiskussionerna på plats var väldigt givande. När vi testade lösningarna tvingades vi tänka igenom alla moment på ett helt annat sätt än vad en ritning kan klara. Detta arbete skapade samtidigt en trygghet att våra idéer höll och alla medverkande kunde få en bild av vad vi ville uppnå.

### Vägval

Frågan om vi skulle satsa på ett superisolerat höghus eller ett konventionellare bygge var en styrelsefråga. KBAB:s Styrelsepresidie bjöds i mars 2005 in till byggglabbet och vi gjorde ett försök till en LCA-jämförelse. Över 50 års sikt beräknades det saknas en miljon kronor för det superisolerade alternativet. Kontakter togs samtidigt med Boverket om bidragsmöjligheter.

Styrelsen kände att det var rätt att satsa på det superisolerade alternativet för att lyfta vår kompetens och göra en miljöinsats som kan få efterföljare på flera plan.

### Projektering

I stället för att som brukligt är börja med de stora volymerna och avsluta med detaljerna har vi i denna projektering gjort tvärtom. Vi har klarat ut detaljerna först så att alla blir trygga att det går att bygga. Vi införde frivilliga lunchträffar för alla i projektet där det var fritt att ta upp sina tankar och problem utan protokoll. Detta blev oerhört uppskattat. Man kunde förankra sina skisser och hålla varandra uppdaterade på läget utan

att det kostade mötestid. När sedan CAD-ritandet vidtog hade man rätt förutsättningar.

På installationssidan lät vi entreprenörerna ta förstudieansvaret vilket gav ett bra engagemang. Tar man in installationskonsulter för tidigt är vår erfarenhet att entreprenören sitter och väntar på material från konsulten.

Avseende konstruktioner och litterering av väggblock hade Skanska en detaljsäkringsansvarig, Jan Andersson, som med stort engagemang säkerställde att allt skulle fungera. Det gäller att toleranser läggs på rätt ställen och att rätt material och mängder beställdes.

## Utredningar

I samband med projekteringen genomfördes utredningar om fönsterval och energibehovsberäkningar eftersom det superisolerade konceptet ger speciella förutsättningar.

### Energibehov

Lotti Lindstrii, WSP Byggprojektering ansvarade för att ta fram energibehovsberäkningar som kunde ligga till grund för hur mycket värme vintertid och kyla sommartid vi behövde räkna med att tillföra med hänsyn till boende, klimatskal, elektrisk utrustning (kyl/frys) och ventilationslösning. Framför allt är sommarfallet ett problem som måste lösas med fönsterval och vädringsmöjligheter. Vad som hände med uppvärmningsbehovet då vi släppte ner friskluften i hallen värderades också. Beräkningarna sammanfattades i en rapport "Energibehovsberäkningar" 2005-11-16.

### Fönster

Diana Avasoo, WPS Environmental, gjorde fönsterberäkningar och tog fram förslag på vilka fönster, glassystem och fönsterhängningar som skulle väljas i olika väderstreck. Rekommendationerna sammanfattades i tre kompletterande rapporter daterade 2005-08-24, 2005-10-04 och 2005-10-21. I ett lågenergihus vill man få in solenergin, men samtidigt är riskerna med övertemperaturer stora då värmen inte kommer ut. Eftersom det inte med enkelhet går att få utvändigt solavskärmning blir reflekterande glas viktigt. Vår största oro på Seglet var just att få för varma hus sommartid och därför var det viktigt att fönstren var vädringsbara. H-fönster med beslag på mitten fanns inte med U-värden under 1,2 W/m<sup>2</sup>,K och står de öppna dygnet runt med stora vindpåkänningar är beslagen hårt belastade. I de rum som vetter mot söder valde vi därför drehkip-fönster som dels kan ställas i ett vädringsläge där överkanten tippas inåt rummet och dels kan öppnas inåt som ett vanligt fönster. Energimässigt föll valet på 2+1-glas då de finns med bra U-värden hos fler fabrikanter. Då kunde vi även ha persienner mellan glaset. Även mot balkongerna valdes inåtgående 2+1-fönster istället för fasta 3-glas isolerrutor.

### Materialval

I bygglabbet hade vi gjort väggblocken i trä, men efter kontakter med Statens Provningsanstalt i Borås (SP) vågade vi inte ha trä långt ut i den välisolerade väggen. Vi bytte därför till ett stålregelsystem. När vi ändå

var inne på materialrisker kom frågan om infästningarna upp och vi beställde en utredning om detta av SP som visade att galvaniserade skruvar bara var rostskyddade innan de skruvades fast. Rostskyddet slets av vid inskruvningen. Därför valdes rostfria skruvar överallt.

## Kvalitetsuppföljning på bygget

I vårt partneringupplägg blir kvalitetsuppföljningen en slags egenkontroll där vi hjälper varandra att göra rätt utan tanke på vem som är ansvarig för felen. Ingen samarbetspart förlorar ekonomiskt på förbättringar.

### Arbetsberedning

I detta projekt har vi försökt att engagera hantverkarna extra mycket och att det är de som gör jobbet som blir ansvariga, inte platschefen. Även här tog vi hit provbitar. Exempelvis skaffade vi en bit plattbärlag eftersom bjälklaget är oerhört installationsintensivt. Alla berörda fick stoppa in sina saker i för att se om det kunde fungera innan det blev skarpt läge och det blev mycket givande samtal mellan de ledande montörerna för att få ner bygghöjden där allt el, rör och ventilation skulle samsas.

När hantverkarna var klara med sitt arbetsberedningsmoment presenterade de sitt upplägg för KBAB:s kvalitetssäkringsrepresentant.

När vi kom till täthetsarbetet och ytterväggarna testade vi några varianter i de första lägenheterna, särskilt av plastfolietätningen. Sedan gjorde snickarna en egen checklista för att komma ihåg alla kvalitetskritiska moment och den sattes upp i varje lägenhet.

### Täthetsprovning

Täthetsprovning gjorde KBAB med egen personal under byggskedet eftersom vi hade byggt ihop en egen mäturustning för att kunna mäta läckflödet vid +/- 50Pa för varje enskild lägenhet. Målet var att nå  $0,25\text{l/s,m}^2$  lägenhetsyta =  $0,375\text{oms/h}$  vid 2,40m takhöjd

Om inga större enskilda läckor hittas accepterade vi  $0,35\text{l/s,m}^2 = 0,525\text{oms/h}$  vid 2,40m takhöjd. Medelvärde för alla 44 lägenheter blev till slut  $0,30\text{ l/s,m}^2$  då vi åtgärdat otätheter i de lägenheter som hade höga värden.

Tack vare att vi var med tidigt, så fort ytterväggarna var klara på första våningen kunde vi upptäcka brister som blev lätta att åtgärda. Exempelvis märkte vi att många lägenhetsskiljande betongväggar hade placerats på för torrt bruk vilket gav otätheter mellan lägenheterna. En sådan upptäckt i sent skede hade blivit dyrt att åtgärda.

Genom täthetsprovningen fick snickarna snabb feedback på var de måste vara mer noggranna och snart hade vi uppnått en täthet som överträffade normkraven med råge. Studier från flera projekt påvisar också att täthet är den kanske enskilt viktigaste punkten för att uppnå bra energihushållning. På Seglet var tätheten också nödvändigt då vi enbart har frånluftsfläktar i ventilationens värmeåtervinningssystem. Skulle väggarna vara otäta skulle inte tilluften komma vi värmeväxlaren.

### Historia

(Per Levin, Projektengagemang)

Redan på 70-talet fanns lufttätetskrav för byggnader och kraven har alltid gällt för provning vid +/-50Pa.

I SBN 75 som började gälla 1978 och efterföljaren SBN 80 angavs kravet som 3.0 luftomsättningar / tim för villor och 1.0 luftomsättningar / timme för flerbostadshus.

I de BBR-krav som dök upp senare skulle man dela läckflödet med alla m<sup>2</sup> ytor ”mot det fria eller ouppvärmde utrymme” även golvytan i de nedre lägenheterna fick inräknas trots t ex platta på mark. Detta utnyttjade byggbranchen genom att alltid genomföra sina stickprov i de lägenheter som hade gott om sådana ytor d v s översta eller understa gavellägenheten. I senaste BBR har sifferkravets ersatts av texten ”skall utföras så tätt som möjligt för att undvika fuktproblem” vilket ju är mycket olyckligt när vi nu vet att en byggnads täthet har större inverkan än dess isolering på dess energieffektivitet.

### *Hur täta är täta hus?*

(Willy Ociansson KBAB)

När det blåser på en byggnad uppstår en tryckskillnad mellan den sida av huset som ligger i lovart och den som ligger i lä. Tryckskillnaden kan mätas med en genomskinlig plastslang som böjts till ett ”U” och en skvätt färgat vatten. Om vindhastigheten är 9m/s blir tryckskillnaden 5mm vattenpelare vilket är samma tryck som används när man genom provtryckning kontrollerar om huset är tätt.

Det myndighetskrav som finns säger att en byggnad som utsätts för detta tryck får läcka 3 m<sup>3</sup> luft i timmen för varje kvadratmeter yttervägg / takyta. Tänk dig en genomgående gavellägenhet på översta våningen. Huset är 12m brett och lägenheten 6m lång. Denna lägenhet har då 132 m<sup>2</sup> vägg och takyta som utsätts för vindens tryck vilket omräknat till läckflöde blir 400 m<sup>3</sup> per timme vilket betyder att all luft i denna ”Täta” lägenheten byts två ggr varje timme pga. blåsten. Husets ventilationssystem behöver 4 timmar för att utträta samma sak.

För att klara detta täthetskrav i en villa får inte den sammanlagda ytan av alla hål vara större än en handflata. Om vi skall kunna bygga ett hus med superlåg energiåtgång måste alla yrkesgrupper hjälpas åt att bygga supertätt.

### **Värmekamera**

KBAB har en egen värmekamera som vi använder i förvaltningen då vi stöter på värmeproblem hos kunder. I nyproduktion blir det oerhört praktiskt att prova klimatskalet innan det är för sent. Fotograferingen skapade den trygghet vi var ute efter. Klimatskalet var helt utan köldbryggor så när som på en liten fläck vid en fönsterdörr alldeles vid det nordöstra ytterhörnet. Efter någon månads fundering kom vi fram till att det berodde på att vi omlottlagt yttreväggsblocken åt fel håll för att det var så litet.

### **Fortlöpande besiktningar**

I detta projekt försökte vi rita igenom alla detaljer som behövdes så att bygghandlingarna skulle upplevas trovärdiga att bygga efter. Trots detta och trots att vi har byggmöten varje månad kommer det ständigt upp problem som man måste ta ställning till om bygget ska löpa smidigt. Vi

valde att KBAB:s kvalitetssäkringsansvarige, Gunnar Persson, varje fredag besökte bygget och tillsammans med Skanskas platsledning, Patrik Matthed, och detaljsäkringsansvarige, Jan Andersson, tog man upp frågor som krävde beslut i samråd med de som utförde momenten.. På detta sätt kunde vi styra projektet till en hög kvalitet med stor delaktighet och engagemang. Hantverkarna blev viktiga personer som kände stolthet och förstod att resultatet hängde på dem.

KBAB sammanställde en uppföljningslista i excell där problem och beslut kunde filtreras och fördelas av platschefen samtidigt som inget glömdes bort.

## Övertagandet till förvaltningen

Det är viktigt att få stafettpinnen att fungera mellan byggnation och förvaltning. På KBAB har vi organiserat oss så att vi har flödesansvariga för olika områden inom förvaltningen. Dessa är beställaren av byggena och ansvariga för att ta emot bygget när det ska överlämnas till KBAB. Med anledning av detta har vi valt att genomföra den samordnade provningen i egen regi där vi är med och testar anläggningen och entreprenörerna bistår bara. Ansvarig för hela provningen var KBAB:s installationsansvarige Willy Ociansson.

## Utbildning på arbetsplatsen

Det är väldigt sällsynt att hantverkare ges utrymme till utbildning inom den byggtekniska biten och ändå är det där kvaliteten avgörs, hur god kompetensen hos utförarna är. Som utbildningsstöd hade vi Bygga-bo-dialogens utbildningspaket som en KBAB-anställd byggnadsingenjör, Stefan Linder ansvarade för. På Seglet lade vi in 1-timmasutbildningar i samband med frukosten. Totalt blev det 8 tillfällen. Genom att vi genomförde utbildningarna på arbetsplatsen blev uppslutningen bra och när träffarna är korta hindrar de inte tidsplaneringen i bygget.

# Byggtekniska lösningar

Detta hus innehåller många uppfinningar som inte provats tidigare och tack vare arbetssättet med engagerade personer har resultatet blivit mycket lyckat. Inga av de bärande idéerna har behövts omprövas.

## Klimatskal

### Ytterväggen

Ytterväggarna består av inhängda lättregelväggar med skivmaterial ytterst och av lättregelvägg med vinklade fönsternischer innerst. Däremellan är det enbart isolering om 230 mm samt de bärande stålpelarna. Totalt uppgår isoleringen till 450 mm.

#### Material:

- Fasadskivor, Steni Colour med bärprofiler i rostfritt stål
- 8 minerit vindskiva
- Trä- eller stålregelstomme, 145 mm med stenull
- 240 stenullsskiva i 230 mm mellanrum
- 70 stålregel + isolering, träreglar kring fönster
- Plastfolie
- 13 gips
- Skruvar är av rostfritt

#### *Konstruktionen bygger på några enkla grundtankar:*

I en fältfabrik prefabricerades väggblock (minerit+145-reglar) med fönster och tätningar. Detta ger bättre kvalitet och kortare stommontagetid på bygget än vad vanliga lösningar med utfackningsväggar ger.

Väggblocken hängdes in i betongbjälklaget med L-järn i våningen ovanför monterad vägg. Blockskarven ligger 30 cm ovanför bjälklaget vilket gjorde det lätt att montera arbetsmiljömässigt. Mellan väggblocken och betongkanten är det ca 3 cm fritt mått för lodningstolerans. Genom att placera dessa väggblock som har 145 mm isolering utanför

bjälklagskanter och mellanväggar åstadkoms en 175 cm isolering innan betongen kommer. Innerst mot rummen finns nästa regelvägg på 70 mm. Däremellan finns bara isolerskivor och bärande stålpelare.

Öppningarna för fönsterdörrarna fungerar som vertikala byggtoleransstråk som kompletteras på plats med en väggdel mellan överkant fönsterdörr till underkant på våningen över.

Innerst mot betongen i golv, tak och lägenhetsskiljande vägg monterades en plåtregel, 70 mm, med två st EPDM-gummilister limmade under. Detta ger en följsamhet i tätheten mot betongens ojämnheter och plastfolien innanför gipsen behöver inte klara kantavslutningarna mot betongen utan kan lätt tejpas mot plåtreglarna. Som extra tätning har en mjukfog lagts mellan regel och betong innan gipsskivorna monteras

I fönsternischerna läggs särskild omsorg om plastfolietätning har enbart godkända tejper används (TESA 4668, 50 mm), något som konstigt nog ofta inte används på byggena. Tätningen mellan fönsterkarm och regelverk gjordes enligt skolboken med 30 mm svällband ytterst, drev, bottningslist och mjukfog innerst. Svällbanden monterades redan i fältfabriken

Inga elgenomföringar gjordes i ytterväggarna. Eldosor placeras utanpåliggande på sockel och rören kommer upp från betonggolvet. I takvinkeln monterades tavelkrokslister för att minimera behoven av hål från de boende.

### **Tak**

Ytterväggsblocken drogs upp för motfyllning till 800 mm lösull. Efter en utredning har vi ändrat lösullen från mineralull till en cellulosaisolering för att få en hög densitet med liten risk för luftvandringar. Plastfolie finns på betongbjälklaget innan lösull och trästolpar kom dit. Inga fläktar finns på vare sig vind eller tak. Ventilationen av vinden är sparsam. Endast 5 mm luftspringsor finns runt takfoten på det valmade taket Yttertaget är av papp på råspont. Det var tänkt att få till en isolerande board under pappen, men material gick inte att uppbringa i hela Europa så vi fick köra utan.

### **Balkonganslutning**

Balkonganslutningarna är en mycket kritisk detalj med avseende på fukt- och köldbryggor. Balkongerna är utanpåliggande från Balco. Stålstolpar monteras mot vindskivan av minerit med infästningsjärn innanför till bjälklagen. Höjden på balkongplattorna kan anpassas exakt till dörrtröskel och handikappkrav. I bakkant är en stålkant ingjuten för att vatten inte ska kunna rinna in mot väggen.

### **Fönsterval**

Fönstren är av trä med utsida av aluminium. Fönstren kommer är sidohängda som 2+1-glas isolerruta. De fönster som ska kunna stå öppna för vädring sommartid oberoende om det regnar är även försedda med drehkipp-beslag som kan öppnas i överkant. Övriga är inåtgående. Fönstren är av fabrikat Snidex och har U-värde på ca 1,0W/m<sup>2</sup>C. Glastyper varierar i olika väderstreck. Om en ruta skadas är det viktigt att den ersätts med rätt glastyp avseende solskyddsglas, gasfyllnadstyp (Argon och Krypton) mm.

Mot söder och väster används:

- Ytterst, Pilkington K-glas 4 mm
- Mitten, Suncool HP Clear 65/41 Härdat, 4 mm
- Luftspalt, 12 mm Argon
- Innerst, Klarglas, 4 mm

Mot norr och öster används:

- Ytterst, Pilkington K-glas 4 mm
- Mitten, Klarglas 4 mm
- Luftspalt, 12 mm Krypton
- Innerst, Pilkington K-glas, 4 mm

Sovrumsfönstren är utrustade med borstlist i stället för tätninglist i överkant karm för att komplettera friskluftsintaget i trapphallen.

## Ventilationslösning

Varje lägenhet ventileras med ett unikt lägenhetseget återvinningssystem utan luftfilter och där endast frånluften har fläkt. Principen är hämtat från Sven Sjöstedt som stått för nytänkande på ventilationssidan i Borås. Vi har tillsammans med Sven genomfört flera lyckade ventiationssystem.

På Seglet samsas till- och frånluftskanalerna samt växlare och ljuddämpare i trapphuset där 4+4 kanaler går ut i fasad på varje våningsplan. Lägenheterna har gjorts så täta att man med hjälp av undertrycket på ett kontrollerat sätt kan ersätta den borttransporterade luften med ny frisk luft dels genom en plattvärmväxlare och dels via borstlist över sovrumsens fönster. Plattvärmväxlaren har en något lägre verkningsgrad än vad som går att uppnå, men då slipper vi värmebatterier och igensättningen minskar med lågt tryckfall. Vi utnyttjar tyngdlagen som filterare av tilluften. Genom att låta luften gå uppåt med lågt tryckfall innan den kommer in i kanalsystemet slipper vi många luftpartiklar. Systemet blir som helhet lätt att förvalta.

Eftersom huset är så välisolerat med risk för övertemperaturer från solinstrålningen har valet av fönster och solskydd varit extra viktigt. Vid hög innetemperatur under sommarhalvåret används fönstervädning. Då upphör genast undertrycket i lägenheten och därmed avbryts värmeåtervinningen utan att krångliga plåtinsatser eller dyrbar automatik behöver installeras. Tack vare att varje rum i lägenheten förses med frånluftsdon kommer också varje rum att få rätt luftomsättning vilket inte är fallet med normala lägenheter idag som har frånluft bara i kök och bad. Öppnas en balkongdörr där så får sovrumsen ingen luftomsättning alls.

Över varje spis finns en vanlig köksfläkt med fläkten monterad i kåpan. Via en lägenhetsseparat imkanal trycker den ut matlukten över hustaket. Verkningsgraden hos värmväxlaren i trapphuset försämras alltså inte av matfetter. Köksfläkten går på timer och är helt tät utan grundflöde då den är avslagen. Inga fläktrum har byggts och inga fläktar behöver servas på taket eller vinden.

Genom att varje lägenhet ventileras helt separat från andra lägenheter så kommer brandspridningsrisken att vara minimal till skillnad mot normala flerbostadshus där kanaler sammankopplas.

## Värmesystem

Systemen för husets värme- och varmvattenproduktion utnyttjar restvärmen, ca 25–35 grader, i fjärrvärmereturen från det område med 60-talsbebyggelse som ligger intill. Detta resulterar i en sänkning av temperaturen i fjärrvärmens returledning, vilket i sin tur ökar återvinningsgraden och förbättrar rökgasreningen hos Karlstad Energi. Genom att använda fjärrvärmereturen har också ett ekonomiskt fördelaktigt energiprisavtal kunnat slutas.

För varmvattenproduktionen används en värmepump som får väldigt bra verkningsgrad. Möjligheten att koppla in primär fjärrvärme finns, men det har inte bedömts ekonomiskt försvarbart än så länge.

Ett enkelt golvvärmesystem ersätter energiförluster via ventilation och transmission som komplement till apparater och människor. Plastslangen förlades direkt i plattbärlagets överbetong. Systemet har i motsats till vanliga golvvärmesystem endast en central pump och denna sitter i värmecentralen. För varje lägenhet finns magnetventiler som är åtkomliga från trapphuset. Golvvärmens start-stoppgivare sitter i respektive lägenhets frånluftskanal. Vattentemperaturen i slingorna kan styras av utetemperatur. Maximal yttemperatur för parketten är 27 grader. Det finns även referensgivare på vägg inne i lägenheterna. Hyresgästerna i sina lägenheter kan påverka sin lägenhetstemperatur genom slå av och på golvvärmefunktionen. Vi valde att inte lägga golvvärme i badrummen då detta rum har den högsta lufttemperaturen. Vi ville inte att hyresgäster skulle känna sig lurade på att golvvärmen inte fungerade. Golvvärmen behövs inte stora delar av året i ett superisolerat hus. I stället har vi en liten 40W elhanddukstork i badrummen som kan styras med en vanlig belysningstimer för att värma handdukarna på mornarna.

## Vattensäkert byggande

För att kunna starta invändigt arbete med isolering och ytskikt är det viktigt att ha ett bra regnskydd under byggtiden. För ett höghus är problematiken särskilt svår eftersom det tar lång tid innan taket kommer på. Vi har valt att använda presenningar som fästs in i stålvarer på det högsta bjälklagets undersida och hängs ut som en kjol utanför väggblocket under. Sedan kan varer och presenning flyttas med för varje nygjuten våning.

I trapphusen har vi gjutit in presenningstrattar i hisschakten på våning 5 och 9 med avrinning utanför fasaden. På så sätt har vi kunnat börja med slutmålning i trapphus tidigt.

# Utvärdering

Detta höghus som har ett ganska anspråkslöst yttre för att smälta in i 60-talsbebyggelsen har möjlighet att få många efterföljare. Dels är arbetssättet intressant, men nyfikenhet finns även inom byggteknik och drifterfarenheter. Därför har det kännas det värdefullt att få till en ordentlig uppföljning och huset har försetts med mer mätutrustning än vanligt för att få fram fakta, främst på energisidan. Karlstads Universitet har ett uppdrag som sträcker sig till och med mars år 2009 Universitetets avdelning för energi, miljö och byggteknik har i december 2007 gjort en delrapport "Lågenergihus med 44 lägenheter" (Jens Beiron, Stefan Frodeson, Fredrik Wikström) som tar ett övergripande grepp om drifterfarenheterna. Summeringen visar på att vi byggt ett mycket resurssnålt och tätt hus med gott inomhusklimat.

## Livscykelanalyser

Camilla Thormark, Lunds Tekniska Högskola, har skrivit en rapport "Resursanvändning i ett 12-våningars lågenergihus utan värmesystem", okt 2006 som visar hur resursanvändningen över tid förändras för ett nybygge när energianvändningen blir minimal. I lågenergihus utgör materialproduktionen för att bygga huset 70% av byggnadens totala resursanvändning för energiproduktion under 50 år. Det är därför viktigt med demonterbara konstruktioner och återvinningsbara material.

## Energianvändningen

Bedömning av energianvändningen har inte ett helt års drift att bygga på. I oktober 2007 gjordes följande årsuppskattning av KBAB) 47–57 kWh/m<sup>2</sup>, år (8–12 värme, 21–25 varmvatten varav 7 VP-el, 18–20 fastighetsel). Utöver detta står de boende för 32 kWh/m<sup>2</sup>. Allt sammantaget blir detta 79–89 kWh/m<sup>2</sup>, år som fastigheten och de boende drar.

## Förbättringar i byggprocessen

Partneringsamarbetet har som en viktig del ett mål att bli bättre från projekt till projekt. Arbetarna på bygget och projektledarna från alla entreprenaddelar intervjuades. Inblandade parter träffades därför under maj och summerade vilka förbättringar vi vill ta med oss till nästa projekt.

## Byggfilm

Under sommaren 2006 kom vi på att vi kunde dokumentera byggets alla detaljlösning på film innan de byggs in. Tanken var att med film kan man nå såväl professorer som lagbasar och på så sätt locka till efterföljare. Dessutom skulle det bli en väldigt bra relationshandling.

Med hjälp av en frilansfilmare, Stefan Barkman, Karlstad, och KBAB:s detaljsäkringsansvarige, Gunnar Persson, skapades så en 30 minuter lång film "Seglet, ett superisolerat höghus" som sedan har visats på seminarier och vid studiebesök hos både KBAB och Skanska. Filmen trycktes upp på DVD i 300 exemplar och den har spridits brett till intresserade inom branschen. Nytryck kommer att ske under januari 2008.

## Kundupplevelsen

Under våren 2007 gjordes en kundenkät om hur man som boende upplever inomhusklimatet. Enkätmodellen från Universitetssjukhuset i Örebro valdes då det fanns mycket referensdata. Glädjande för oss blev resultatet mycket bra. Vår strävan att uppnå den bästa inomhuskomfort vi någonsin gjort kan ha lyckats.

# Fastighetsfakta

## Lägenheterna

Höghuset har 44 lägenheter i 11 lägenhetsvåningar ovanpå en förrådsvåning som i sin tur ligger ovanpå ett parkeringsdäck. En del lägenhetsförråd finns i fristående byggnader. Första inflyttningen skedde i slutet av februari 2007.

Lägenhetsfördelningen är till hälften tvåor och till hälften treor. Badrummen har kaklade väggar och klinker på golv samt plats för tvättmaskin. Lägenheterna i övrigt har ekparkett med klinker i hallen.

Utsikten över Vänerdeltat finns på tre sidor och mot norr ligger Karlstads stadskärna 1 km bort.

Adressen för höghuset är Babordsgatan 1 i Stadsdelen Orrholmen som när den byggdes i slutet av 60-talet omtalades som den "vita staden". Höghuset är en förtätning i KBAB:s bostadsområde och där huset nu står fanns en gång Karlstads första supermarket. Bostadsområdet har av riksantikvarieämbetet bedömts som viktigt att bevara utifrån ett riksintresse.

## Ytor

Bruttoarean (BTA) är 3 976 m<sup>2</sup>. Den totala bostadsarean (BOA) är 2 643 m<sup>2</sup>. Tvåorna är 51,2-51,4 m<sup>2</sup> stora och treorna 681-68,8 m<sup>2</sup>.

## Hyror

Kunderna betalar en bashyra med ett tillägg för vattenanvändningen som de boende själva kan påverka. Den totala hyresnivån 2007 är 1 196 kr/m<sup>2</sup>,år inklusive ett schablontillägg (137–183 kr/lgh) för vattenanvändningen. Tvåornas bashyra ligger mellan 4 658 – 5 045 kr/månad och treornas bashyra ligger mellan 6 566 – 7 569 kr/månad. Skillnaderna beror på var i huset man bor. Våning tolv är dyrast.

## Ekonomi

Byggstarten skedde i december 2005 och bygget stod klart under mars 2007. Totalkostnaden för KBAB blev 53 070 000 kr inklusive moms och av detta står underhållskostnaderna på befintlig fastighet för 1 200 000 kr

Den rena produktionskostnaden blev 58 840 000 kr inklusive moms inklusive underhållskostnaderna. Konsultdelen stod för 1 900 000 kr. Produktionskostnaden.

Investeringsstimulans och investeringsbidrag uppgick tillsammans till 7 440 000 kr.

SKANSKA centralt, regionalt och lokalt stod för ett kontantbidrag med 1 125 000 kr för teknikutvecklingen.

Byggherrekostnaderna utan bidrag blev 2 800 000 kr. Markkostnad finns inte med i kalkylerna då Seglet är en komplettering i KBAB:s befintliga bostadsområde. Denna upplåts med tomträtt som nu ökat något i årsavgift.

Om vi tar bort underhållsdelen i projektet så blev den totala projektkostnaden 51 840 000 kr. Detta ger 19 614 kr/m<sup>2</sup>BOA.

Om vi rensar bort kostnader som kan kopplas till den komplicerade tomtens förutsättningar så var konceptkostnaden med enkel grundläggning för detta superisolerade flerbostadshus ca 46 400 000 kr. Detta ger 17 556 kr/m<sup>2</sup>BOA..

Kvadratmeterpriset på den totala rena produktionskostnaden exklusive moms, 47 670 000 kr, blev 17 800 kr/m<sup>2</sup>BOA

## Bidrag från Boverket

Bidraget från Boverkets Byggekostnadsforum har använts till fullo. Viss omfördelning mellan sökta poster har dock gjorts.

### *Ekonomisk specifikation till bidragsansökan Boverket*

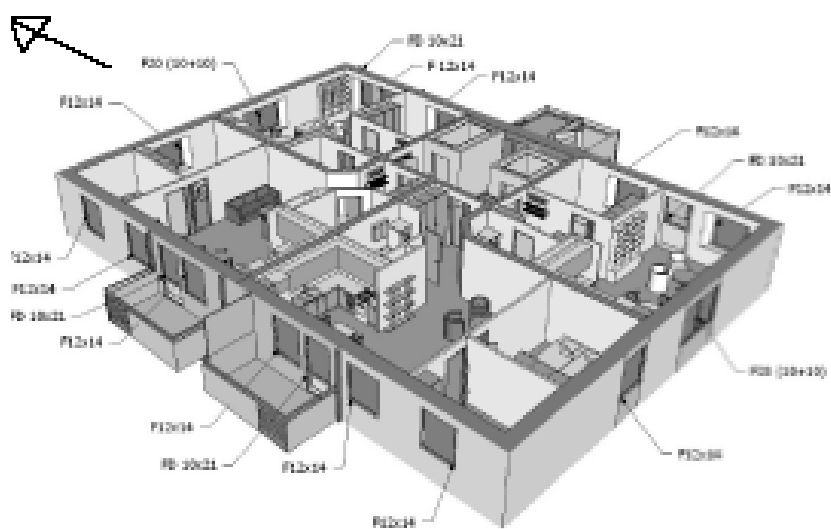
<b>1. Ny hållbar byggteknik i rationellt byggande</b>	<b>Inkl. moms</b>	<b>Utfall</b>
Utredning inför energieffektivt fönsterval, Diana Avasoo WDP Enviromental	43 125	43 125
Energibehovsberäkning o dyl., Lotti Lindstrii, WSP Byggprojektering	112 000	129 938
Delsumma	155 125	173 063
<b>2. Effektivare och klokare byggprocess med förvaltningsfokus genom hela entreprenaden</b>		<b>Utfall</b>
Täthetsprovning, KBAB-personal, 160tim á 270 kr	43 200	42 120
Uppföljande täthetsprovning efter 2 år, KBAB personal, 40 tim á 270 kr	10 800	
Värmekamerakontroll, KBAB-personal, 60 tim á 270kr	16 200	15 660
Samordnad provning helt med KBAB:s förvaltningspersonal, 80 tim á 270 kr	21 600	21 600
Byggande av provvägg och ventilationspaket trapphus innan projekteringsstart våren 2005. Byggande av provschakt innan projekteringsstart aug 2005 för att hitta rätt detaljlösning	460 000	460 000
KBAB-medverkan på byggarbetsplatsen för kvalitetsuppföljning detaljer m.m., 90 tim á 300 kr	27 000	121 500
Utbildningspaket under byggskedet till hantverkarna i byggnadstekniska frågor som täthet och fukt. Lönekostnad produktionsbortfall, 50 % bidragsnivå, totalt 230 000 kr	115 000	110 700
Införande och test av nytt arbetssätt avseende kontroll av uttorkningsklimat under byggproduktion, SKANSKA, lönekostnad 50 % bidragsnivå, totalt 30 000 kr	15 000	
Arbetsberedning och dokumentation i projektering och produktion (t.ex. upprättas detaljerade produktionsanvisningar i tidigt skede och kompletteras efter första montage). (typ FOU Syd, projekt upplärning via detaljerade arbetsinstruktioner). Uppföljning efter slutförd produktion för verifiering. Lönekostnad alla parter 50 % bidragsnivå, totalt 150 000 kr	75 000	117 425
Delsumma	783 800	889 005
<b>4. Deltagande parter har en stor vilja att dela med sig av vunna erfarenheter</b>		<b>Utfall</b>
Uppföljning energi, värme-ventilation m.m. Karlstads Universitet, Jens Beiron	900 000	812 500
Livscykelkostnadsanalyser för ett lågenergihus, 1) Beräkning av material andel av byggnadens totala energi- och resursbehov samt byggnadens återvinningspotential samt 2) beräkning av möjligheter att minska energi- och resursanvändningen genom materialval. Lunds Tekniska Högskolas avdelning för byggnadsekonomi, Catarina Thormark	120 000	150 000
Uppföljning under garantitid, Örebroenkäten, hur bra trivs hyresgästerna?	50 000	8 000
Delsumma	1 070 000	970 500
<b>Totalsumma</b>	<b>2 008 925</b>	<b>2 032 568</b>



Billaga 1

Val av energieffektiva fönster till  
Kv. Seglet, Orrholmen Karlstad

Uppdragsnr: 10055976



## Val av energieffektiva fönster till

### Kv Seglet, Orrholmen, Karlstad

2005-08-24

Diana Avasoo

WSP Environmental

## Uppdragsbeskrivning

Vi har den 20 juni 2005 levererat en rapport i vilken vi lyfter fram problem och möjligheter med fönster samt en tabell på lämpliga glaskombinationer i 2+1 fönster och i 3-glasfönster.

Skanska Sverige AB i Karlstad har den 19 augusti 2005 genom Fredrik Karlsson gett oss en fönsterspecifikation. Uppdraget var att vi skulle ta fram ett nytt förslag på lämpliga glaskombinationer för 3-glas vridfönster och lämpliga fönstertillverkare samt lämna råd på krav som de skall ställa i förfrågan.

### Val av fönster

U-värdet på fönster anges normalt för ett fönster med måtten 12 M, dvs 1180 x 1180 mm. Idag finns det inga vridfönster på marknaden som klarar U-värde 1,0. Vi har vänt oss till två av Sveriges största tillverkare av energieffektiva vridfönster, Elitfönster och Tanums Fönster för att undersöka om de håller på att utveckla nya och energieffektiva fönster än deras nuvarande vridfönster med U-värde 1,2 W/m<sup>2</sup>K.

Elitfönster svarade ” Elit har för närvarande ingen H-fönsterkonstruktion med U-värde  $\leq 1,0$  och ingen annan konstruktion heller.

Vi har ännu inte diskuterat att ta fram någon sådan lösning.”

Tanums Fönster svarade att de har tagit fram en ny konstruktion som är på skisstadiet. Detta fönster har en utformning som tilltalar arkitekter. Karmen är helt osynlig och väl-isolerad. Man upplever en stor glasöppning och en smäcker ram. Eftersom fönstren som är ritade för Orrholmen är större än 12 x 12 M, är det högst troligt att denna fönsterkonstruktion kommer att klara U-värde 1,0 om glaset har U-värde 0,8.

Om intresse finns från projektledningens sida, är Tanums Fönster villiga att ta fram beräkningar som verifierar U-värdet samt att snabbt komma igång med tillverkningen av dessa fönster som har arbetsnamnet *A-fönstret*.

Vi hänvisar till Energimyndighetens broschyr Nya fönster – spar energi och pengar som vi har tagit fram och uppdaterar kontinuerligt. I broschyren finns en förteckning på fönster med U-värde 1,2 eller lägre. Broschyren går att ladda ner från [www.stem.se/forlaget](http://www.stem.se/forlaget).

I slutet av denna rapport finns en tabell med glaskombinationer med U-värde 0,8 W/m<sup>2</sup>K för vridfönster. Om ni ändrar valet av fönsterkonstruktion till 2+1 fönster, bör ni välja glas enligt specifikationen i glastabellen som följde med vår rapport ”Förslag på energieffektiva fönster” daterat 2005-06-20.

### Krav på fönster

Fönstren skall vara i trä med aluminiumbeklädnad. Aluminiumbeklädnaden skall vara monterad så att dränering för eventuell kondens bakom beklädnaden är möjlig.

Öppningsbara partier: Vridfönster (H-beslag) med 3-glas isolerruta med varm kant.

Fasta partier: Båge med 3-glas isolerruta med varm kant.

Eventuellt bullerdämpningskrav redovisas separat.

U-värde på hela fönstret skall vara högst 1,0 W/m<sup>2</sup> K. U-värdet skall vara dokumenterat genom beräkningar utförda enligt SS EN-ISO 10077-2 eller genom laborietester hos Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut i Borås eller likvärdigt institut i Norden.

Fönstren bör vara P-märkta.

Beställaren bestämmer kvalitetsklass på fönster när det gäller ytskikt, virkeskvalitet, manövrerbarhet, lufttätet och säkerhet.

### Friskluftsintag

Vi avråder från vädringsfönster som uppmuntrar till onödigt långa vädringar och därmed till stora energiförluster. Samma sak gäller spaltventiler som punkterar en väl isolerad yttervägg men inte garanterar ett bra luftombyte.

### Krav på glas

Isolerrutorna skall ha distansprofiler som har goda isoleringsegenskaper såsom TPS, VK, eller Swisspacer.

Isolerrutorna skall vara P-märkta och monterade enligt MTK:s föreskrifter.

Garantin skall gälla i 10 år från leveransdatum.

Glasen skall ha en neutral ton utifrån. De av WSP rekommenderade glaskombinationerna får inte ersättas med andra fabrikat utan att dessa först har godkänts av arkitekten och beställaren. Anledningen är att glas med samma eller likvärdiga dagsljus- och solenergivärden kan ha en färgton som inte är acceptabel. Vissa glas har en lila eller blå ton i reflektion utifrån.

U-värdet på glasdelen skall vara 0,8 W/m<sup>2</sup>K som lägst. Ett för lågt U-värde på glasdelen ökar risken för utvändigt kondens. U-värdet skall uppnås utan krypton gas.

<b>Kv Seglet 1</b>	<b>Orrholmen, Karlstad</b>	Diana Avasoo			
<b><u>Glasförslag 2</u></b>		20050824			
		WSP Environmental			
<b>3-glas vridfönster samt fasta partier mot söder</b>					
<b>Alt.</b>	<b>Yttersta glaset</b>	<b>Luftspalt</b>	<b>Mellersta glaset</b>	<b>Luftspalt</b>	<b>Innersta glaset</b>
1	4 mm Suncool HP Clear 65	12 mm luft	4 mm klarglas	15 mm luft	4 mm Optitherm SN
2	6 mm* Cool Lite SKN 178	12 mm luft	4 mm klarglas	15 mm luft	4 mm Planitherm Futur N
*Cool Lite tillverkas endast i tjocklekarna 6 mm och uppåt					
<b><i>Distansprofilen i isolerrutorna skall vara extra isolerande, exempelvis Swisspacer eller liknande.</i></b>					
<b>3-glas vridfönster samt fasta partier mot öster, norr och väster</b>					
3	4 mm Lågemissionsglas Optitherm SN	12 mm argon	4 mm klarglas	15 mm argon	4 mm Lågemissionsglas Optitherm SN
4	4 mm Lågemissionsglas Planitherm Futur N	12 mm argon	4 mm klarglas	15 mm argon	4 mm Lågemissionsglas Planitherm Futur N
<b><i>Distansprofilen i isolerrutorna skall vara extra isolerande, exempelvis Swisspacer eller liknande.</i></b>					
<b>U-värde</b>	<b>Yttemperatur</b>	<b>Total transmittans i %</b>			
<b>Glas</b>	<b>vid -10 °C ute</b>	<b>Dagsljus</b>		<b>Solenergi</b>	
	<b>+20 °C inne</b>				
1	<b>0,9*/08</b>	<b>17,0</b>	<b>59</b>		<b>35</b>
2	<b>0,9*/0,8</b>	<b>17,0</b>	<b>63</b>		<b>32</b>
3	<b>0,9*/0,8</b>	<b>17,0</b>	<b>72</b>		<b>56</b>
4	<b>0,9*/0,8</b>	<b>17,0</b>	<b>72</b>		<b>56</b>
*Den första beräkningen är gjord utan isolerande distansprofil som sänker U-värdet med ytterligare ca 1/10.					

## Förklaringar av glastabell

Fredrik Karlsson har den 19 augusti 2005 skickat oss en fönsterspecifikation som ligger till grund för en ny tabell med glaskombinationer för enbart treglas vridfönster, det vill säga fönster med H-beslag.

Med hänsyn till att några fönster i västerläge skuggas av balkonger, har vi frångått förslaget med solskyddsglas i fönster mot väster. Enligt kravspecifikation från arkitekten, kan olika glastyper inte accepteras på samma fasad och ett solskyddsglas i en skuggad fasad skulle minska dagsljusinsläppet.

För att optimera solenergitransmittansen och dagsljuset, har vi mot norr valt en glaskombination med ett lågemissionsglas i stället för två. Vi har kompenserat detta med ökad luftspalt och en varm kant vilket ger ett U-värde på ca 0,8.

Vi vill uppmärksamma er på att vi i vanliga fall tar fram en glasspecifikation efter gjorda inomhusklimatberäkningar. Om ni beräknar att inomhustemperaturerna sommartid kan bli för höga i rum som vetter mot väster, bör vi ta upp en diskussion om solskyddsglas med hög ljustransmittans. Skillnaden är ca 12 procentenheter mellan glas med enbart energiglas och glas med kombinerat solskydds- och energiglas.

Nackdelen med solskyddsglas i energieffektiva byggnader är att dessa släpper in mindre energi även när man vill ha in mycket energi och bidrar därmed till minskat solenergitillskott. För att få optimala lösningar behöver vi göra energibalansberäkningar och klimatberäkningar med IDA programmet.

Bilaga 2

Kv. Seglet, Orrholmen, Karlstad,  
kompletteringar av rapport Val av  
fönster och glas



## Bakgrund till komplettering

Efter vårt glasförslag daterat 2005-09-15 har vi blivit kontaktade av arkitekten per telefon och han undrade om det gick bra att blanda olika fönsterkonstruktioner, 2+1 respektive 3-glas med H-beslag i fasaden. Beställaren KBAB har begärt rekommendationer på lämplig solskyddsbeläggning eller gas för varje unikt inåtgående fönsterläge samt för H-fönstren. Vi har därför tagit fram ett nytt förslag på glaskombinationer.

## Val av fönsterkonstruktion

Ett inåtgående 2+1 fönster ser annorlunda ut än ett 3-glasfönster med H-beslag utifrån eftersom beslagen i 3-glasfönstret är i form av långa smala stålband och 2+1 fönster kan ha synliga gångjärn på ena sidan.

Ur energi- och ljudsynpunkt föreslår vi att samtliga fönster utom fasta partier är i 2+1 konstruktion eftersom karm och båge i dessa har bättre isoleringsförmåga. I hyresbostäder med flera våningar vill hyresgästerna vanligtvis kunna öppna fönstren helt.

## Val av glaskombination

Eftersom projektet är ett passivt hus-projekt, beror valet av fönster och glas på den totala energibalansen. Utan avancerade klimatsimuleringar, är det svårt att ge förslag på optimala glaslösningar. Dels skall fönstren utifrån och inifrån ha en bra spegling och en neutral ton, dels skall vi släppa in energi men också begränsa den i vissa väderstreck.

En annan stor skillnad är hur glaset ser ut i ton och i reflexion utifrån. Olika glaskombinationer ger olika reflexer och kan även avvika i ton. Vi har därför tagit fram en ny kombination som kan installeras i samtliga fönstertyper. Denna kombination (alternativ 1 och 2 i tabellen) ger samma utseende oavsett orientering, har samma U-värde och en hög dagsljustransmittans. Solenergitransmittansen är 50% från alla väderstreck. Jämfört med vanliga tre klarglas som har 68% är detta en värmedämpning med 27%.

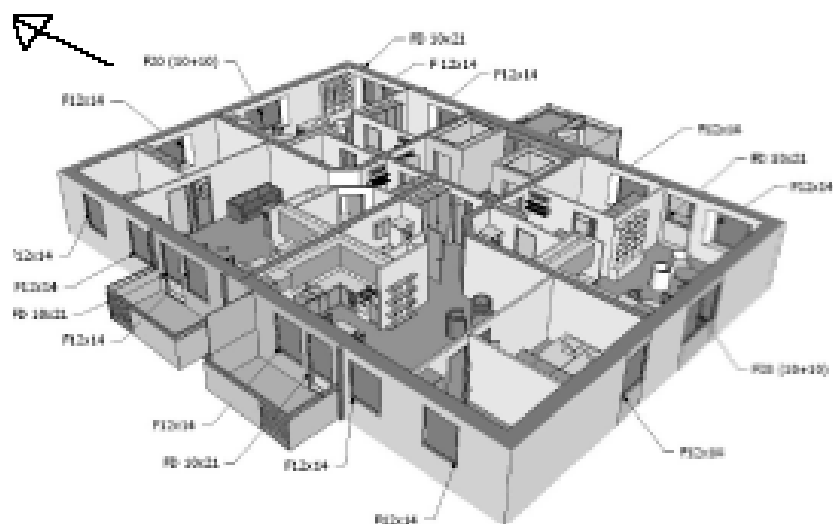
Denna glaskombination ger ett lågt U-värde men också en för låg solenergitransmittans för att man skall tillgodogöra sig gratis solenergi exempelvis från öster. Vi har därför kompletterat med ett tredje alternativ som ger högre solenergitransmittans och som kan användas i samtliga fönster mot öster och - om databeräkningar visar energivinst- även mot norr.

Nackdelen med denna kombination och anledningen till att vi inte rekommenderar den i alla fönster är, att den har för högt reflex värde, 22 %, både inåt och utåt, och kan upplevas negativt av hyresgästerna. Isoleringsegenskaperna är också sämre än i alternativ 1 och 2. Vi har därför valt krypton gas i stället för argon för att komma ner till samma låga U-värde. Krypton är betydligt dyrare än argon och kan fördyra fönstret med ca 100 kronor per m<sup>2</sup>. Det finns inte många isolerglastillverkare som har krypton i sitt sortiment.

Eftersom beställaren vill ha persienner mellan glasen, ger dessa nya alternativ, 1 och 2 i bifogade tabell, bästa kombinationen. Nerfälda persienner ökar temperaturen i luftspalten och kan öka risken för sprickor om det mittersta glaset är ett belagt glas. Risken elimineras nu helt med ett vanligt klarglas i mitten av glaskombinationen. Ett vanligt energiglas är dessutom billigare än solskyddsglas, vilket ger ett fönster som är ca 100-200 kronor billigare.



Bilaga 3  
Kv Seglet 1, Orrholmen,  
Karlstad, Val av fönster och glas



## Kv Seglet 1, Orrholmen, Karlstad

### Val av fönster och glas – Rapport nr 3

Kompletteringar av rapport daterat 2005-08-24 och h 2005-10-04

Göteborg, 2005-10-21

Diana Avasoo

WSP Environmental

**Uppdragsnr: 10060708**

2 (10)



Diana Avasoo, WSP Environmental

## Bakgrund till komplettering

WSP:s glasrådgivare kom in i processen genom WSP Byggprojektering i Karlstad som ville ha indata för olika glaskombinationer för att kunna göra energibalansberäkningar. Den 20 juni 2005 levererade vi en rapport i vilken vi lyfter fram problem och möjligheter med fönster samt en tabell på lämpliga glaskombinationer i 2+1 fönster och i 3-glasfönster.

Skanska Sverige AB i Karlstad har den 19 augusti 2005 genom Fredrik Karlsson gett oss en fönsterspecifikation. Uppdraget var att vi skulle ta fram ett nytt förslag på lämpliga glaskombinationer för 3-glas vridfönster och lämpliga fönstertillverkare samt lämna råd på krav som de skall ställa i förfrågan. Vi levererade en ny rapport med nya glasberäkningar den 24 augusti 2005.

Vi kontaktades igen och ombad göra en glasspecifikation på enbart 2+1 fönster. Den är daterad 2005-09-15.

Efter vårt glasförslag daterat 2005-09-15 har vi blivit kontaktade av arkitekten per telefon och han undrade om det gick bra att blanda olika fönsterkonstruktioner, 2+1 respektive 3-glas med H-beslag i fasaden. Beställaren KBAB har begärt rekommendationer på lämplig solskyddsbeläggning eller gas för varje unikt inåtgående fönsterläge samt för H-fönstren. Vi har därför tagit fram ett nytt förslag på glaskombinationer.

Vid ett kort möte med bland andra Gunnar Persson, Fredrik Karlsson och Bengt Dahlkvist i Karlstad den 12 oktober 2005 uppstod några frågetecken. Den 13 oktober skickade Fredrik Karlsson e-post till Diana Avasoo samt en fönsteruppställning. I e-posten står att det har beslutats att välja 2+1 fönster med U-värde 0,85 och H-fönster med U-värde 1,2 W/m<sup>2</sup>K. Av texten framgår inte på vilka grunder detta beslut har fattats.

I vår senaste rapport skriver vi:

”Ett inåtgående 2+1 fönster ser annorlunda ut än ett 3-glasfönster med H-beslag utifrån eftersom beslagen i 3-glasfönstret är i form av långa smala stålband och 2+1 fönster kan ha synliga gångjärn på ena sidan.

Ur energi- och ljudsynpunkt föreslår vi att samtliga fönster utom fasta partier är i 2+1 konstruktion eftersom karm och båge i dessa har bättre isoleringsförmåga. I hyresbostäder med flera våningar vill hyresgästerna vanligtvis kunna öppna fönstren helt.”

När det gäller U-värde 0,85 på hela fönsterkonstruktionen, har vi tidigare påpekat att fönstertillverkarna, för att klara detta låga U-värde, installerar glas med U-värden på 0,7 eller lägre. Konsekvensen av detta låga glas-U-värde är ökad risk för utvändigt kondens.

Diana Avasoo, WSP Environmental

Vi har inte anlåtats av beställaren från början och har därför inte kunnat påverka fönsters storlek, utformning och orientering för att optimera deras påverkan på husets energibalans och inomhusklimat. Från olika håll har vi fått vissa önskemål som vi vill sammanfatta såsom vi har uppfattat dem:

1. Fönstren i vissa rum skall kunna användas för vädring utan att man behöver flytta på blommor och gardiner
2. Alla fönster skall vara öppningsbara
3. Ett lågt U-värde men det får inte bli för dyrt
4. Enhetligt utseende utifrån
5. Persienner mellan glasen

I denna rapport sammanfattar vi vad vi tidigare sagt dels från person till person, dels skrivit i tidigare rapporter. Dessutom bifogar vi en ny, förenklad, sammanställning på lämpliga glaskombinationer samt en kravspecifikation.

## Val av fönster och glaskombination

### Fönstrets energibalans

Ett fönsters U-värde per kvadratmeter är tio gånger högre än en ytterväggs, 0,15 mot 1,5 W/m<sup>2</sup>K till exempel. Därför har fönster stor inverkan på husets energibehov för uppvärmning. U-värdet anger hur mycket energi som går förlorad genom en byggnadsdel.

Till skillnad från andra byggnadsdelar, släpper fönster in solenergi. Denna energi kan till viss del utnyttjas som värmekälla. När vi talar om fönstrets energibalans menar vi skillnaden mellan den energimängd som går inifrån ut och den som kommer in genom fönstret. Tyvärr är det på sommaren som den största mängden energi kommer in och kan orsaka övertemperaturer. Hus som är välisolerade svalnar långsammare och de boende kan uppleva att det är för varmt inomhus, särskilt i sovrum och kök.

### Klimatsimuleringar

I ett ”passivt” hus är det viktigt att göra klimatsimuleringar i tidigt skede för att få svar på:

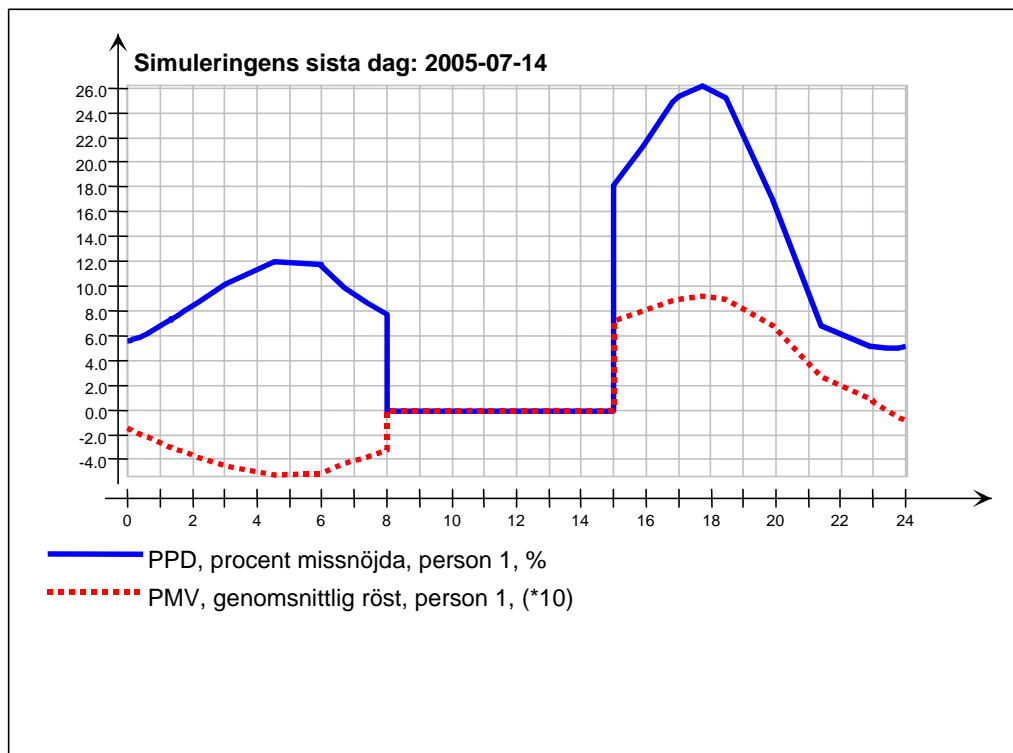
- husets totala behov för uppvärmning
- vilken orientering som ger optimala energibalansen
- vilka glas som ger bästa komforten
- vilket U-värde med respektive glas som ger minsta energibehovet
- hur många procent av hyresgästerna som kommer att vara nöjda/missnöjda
- operativ temperatur, ytemperaturer mm per rum/per våning/dag/per månad osv.

Utan dessa datasimuleringar med exempelvis IDA, är det svårt att tvärsäkert säga vilka fönster som bör väljas.

En beräkning i IDA klimatprogram visar exempelvis följande för sommarfallet:

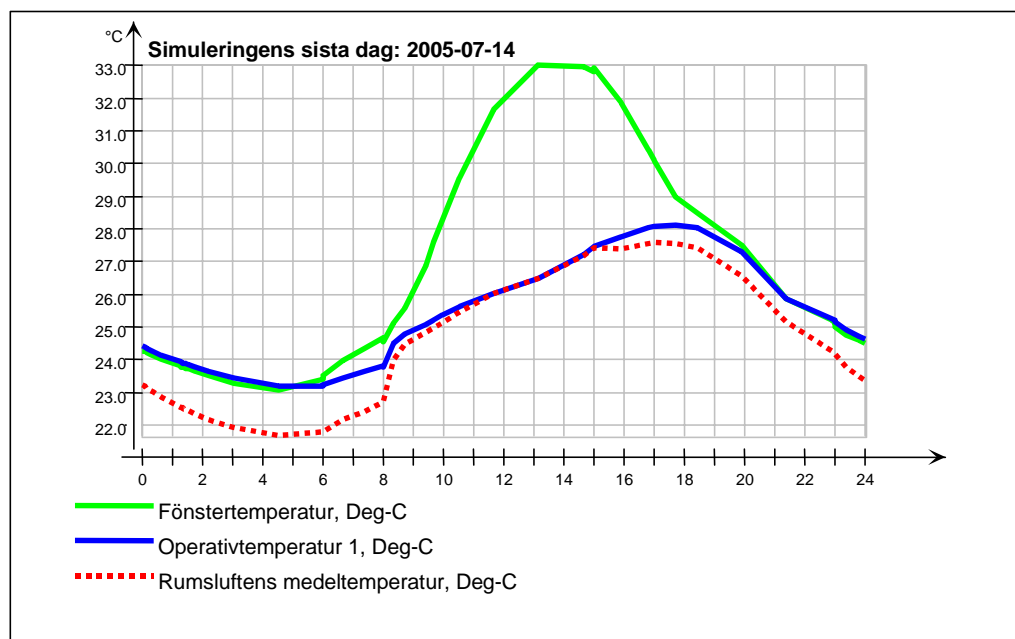
### Sommarfall

För att få ett drägligt inomhusklimat sommartid gäller att ha en effektiv solavskärmning eftersom det inte finns rumskyla eller kylbatteri i luftbehandlingsaggregatet. Med persienner mellan glaset fås tillräcklig komfort om solavskärmningen kombineras med vädning de varmaste dagarna. Diagrammet nedan visar Ole Fangers komfortindex för en person invid ett söderfönster en varm sommardag. Cirka 26 % är missnöjda vilket anses som ok. Dessa anser att det är något för varmt (nivå 0,9 på en skala där 0 är bra och +3 är mycket varmt). Det bör påpekas att statistiskt är 5 % alltid missnöjda. Siffrorna är beräknade för en stillasittande person som är klädd i byxor och kortärmad skjorta.



Upplevelsen av det termiska klimatet invid ett söderfönster sommartid är med den valda lösningen väl i överensstämmelse med ställda krav. Fönstertemperaturen överstiger den operativa temperaturen med cirka 5°C, se figur 4.

Figur 3. Ole Fangers komfortindex, sommarfall



Figur 4. Figuren visar fönstrets yttemperatur och övriga temperaturer i rummet.

## Fönsterkonstruktioner

I Sverige finns inte någon fönstertillverkare som har fönster med U-värde 0,85 som standard. Fönstren till Lindås-projektet från Skellefteå Snickericentral fick specialtillverkas vilket fördröjde produktionen.

För att klara U-värde 0,85 har fönstertillverkaren installerat en isolerruta med ett U-värde som är under 0,7 W/m<sup>2</sup>K. Nackdelarna med ett så lågt U-värde är att kondens kan uppstå på utsidan av glaset. Det är inte farligt men kan vara irriterande om det förekommer alltför ofta. En annan nackdel är att fönstret fortfarande är för dåligt, dvs. karmen och bågen är en köldbrygga eftersom deras U-värde är 1,3 - 1,5 W/m<sup>2</sup>K.

Det är viktigt att välja ett fönster med lågt U-värde i både karm, båge och glas.

## Utvändig kondens

Vi arbetar som konsulter åt Statens Energimyndighet och har bland annat medverkat i teknikupphandling av energieffektiva fönster under åren 1991 – 1995. De fönster med låga U-värden som kom ut på marknaden var baserade på samma gamla träkonstruktion men med låga U-värdet på glaset. Konsekvenserna blev att det yttre glaset blev för kallt eftersom ingen värme från rummet nådde ut till det yttre glaset. Under stjärnklara nätter med hög luftfuktighet har det uppstått kondens på glaset vilket väckte irritation hos några fönsterköpare. Energimyndigheten har låtit SP i Borås undersöka frekvensen av utvärdig kondens vid olika U-värden. Skillnaden mellan U-värde på glaset på 0,8 och 0,7 kunde vara så stor som 100 kondensstimmar under ett år. Men detta gällde kondens under dygnets alla timmar medan kondensen försvann för det mesta när det började bli ljus ute. Energimyndigheten har valt att rekommendera i sitt informationsmaterial att

man skall undvika glas med U-värden lägre än 0,8 i energieffektiva fönster. Det är också viktigt att hyresgäster informeras om att kondens kan uppstå men att det är bevis på att fönstren isolerar extra bra. De hyresgäster som har fått information i förväg, har inte klagat medan andra som överraskats av kondens en morgon reagerat med oro.

### 1+2 eller 3-glas isolerruta?

Vi arbetar åt Energimyndigheten i ett projekt som skall leda till energimärkning av fönster. Detta arbete innebär att vi har kontinuerliga kontakter med nästan samtliga fönstertillverkare i Sverige, vi granskar deras konstruktioner samt försöker uppmuntra dem till att utveckla bättre isolerande fönster. Vi har därför ganska god kännedom om vilka fönster som klarar låga U-värden, har en ur isoleringssynpunkt bra konstruktion och vilka fönstertillverkare som arbetar aktivt för att utveckla bättre fönster.

Det är lättare att komma ner till låga U-värden med en 2+1 konstruktion än med ett fönster med 3-glas isolerruta. Anledningen är dels en kraftigare träkarm dels stor luftspalt mellan yttre och mellersta glaset som, åtminstone teoretiskt, ger minskade konvektionsförluster. Sverige och Finland är de enda länder som har 1+2 i fönsterkonstruktion. Dessa länder har också tillverkning av fönster med U-värden på 1,0 W/m<sup>2</sup>K.

Utöver krav på U-värdet, har beställaren ställt krav på möjlighet att vädra utan att behöva flytta undan objekt som finns på fönsterbrädan. Ett alternativ till sidohängda fönster som också fungerar som vädringsfönster är 2+1 fönster med Drehkipp beslag.



**Fönster med Drehkipp beslag kan vara sidohängda och öppnas inåt eller ställas i vädringsläge. I vädringsläge är fönstret öppet knappt 10 centimeter i överkant.**

Drehkipp beslagen är de vanligast förekommande i Nordeuropa. För en hyresgäst kan det vara svårt att veta hur de fungerar första gången man kommer i kontakt med dem.

Diana Avasoo, WSP Environmental

Detta kan åtgärdas med ett informationsblad som lämnas i varje lägenhet. Fönstertillverkarna kan tillhandahålla sådan information.

En effektiv energianvändning förutsätter att hyresgästen har en hög medvetenhet om konsekvensen av vädring, överdrivet utnyttjande av varmvatten osv. Därför är det ibland brukligt att förse varje lägenhet med en pärm med information och med instruktioner om hur alla maskiner fungerar, syftet med att just dessa är valda mm.

Vi har diskuterat för- och nackdelarna med olika beslag med utvecklingschefen hos SNIDEX (utvecklare åt SSC) och hos ELIT. När ett fönster med H-beslag är öppet, är halva fönstret utanför huskroppen och detta belastar beslagen. Dessutom utsätts fönster för vindlaster som beslagen kanske inte är dimensionerade för.

ELIT bekräftar att H-beslagens hållfasthet begränsar fönsterstorleken som kan maximalt vara ca 1600 x 1400 mm.

I fönster med Drehkipp beslag är karmen bredare och konstruktionen kraftigare. När fönstret är i vädringsläge, lutar det lite inåt och nederdelen vilat mot konstruktionen. Det finns flera tillverkare av Drehkipp beslag. Både SSCs och ELITs representanter anser att Drehkipp är tillförlitliga beslag och ett bra val i detta projekt.

## Priser

Vi har frågat SSC om prisrelationen mellan olika produkter och fått fram dessa indexvärden:

U-värde 0,85	Index 100
U-värde 0,85 med Drehkipp	Saknar U-värdesberäkning på detta
	Möjligt U-värde 0,9
	Index 110
U-värde 1,0	Index 90
U-värde 1,0 med Drehkipp	Index 100

Det innebär i princip att om alla fönster beställs i U-värde 1,0 och med vädringsmöjlighet i lutande läge, dvs. med Drehkipp beslag, blir priset detsamma som vanliga 2+1 fönster med U-värde 0,85.

## Energikostnader

En överslagsberäkning på totalt 375,4 m<sup>2</sup> fönsterarea varav 55,44 m<sup>2</sup> fönsterarea med vädringsmöjlighet ger följande energiökning (räknat med klimatdata för Borlänge):

1,0 på alla fönster i stället för 0,85 W/m <sup>2</sup> K	+ 6138 kWh
33 fönster med U-värde 1,2 i stället för 1,0	+ 1208 kWh
Totalt	+ 7346 kWh

Diana Avasoo, WSP Environmental

En rak payoff kalkyl visar att merkostnaden för U-värde 0,85 betalar sig på 10,8 år vid ett energipris på 1,00 kronor per kWh. Vi har räknat med SSCs offert och lagt till de kvadratmeter fönster som skulle ha varit med H-beslag. Med tanke på att priset på kontinenten är det dubbla, är en krona inte en orealistisk siffra.

## Glas

Vi hänvisar till tidigare rapporter där vi utförligt beskrivit glasets betydelse för inomhusklimatet. Samtliga föreslagna glaskombinationer ger ett lågt U-värde på glasdelen. Detta betyder att värmeförlusterna inifrån ut är samma oavsett om det är ett solskyddsglas med lågemissionsbeläggning eller enbart ett lågemissionsglas i glaspaketet. Skillnaden mellan U-värde 1,0 W/m<sup>2</sup>K och 0,85 W/m<sup>2</sup>K är 0,15 W/m<sup>2</sup>K.

Solenergitransmittansen, även kallad g-värdet, anger hur många procent av den infallande solenergin som kommer in. Solintensiteten är mellan 850 – 750 W. Om vi antar att vi har 800 W och ett glas med g-faktor 56, får vi in 448 W/m<sup>2</sup> glasarea. Om g-faktorn är 40, får vi in 320 W. 128 W verkar inte mycket men vid 10 m<sup>2</sup> glasarea blir det 1280 Watt. I ett av Kv Seglets sovrum på 12,6 m<sup>2</sup> sitter ett fönster med ca 1,2 m<sup>2</sup> glasarea. Det innebär en värmebelastning på 384 Watt vid g-faktor 40 och 538 vid g-faktor 56.

Vad vi vill säga med ovanstående är, såsom vi även påpekat i vår första rapport, att skillnaden mellan hur mycket solenergi som kommer in är betydligt större än skillnaden på den energi som kommer in i de redovisade glasförslagen.

I ”passivt hus” projekt vill man ta in så mycket gratis solenergi som möjligt men man är också medveten om att det kan uppstå övertemperaturer. I fallet Lindås, är huset ett enfamiljshus och arkitekten kunde därför avskärma sol utsatta fönster med stora takutsprång. Dessutom har han ett glasat schakt inne i huset, på taket, så att han kan skapa skorstensverkan och evakuera övertemperaturer. Denna möjlighet finns inte i ett flerbostadshus.

## Förklaringar till separat glastabell 3:1 och 3:2

Efter diskussion med beställarens representanter, har vi tagit fram två tabeller som skall underlätta valet av glaskombinationer.

**3:1** innehåller glaskombinationer för ett 2+1 fönster motsvarande fabrikat SSC eller likvärdigt. Alternativ 1 har ett energibesparande solskyddsglas med hög dagsljustransmittans och en moderat solenergidämpning. Det finns glas som dämpar solvärmen ännu mer men då minskar dagsljusinsläppet till ca 45 % vilket är på gränsen för lågt för en bostad med relativt små fönster.

Alternativ 2 innehåller två energisparande glas som ger högsta solenergitransmittansen. Eftersom dessa glas har ett högt emittansvärde, dvs. isolerar något sämre än mjukbelagda glas, måste detta kompenseras med krypton gas för att komma ner till U-värde 0,8. Med argongas blir värdet 0,9 och då kan inte fönstret totalt komma ner till U-värde 1,0.

Krypton, precis som argon, finns i luften vi andas. Anledningen till att den inte förekommer så ofta i fönster är att det är betydligt dyrare än argon. Ännu bättre isolering få man med Xenon men då rusar kostnaden upp mot 1000 kronor extra – jämför med Xenon belysning i billyktor.

**3:2** innehåller glaskombinationer för 3-glas isolerrutor. Genom att solskyddsglaset i alternativ 3 sitter ytters, får man en bättre solvärmedämpning utan att förlora mycket av dagsljuset.

Mot norr har vi valt samma kombination som i alternativ 2 men med argon i stället för med krypton. Anledningen är att rutorna skall sitta i 3-glasfönster med U-värde 1,2 och då räcker 0,9 som U-värde.

För att minska värmeförluster genom ledning, genom distansprofilen i isolerrutorna som är av aluminium eller stål, rekommenderar vi distansprofiler som leder värme sämre genom att metallen är inkaplad i en icke ledande massa eller består av ett annat material. Vi föreslår fabrikaten TPS, Swisspacer och liknande produkter.

För att underlätta upphandlingen har vi endast föreslagit ett fabrikat för att visa vilka dagsljus- och solenergivärden samt U-värden som vi är intresserade av för Kv Seglet 1. Det är sedan upp till entreprenören / fönsterleverantören att visa att andra glaskombinationer uppfyller kraven.

Vi vill göra er uppmärksamma på att olika fabrikat har olika utseende. De som vi har valt här är de som vi upplever som mest neutrala. Några tillverkare har glas som utifrån har en lila eller rosa spegling. Vi rekommenderar därför att ni antingen begär provmontage av olika glaskombinationer eller gör studiebesök och studerar glasen från insidan och från utsidan.

## Reservationer

### Persiennor

Nerfällda persiennor ökar temperaturen i luftspalten och kan öka risken för sprickor om det mittersta glaset är ett belagt glas. Risken elimineras genom att det mittersta glaset härddas. Även om vissa glastillverkare påstår att deras glas inte spricker, stämmer detta om glasen inte är utsatta för halvskugga, persiennorna är inte nedfällda till halva fönstret, om persiennorna inte är mörka och om glasen inte är mer värmeabsorberande än vanliga klarglas.

Ett alternativ är att sätta solskyddsglaset längst in mot rummet men då ökar solenergitransmittansen med ytterligare några procent.

Persiennor bör vara fabriksmonterade dels på grund av risken för termiska sprickor, dels för att säkra att de sitter en bit ifrån glasen och inte riskerar att repa dem.

### Utseende i fasad

Olika glaskombinationer i samma fasad kan ge viss skiftning. Olika glas reflekterar ljus olika mycket, exempelvis 18 – 27%. Solkyddsglas har en annan ton än energisparglas även om de är färgneutrala och upplevs i det närmaste som vanligt klarglas. Var därför uppmärksamma mot detta när ni blandar glasen i en och samma fasad.



Bilaga 4  
Höghus Orrholmen

# HÖGHUS ORRHOLMEN



## Energibehovsberäkning

## Energibehovsberäkning – höghus på Orrholmen

KBAB ska bygga ett nytt höghus på Orrholmen. I projekteringsarbetet ingår att utföra en energibehovsberäkning. I denna rapport redovisas förutsättningarna för beräkningen och beräkningsresultatet. Energibehovsberäkningen är en uppskattning av energibehovet för uppvärmning, varmvatten samt fastighets- och hushållsel, och gäller endast under angivna förutsättningar. Den verkliga energianvändningen avviker sannolikt från beräknat energibehov beroende bland annat på boendevanor och graden av underhåll och kontroll av funktionen hos ventilations- och värmesystem.

### Förutsättningar

Energibehovsberäkning har utförts för de uppvärmda bostadsplanen 2-12. Materialdata baseras på tabellerade värde eller tillgängliga uppgifter från tillverkare. I redovisat beräknat energibehov tas ingen hänsyn till ökad energianvändning pga byggfukt. Energibehovsberäkningen är baserad på de uppgifter som fanns tillgängliga vid tiden för utförandet (2005-11-16).

### Generella data

- Lägsta temperatur inomhus vintertid är ansatt till 20,5°C. Uppvärmning sker upp till denna temperatur.
- Högsta temperatur inomhus är ansatt till 25°C. Inomhustemperaturer över denna gräns ger indikation på kylbehov.
- Internt värmetillskott består av värme som avges från tappvarmvatten, hushållsapparater, belysning, människor och djur. Medeleffekt av internt värmetillskott är ansatt till 5 W/m<sup>2</sup> golvyta.
- Total uppvärmd golvarea innanför omslutande ytterväggar är beräknad till 3082 m<sup>2</sup> BRA.

### Ventilation

- Ventilationsflödet är ansatt till lägsta tillåtna ventilationsflöde enligt BFS 2002:19, dvs 0,35 l/s,m<sup>2</sup> golvarea.
- Ventilationen antas vara balanserad, dvs lika stort tilluftsflöde som frånluftsflöde.
- Luftläckaget vid ±50 Pa tryckskillnad är ansatt till sju gånger lägre än högsta tillåtna luftläckage för bostäder enligt BFS 2002:19, dvs 0,114 l/s,m<sup>2</sup> omslutningsarea.
- Temperaturverkningsgraden i driftstadiet är ansatt till 0,4.

### Elanvändning för fastighet och hushåll

- Fastighetselen är ansatt till 53,5 kWh/m<sup>2</sup> uppvärmd golvarea (BRA) och år (cirka 1/3 till fastighetsel och 2/3 till hushållsel).

### Energianvändning för varmvatten

- Energianvändning för varmvatten är ansatt till 19 kWh/m<sup>2</sup> uppvärmd golvarea (BRA) och år.

### Konstruktionsdata

I energibehovsberäkningen används beräknade U-värden och areor för olika byggnadsdelar enligt tabell 1.

**Tabell 1** Area och beräknade U<sub>p</sub>-värden för olika byggnadsdelar.

Byggnadsdel	Area [m <sup>2</sup> ]	U <sub>p</sub> [W/m <sup>2</sup> , °C]
Yttervägg	1644	0,11
Tak	280	0,050
Golv	280	0,13
Fönster	355	1,0

- Fönster antas ha avskärmningsfaktor 0,43 i söder och väster samt 0,56 i öster och norr. Avskärmningsfaktorn anger andelen solenergi som transmitteras in i byggnaden beroende på reflektion, absorption, försmutsning av glasrutorna och ev. solskydd. För ett 3-glasfönster utan särskilt solskydd är g-värdet normalt 0,5-0,6.
- Linjära köldbryggor är uppskattade till 85 W/°C.

### Klimat

- Uteklimat för Karlstad enligt SMHI.
- Temperatur i ouppvämt förrådsutrymme, plan 1, är ansatt till 5°C, konstant under året.

## Resultat

Med angivna förutsättningar blir utfallet av energibehovsberäkningen enligt Tabell 2. Observera att beräknat energibehov inte tar hänsyn till initialt ökad energianvändning pga byggfukt.

**Tabell 2** Beräknat energibehov och indikation på överskottsenergi.

<b>Energibehov</b>	[kWh/år]	[kWh/m <sup>2</sup> ,år]
Uppvärmning	47 300	15,3
Fastighets- och hushållsel	164 900	53,5
Varmvatten	58 600	19
<b>Totalt</b>	<b>270 700</b>	<b>87,8</b>
<b>Överskottsenergi (indikation)</b>	<b>57 100</b>	<b>18,5</b>

Karlstad 2005-11-16

WSP Byggprojektering

Lotti Lindstrie



Bilaga 5

Rapport: Kv. Seglet 1, Orrholmen

## RAPPORT: KV. SEGLET 1, ORRHOLMEN



### Dimensionerande effektbehov för att täcka värmeförluster i lägenheterna

## Dimensionerande effektbehov i lägenheterna

Dimensionerande effektbehov för transmissions- och ventilationsförluster inklusive köldbryggor och otätheter har beräknats för lägenheternas alla rum. Ingen hänsyn tas till gratisvärmestillskott. Dimensionerande utetemperatur har bestämts med hänsyn till byggnadens tidskonstant och ortens normaltemperatur i januari.

Byggnaden har delats upp i tre fall:

- Fall 1 ger dimensionerande effektbehov rumsvis för lägenheter på översta planet, plan 12.
- Fall 2 ger dimensionerande effektbehov rumsvis för lägenheter på alla mellanplan, plan 3-11.
- Fall 3 ger dimensionerande effektbehov rumsvis för lägenheter på nedersta planet, plan 2.

## Förutsättningar

Normaltemperatur i januari för Karlstad  $-4,2^{\circ}\text{C}$ .

Dimensionerande utetemperatur,  $\text{DUT}_{20}$ ,  $-12^{\circ}\text{C}$  (transmissionsförluster).

Lägsta utetemperatur  $\text{LUT}_5$ ,  $-19^{\circ}\text{C}$  (ventilationsförluster).

Temperatur inomhus  $20,5^{\circ}\text{C}$ .

Temperatur i förråd  $-2^{\circ}\text{C}$  och temperatur i ovkant betongbjälklag  $30^{\circ}\text{C}$  (plan 2).

Otätheter antas vara jämnt fördelade över klimatskärmen.

Fönstrens U-värde är satt till  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Hisshallen förutsätts vara uppvärmd till en temperatur av  $20,5^{\circ}\text{C}$ .

Utetempererad ventilationsluft tas in i alla sovrum (6 l/s). Resterande ventilationsluft tas in värmeväxlad (temperaturverkningsgrad på tilluftsflödet 77 %) i hall (13 l/s i liten lägenhet, 12 l/s i stor lägenhet). Uppvärmning av uteluften/tilluften antas ske i sovrummen och hallen.

Area lgh 2 rok		Area lgh 3 rok	
sovrum	10,9	stort sovrum	12,6
allrum	13,3	litet sovrum	7,5
kök	13,8	kök	10,4
hall	7,3	allrum	24,4
bad	5,2	bad	5,2
		hall	6,0

## Resultat

Rum	Ptrans [W]	Ptrans [W/m2]	Pvent [W]	Pvent [W/m2]	Pdim [W]	Pdim [W/m2]
<b>översta plan</b>						
lgh 2 rok						
sovrum	117	11	284	26	402	37
allrum	249	19	0	0	249	19
kök	162	12	0	0	162	12
hall	13	2	142	19	154	21
bad	9	2	0	0	9	2
	<b>550</b>		<b>426</b>		<b>976</b>	
lgh 3 rok						
stort sovrum	128	10	284	23	412	33
litet sovrum	143	19	284	38	427	57
kök	111	11	0	0	111	11
allrum	224	9	0	0	224	9
bad	9	2	0	0	9	2
hall	10	2	131	22	141	24
	<b>626</b>		<b>700</b>		<b>1326</b>	
<b>mellanplan</b>						
lgh 2 rok						
sovrum	96	9	284	26	380	35
allrum	219	17	0	0	219	16
kök	136	10	0	0	136	10
hall	0	0	142	19	142	19
bad	0	0	0	0	0	0
	<b>451</b>		<b>426</b>		<b>877</b>	
lgh 3 rok						
stort sovrum	103	8	284	23	387	31
litet sovrum	124	17	284	38	409	54
kök	91	9	0	0	91	9
allrum	181	7	0	0	181	7
bad	0	0	0	0	0	0
hall	0	0	131	22	131	22
	<b>500</b>		<b>700</b>		<b>1200</b>	
<b>nedersta plan</b>						
lgh 2 rok						
sovrum	151	14	284	26	436	40
allrum	296	22	0	0	296	22
kök	204	15	0	0	204	15
hall	32	4	142	19	173	24
bad	23	4	0	0	23	4
	<b>705</b>		<b>426</b>		<b>1131</b>	
lgh 3 rok						
stort sovrum	167	13	284	23	451	36
litet sovrum	172	23	284	38	456	61
kök	143	14	0	0	143	14
allrum	294	12	0	0	294	12
bad	23	4	0	0	23	4
hall	26	4	131	22	157	26
	<b>824</b>		<b>700</b>		<b>1524</b>	

Karlstad 2005-11-23

WSP Byggprojektering

Lotti Lindstrie



Bilaga 6

# Resursanvändning i ett 12- vånings lågenergihus utan värmesystem

# Resursanvändning i ett 12-vånings lågenergihus utan värmesystem

Catarina Thormark

Avdelningen för Byggnadsekonomi  
Lunds Tekniska Högskola  
Lunds Universitet



# Energi- och resursanvändning i ett 12-vånings lågenergihus utan värmesystem

Kv Seglet 1, Karlstad

Catarina Thormark

©2006 - Catarina Thormark,  
Avdelningen för Byggnadsekonomi  
Lunds Tekniska Högskola  
Lunds Universitet

ISRNLUTVDG/TVBP--06/3089--SE  
ISBN 91-85257-94-X

Energi- och Resursanvändning i ett 12-vånings lågenergihus utan värmesystem

Tryckt av KF Sigma AB, Lund 2006

# Förord

Denna rapport är en studie av energi- och resursanvändningen i det energieffektiva flerfamiljshuset Kv Seglet 1 i Karlstad, Sveriges första höghus där huvuddelen av värmesystemet är passivt.

I passivhus, sk hus utan värmesystem, är målet att man inte skall behöva tillföra någon energi för uppvärmning. Passivhus blir allt vanligare i Europa och i Sverige har flera passivhus byggts som radhus.

I takt med att byggnadens energibehov för drift minskar, kommer energi- och resursbehovet för material att utgöra en allt större andel av byggnadens totala energi- och resursbehov. Kunskap om hur energi- och resursanvändningen är fördelad över byggnadens livscykel har stor betydelse för att identifiera viktiga områden för att ytterligare kunna minska byggnaders energi- och resursanvändning. Referensvärden från byggnader med låg driftenergi har därför stor betydelse för både utformning och bedömningen av nya byggnader.

I ett pågående projektet på LTH studeras ett antal passivhus med avseende på

- materialens andel av byggnadens totala energi- och resursbehov
- i vilken utsträckning val av material och konstruktioner påverkar byggnaders energi- och resursanvändning
- i vilken utsträckning val av material och konstruktioner påverkar byggnaders återvinningspotential

Kv Seglet 1 är en av byggnaderna i projektet. Delprojektet Kv Seglet 1 har finansierats av Boverket.

Jag vill framföra ett stort tack till alla konsulter och entreprenörer som arbetat med Kv Seglet 1 och som generöst och snabbt tillhandahållit en stor mängd data. Ett speciellt tack till Gunnar Persson, projektledare på Karlstads Bostads AB, som introducerade mig i projektet och till Eva Nilsson på Skanska som underlättat mitt arbete.

Om något är oklart i rapporten så hör gärna av er. Jag nås på [catarina.thormark@bekon.lth.se](mailto:catarina.thormark@bekon.lth.se) eller telefon 046 – 222 73 49.

Lund, oktober 2006

Catarina Thormark

Tekn.Dr, Lunds Tekniska Högskola, avdelningen för Byggnadsekonomi.

## Publikationer i projektet

I projektet om energi- och resursanvändning i lågenergihus har hittills följande material publicerats

- Thormark, C. (2002). Miljöpåverkan i ett livscykelperspektiv från ett lågenergihus – Radhus i Lindås. ISBN 91-85257-98-2. Lunds Tekniska Högskola, Byggnadsekonomi.
- Thormark, C. (2002). A low Energy Building in a Lifecycle –Embodied energy, Energy Need for Operation and recycling potential. International Journal of Building and Environment. Vol 37, No. 4, pp. 429-435.
- Thormark, C. (2006). The Effect of Material Choice on the Total Energy Need and Recycling Potential of a Building. International Journal of Building and Environment. Vol 41. No. 8, pp. 1019-1026.

# Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	7
1 Inledning	9
1.1 Bakgrund	9
1.2 Syfte	10
1.3 Projektet Kv Seglet, Karlstad	10
1.4 Beskrivning av byggnaden	11
2 Metod	13
3 Resultat	19
4 Diskussion	23
5 Jämförelser med andra studier	25
6 Slutsatser och fortsatt arbete	27
6.1 Slutsatser	27
6.2 Fortsatt arbete	28
Referenser	30
Bilaga A Energiproduktion	32
Bilaga B Resultat	37
Bilaga C Karakteriseringsfaktorer	38



# Sammanfattning

Det finns idag kunskap och teknik för att bygga hus med mycket lågt energibehov för drift. En fråga är då vilka åtgärder man kan vidta för att ytterligare minska användningen av energi och resurser i byggnader. Är driftsfasen även i lågenergihus den helt dominerande fasen under byggnadens livstid? Hur stor betydelse har val av material? Hur stora vinster kan göras genom återvinning av rivningsrester och finns det anledning att utforma konstruktioner så att demontering och återvinning underlättas?

I denna delstudie studerades Sveriges första höghus där huvuddelen av värmesystemet är passivt. Huset har 12 våningar och totalt 44 lägenheter. I byggnaden används enkel teknik som utan problem kan användas i andra projekt. Ytterväggen är en stålstomme med utfackningsväggar med 450 mm mineralullsisolering. Bjälklag och bärande mellanväggar är av betong. Beräknat energibehov för uppvärmning är 13,6 kWh/m<sup>2</sup> BRA och år. Huset byggs utan traditionellt värmesystem men ett golvvärmsystem installeras för att vid behov kunna ge viss tillskottsvärme.

I studien analyserades energi- och resursanvändning i ett livscykelperspektiv där flera alternativ av energikällor för drift användes. Vidare studerades byggnadens återvinningspotential samt i vilken utsträckning enkla materialval kan påverka energi- och resursbehovet för material.

Resultaten visar att material utgör 37 % av total energianvändning. Ur miljösynpunkt är en denna form av redovisning mycket begränsande. Mer relevant är att redovisa resursanvändningen för energiproduktion. Material utgör nästan 70 % av byggnadens totala resursanvändning för energiproduktion (material och drift) under 50 år. Endast när all el och värme till byggnadens drift kom från danska kraftvärmeverk, utgjorde driften en dominerande andel av resursanvändningen.

Återvinningspotentialen beräknades för två olika återvinningsscenarier. Det ena scenariot innebar materialåtervinning/förbränning med energiutvinning och återvinningspotentialen var då 30-40 %. I det andra scenariot ingick även återbruk av vissa materialmängder och återvinningspotentialen var då 40-50 %.

Effekten av materialval studerades för ett låg- och ett hög-resursalternativ. Resultaten visar att resursanvändningen både för energiproduktion och resurser i materialen i hög grad kan påverkas av materialvalet. Resursanvändningen för energiproduktion var i Låg-alternativet ca 15 % lägre än i Hög-alternativet. Resursanvändningen i material var i Låg-alternativet ca 35 % lägre än i Hög-alternativet.

Resultaten pekar på främst tre saker. Det ena är vikten av att beakta energikällorna, d.v.s. resursanvändningen för energiproduktion, i studier av energianvändning. Det andra är att materialproduktion och transporter utgör en helt dominerande andel av byggandens totala energianvändning. Det tredje är att materialvalet avsevärt kan påverka resursanvändningen.

För att i nybyggnad minska resursanvändningen, öka återvinningspotentialen och minska kostnaderna med bygg- och rivningsrester krävs att

- byggnader utformas så att de får lågt energibehov för drift
- energi- och resurssnåla material används
- demonterbara konstruktioner används
- fler demonterbara konstruktioner utvecklas
- alla konstruktioner utvecklas med hänsyn till både arbetsmiljö och naturmiljö



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Forskning har hitintills främst fokuserats på energibehovet för drift, men på senare år har ett ökat intresse riktats mot byggnaders energi- och resursanvändning i ett livscykelperspektiv.

Livscykeln kan indelas i tillverkning och transport av byggnadsmaterial, uppförande, drift, underhåll och rivning. Studier av byggnader i livscykelperspektiv ger en uppfattning om vilken fas i livscykeln som är viktigast att förbättra. Ett stort antal studier har visat att driften står för den helt dominerande andelen av en byggnads totala energianvändningen. I studier av svenska bostäder byggda under 90-talet utgjorde energi för drift ca 85 % av summan av total energianvändning under en antagen livslängd på 50 år.<sup>1</sup> (Adalberth, 1997, 2000).

Genom intensiv forskning har energibehovet för drift kunnat minskas avsevärt och under senare år har flera mycket energisnåla bostadshus byggts i Sverige. En byggnad kan göras så energieffektiv att i princip inget uppvärmnings- eller kylningssystem krävs. Det innebär att förlusterna ut via klimatskal och ventilation är så låga att förlusterna under större delen av året kan kompenseras av den värme som avges från människor och verksamhet. Under en begränsad period under vintern krävs dock ofta viss kompletterande värme.

Genom det reducerade behovet av värme, kommer resursanvändningen för material och transporter att utgöra en ökande andel av byggnadens totala resursbehov. Få studier har gjorts av det totala behovet i ett livscykelperspektiv i lågenergihus i kallt klimat. De genomförda studierna visar att materialproduktionen kan stå för omkring 60% av det totala energibehovet i byggnader med en antagen livslängd på 80 år (Nemeth 1998, Nielsen 1995). Andra studier har visat att trots att behovet av driftsenergi i ett bostadshus var mycket lågt, var husets totala energibehov högre än i hus som hade ett större energibehov för drift. Orsaken var drift och underhåll av driftsutrustning. (Röhm 1993, Feist 1996).

I takt med att energibehovet för drift minskar, kommer materialproduktionen att utgöra en allt större andel av byggnadens totala energianvändning. Valet av byggnadsmaterial får därmed ökad betydelse för byggnadens totala energi- och resursanvändning.

Kunskap om hur val av material och konstruktioner påverkar både byggnaders totala resursanvändning och byggnadens återvinningspotential har avgörande betydelse för hur relevanta och effektiva mål bör formuleras och för hur material och konstruktioner bör väljas.

De vinster som kan uppnås genom återvinning av en produkt kan sammanfattas i en produkts återvinningspotential. Viktiga faktorer för att ge goda förutsättningar för både miljömässigt och ekonomiskt effektiv återvinningen är möjligheter att demontera en produkt, sortera materialen, genomföra återvinningsprocessen samt möjligheter att använda de produkter som framställs av det återvunnet material.

<sup>1</sup> Se nedan avsnittet 4.2 *Jämförelse med resultat från andra studier*.

Referensvärden från byggnader med lågt energibehov för drift har stor betydelse vid bedömningen av nya byggnader. Referensvärden från resurs- och kostnadseffektiva byggnader där man använt enkel teknik är speciellt intressanta.

## 1.2 Syfte

Det finns idag kunskap och teknik för att bygga hus med mycket lågt energibehov för drift. En fråga är då vilka åtgärder man kan vidta för att ytterligare minska användningen av energi och resurser i byggnader. Är det fortfarande driftsfasen som är den helt dominerande fasen under byggnadens livstid? Hur stor betydelse har val av material? Hur stora vinster kan göras genom att återvinna material och finns det anledning att utforma konstruktionerna så att demontering och återvinning underlättas?

Föreliggande studie har följande syften

- Analysera energi- och resursanvändning i ett livscykelperspektiv i ett passivhus-höghus.
- Beräkna återvinningspotentialen för olika återvinningsscenarier.
- Undersöka i vilken utsträckning enkla materialval påverkar energi- och resursbehovet för material.

## 1.3 Projektet Kv Seglet 1, Karlstad

Byggherre för Kv Seglet 1 är Karlstads Bostads AB, KBAB, och byggnaden uppförs i partnersamarbete med Skanska som totalentreprenör.

Kv Seglet 1 är projekterat för att bli mycket energisnålt. Huset är Sveriges första höghus där huvuddelen av värmessystemet är passivt och KBAB har av Boverket beviljats särskilt utvecklingsstöd på 1,9 miljoner kronor. En stor del av stödet används för uppföljning och utvärdering av projektet där bl a Karlstads Universitet och Lunds Tekniska Högskola är involverade.

Ett stort antal utredningar har gjorts för att uppnå ett gott resultat och fler undersökningar för att utvärdera resultatet avser man att göra när huset har tagits i drift.

- Utredning inför energieffektivt fönsterval, WSP Environmental, Diana Avasoo.
- Energiförbrukningsberäkning, WSP Byggprojektering, Lotti Lindström.
- Täthetsprovning, KBAB.
- Uppföljande täthetsprovning efter 2 år, KBAB.
- Värmekamerakontroll, KBAB.
- Byggande av provvägg och ventilationspaket trapphus innan projekteringsstart.
- Byggande av provschakt innan projekteringsstart för att hitta rätt detaljlösning.
- KBAB medverkar på byggarbetsplatsen för kvalitetsuppföljning mm.
- Hantverkare utbildas under byggskedet i byggnadstekniska frågor som täthet och fukt.
- Test av nytt arbetssätt avseende kontroll av uttorkningsklimat under byggproduktion, SKANSKA.
- Arbetsberedning och dokumentation i projektering och produktion (t.ex. upprättas detaljerade produktionsanvisningar i tidigt skede och kompletteras efter första montage). Uppföljning efter slutförd produktion för verifiering.

- Uppföljning av energi, värme-ventilation mm Karlstads Universitet, Jens Beiron.
- Uppföljning under garantitid, Örebroenkäten, hur bra trivs hyresgästerna?

## 1.4 Beskrivning av byggnaden

Byggnaden är ett 12-våningar högt bostadshus som uppförs 2006 i Karlstad på Babordsgatan 1. Huset har totalt 44 lägenheter varav 22 st 2-RoK på 51,5 m<sup>2</sup> och 22 3-RoK på 68,5 m<sup>2</sup>.

Projektkostnad (inkl. moms och byggherrekostnad) är beräknad till 53,5 miljoner kronor eller ca 20 200 kr/m<sup>2</sup> BOA. Hyran för lägenheterna differentieras beroende på lägenhetens läge i huset och blir för tvåor ca 4 660-5 045 kr/mån och för treor ca 6 565-7 570 kr/mån.

Huset byggs delvis på ett gammalt parkeringshus. För att klara kraven för det nya 12-våningshuset har olika förstärkningsarbeten utförts vilket till viss del kommit att komplicera och fördyra grundläggningen.

Under planprocessen etablerades ett bygglabb där vägg- och bjälklagsdetaljer samt installationsdetaljer testades i full skala.

Ytterväggarna är av en ny typ som ger rationellt montage, mycket god täthet och som inte skall ge köldbryggor. De består av inhängda prefab lättregelväggar med skivmaterial ytterst, isolering och bärande stålpelare och en lättregelvägg innerst. Totalt uppgår isoleringen till 450 mm. Fasadmaterial är av en glasfiberarmerad polymerkomposit.

Bjälklag är av betong och bärande väggar och pelare är av betong respektive stål.

Lägenhetsskiljande väggar är prefabricerad betong och bjälklagen är platsgjutna. Övriga innerväggar är gips på stålreglar.

Fönstren har U-värde 1,0 W/m<sup>2</sup> °K. Beräknade U-värden redovisas i Tabell 1.1.

Yttertaket är byggt av virke, råspånt, 30 mm mineralullsboard och takpapp. Vindsbjälklaget har 800 mm lösullsisolering med underliggande diff-spärr mot byggfukt i betongbjälklaget.

Tabell 1.1 Area och beräknad U<sub>p</sub>-värden för olika byggnadsdelar

Byggnadsdel	Area (m <sup>2</sup> )	U <sub>p</sub> (W/m <sup>2</sup> , °C)
Yttervägg	ca 49 %	0,11
Tak	ca 56 %	0,063
Golv	ca 75 %	0,13
Fönster	ca 90 %	1,0

Varje lägenhet har en plattvärmeväxlare med ca 50 % verkningsgrad för återvinning av värme ur frånluften. Den låga verkningsgraden valdes efter överväganden mellan en högre verkningsgrad som skulle medföra högre elbehov för avfrostning och en lägre verkningsgrad som skulle undvika risk för nedisning.

Beräknat energibehov för uppvärmning är 13,6 kWh/m<sup>2</sup> BRA (golvarea innanför omslutande ytterväggar) och år med uppvärmning till 20,5° C. Totalt energibehov, baserat på det beräknade uppvärmningsbehovet + KBAB's erfarenheter från egna fastigheter bedöms bli ca 50 kWh/m<sup>2</sup> år.

Byggnaden har inte några solfångare men förberedelser görs för möjligheten att senare ansluta till solfångare på grannfastigheter. En viktig åtgärd för att reducera energibehovet är hög lufttäthet.

I energiberäkningarna antogs infiltrationen vara 0,114 l/s, m<sup>2</sup> golvarea vid ±50 Pa tryckskillnad. Tryckprovningar kommer att genomföras av KBAB under byggtiden och ca 2 år efter inflyttning.

Visst behov av tillskottsvärme för uppvärmning bedöms finnas under november - mars. Ett golvvärmesystem med vattenburen värme installeras i lägenheternas hall och bostadsrum. Vattentemperaturen är +27°C för att klara parkettgolven. Vattnet är returvatten, +35°C, från fjärrvärmesystemet KBAB's övriga byggnader i området.

För varmvattenproduktionen kommer värmepump att användas och ca 20 % av energin kommer att utgöras av el och ca 80 % av fjärrvärme.

Kallvatten, varmvatten och elförbrukning kommer att mätas och debiteras för varje lägenhet. Även användning av den allmänna tvättstugan debiteras för varje lägenhet. Erfarenheter visar att enskild debitering minskar förbrukningen av vatten och värme med ca 20 %.

För att torka ut byggfukt i betongbjälklag och betongväggar till omgivande klimat behövs uppskattningsvis 50 MWh eller totalt cirka 20 kWh/m<sup>2</sup>. Detta innebär att energianvändningen kommer att vara högre än beräknat energibehov fram till dess att all byggfukt torkat ut.

Den invändiga standarden blir hög. Golv i trapphus är av stenmaterial. I lägenheterna är golv i badrum och kapprum av klinker och i övriga rum är det ek-parkett. Väggar i badrum är kaklade och väggar i övriga rum har papperstapet. Köksluckor och garderobsdörrar är laminerade. Varje lägenhet har plats för egen tvättmaskin i badrummet och i markplanet finns en fullt utrustad genensam tvättstuga. Det finns tillgång till plats både i P-garage och på uteparkering. Alla lägenheter har stor balkong.



Figur 1.1 Kv Seglet 1, Karlstad. Arkitekt Skanark AB.

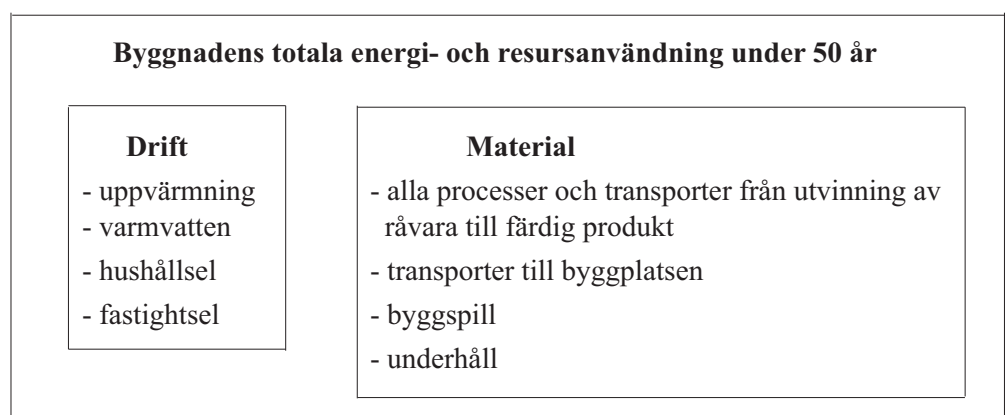
## 2 Metod

### *Funktionell enhet*

Den funktionella enheten är 1 m<sup>2</sup> BRA (golvarea innanför omslutande ytterväggar) som värms upp till 20,5°C under en period av 50 år. Under denna period underhålls byggnaden med erfarenhetsbaserat underhållsintervall.

### *Systemgränser*

Byggnadens totala energi- och resursanvändning har delats upp i 'drift' och 'material'. Se Figur 2.1



Figur 2.1 Processer som har ingått i beräkningen av byggnadens totala energi och resursanvändning.

I drift ingår uppvärmning, varmvatten, hushållsel och fastighetsel (pumpar, fläktar etc).

Energibehovet för drift har beräknats av WSP Byggprojektering och utgörs av elenergi och fjärrvärme.

I material ingår alla processer från utvinning av råvara till dess materialet lämnar fabriken, transport från fabrik till byggplatsen, byggspill, underhåll samt transport av rivningsmaterial till deponi eller återvinningsanläggning. Energi för processerna för uppförande respektive rivning av byggnaden har inte inkluderats. Materialens förbränningsvärdet redovisas separat.

Byggnadens livstid har satts till 50 år. Detta har gjorts eftersom denna tidsperiod är den mest använda tidsperioden när byggnader studeras i ett livscykelperspektiv. Resultatet kan därmed enklare jämföras med andra studier.

Energi- och resursanvändning för underhåll har beräknats som

$$\text{Underhåll} = (\text{antagen livslängd för byggnaden} / \text{materialets livslängd}) - 1$$

För bestämning av materialets livslängd har erfarenhetsbaserade underhållsintervall använts och hämtats från (Vidén 2002).

Materialmängder har tillhandahållits av entreprenören. Eftersom byggnaden uppfördes på en befintlig grund har resursanvändningen för grunden baserats på materialmängder för en likvärdig byggnad.

### *Material*

Data för byggmaterial har huvudsakligen hämtats ur livscykelanalyser, EPD (Environmental Product Declaration) eller byggvarudeklarationer. Källorna avser huvudsakligen nordiska processer under perioden 1995-2003.

För enstaka material saknades uppgifter om energibärare och energin har i beräkningarna då satts som 'ospecificerad'. Totalt utgjorde denna energiandel ca 4 % av den totala energianvändningen för materialproduktion. Energibärare för denna ospecificerade energi har sedan antagits vara densamma som i den specificerade energin. I Bilaga B, Tabell B.1 redovisas energisammansättningen för den totala materialproduktionen av byggnadens material.

### *Energi*

I studier av byggnader i ett livscykelperspektiv brukar det anges att energianvändning utgörs av primärenergi. (Primärenergi definieras som den energi som finns som en naturresurs och som inte har genomgått någon omvandling av människan.) Vid en närmre undersökning av presenterade data visar det sig dock ofta att det endast är energianvändningen för materialproduktion som är i primärenergi medan energianvändningen för drift utgörs av köpt energi. Denna metod är utmärkt för att enkelt jämföra olika byggnaders förhållande mellan byggnadernas energianvändning för materialproduktion och byggnadernas energieffektivitet för drift.

I föreliggande studie är syftet att jämföra energi- och resursanvändning i en byggnad i ett livscykelperspektiv. Då är uppgifter om primärenergi inte tillräckligt underlag. Det finns idag bra underlag för förlitliga beräkningar av användning av fossila energiresurser. Det saknas däremot underlag för beräkningar av användning av icke-fossila energiresurser. Studien har därför begränsats till att a) undersöka förhållandet mellan energianvändning för materialproduktion och drift med den metod som ofta används (primärenergi för material och köpt energi för drift) och att b) undersöka förhållandet mellan materialproduktion och drift med avseende på användning av fossila energiresurser för energiproduktion.

Data för resursanvändning för produktion av fjärrvärme och el har huvudsakligen hämtats ur livscykelanalyser och EPD (Environmental Product Declaration).

El för drift har antagits vara nordisk elproduktion 2005 (Nordel 2006). Resursanvändningen för nordisk elproduktion har beräknats från LCA och EPD för 92 % av produktionskällorna. För övriga 8 % (som utgörs av kraftvärme från industrin, biokraft, avfall och termisk kraft) saknas tillförlitliga data och bedöms ha försumbar inverkan på resultatet. De 8 % har därför exkluderats från beräkningen av resursanvändning. Se Bilaga A, Tabell A.1 och A.2.

Använda värden för energibärares energiinnehåll följer internationell praxis och redovisas i Bilaga A, tabell A.9.

### *Transport*

Alla material har antagits ha transporterats med tung lastbil med trailer, 40 ton, och ett genomsnittligt lastutnyttjande om 70 %. Alla produkter kommer inte direkt från producent utan via byggmaterialeleverantörer. Det har därför antagits att 25 % av den totala vikten har transporterats ytterligare 10 km med lätt lastbil med 50 % fyllnadsgrad. Uppgifter om energibehov för godstransport, MJ/tonkm, har hämtats från Nätverket för Transporter och Miljön, NTM.

För alla material som används i större mängd än 5 kg/m<sup>2</sup> BRA (stål, betong, virke, gips, mineralull, fasadskivor och keramik) har det antagits att de levereras från närmaste belägna fabrik. För övriga material (utgör mindre än 2 vikts-%) har antagits ett schablonavstånd på 200 km.

Avståndet till förbränning och deponi har antagits vara 30 km. Materialåtervinning av mineralull, gips och ekofiber har antagits ske på respektive fabrik. Metallåtervinning har inte delats upp på olika metaller utan ett schablonavstånd på 275 km har använts. För att inte underskatta transporterna för återvinning, har dessa antagits ske med lätt lastbil med 50 % fyllnadsgrad.

### *Återvinning och återvinningsscenarier*

Återvinning har använts som samlande begrepp för återbruk, materialåtervinning och förbränning med energiutvinning. Återbruk avser användning av materialet som det är efter en smärre uppgradering; t ex tegelsten används som tegelsten, mineralulls-skivor rivs till lösull. Materialåtervinning avser att materialet genomgår omfattande bearbetning för att användas i andra produkter; t ex metaller smälts ned för att bli råvara för nya produkter, gipsskivor mals ned för att bli råvara för nya gipsskivor. Förbränning avser förbränning med energiutvinning; t ex i fjärrvärmeverk.

Den största mängden av de totala bygg- och rivningsresterna utgörs av rivningsrester och dessa genereras i en tämligen avlägsen framtid. Hur hantering och eventuell återvinning av dessa kommer att vara är mycket svårt att bedöma. Lika osäkert är att beräkna vilka vinster som framtida återvinning innebär. I de två scenarier som gjorts här har alla vinster av energi och resurser beräknats utifrån dagens villkor vad gäller t ex energi- och materialanvändning. De främsta syftet med scenarierna har varit att få en uppfattning om skillnaden i vinster mellan materialåtervinning/förbränning med energiutvinning och återbruk.

De två återvinnings-scenarierna som använts är; 1) Materialåtervinning/förbränning med energiutvinning och 2) Återbruk. I båda scenarierna antogs att allt material som kan sorteras vid eller efter rivning går till återvinning, övrigt material deponeras. De %-satser som använts för sortering och återbruk, bygger på ett stort antal intervjuer gjorda i mitten av 1990-talet. Intervjuerna gjordes med olika rivningsföretag och avfallshanterare angående tekniska möjligheter för dels demontering och sortering i samband med rivning, dels sortering på avfallsstationer. Alla demonteringsmöjligheterna är idag inte ekonomiskt lönsamma bl.a. på grund av tidsåtgången för demontering. Konstruktioner anpassade för demontering och återvinning minskar tiden för demontering och sortering, minskar energianvändningen i återvinningsprocesserna och ger bättre kvalitet på återvunnet material.

I scenariot Materialåtervinning/förbränning antogs att allt sorterat icke brännbart material går till materialåtervinning och allt sorterat brännbart material går till förbränning. Inget material

I scenariet Återbruk antogs att en viss procent av material återbrukades. Sorterat material som inte bedömdes lämpligt för återbruk antogs gå till materialåtervinning eller förbränning. Antagen återbruksprocent redovisas i Tabell 2.1. Återbruk av glasull innebär att materialet rivs till lösull.

Tabell 2.1 Antagen sorteringsprocent för olika material.

Material	Materialåtervinning, förbränning (%)	Återbruk (%)
Virke	95	
Metaller	95	
MinUll	95	
Gips	90	
Sten, betong,	90	
Plast	95	
Stålreglar $\geq 45$ mm		65
MinUll, I-vägg		90
MinUll, vind, Y-vägg		75
Virke $\geq 70$ mm	95	65

### *Återvinningspotential*

Med återvinningspotential avses de energi- och resursvinster som kan uppnås genom återvinning av en produkt. Återvinningspotentialen,  $\Delta vP$ , har beräknats som

$$\Delta vP = E_{\text{prod}} * \text{livstid} - E_{\text{Av}}$$

där

$E_{\text{prod}}$  = energianvändningen för alla processer från utvinning av råvara till dess materialet lämnar fabriken

livstid = det återvunna materialets livstid som % av det materialets livstid som det återvunna materialet ersätter.

$E_{\text{Av}}$  = energianvändningen för alla processer och transporter som krävs för att framställa en ny produkt

### *Inverkan av materialval*

För att undersöka i vilken utsträckning energi- och resursanvändningen kan påverkas genom val av material, gjordes alternativa utformningar med syftet att minimera respektive maximera användningen av förnyelsebara råvarumaterial.

### *Miljövärdering*

Miljöbelastningen av energi- och resursanvändning kan värderas på flera olika sätt och under 90-talet utvecklades flera olika värderingsmetoder. Metoderna bygger på olika utgångspunkter och kan därför ge mycket olika resultat. Valet av metod har därmed ofta en avgörande betydelse för vilka resultat man kommer fram till. Värderingsmetoderna kan indelas i olika grupper efter vilka principer som använts för värderingen, t ex total resursanvändning, kritiska föroreningsbelastningar i naturen, politiska mål, betalningsvilja eller expertpaneler.

För att få en bred belysning av resursanvändningen i material-delen i relation till resursanvändningen för drift-delen samt hur materialval påverkar resursanvändningen, har fyra värderingsmetoder använts. Metoderna har valts så att de representerar helt olika utgångspunkter för värderingen. Använda metoder är; EPS 2000 (Steen 1999), EcoIndicator 99 (Goedkoop 2001), CML 2 baseline 2000 (Guinée 2002 ) och EDIP (Wenzel 1997).

#### *EPS 2000, V2.1*

I metoden tas hänsyn till fem skyddsobjekt; mänsklig hälsa, biologisk mångfald, ekosystemens produktion, resurser och estetiska värden. (Estetiska värden används inte praktiskt.) Index räknas fram utifrån betalningsviljan inom OECD att återställa skador. I EPS ger användning av metaller generellt avsevärt högre belastning än användning fossila resurser. Metoden är utvecklad i Sverige.

#### *EcoIndicator 99*

I metoden värderas skador på olika system, t ex mänsklig hälsa, ekosystem, råvaruresurser. Index för råvaror baseras på den extra energi som kommer att krävas av framtida generationer för att utvinna mineraler och energi. Metoden inkluderar tre olika perspektiv; individualist, egalitarian och hierarchist (bra svenska översättningar saknas). I det individualistiska perspektivet tillämpas ett kort tidsperspektiv och endast bevisade effekter behandlas. I ett egalitarian perspektiv tillämpas ett mycket långt tidsperspektiv och möjliga effekter inkluderas. I det hierarchistiska perspektivet tillämpas ett medellångt tidsperspektiv och grundsynen är att många problem kan lösas genom politiska beslut. Det hierarchistiska perspektiv har använts i denna studie. Metoden är utvecklad i Holland.

#### *CML 2 baseline 2000*

I denna metod betraktas minskningen av icke förnyelsebara resurser som en nyckelfråga. Index baseras på förhållandet mellan råvarureserver och utvinningshastighet. I CML ger generellt användning av metaller avsevärt lägre belastning än användning fossila bränslen. Metoden är utvecklad i Holland.

#### *UMIP (Udvikling af Miljøvenlige Industiprodukter) EDIP97 (Environmental Design of Industrial Products)*

I denna metod baseras viktningsindex på förhållandet mellan utsläpp eller råvaruanvändning och de politiska målen för utsläpp eller råvaruanvändning. I EDIP ger generellt användning av metaller avsevärt högre belastning än användning fossila bränslen. Metoden är utvecklad i Danmark.



# 3 Resultat

## *Konstruktioner med alternativa material*

Avsikten var att undersöka hur materialval påverkar energi- och resursanvändningen genom enkla förändringar för två alternativ; Alternativ Låg med maximerande av förnyelsebara material och Alternativ Hög med maximerande av icke förnyelsebara material. Eftersom originalutförandet var betongbjälklag med vattenburen golvvärme var enkla alternativ begränsade. För att få större spridning på alternativen gjordes därför ett extra alternativ med bjälklag av massivträ men utan hänsyn till hur tillskottsvärmen skall tillföras. Originalutförande och de alternativa lösningarna redovisas i tabell 3.1.

Försök gjordes i beräkningarna att använda kork som isolering i ytterväggarna. Det var dock inte möjligt att hitta data av sådan kvalitet att en jämförelse skulle vara meningsfull.

**Tabell 3.1 Originalutförande och två alternativa lösningar. (- betyder ingen förändring)**

Byggnadsdel	Original	Alt Låg 1	Alt Låg 2	Alt Hög
Ytterväggar	Stålreglar, träreglar	Träreglar	Träreglar	Stålreglar
Innerväggar	Stålreglar	Träreglar, (stålreglar i våtrum)	Träreglar, (stålreglar i våtrum)	-
	Prefab btg	-	Massivträ	-
Bjälklag	Betong	-	Massivträ	-
Ytskikt	Klinker i badrum och hall	-	-	PVC i badrum och hall

## *Energianvändning*

I alla utförandena var energianvändningen, MJ/m<sup>2</sup>, för material mellan 37-41 % av den totala energianvändning under 50 år. (Förhållandet mellan energianvändning för material och för drift behandlades tidigare i Kap 2, avsnittet om Energi.) Energianvändningen för drift och material redovisas i Tabell 3.2.

Transporterna utgjorde ca 8 % av energianvändningen för material.

Återvinningspotentialen i scenariot materialåtervinning/förbränning med energiutvinning motsvarar 30-40 % av energianvändningen för materialproduktion och transporter. I scenariot återbruk var återvinningspotentialen 40-50 %. Se Tabell 3.2.

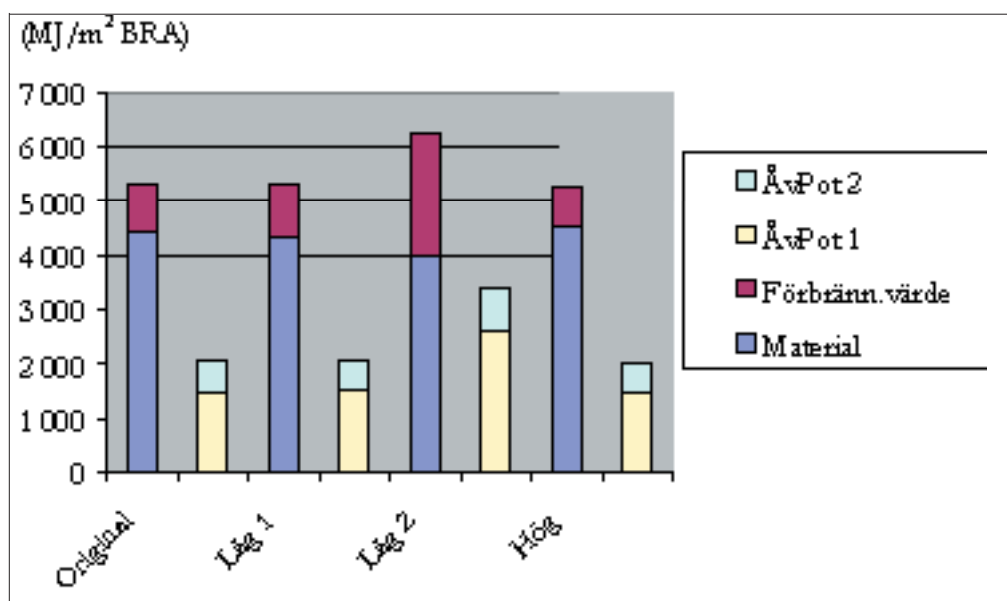
Tabell 3.2 Energianvändning för material och drift och återvinningspotential för originalutförandet och det alternativa utförandet.

Process	MJ/m <sup>2</sup> BRA			
	Original	Låg 1	Låg 2	Hög
Produktion tot (inkl värmevärde)	5 379	5 395	6 250	5 357
Material nybyggnad	3 238	3 161	2 943	3 305
Spill	159	153	82	165
Renovering	787	787	787	813
Värmevärde	865	975	2 239	746
Transporter	331	320	198	329
Återvinningspotential, alt A	1 490	1 516	2 613	1 487
Återvinningspotential, alt B	2 046	2 090	3 381	2 002
	kWh/m <sup>2</sup> , år (köpt energi)		MJ/m <sup>2</sup> , år (köpt energi)	
Drift	50		180	
Uppvärmning	13,6		48,96	

### Återvinningspotential

Återvinningspotentialen i scenariot materialåtervinning/förbränning var både i originalutförandet och i de alternativa originalutförandena ca 30 % av total energianvändning för material. I scenariot återbruk var återvinningspotentialen ca 40 % i både original- och hög-alternativet och ca 55 % i låg-alternativet. Se Figur 3.1.

Återvinningspotentialen motsvarar ungefär 5 års drift i både originalutförandet och alternativen.



Figur 3.1 Primärenergi för material (produktion, spill, underhåll och transport), värmevärde samt återvinningspotential för de tre fallen. AvPot 1 är besparingen som kan uppnås genom materialåtervinning/förbränning med energutvinning. AvPot 2 är den ytterligare besparingen som kan uppnås genom återbruk.

### Resursanvändning

Det blev avsevärd skillnad i användning av råvaruresurser mellan alternativ Låg 2 (alternativet med mest förnyelsebara material) och alternativ Hög (alternativet med mest icke förnyelsebara material). I Låg 2 var användningen av både järnmalm och kol ca hälften mot alternativ Hög. Användningen av olja var ca 25 % lägre och användningen av naturgas ca 10 % lägre. Användningen av stenmaterial och sand var mindre en 1/10 medan virkesanvändningen däremot var ca 5 gånger större. Se tabell 3.3.

**Tabell 3.3. Resultaten av den ändrade resursanvändningen i de alternativa utformningarna jämfört med originalutförandet.**

Resurs	Låg 2 jämfört med Hög
Kol (energiressurser)	ca 49 %
Järnmalm	ca 56 %
Olja	ca 75 %
Naturgas	ca 90 %
Berg, sand, grus	ca 5 %
Virke	ca 500 %

### Miljövärdering av resursanvändningen i materialen

Värdering av användningen av råvaruresurser i material (metaller, olja i plaster etc) visade att belastningen kan påverkas avsevärt genom val av material. Belastningen från Alternativ Låg 2 var ca 25-40 % lägre än belastningen från alternativ Hög. Se Tabell 3.4. (Resultaten för originalutförandet och alla alternativ redovisas i Bilaga B, Tabell B.2.)

**Tabell 3.4 Resursanvändningen för Alternativ Låg som % av Alternativ Hög värderad med fyra olika värderingsmetoder.**

	EPS 2000	CML baseline 2000	EcoIndi- cator 99 (H)	EDIP 97
Materialresurser i material 50 år	67 %	73 %	63 %	59 %
Energiressurser för produktion och transport av material	82 %	86 %	82 %	84 %
Material- och energiressurser för material	70 %	85 %	77 %	59 %

### Miljövärdering av resursanvändningen för energiproduktion

Som nämndes ovan utgjorde energianvändningen, i kWh/m<sup>2</sup>, för materialproduktion och transporter mellan 37-41 % av den totala energianvändning under 50 år i de fyra utförandena. Resultatet studerades även med avseende på resursanvändningen för energiproduktion för fem olika sammansättningar på driftenergin. Se Tabell 3.5. Resultatet när olika värderingsmetoder användes redovisas i Tabell 3.6.

**Tabell 3.5. Olika sammansättningar på driftsenergin. Resursanvändningen för respektive energikälla redovisas i Bilaga A.**

<i>Alternativ</i>	<i>El</i>	<i>Fjärrvärme</i>
A	Nordisk elmix	Uppsala kraftvärmeverk
B	Nordisk elmix	Göteborg Energi
C	Nordisk elmix	Uppsala Värme (avfallsförbränning)
D	Nordisk elmix	Olja
E	Danska kraftvärmeverk	Danska kraftvärmeverk

**Tabell 3.6. Fyra värderingsmetoder användes för att värdera energiresurser för material och transporter som % av byggnadens totala användning energiresurser under 50 år. Värden i tabellen avser endast originalalternativet.**

<i>Alternativ</i>	<i>EPS 2000</i>	<i>CML baseline 2000</i>	<i>UMIP</i>	<i>EcoIndicator 99 (Hierarchist)</i>
A	35 %	83 %	77 %	73 %
B	48 %	87 %	82 %	78 %
C	44 %	90 %	86 %	83 %
D	43 %	71 %	62 %	55 %
E	11 %	11 %	12 %	14 %

Av Tabell 6 framgår att resursanvändningen för material och transporter utgör en ansevärd andel, ofta den helt dominerande andelen, för alla energisammansättningarna av driften. Enda undantaget är när danska kraftvärmeverk används för all energiproduktion för el och uppvärmning.

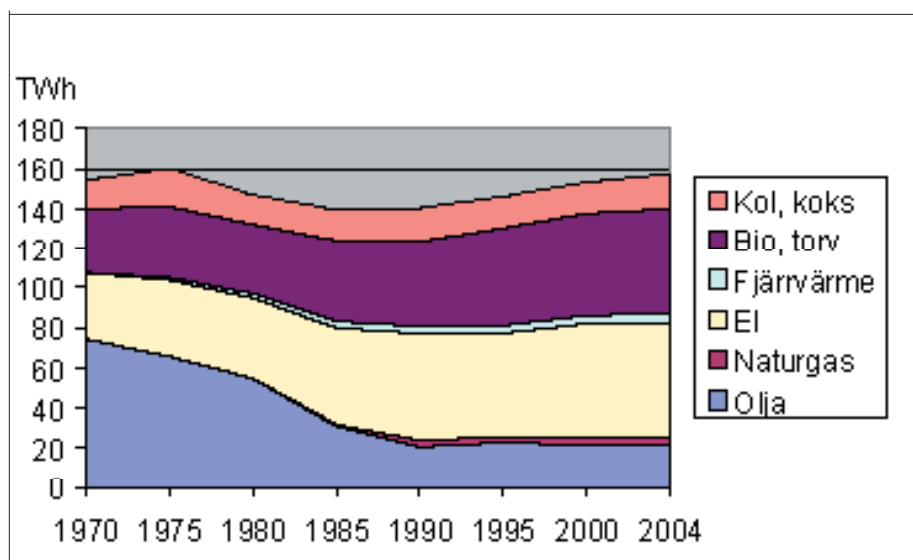
## 4 Diskussion

Den sannolikt viktigaste faktorn som kan påverka resultaten är kvaliteten på data för materialproduktion och energiproduktion.

Datakvaliteten för materialen bedöms vara av relativt liten betydelse i undersökningen av i vilken utsträckning materialval påverkar resultatet. Orsaken är att datakvaliteten är ungefär densamma för material både i den ursprungliga som i de alternativa utformningarna.

Datakvaliteten för energiproduktion i de olika driftsalternativen är alla generellt av hög kvalitet. Däremot är det svårt att bedöma resursanvändningen för en svensk medel- fjärrvärme och därför gjordes flera olika energi-mixer för driften. Resultaten redovisades i Tabell 3.6.

Förutom kvaliteten på data kan även dess ålder inverka. Data för energiproduktion är generellt nyare än data för materialproduktion. Man kan anta att energisammansättningen för produktion av byggmaterial inte har förändrats mer än energisammansättningen för svensk industri generellt. Inom svensk industri har energisammansättningen genomgått ytterst små förändringar sedan slutet på 1980-talet. Se Figur 4.1.



Figur 4.1 Energianvändningen inom svensk industri 1970-2004 fördelad på energikällor. (Statistik från SCB)

Däremot har många processer blivit mer energieffektiva. Trots en ökad energieffektivitet inom vissa processer har den totala energianvändningen inom industrin inte minskat. Orsaken är att många producenter idag producerar mer högkvalitativa varor än tidigare vilket ofta är mer energikrävande. En viss ökad energieffektivitet kan säkerligen ha skett inom byggmaterialproduktionen. Å andra sidan är uppgifter om materialanvändningen för byggnaden och flera data-set, t ex äldre data och byggvarudeklarationerna, inte heltäckande.

Det är därför liten sannolikhet att den totala energianvändningen för materialproduktionen och transporter skulle vara överskattad.

Ytterligare en faktor som man kan tänka sig kan ha viss betydelse för resultaten är hur energisammansättningen både för driften och för industriproduktionen kan tänkas förändras i framtiden. Generellt finns politiska mål att minska användningen av fossila bränslen. Av den totala energianvändningen för materialproduktionen för en byggnad används ca 80 % vid nybyggnad. En förändring av energisammansättningen inom industrin i framtiden har därför tämligen liten inverkan på resultatet. En förändrad sammansättning av driftenergin (förutsatt att förändringen innebär mindre användning av olja och kol) kommer att minska drifttidens andel av byggandens totala resursanvändning för energiproduktion.

Sammantaget bedöms datakvalitet och framtida förändringar av energisammansättningen för drift respektive materialproduktion ha tämligen liten inverkan på resultaten.

## 5 Jämförelser med andra studier

Kunskap om hur energi- och resursanvändningen för material förhåller sig till byggnadens energi- och resursbehov för drift är intressant av flera skäl, bl a för hur mål för byggnaders energieffektivitet bör formuleras. Flera studier inom detta område har därför gjorts både i Sverige och internationellt.

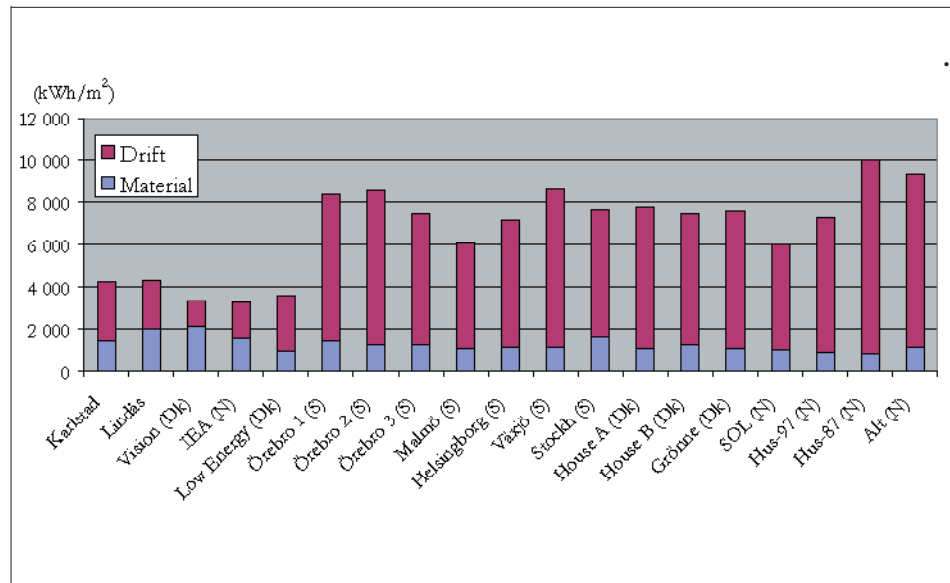
För dessa studier finns det olika metoder att använda beroende på vad man vill studera. Resursanvändningen för drift kan vara helt olika i två exakt likadana byggnader beroende på vilken energikälla som används för driften. Om man specifikt vill undersöka hur energianvändningen för *material* förhåller sig till byggnadens energieffektivitet avseende driften, är ett bra sätt att uttrycka energianvändningen för materialproduktion som primärenergi medan energianvändningen för drift uttrycks som köpt energi. Med denna metod kan olika byggnader jämföras utan att energikällan för driften påverkar resultaten. Om man däremot vill undersöka hur mycket råvaruresurer som används i bygganden, måste energikällorna för både materialproduktion och drift inkluderas.

Utförliga studier på total energianvändning i konventionella svenska bostadshus från 1990-talet har tidigare gjorts av Adalberth (Adalberth 1997, 2000). I dessa studier har köpt energi använts för energibehovet för drift. Resultaten visade att driften står för ca 85 % av byggnadernas totala energianvändning under 50 år. Det är från dessa studier som det ofta refererade värdet ”85 – 15” kommer.

Även i Danmark och Norge har denna typ av studier genomförts. Resultatet från Kv Seglet 1 jämfördes med resultat från alla dessa studier i de nordiska länderna. I studierna skiljer sig metoderna något åt mellan länderna och för att göra resultaten jämförbara gjordes därför vissa omräkningar. I de danska studierna (Nielsen 1995) användes en livstid på 80 år och resultaten räknades därför om för en livstid på 50 år. I de norska studierna (Fossdal 1995, Nemeth-Winter 1998) var inte förbränningsvärdet inkluderat men lades till i omräkningen. För alla byggnaderna antogs energin för drift var producerad i ett svenskt kraftvärmeverk. Jämförelsen redovisas i Figur 5.1.

Av byggnaderna i Figur 5.1 är det bara Karlstad (Kv Seglet 1), Lindås, Vision, IEA och Low Energy som har ett energibehov för drift under 75 kWh/m<sup>2</sup> år. Övriga svenska exempel har ett energibehov för drift på mellan 100 och 150 kWh/m<sup>2</sup> BRA och år. Karlstad är det enda höghuset. Övriga byggnader utgörs av 1- eller 2- våningsbyggnader förutom Helsingborg, Växjö och Stockholm som har tre eller fyra våningar. Generellt minskar energi- och resursanvändningen för material med ökningen av antalet våningar.

Av Figur 5.1 framgår tydligt att energianvändningen i lågenergihus avsevärt ökar och utgör en betydlig andel av byggnadens totala energianvändning.



Figur 5.1 Energianvändningen fördelad på material och drift i Karlstad (Kv Seglet 1) och i andra nordiska byggnader. Endast Karlstad, Lindås, Vision, IEA och Low Energy har ett energibehov för drift under 75 kWh köpt energi/m<sup>2</sup> år. Övriga svenska exempel har ett driftbehov på mellan 100 och 150 kWh köpt energi/m<sup>2</sup> BRA, år.

# 6 Slutsatser och fortsatt arbete

## 6.1 Slutsatser

Forskning om energianvändningen i byggnader har tidigare huvudsakligen fokuserat på energianvändningen för driften. På senare år har perspektivet vidgats och man har börjat betrakta byggnader i ett livscykel-perspektiv. Detta innebär bl a att energibehovet för drift jämförs med energibehovet för materialproduktion. I dessa studier har energi endast betraktats som kWh/MJ. Råvaruresurserna för energiproduktion har ofta inte beaktats.

Ur miljösynpunkt är det dock stor skillnad på olika energikällor och den allmänna politiska ambitionen är att styra över uppvärmningen av byggnader från fossila bränslen till förnyelsebara energikällor.

När råvaruresurserna för energiproduktionen beaktas är det inte längre driften utan istället materialproduktionen som utgör den största andelen av byggnadens totala energianvändning under 50 år. I lågenergihus utgör materialproduktionen ca 70 % av byggnadens totala resursanvändning för energiproduktion.

Olika byggnadsmaterial kräver olika mycket energi att producera. Valet av material kan därmed ha stor inverkan på byggnadens resursanvändning. Energianvändningen för produktion av alla byggnadens material kan skilja minst 15 % beroende på vilka material som används.

För att minska energi- och resursanvändningen är det därför viktigt att minska energianvändningen både för drift och för materialproduktion. Vidare har det stor betydelse att välja demonterbara konstruktioner och återvinningsbara material.

Genom återvinning kan stora energi- och resursbesparingar göras. Med materialåtervinning och förbränning med energiutvinning kan återvinningspotentialen bli minst 30-40 % av den totala energianvändningen för materialtillverkning och transport. Genom återbruk av vissa komponenter kan besparingen ökas och bli 40-50 %.

För att förbättra möjligheterna till en både ekonomisk och resursmässigt effektiv rivning och hantering av rivningsmaterial krävs att byggsektorn uppmärksammar frågan om demonterbara konstruktioner.

För att minska energi- och resursanvändningen, minska kostnaderna för bygg- och rivningsrester och öka återvinningspotentialen krävs att

- byggnader utformas så att de får lågt energibehov för drift
- energi- och resurssnåla material används
- demonterbara konstruktioner används
- fler demonterbara konstruktioner utvecklas
- alla konstruktioner utvecklas med hänsyn till både arbetsmiljö och naturmiljö

## 6.2 Fortsatt arbete

Inledningsvis i projektet ställdes frågor om energi- och resursanvändningen i lågenergihus. Resultat från studien av Kv Seglet 1 och en tidigare studie av ett radhus ger tämligen entydiga svar för två helt olika byggsystem. Kv Seglet är ett punkthus med 12-våningar, byggt med betongbjälklag och bärande väggar av betong. Radhuset har två våningar, bärande träregelväggar och träbjälklag.

Det finns idag ett starkt ökande intresse både för byggande med massivträ och byggande med stål. För att kunna generalisera resultaten vore det därför av stort värde att också genomföra motsvarande studier av byggnader projekterade för massivträkonstruktioner och av byggnader projekterade för stålkonstruktioner.



# Referenser

- Adalbert K. (1997). Energy use during the life cycle of single-unit dwellings: examples. *Building and Environment* 1997;32:321–9.
- Adalbert K. (2000). Energy use in four multi-family houses during their life cycle. *International Journal of Low Energy & Sustainable Buildings*. 1999–2000; 1: (Electronical journal). <http://www.ce.kth.se/bim/leas/journal.htm>.
- Elfor, Elkraft System, Energi E2, Elsam, Eltra. (2000). Livscyklusvurdering af dansk el og kraftvarme. Hovedrapport.
- Frees, N., Pedersen, M.A. (1996). UMIP Enhedsproceduradatabase. Institutet for produktudvikling (IPU), DTU, Miljøstyrelsen, Dansk Industri. København.
- Feist, W. (1996). Life-cycle energy balances compared: Low-energy house, passive house, self-sufficient house. In *Proceedings of the International Symposium of CIB W67*, pp 183-190. Vienna, Austria, 1996.
- Fossdal, S. Energi- og miljøregnskab for bygg. Prosjektrapport 173– 195. Norges byggforskningsinstitutt, Oslo, Norway, 1995.
- Goedkoop, M. Et al. (2001). The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Pre Consultants B.V. Amersfoort, Holland.
- Guinée, Jeroen B. (Ed.) (2002). Handbook on Life Cycle Assessment Operational Guide to the ISO Standards. Springer förlag. ISBN: 1-4020-0557-1.
- Göteborg Energi. (2001). Certifierad miljövarudeklaration av fjärrvärme från Göteborg Energi AB.
- Nemeth-Winter B. (1998). *Energibelastninger ved lavenergiboliger*. IBT-report, vol. 1: 1998. Doktors-avhandling.
- Nielsen P., et al. (1995). Energi- og miljøanalyse af bygninger. SBI-meddelelse 108. Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm, Danmark.
- NordEl. (2006). Årsstatistik 2005. Föreningen för nordiskt elsamarbete.
- Nätverket för Transporter och Miljön, NTM. <http://www.ntm.a.se/index.asp>
- Röhm T. (1993) *Der Energieaufwand zur Herstellung des Energieautarken Solarhauses Freiburg*. Institut für Chemische Verfahrenstechnik. Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Germany.
- Sheehan, J. et al. (1998). Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus. Final Report. NREL/SR-580-24089 UC Category 1503. U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Energy.
- Steen, B. (1999). A systematic approach to environmental strategies in product development (EPS). Version 2000 – Aodels and data of the default methods. Centre for Environmental Assessment of Products and Material Systems. Chalmers University of Technology, Technical Environmental Planning, CPM report 1999:5.
- Sydskraft. (2000). Livscykelanalys. Miljöpåverkan från Sydkrafts elproduktion 1999.
- Thormark, C. (2002). A low Energy Building in a Lifecycle –Embodied energy, Energy Need for Operation and recycling potential. *International Journal of Building and Environment*. Vol 37, No. 4, pp. 429-435.
- Thormark, C. (2006). The Effect of material choice on the Total Energy Need and Recycling Potential of a Building. *International Journal of Building and Environment*. Vol 41, No 8, pp 1019-1026

- Vattenfall. (2003). Vattenfall AB:s Certifierad Miljövarudeklaration för el från Vattenfall AB:s svenska vindkraftverk.
- Vattenfall. (2004a). Vattenfall AB:s Certifierad Miljövarudeklaration av el från Ringhals kärnkraftverk.
- Vattenfall. (2004b). Certifierade Miljövarudeklaration för avfallshantering/förbränning, fjärrvärme, ånga från Vattenfall Värme AB Uppsala, Block 5.
- Vattenfall. (2005). Vattenfall AB Elproduktion Nordens Certifierade Miljövarudeklaration EPD för el från Vattenfalls vattenkraft i Norden.
- Vattenfall. (2006). Vattenfall AB Nordens Certifierade Miljövarudeklaration EPD för el och fjärrvärme från kraftvärmeverket vid Vattenfall AB Värme Uppsala. S-P-00107, Mars 2006.
- Vidén, S., Blomberg, I. (2002). PM Flerbostadshusens förnyelse – behov och förutsättningar 2002/03. Underlag till Boverkets utredning “Bostadsbeståndets underhållsbehov” dnr 2011-1440/2002. BOOM-gruppen, Arkitekturskolan, KTH.
- Wenzel, H. et al. (1997). Environmental Assessment of Products. Del 1. London: Chapman & Hall.

# Bilaga A Energiproduktion

Tabell A.1 Energiresurser i nordisk el-mix beräknade från data i Tabell A2-A8.

<i>Energiresurser</i>	<i>Enhet</i>	<i>Mängd/ kWh levererad till kund</i>	<i>Mängd/ kWh i resursberäkningen</i>
Brunkol	g	0,08	0,08*1,108
Kol	g	0,34	0,34*1,108
Naturgas (0,81 kg/Nm <sup>3</sup> )	g	2,37	2,37*1,108
Olja	g	0,65	0,65*1,108
Uran	g	0,01	0,01*1,108
Biobränsle	g	2,02	2,02*1,108
El	kWh	0,108	

Tabell A.2 Nordisk el-mix 2004. Årstatistik 2005 från NordEl. (NordEl 2006)

<i>Produktionskälla</i>	<i>%</i>	<i>Datakälla</i>
Kärnkraft	25,0 %	EPD Vattenfall AB
Vattenkraft	49,2 %	EPD Vattenfall AB
Vindkraft	2,0 %	EPD Vattenfall AB
Kondenskraftverk	15,6 %	LCA av Sydkrafts elproduktion 1999
Gasturbiner	0,1 %	LCA av Sydkrafts elproduktion 1999
Biokraft	4,8 %	Ej inkluderade i miljövärderingen av använda energiresurser.
Avfall	0,8 %	
Kraftvärme industrin	2,1 %	
Geotermisk kraft	0,4 %	
Summa	100 %	

Tabell A.3 Vattenfalls vattenkraft i Norden. Energiresurser per kWh el levererad till stamnätet. (Vattenfall 2005)

<i>Energiresurser</i>	<i>Enhet</i>	<i>Mängd/ kWh</i>
Biobränsle, torrt	g	1,96E-02
Potentiell energi i vattnet	kWh	1,14E+00
Naturgas	g	70
Olja	g	54

Tabell A.4 Kärnkraftverket i Ringhals. Energiresurser per kWh el levererad till stamnätet. (Vattenfall 2004a)

<i>Energiresurser</i>	<i>Enhet</i>	<i>Mängd/kWh</i>
Brunkol	g	2,44E-01
Kol	g	5,88E-01
Naturgas (0,81 kg/Nm <sup>3</sup> )	g	1,42E+00
Olja	g	3,48E-02
Uran	g	2,62E-02
Trä	g	4,14E-02
Vattenkraft	kWh	1,89E-03

Tabell A.5 Vattenfalls svenska vindkraft. Energiresurser per kWh el levererad till stamnätet. (Vattenfall 2003)

<i>Energiresurser</i>	<i>Enhet</i>	<i>Mängd/kWh</i>
Brunkol	g	3,15E-01
Kol	g	2,56E+00
Naturgas (0,81 kg/Nm <sup>3</sup> )	g	2,84E-01
Olja	g	4,89E-01
Uran i malm	g	3,70E-05
Biobränsle torrs substans	g	4,97E-02
vattenkraft	kWh	7,69E-04
Elförbrukning i vindkraftverken, köps från nätet när vindkraftverken står stilla	kWh	1,74E-03
Elförbrukning hos underleverantörer	kWh	5,81E-03

Tabell A.6 Oljekondenskraft från Karlshamnverket. Energiresurser per kWh el levererad till stamnätet. (Sydkraft 2000).

<i>Energiresurser</i>	<i>Enhet</i>	<i>Mängd/kWh</i>
Kol	g	4,28E+00
Naturgas (0,81 kg/Nm <sup>3</sup> )	g	3,25E+00
Olja	g	1,16E+02
Uran	g	5,56E-03
Biomassa	g	3,31E+00
Vattenkraft	kWh	6,39E-01
Vindkraft	kWh	1,39E-03

Tabell A.7 Uppsala kraftvärmeverk. Energiressurser per kWh el levererad till kund. (Vattenfall 2006)

<i>Energiressurser</i>	<i>enhet</i>	<i>mängd/kWh</i>
Brunkol	g	0,398
Kol	g	3,66
Naturgas (0,81kg/Nm <sup>3</sup> )	g	6,96
Olja	g	11,9
Torv	g	266
Uran i malm	g	1,53E-03
Bio	g	4,94E+01
Potentiell energi i vattnet genom kraftverken	kWh	4,39E-02

Tabell A.8 Sydkrafts gasturbiner. Energiressurser per kWh el levererad till stamnätet. (Sydkraft 2000)

<i>Energiressurser</i>	<i>Enhet</i>	<i>Mängd/kWh</i>
Kol	g	1,61E+00
Naturgas (0,81 kg/Nm <sup>3</sup> )	g	3,89E+00
Olja	g	9,97E+01
Uran	g	1,56E-03
Biomassa	g	1,06E+00
Vattenkraft	kWh	2,06E-01
Vindkraft	kWh	4,44E-04

Tabell A.9 Använda värden för energiinnehåll i energibärare.

<i>Energiressurser</i>	<i>Enhet</i>	<i>MJ/enhet</i>
Brunkol	kg	8
Kol	kg	20
Olja	kg	42,6
Naturgas	Nm <sup>3</sup>	35
Torv	kg	21
Uran	kg	560 000

Tabell A.10 El från Danska kraftvärmeverk. Fossila energiressurser per kWh el levererad till kund. (Allokering mellan värme och el efter energikvalitet.) (Elfor et al 2000)

<i>Energiressurser</i>	<i>Enhet</i>	<i>Mängd/kWh</i>
Brunkol	g	0,1
Kol	g	392
Naturgas	g	70

Tabell A.11 Bränsle i svensk fjärrvärmeproduktion 2004. (Svensk Fjärrvärme 2006)

<i>Energiresurser</i>	%
Olja	7,7
Kol	6,3
Naturgas	6,0
Torv	6,0
Biobränsle	34,5
Tallbeck	2,0
Avfall	10,7
Spillvärme	10,2
Hetvatten	1,0
Övrigt bränsle	5,3
Värmepumpar	9,7
El	10,3

Tabell A.12 Uppsala kraftvärmeverk. Energiresurser per kWh fjärrvärme levererad till kund. (Vattenfall 2006)

<i>Energiresurser</i>	<i>Enhet</i>	<i>Mängd/ kWh</i>
Brunkol	g	1,6E-01
Kol	g	1,45
Naturgas (0,81 kg/Nm <sup>3</sup> )	g	2,75
Olja	g	4,90
Torv	g	105
Uran	g	6,04E-04

Tabell A.13 Göteborg Energi. Energiresurser per kWh fjärrvärme levererad till kund. (Göteborg Energi 2001)

<i>Energiresurser</i>	<i>Enhet</i>	<i>Mängd/ kWh</i>
Kol	g	0,42
Naturgas (0,81 kg/Nm <sup>3</sup> )	g	27
Olja	g	5,6
Uran	g	3,8E-03
Tallbecksolja	g	2,3
Vattenkraft	kWh	7,1E-03

**Tabell A.14 Uppsala Värme. Energiressurser per kWh fjärrvärme levererad till fjärrvärmenätet. (Vattenfall 2004b)**

<i>Energiressurser</i>	<i>Enhet</i>	<i>Mängd/kWh</i>
Trä, fuktigt	g	7,66E-09
Brunkol	g	4,83E-03
Kol	g	3,29E-02
Naturgas	g	1,93E-03
Olja	g	5,26E-03
Uran	g	5,21E-07
Biobränsle	g	3,71E-04

**Tabell A.15 Fjärrvärme i Danska kraftvärmeverk. Fossila energiressurser per kWh fjärrvärme levererad till kund. (Allokering mellan värme och el efter energikvalitet.) (Elfor et al 2000)**

<i>Energiressurser</i>	<i>Enhet</i>	<i>Mängd/kWh</i>
Brunkol	g	0,08
Kol	g	68,89
Olja	g	5,4
Naturgas	g	23,6

**Tabell A.16 Energiressurser för produktion av 1 MJ diesel för transport. (Sheehan 1998)**

<i>Energiressurser</i>	<i>Enhet</i>	<i>Mängd/MJ</i>
Oil	MJ	1,2

**Tabell A.17 Energiressurser för produktion av 1 MJ eldningsolja. (Frees 1996)**

<i>Energiressurser</i>	<i>Enhet</i>	<i>Mängd/kWh</i>
Kol	g	1,14E-02
Naturgas	Nm <sup>3</sup>	1,78E-03
Olja	g	24,03

# Bilaga B Resultat

**Tabell B.1** Energiresurser för köpt energi för materialproduktion av den samlade materialmängden i byggnaden.

<i>Energiresurser</i>	<i>Eenhet</i>	<i>Mängd/MJ</i>
Brunkol	g	4,10E-07
Kol	g	1,37E-05
Olja	g	4,33E-06
Naturgas	Nm3	2,02E-03
Trä, trästammar, 860kg/m3, 100 % vandindhold	m3	2,79E-06
Uran	g	7,09E-04
Brändbart, trä	g	2,55E-03
Brändbart, uspec.	g	7,07E-06

**Tabell B.2** Resultat av miljövärdering av råvaruresurser för energiproduktion och råvaruresurser i material.

	<b>EPS 2000 (ELU)</b>	<b>CML 2 baseline 2000 (kg antimony eq.)</b>	<b>EcoIndicator 99 (H) (MJ surplus energy )</b>	<b>EDIP 97 (PE)</b>
Råvaruresurser (materialresurs) 50 år. Original.	165	1,59	287	0,87
Råvaruresurser (materialresurs) 50 år. Låg 1.	155	1,55	276	0,81
Råvaruresurser (materialresurs) 50 år. Låg 2.	121	1,41	234	0,55
Råvaruresurser (materialresurs) 50 år. Hög.	173	1,63	298	0,94
Råvaruresurser (energiproduktion) för materialproduktion och transporter. Original.	28,73	1,53	221,89	2,08E-3
Råvaruresurser (energiproduktion) för materialproduktion och transporter. Låg 1.	28,11	1,50	216,63	2,03E-3
Råvaruresurser (energiproduktion) för materialproduktion och transporter. Låg 2.	24,19	1,36	187,61	1,80E-3
Råvaruresurser (energiproduktion) för materialproduktion och transporter. Hög.	29,26	1,56	225,57	2,11E-3

# Bilaga C Karaktiseringsfaktorer

Tabell C.1 Använda karaktiseringsfaktorer för värdering av abiotiska råvaror.

Råvara	EPS 2000 V2.1 (ELU/kg)	CML 2 baseline 2000 (kg antimony eq.)	EcoIndicator 99 Hierarchist (Suplus energy/kg)	EDIP 97 (PE/kg)
Bauxit, in ground	9,22E-02	2,10E-09	5,00E-01	1,50E-03
Copper ore	2,35E+00	2,20E-05	4,15E-01	2,10E-02
Iron ore, in ground	5,48E-01	4,80E-08	2,90E-02	8,50E-05
Zink ore, in ground	2,28E+00	3,95E-05	1,64E-01	3,60E-02
Nickel ore, in ground	1,60E+02	1,08E-04	3,56E-01	1,10E-01
Gas natural 35 MJ/Nm <sup>3</sup> (Nm <sup>3</sup> )	7,86E-01	1,87E-02	5,25E+00	4,30E-05
Coal, brown (8-10MJ/ kg)	4,98E-02	6,71E-03	1,55E-01	1,00E-05
Coal, (18-24MJ/kg)	4,98E-02	1,34E-02	1,55E-01	1,00E-05
Oil (42 MJ/kg)	5,06E-01	2,01E-02	6,04E+00	3,90E-05
Uranium	1,19E+03	2,87E-03		
Peat in ground	1,99E-01			

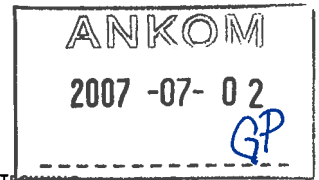


# LUNDS UNIVERSITET

Avdelningen för Byggnadsekonomi, Box 118, John Ericssons väg 1, 221 00 Lund  
Telefon 046-222 74 21. Telefax 046-222 44 14



Bilaga 7  
Örebro enkäten



K Andersson, WA

2007-06-28

AMM-MM-2007/58/KA

...  
Karlstads Bostads AB  
Gunnar Persson  
Box 1505  
...  
651 21 Karlstad

Bäste Gunnar!

Översänder resultatet av enkätbearbetningen för *Seglet i Karlstad*. Svarsfrekvensen är något låg (57 %), men jag tror inte att resultatet skulle försämrats om alla hade svarat.

Det är uppenbart att man är mycket nöjd med boendemiljön och man hänför knappast några symptom till inommiljön. Allergikerna rapporterar som väntat mer näsbesvär än icke-allergikerna. Jämfört med de jämförelsematerial vi har faller det aktuella området ut positivt i stort sett samtliga variabler. Man kan se att det finns några som klagar på matos från grannar, men annars verkar boendemiljön så bra som jag räknar med att ni hoppats.

Det är bara att gratulera till ett lyckat resultat. Det är naturligtvis spännande om man om några år kunna följa upp förhållandena igen.

Fakturering enligt rutin sker inom kort.

Jag önskar dig och de dina en riktigt trevlig sommar!

Med vänlig hälsning

Kjell Andersson  
Överläkare

**Tabell 1.** Resultatpresentation där jämförelser görs mot några bostadsområden (uttryckt i %).

	<b>Seglet, Karlstad</b>	<b>BRF</b>	<b>Nytt bostads- område</b>	<b>Hyresrät- te r</b>
	<b>n = 34</b>	<b>n = 151</b>	<b>n = 350</b>	<b>n = 296</b>
<b>Bostadens storlek är:</b>				
mycket bra	44	24	34	28
bra	38	51	40	42
acceptabel	18	20	20	24
dålig	0	5	5	5
mycket dålig	0	1	1	1
<b>Bostadens planering är:</b>				
mycket bra	76	33	43	23
bra	24	56	41	46
acceptabel	0	9	13	20
dålig	0	2	2	7
mycket dålig	0	1	0	3
<b>Dagsljuset i bostaden är:</b>				
mycket bra	71	34	64	30
bra	29	51	25	39
acceptabelt	0	13	6	20
dåligt	0	1	3	6
mycket dåligt	0	1	1	4
<b>Bostadens standard är:</b>				
mycket bra	76	25	46	19
bra	18	51	42	45
acceptabel	6	16	11	29
dålig	0	7	1	5
mycket dålig	0	2	0	1
<b>Bostadens temperatur är:</b>				
mycket bra	29	3	16	12
bra	53	45	54	40
acceptabel	15	34	23	31
dålig	3	14	6	13
mycket dålig	0	3	1	4
<b>Om problem:</b>				
kallt på vinterhalvåret	12	27	30	29
alltför varmt på sommarhalvåret	3	12	17	28
alltför varmt hela året	0	1	2	2
alltför kallt på morgnar	6	8	5	9
kalla golv på vinterhalvåret	3	35	23	26
drag från fönster	3	36	24	34
drag från ytterdörr	0	8	2	20
kan ej påverka temperaturen	26	17	17	20

forts

forts **Tabell 1.**

	<b>Seglet, Karlstad n = 34</b>	<b>BRF n = 151</b>	<b>Nytt bostads- område n= 350</b>	<b>Hysesrätter n = 296</b>
<b>Bullersituationen i bostaden är:</b>				
mycket bra	44	19	37	13
bra	44	37	39	34
acceptabel	12	32	16	33
dålig	0	12	6	11
mycket dålig	0	0	2	10
<b>Om problem:</b>				
störande buller från ledningar och rör	3	16	13	16
störande buller från ventilationen	9	11	13	11
störande buller från grannar, trapphus, hissar	24	29	18	30
störande buller utifrån (trafik, industri, lekande barn)	26	21	15	27
annat	9	8	11	10
<b>Luftkvalitén i bostaden är:</b>				
mycket bra	36	3	20	11
bra	52	44	54	39
acceptabel	9	35	21	35
dålig	3	17	4	13
mycket dålig	0	1	1	3
<b>Om problem:</b>				
luften känns instängd	9	18	10	22
luften känns dammig	6	28	8	12
irriterande lukt	3	12	2	12
eget matos sprids i bostaden	12	19	28	41
matos från grannar	18	9	5	20
tobaksrök eller annan lukt från grannar	9	19	17	28
lukter utifrån (trafik el dyl)	6	8	9	8
imma regelbundet på fönster vintertid	9	2	0	2
imma på fönster vid matlagning	0	3	2	19
små möjligheter att vädra på grund av bullerstörningar	0	3	6	9
små möjligheter att påverka ventilationen	12	15	26	26
<b>Vad anser Du allmänt om bostadsområdet?</b>				
mycket bra	35	33	71	42
bra	56	57	27	46
acceptabelt	9	10	2	11
dåligt	0	0	1	3
mycket dåligt	0	1	0	0

Figur 1.

# INOMHUSKLIMAT

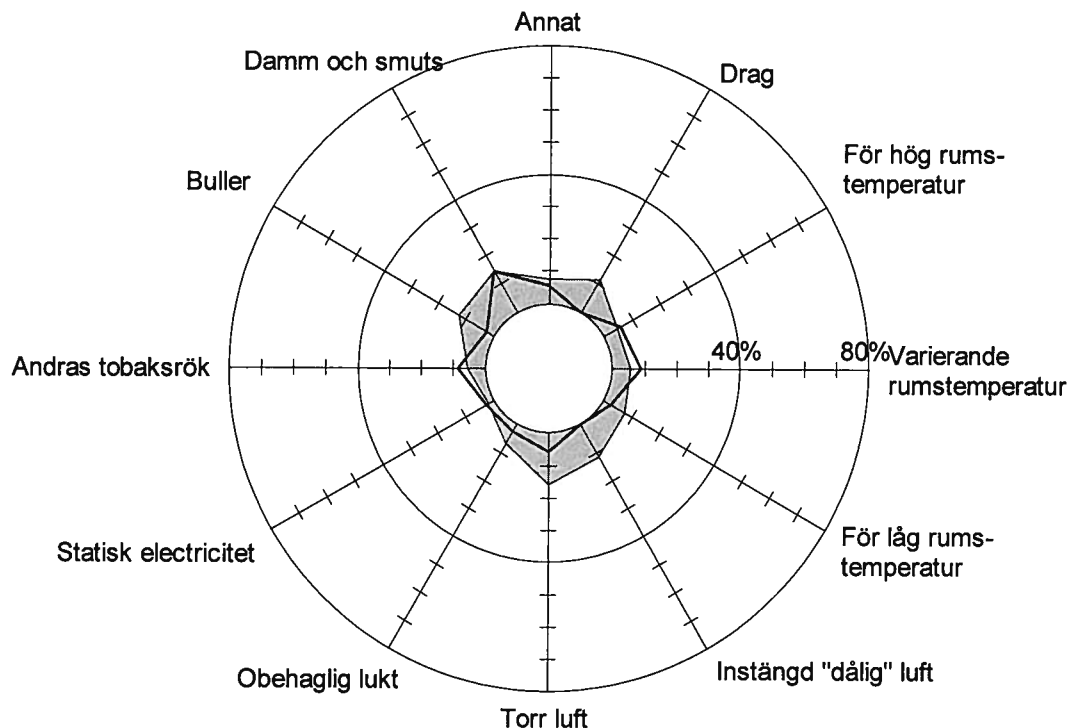
Bostadsmiljö MM050NA

**Seglet**  
Karlstad, maj 2007  
Vuxnenkäten

## MILJÖFAKTORER

(ofta besvärad) %

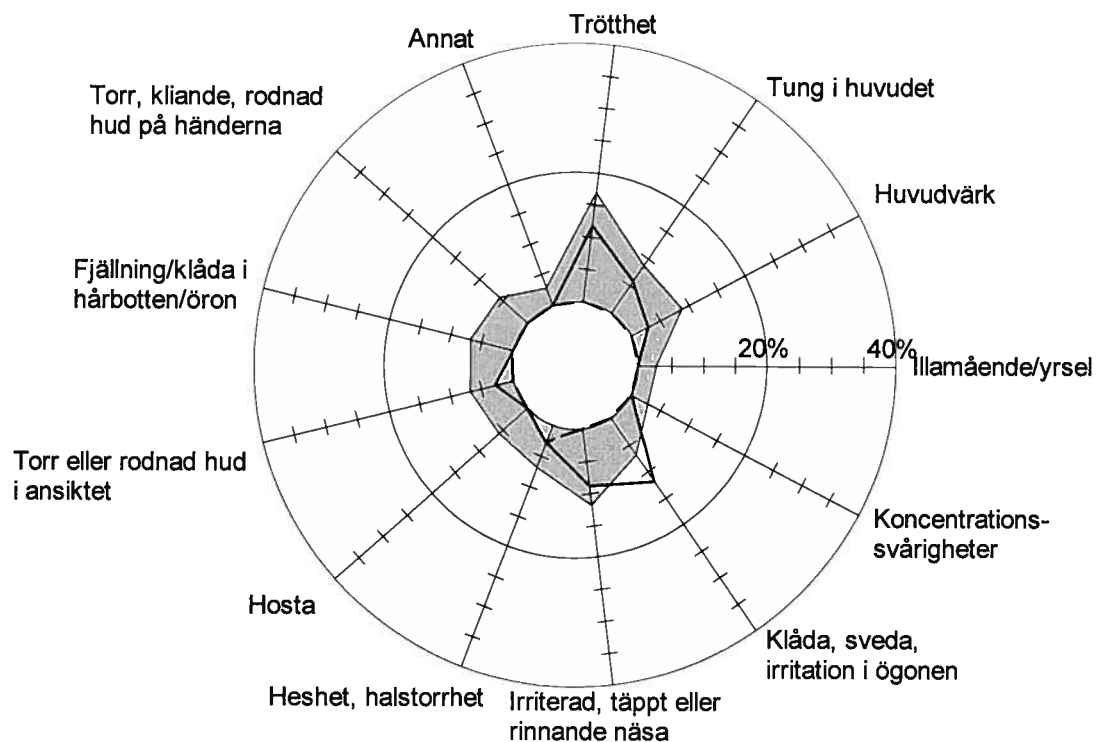
Referensdata baseras på 292 individer.



Totalt (n = 34) ———  
Beror på bost miljö - - - - -

## BESVÄR/SYMTOM

(ja, ofta) %



Figur 2.

**INOMHUSKLIMAT**

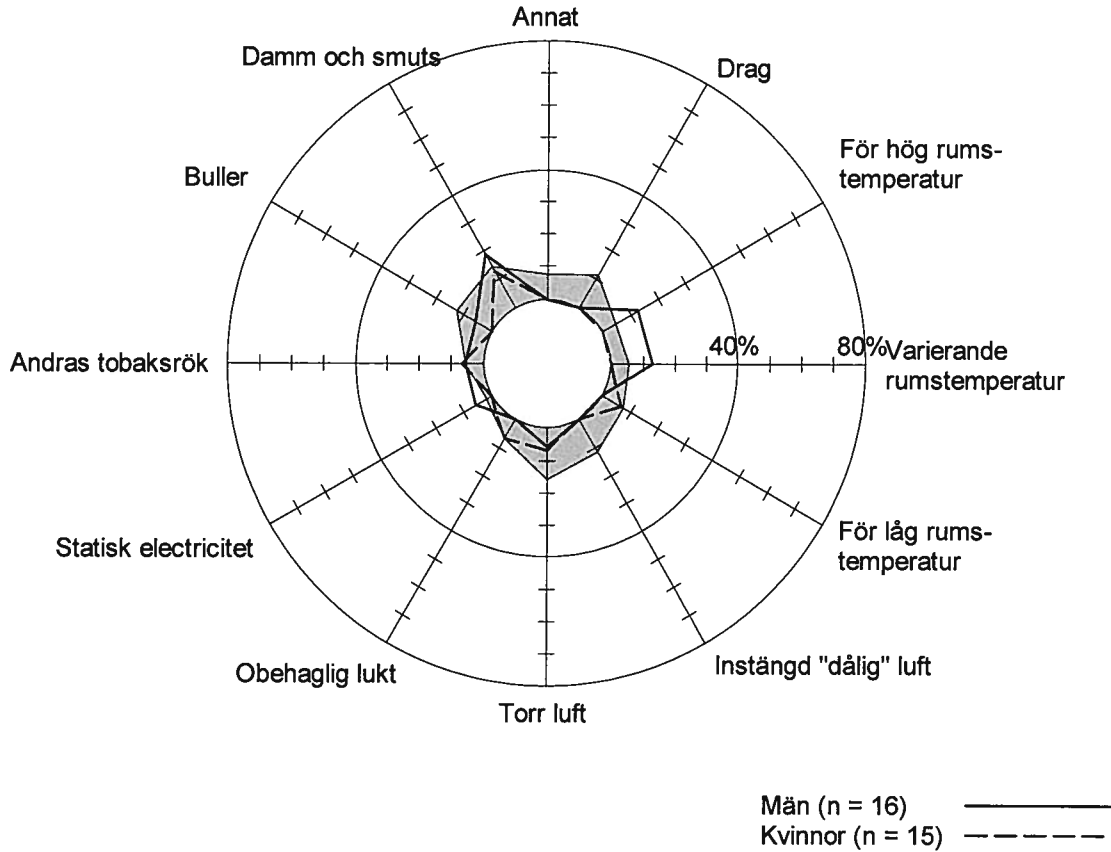
Bostadsmiljö MM050NA

**Seglet**  
 Karlstad, maj 2007  
 Män resp Kvinnor

Referensdata baseras på 292 individer.

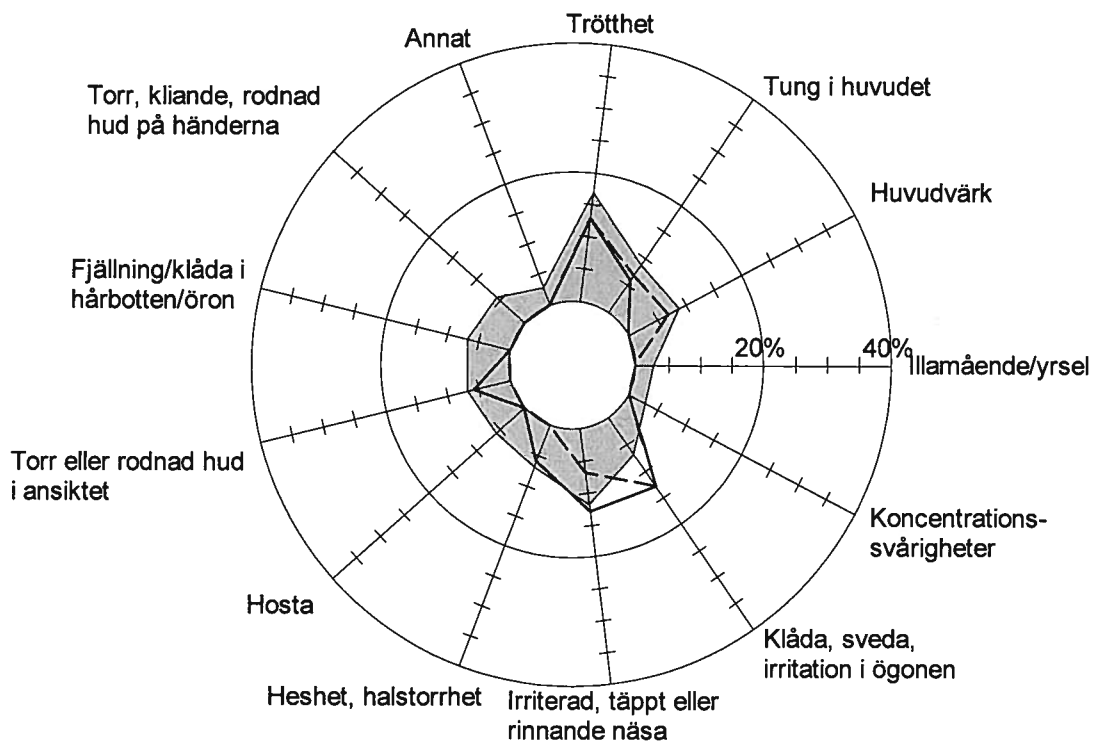
**MILJÖFAKTORER**

(ofta besvärad) %



**BESVÄR/SYMTOM**

(ja, ofta) %



Figur 3.

# INOMHUSKLIMAT

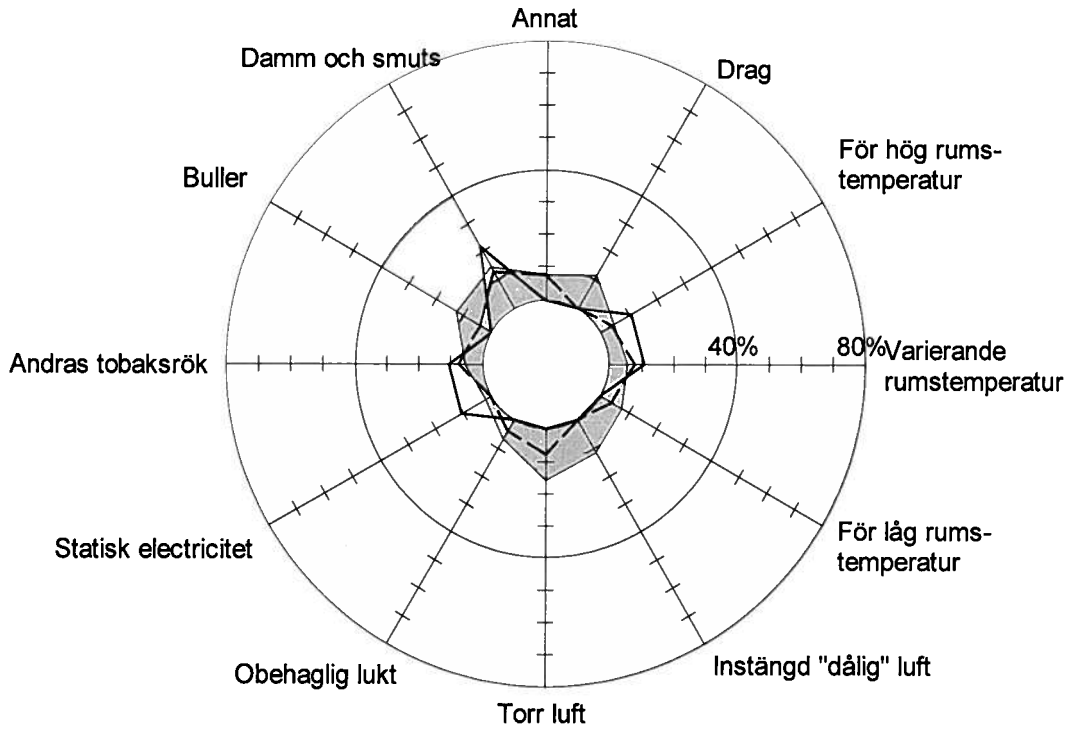
Bostadsmiljö MM050NA

**Seglet**  
Karlstad, maj 2007  
Allergi resp Ej allergi

Referensdata baseras på 292 individer.

## MILJÖFAKTORER

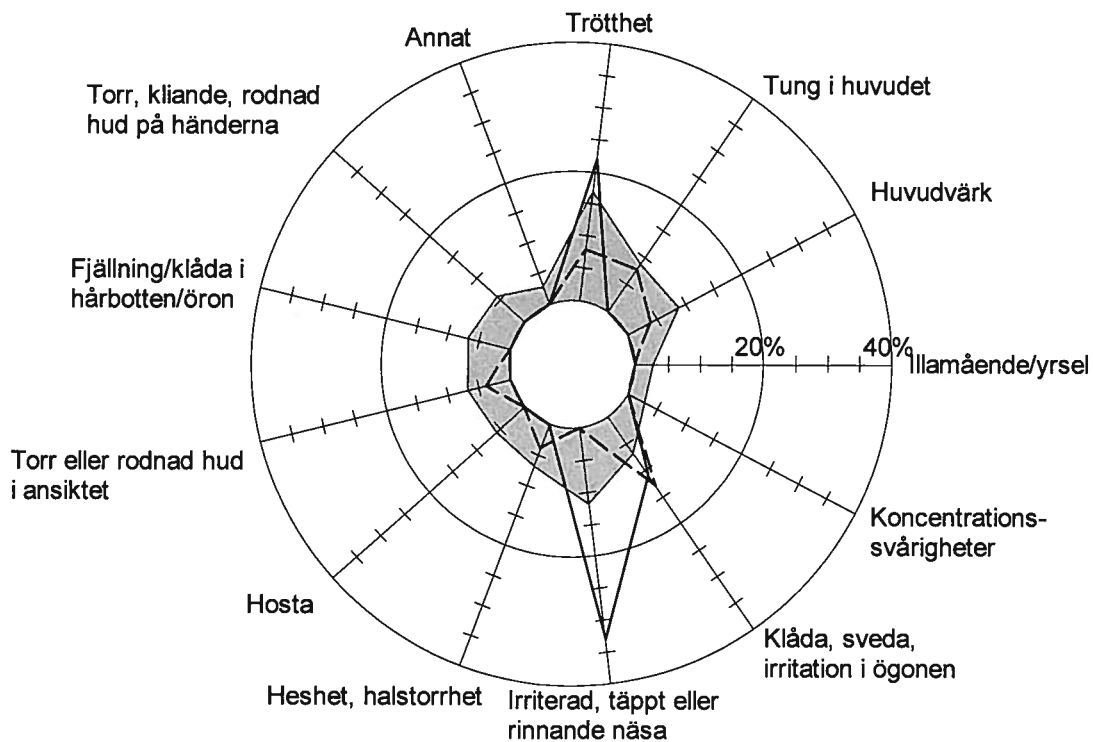
(ofta besvärad) %



Allergi (n = 9) ———  
Ej allergi (n = 24) - - - - -

## BESVÄR/SYMTOM

(ja, ofta) %





Bilaga 8  
Kv Seglet 1, Karlstad,  
Delrapport, Lågenergihus med  
44 lägenheter



**Karlstads universitet**  
**Avd för energi-, miljö- och byggt teknik**

---

**Kv Seglet 1, Karlstad**  
**Delrapport**

# **Lågenergihus med 44 lägenheter**

Drifterfarenheter, driftstatistik samt miljöbedömning av  
energianvändning

**Jens Beiron, Stefan Frodeson, Fredrik Wikström**

---

**Rapport för Karlstad Bostads AB**  
**December 2007**

## **Sammanfattning**

Avdelningen för energi-, miljö- och byggt teknik vid Karlstads universitet har av Karlstad Bostads AB (KBAB) fått uppdraget att utvärdera klimatskalets funktion, byggnadens energieffektivitet samt miljöeffekter av energianvändningen för Kv Seglet. Denna delrapport redovisar erfarenheter från driftstarten samt ca 9 månaders drift (mars-nov 2007). Projektet fortsätter under ytterligare ca 1,5 år, och slutredovisas våren 2009. Slutsatser baserade på driftdata är preliminära och kommer att verifieras mot driftdata för hela projektperioden.

De samlade erfarenheterna efter provtryckning av lägenheter och termografering av klimatskalet visar att byggnaden är mycket lufttät, i nivå med de tätast byggda husen i Sverige. Klimatskalet har endast mindre köldbryggor i anslutning till fönster och altandörrar.

Byggnaden har ett enkelt golvvärmesystem med en slinga per lägenhet samt individuella ventilationssystem för varje lägenhet. Till följd av systematiskt arbete med injustering och kalibrering har systemen god funktion redan vid inflyttning. Smärre problem vid driftstart har avhjälpats tack vare engagerad driftpersonal.

Det täta och välisolerade huset med sina installationssystem skapar ett mycket gott inomhusklimat, vilket har verifierats med den så kallade "Örebroenkäten".

Förbrukningsstatistik över energi och vatten under det första halvåret indikerar ett mycket resurssnålt hus. Byggnaden utnyttjar dessutom till stor del mycket lågvärdig energi genom att hämta sin värme från fjärrvärmenätets returledning. För att klara kraven på tappvarmvattentemperatur används en värmepump. Jämfört med ett rent fjärrvärmealternativ bidrar värmepumpens elanvändning till en ökad koldioxidstring. Olika insatser för att minimera den totala elanvändningen (fastighetsel och hushållsel) kompenserar dock värmepumpens negativa bidrag. Byggnaden som helhet genererar mindre koldioxid än en referensbyggnad enligt BBR med ren fjärrvärmeuppvärmning.

## Innehåll

<b>Sammanfattning</b>	<b>1</b>
<b>Inledning</b>	<b>3</b>
<b>Klimatskalets egenskaper och funktion</b>	<b>5</b>
Lufttäthet – provtryckning	5
Köldbryggor – termografering	6
Värmeisolering av vindsbjälklag	8
<b>Installationssystemens egenskaper och funktion</b>	<b>9</b>
Golvvärme	9
Värmepump för tappvarmvatten	10
Ventilation	10
<b>Driftstatistik</b>	<b>12</b>
Energibehov	12
Tappvattenbehov	13
<b>Rumstemperatur</b>	<b>15</b>
<b>Miljöbedömning av energianvändning</b>	<b>18</b>
Om miljöbedömningen	18
Kort beskrivning av energisystem och energianvändning	19
Resultat	20
Diskussion	21
Slutsatser	22

## **Inledning**

Avdelningen för energi-, miljö- och byggteknik vid Karlstads universitet har av Karlstad Bostads AB (KBAB) fått uppdraget att utvärdera klimatskalets funktion, byggnadens energieffektivitet samt miljöeffekter av energianvändningen för Kv Seglet 1. Denna delrapport redovisar erfarenheter från driftstarten samt ca 9 månaders drift (mars-nov 2007). Projektet fortsätter under ytterligare ca 1,5 år, och slutredovisas våren 2009. Slutsatser baserade på driftdata är preliminära och kommer att verifieras mot driftdata för hela projektperioden. Projektet finansieras av bidrag från Boverket.

Kv Seglet 1 utgörs av ett punkthus med 12 våningar innehållande 44 lägenheter samt tillhörande förråd. Byggnaden innehåller flera nya tekniska lösningar som det finns ett allmänintresse av att utvärdera. Frågeställningarna berör teknisk funktion, inneklimat, energieffektivitet, resulterande miljöpåverkan samt totalekonomi. Stor vikt läggs vid utformningen av klimatskalet. Speciell omsorg läggs vid byggnadens täthet mot luftläckage. Olika fönstertyper har valts med hänsyn till väderstreck mm. Upphängning och infästning av balkonger sker med ett minimum av köldbryggor. Som del i en utökad egenkontroll provas arbetsutförandet vad gäller täthet samt köldbryggor med hjälp av lägenhetsvis tryckprovning och värmefotografering.

Ventilationssystemet är en hybridvariant där ett traditionellt frånluftssystem kompletterats med värmeåtervinning. Systemet är helt lägenhetsseparerat och har endast frånluftsfälktar. Friskluft som förvärmats via värmeväxling mot utgående frånluft tillförs centralt i lägenhetens hall. Frånluftsdon finns i lägenhetens alla rum. Systemet är utrustat med varvtalsstyrda fläktar för att kunna behövsanpassa luftflödet. Lägenheterna värms primärt av internvärme från elapparater och personer samt solvärme genom fönster. Som komplement finns en gemensam golvvärmslinga i hall och sovrums.

Karlstad Bostads AB arbetar medvetet med drifteffektivisering av sina fastigheter. I samband med driftsättning av en nybyggd fastighet sker en viss intrimning och injustering av installationssystemen. Ytterligare intrimning baserat på första årets drifterfarenheter kan ge en förbättrad energieffektivitet. En kontinuerlig uppföljning av fastigheten över tid säkerställer en hög drifteffektivitet och ger möjlighet till fortlöpande justeringar för anpassning till förändrade behov.

Ett motiv till design och utformning av installationssystemen är att bidra till uppfyllandet av olika miljömål, bland annat vad gäller effektiv resursanvändning och minskning av koldioxidutsläpp. Byggnaden värms till största delen med lågtempererad fjärrvärme, inkoppling sker på fjärrvärmenätets returledning. För att säkerställa rätt temperaturnivå eftervärms tappvarmvattnet med hjälp av en värmepump. Systemvalet är gynnsamt för fjärrvärmesystemets energieffektivitet. Samtidigt bidrar värmepumpens elanvändning till ökade koldioxidutsläpp om vi betraktar systemet ur ett marginalspektiv.

Syftet med projektet som helhet är att försöka besvara följande frågor:

- Hur lufttätt blir huset? Går det att säkerställa ett funktionskrav på lufttäthet med hjälp av provtryckning som arbetsmetod parallellt med montagearbetet?
- Föreligger det någon risk för kondensbildning i de djupa fönstersmygarna till följd av att radiatorer saknas?

- Hur upplever de boende inneklimatet i olika rum? Kommer det stora luftinsläppet av sval friskluft i hallen att leda till komfortproblem?
- En mycket välisolerad byggnad erhåller en låg balanstemperatur med risk för övertemperaturer/kylbehov sommartid. Kan en behovsanpassning av luftflödet samt vädring säkerställa ett gott inomhusklimat såväl vinter- som sommartid?
- Hur bör golvvärmesystemet regleras med hänsyn till energieffektivitet och variation i rumstemperatur?
- Hur stor är förbättringspotentialen i en nybyggd fastighet? När är intrimningen klar?
- Vilken påverkan på koldioxidstringen får byggnaden jämfört med ett traditionellt nybyggt hus? Hur gynnsam är systemlösningen vad gäller bruttoenergianvändning?

En del frågor får sitt svar i denna delrapport, medan de övriga behöver utredas vidare. I synnerhet gäller detta frågor som berör resurseffektivitet, inneklimat, och driftstrategi där slutrapporten kommer baseras på erfarenheter från 2 års drift.

Delrapportens första två kapitlen om klimatskal och installationssystem fokuserar på erfarenheterna från provning, kontroll och driftstart. Kapitlen om driftstatistik och rumstemperatur redovisar uppmätta data kopplade till byggnadens funktion. Det avslutande kapitlet redovisar en miljöbedömning av Kv Seglet jämfört med ett referenshus byggt enligt kraven i byggreglerna (BBR).

## ***Klimatskalets egenskaper och funktion***

Kv Seglet har uppförts med ambitionen att bygga ett mycket välisolerat och lufttätt hus. Den klart dominerande delen av klimatskalet är ytterväggen, som utgör ca 80% av omslutningsytan. Väggen har utformats med stor omtanke vad gäller att minimera köldbryggor, säkerställa lufttätethet, förenkla montaget samt bygga fuktsäkert. Konstruktionen utvecklades och förfinades i ”byggglabbet” där provmontage i full skala skett parallellt med projekteringen. Väggens funktion i den färdiga byggnaden har utvärderats genom provtryckning och termografering.

### **Lufttätethet – provtryckning**

Provtryckningarna utfördes av KBAB:s egen personal med egen utrustning. Arbetet startades så snart plastfolien var monterad i den första lägenheten. Önskemålet från byggherren var att få möjlighet att provtrycka innan väggarna bekläddes med gipsskivor. Vid de första provtryckningarna fanns hantverkare från byggentreprenören med för att kunna återföra erfarenheter till montagearbetet i resterande lägenheter. De ställen där luftläckage upptäcktes markerades och hantverkarna fick komplettera tätningsarbetet. Därefter provtrycktes lägenheten igen. Förfarandet upprepades tills alla lägenheter klarade uppställda täthetskrav. Som mest provtrycktes samma lägenhet fyra gånger. Till del utfördes kompletterande tätningsarbete av KBAB´s personal men det bästa resultatet uppnåddes när hantverkare var med och tätade i samband med provningen.

Erfarenheter från provtryckningarna visade att:

- De vanligaste läckageställena var hörn, fönstersmygar och balkongdörrar, främst var det stora problem att få det tätt under balkongdörren.
- I början uppkom skador på plastfolien i samband med att fönsterbänkar monterades.
- Konstruktionen med diffusionstätning (plastfolie) direkt innanför gipsskivan är en känslig lösning, vid några tillfällen ”missades” träregeln när gipsskivor skruvades fast. Dessa små hål skapade en hel del luftläckage. Kunskapen om storleken på läckaget till följd av små hål efter skruvar och spikar medförde att en tavellist monterades i samtliga lägenheter för att minimera behovet att spika upp tavlor.
- Det fanns variationer mellan arbetslagen hur täta lägenheterna blev. Det arbetslag som byggde tätast ändrades under ”resans” gång. Förmågan att bygga tätt beror både på hantverksmässig erfarenhet (en lärprocess) samt upprätthållen noggrannhet.
- Slitsar/genomföringar mellan lägenheter i mellanväggar var inbyggda (gipsskivor redan monterade) när provtryckningarna genomfördes vilket medförde att kontroll/tätning inuti mellanväggar ej möjliggjordes.
- De fönster som hade två öppningsmöjligheter, en för vädring (vikbar inåt) och en traditionell läckte mer nertill och vid gångjärnssidan än andra fönsteralternativ.
- De fabriksmonterade persiennerna skapade läckage genom de borrarade hålen i fönsterkarmen.

Resultatet av provtryckningarna visar att vid 50 Pa över-/undertryck i lägenheterna är medelläckaget 0,13 l/s, m<sup>2</sup> med variation från 0,09 till 0,18 l/s, m<sup>2</sup>. Resultatet är i nivå med uppmätta värden från andra bostadsbyggnader med höga krav på lufttätethet, se tabell 1.

Tabell 1. Luftläckage för bostadsbyggnader i Sverige. Angivet läckage är relaterat till klimatskalets omslutande area.

Beställare, Projekt	Inflyttning	Antal lägenheter	Luftläckage vid 50 Pa (l/s, m <sup>2</sup> )
Landskronahem, Glumslöv	2004	35	0,1 <sup>1</sup>
Finnvedsbostäder, Oxtorget/Värnamo	2006	40	0,2 <sup>1</sup>
Eksta Bostads AB, Frillesås	2006	12	0,25 <sup>2</sup>
Fam.Malmborg, Villa Malmborg	2007	1	0,2 <sup>3</sup>
KBAB, Kv Seglet	2007	44	0,13

När den första lägenheten provtrycktes var luftläckaget ca 0,3 l/s, m<sup>2</sup>. Trots provmontage och tester i ”byggglabbet” fanns en del otätheter. Kunskapen att bygga riktigt täta hus är fortfarande under utveckling. För att få önskat resultat måste funktionen provas då det fortfarande finns möjlighet att åtgärda brister. Ett problem som uppstod var att momentet provtryckning inte fanns med i arbetsplanen. Personalen som ansvarade för provtryckning fick hålla sig ajour med hur montagearbetet fortskred och bevaka möjligheten till provtryckning vid lämpligt tillfälle. Traditionellt används provtryckning som en efterkontroll. För att uppnå bästa möjliga resultat måste provtryckningarna utföras i syfte att kontrollera aktuell status med syfte att optimera tätheten. Således bör man planera in momentet när det finns möjlighet att täta på ett effektivt sätt, dvs innan väggbeklädnaden monteras. Detta betyder att momentet måste finnas inplanerat under samma tidsperiod som montagearbetet. Ytterligare en faktor som bör eftersträvas är att en hantverkare medverkar vid provtryckningen för att omgående täta de eventuella läckage som finns. Det är en fördel om endast ett fåtal personer är avdelade för tätningsarbetet. Detta förenklar dialogen mellan provtryckare och hantverkare. Kunskapen om känsliga detaljer/lösningar kommer aktuellt arbetslag snabbt tillhanda.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att Kv Seglet är ett mycket tätt hus. En viktig faktor som starkt bidragit till resultatet är att alla inblandade parter strävat mot samma mål och att man hela tiden fått besked om provresultat och behov av extra tätningsåtgärder. Detta medförde att eftertätningsbehoven minskade vartefter byggprojektet framskred.

### Köldbryggor – termografering

I hälften av lägenheterna (två lgh/plan) utfördes termografering för att upptäcka eventuella köldbryggor samt att hitta känsliga konstruktionslösningar.

Erfarenheter från termograferingen visade att:

- Ytterhörn är normalt en svag punkt med köldbryggor, dock icke i Kv Seglet. Endast ett hörn på plan 12 visade på något större värmeläckage i övrigt var hörnkonstruktionerna mycket välisolerade.
- Fönstren är en svag länk med värmeläckage både nertill, i karm samt vid drevning, se figur 1.

<sup>1</sup> Delrapport *Marknadsöversikt för passivhus och lågenergihus i Sverige 2006* i Programmet för passivhus och lågenergihus

<sup>2</sup> [http://www.ebd.lth.se/forskning/passivhus\\_demonstrationsprojekt/frillesaas/](http://www.ebd.lth.se/forskning/passivhus_demonstrationsprojekt/frillesaas/)

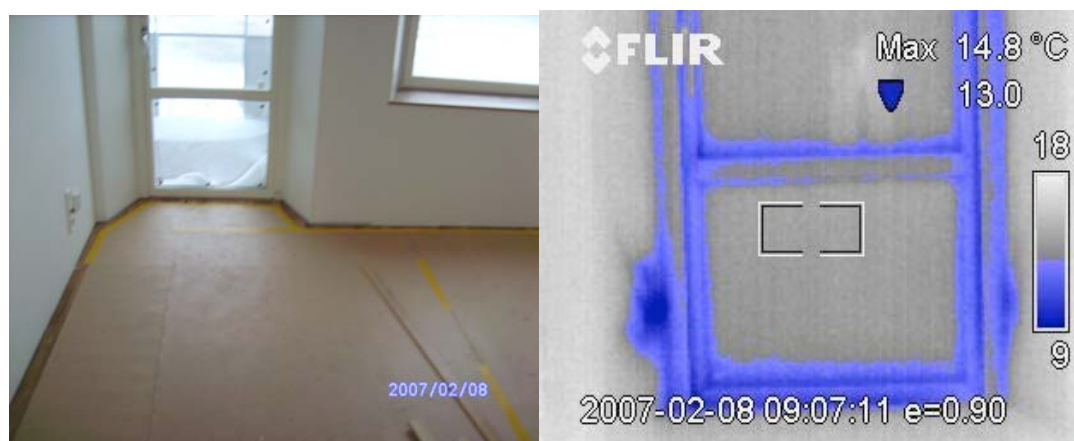
<sup>3</sup> [http://www.ebd.lth.se/forskning/passivhus\\_demonstrationsprojekt/lidkoeping/](http://www.ebd.lth.se/forskning/passivhus_demonstrationsprojekt/lidkoeping/)

- Variationer förekom mellan olika fönster kring hur täta de var mot värmeläckage. Operatören kunde dock inte se skillnader mellan modellerna utan tyckte sig se att det var skillnader som baserades på variationer vid tillverkning eller montage.



**Figur 1.** Värmeläckage kring fönsterparti mot öster. Bild tagen med vanlig kamera samt med värmekamera. Utomhustemperatur  $-8^{\circ}\text{C}$ . Inomhustemperatur  $+18^{\circ}\text{C}$ .

När termograferingen började utföras fanns endast stödvärme i lägenheterna. Detta medförde svårigheter att utföra bra analyser då temperaturskillnaden mellan inne och ute stundtals var liten. Vidare var inte ventilationssystem i drift vilket resulterade i att tryckförhållandena i lägenheterna inte var representativa. Detta visar på svårigheterna att använda värmekameran i ett tidigt skede i byggandet för att upptäcka värmeläckage i klimatskalet. Önskvärt är att på samma sätt som vid provtryckning komma in i lägenheterna i ett så tidigt skede som möjligt, innan väggarna bekläs med gipsskivor. Vid ett tillfälle upptäcktes ett läckage intill en balkongdörr, se figur 2. Problemet var dock att lägenheten var färdigtapetserad och inflyttning skulle ske inom kort så det fanns inga möjligheter att åtgärda värmeläckaget.



**Figur 2.** Värmeläckage vid balkongdörrparti mot öster. Bild tagen med vanlig kamera samt värmekamera. Utomhustemperatur  $-8^{\circ}\text{C}$ . Inomhustemperatur  $+18^{\circ}\text{C}$ .

För att kunna åtgärda brister i konstruktion eller montage bör termografin utföras vid samma tillfälle som provtryckningen. Lägenheten bör vara tätad, sakna inre väggbeklädnad samt ha en tryckbild över klimatskärmen som motsvarar normal drift. Då resultatet av termografering

beror av temperaturskillnaden över klimatskärmen finns ibland behov av att höja rumstemperaturen tillfälligt, till exempel med en värmefläkt.

Slutligen kan man konstatera att värmeläckaget i Kv Seglet är litet och de värmeläckage som upptäcktes var svåra att åtgärda (t ex fönsterkarmar). Vägghkonstruktionerna kring hörn och vinklar är täta, med försumbara köldbryggor.

### Värmeisolering av vindsbjälklag

Vindsbjälklaget är isolerat med 80cm stenullsisolering i form av lösull. Efter inflyttning visade det sig att det översta våningsplanet hade klart lägre rumstemperatur än övriga våningsplan. I jakten på en förklaring spreds en misstanke om bristande isolerförmåga i det tjocka lösullslagret. Den försämrade funktionen skulle kunna bero på intern egenkonvektion i stenullen. För att råda bot på problemet har lagret med stenull trampats ihop (kompakterats) och ett kompletterande lager med ekofiber har lagts ovanpå, så att ursprunglig isolertjocklek återställts.

Rumstemperaturen i det översta våningsplanet har under sommarhalvåret inte skiljt sig markant från övriga våningsplan. Under hösten, med sjunkande utetemperaturer, urskiljer sig dock åter det översta våningsplanet med något lägre rumstemperatur än övriga våningsplan. Värmebehovet vid dimensionerande utetemperatur är 100-120W/lägenhet större för det översta våningsplanet än för plan 3-11<sup>4</sup>. Detta motsvarar ca 10% större värmebehov för det översta våningsplanet jämfört med övriga plan. Skillnaden borde inte avspeglas i lägre rumstemperatur förrän vid riktigt låga utetemperaturer. Förhållandet kommer att utredas vidare under den kommande vintern.

---

<sup>4</sup> Dimensionerande effektbehov för att täcka värmeförluster i lägenheterna, WSP Byggprojektering, Delrapport inom projektet Kv Seglet

## **Installationssystemens egenskaper och funktion**

Installationer för värme, tappvarmvatten och ventilation har valts för att vara energieffektiva och driftsäkra med ett lågt underhållsbehov. Service och skötsel av systemen skall kunna utföras utan att behöva tillträde till lägenheterna (förutom köksfläkt). I syfte att använda så lågvärdig energi som möjligt och därmed effektivisera fjärrvärmesystemet utnyttjas värmen i fjärrvärmenätets returledning som värmekälla.

I stort har driftsättningen av Kv Seglet fungerat bra. Resultatet av en boendeenkät enligt "Örebromodellen"<sup>5</sup> genomförd under våren visar på ett mycket bra inomhusklimat. Förutom valet av enkla system beror det goda resultatet på att kontroll- och injusteringsarbetet utförts i samverkan mellan beställarens egen personal och entreprenörer. Entreprenadformen tillåter en stor möjlighet att under byggskedet påverka kvalitét i arbetet och skapa förståelse för valda systemlösningar.

Erfarenheter från lyckade utvecklingsprojekt visar på vikten av att det finns "engagerade eldsjälar" involverade, från idé- till förvaltningsfas. Eldstjälar som trivs och kan samverka med både arkitekter, konstruktörer samt hantverkare. I arbetet med Kv Seglet har KBAB:s egen personal utgjort dessa eldsjälar och samtidigt varit nod i bland annat val av konstruktionslösningar, kontrollarbete samt driftsättning.

Den långsiktiga funktionen av installationssystemen kommer att utvärderas under de kommande åren. Här redovisas erfarenheter från driftstart samt de inledande månadernas drift. De exempel som lyfts fram skall ses som typexempel på den problematik som ofta uppstår vid utveckling av ny teknik eller nya systemlösningar. Med tanke på de till del helt nya lösningarna för värme och ventilation är det förvånansvärt att funktionen är så god redan efter några få månaders drift.

### **Golvvärme**

Vid projektering och dimensionering av golvvärmeslingorna antogs att fjärrvärmens returtemperatur ej understiger 35 grader, vilket är fullt tillräcklig temperatur till golvvärmesystemet. Systemlösningen innebär att man kopplat golvvärmeslingan via en värmeväxlare direkt mot fjärrvärmereturen. Lägenhetsinnehavarna får sedan själva använda golvvärmen vid behov genom en av/på-knapp i respektive lägenhet. I driftläge styrs golvvärmeslingan i respektive lägenhet av en termostat placerad i frånluftskanalen.

Erfarenheter från driftstart av golvvärmesystemet visar att:

- Temperaturen på fjärrvärmereturen fluktuerar i mycket större utsträckning än förväntat. Temperaturer < 25°C förekommer, vilket får till följd att golvvärmesystemet under kortare perioder levererar tillbaka energi till fjärrvärmenätet.

---

<sup>5</sup> Resultat från enkätundersökning, "Örebromodellen", Arbets- och miljömedicinska kliniken, Universitetssjukhuset Örebro, Delrapport inom projektet Kv Seglet.

Problemet åtgärdades genom att sätta temperaturgivare på sekundärsidans retur samt primärsidan och stoppa golvvärmesystemet när primärsidans temperatur understiger sekundärsidans temperatur.

Returtemperaturer  $< 25^{\circ}\text{C}$  är sällsynta och förekommer i samband med stora effektuttag till tappvarmvatten, till exempel på morgonen då många duschar. En stoppfunktion som förhindrar avkylning av golvvärmesystemet påverkar inte dess funktion märkbart. Extremt låga returtemperaturer har kort varaktighet och ett begränsat driftstopp i värmeleveransen får inget genomslag i det tröga golvvärmesystemet.

### Värmepump för tappvarmvatten

Tappvarmvatten bereds i undercentralen genom att det förvärms till ca  $30^{\circ}\text{C}$  i en fjärrvärmväxlare (inkopplad mot fjärrvärmesystemets returledning) och går vidare till en värmepump för att värmas ytterligare. Tappvarmvattnet lagras i ackumulatortankar. Värmepumpen arbetar med köldmediet R134a. Värmepumpens värmekälla är även den en värmväxlare kopplad mot fjärrvärmesystemets returledning.

Erfarenheter från igångkörning av värmepumpen visade att:

- Vattnet i förångaren frös då montören missat att ändra fabriksinställningen för lågtryckspressostaten vilket fick till följd att temperaturen i förångaren sjönk en bra bit under  $0^{\circ}\text{C}$ .

Efter justering och nystart av systemet har det fungerat bra.

När värmepumparna levereras finns en fabriksinställning rörande temperaturer, tryck och val av köldmedie. Vanligt förekommande systemlösningar innebär att värmepumpen arbetar med en köldbärare skyddad mot frysning. I aktuellt fall arbetar värmepumpen med temperaturer högt över fryspunkten och således finns inget frysskydd i köldbäraren. Erfarenheterna från driftstart av värmepumpsystemet visar på problemen med nya systemlösningar, samt vikten av att alla inblandade parter antingen finns med redan från början eller informeras efter hand. Underentreprenörer och annan personal som kommer in i processen under resans gång måste informeras. Behovet av samordning och helhetssyn är större i ett utvecklingsprojekt än i mer normala projekt. Behovet av samordning och information kan organisatoriskt lösas på olika sätt. När det gäller Kv Seglet har beställaren i stor utsträckning själv medverkat till detta genom egen personal på byggarbetsplatsen. Exemplet visar att även tillfällig personal som kanske bara har en liten uppgift behöver informeras.

### Ventilation

Lägenheterna ventileras via separata ventilationssystem för varje lägenhet, med frånluftsfläktar placerade ovan undertak i trapphus. Ersättningsluften tas dels via värmväxlare och tillförs i hallen och dels via borstlist i sovrummens fönster (ca 20 % av totalflödet). Frånluften sugs ut i bad-, sov- samt vardagsrum.

Erfarenheter från igångkörning av ventilationssystemen visade att:

- Friskluftsintaget via borstlist mellan fönsterbåge och fönsterkarm fungerade otillfredsställande. Felet upptäcktes indirekt av driftpersonalen.

Vid injustering av ventilationssystemet kontrollerades enbart frånluftsflödena i respektive frånluftsdon. Huruvida friskluften tog sig in via friskluftskanalen som mynnar i entrehallen eller via bortslisterna i ovankant fönster i sovrum undersöktes ej. Systemet saknar omställbar injusteringsmöjlighet på friskluftssidan. Driftpersonalen reagerade på att de inte kunde detektera en svalare luftzon i anslutning till fönstrets ovankant där friskluften till del borde komma in. Efter kontroll visade det sig att borstlisterna var felmonterade av fönstertillverkaren, borsten trycktes ihop för mycket när fönstret stängdes. Borstlisten fick bytas för merparten av fönstren. Funktionen har därefter varit fullgod.

Principen med friskluft via borstlist mellan fönsterbåge och fönsterkarm är utprovad i ”bygglabbet” före byggstart. Konstruktionen är kalibrerad i labbet så att förväntat undertryck i lägenheten resulterar i önskat friskluftsflöde. Det är dock en nykonstruktion och risken för felaktigt utförande eller felaktigt montage ökar jämfört med etablerade standardlösningar.

## Driftstatistik

Förbrukningsdata angivna per kvadratmeter avser BRA, vilken för fastigheten uppgår till 2640 m<sup>2</sup>. Då variationen i förbrukning anges med intervall är intervallet  $\pm 1$  standardavvikelse.

### Energibehov

Energianvändningen i fastigheten mäts via ett flertal energimätare, både för el och fjärrvärme. Energimätare för el registrerar dels total förbrukning för hela fastigheten exklusive tvättstuga (som ligger i angränsande fastighet) och dels uppdelad på respektive lägenhet (hushållsel), fastighetsel (trapphusbelysning, hiss, fläktar) samt el till värmepump för tappvarmvatten. Energimätare för fjärrvärme registrerar dels total förbrukning via Karlstad Energi AB's debiteringsmätare och dels den del som går till golvvärmesystemet. Förväntat årsenergibehov för fastigheten redovisas i tabell 2.

Tabell 2. Förväntat årsenergibehov av fjärrvärme och el.

	MWh	kWh/m <sup>2</sup>
Fjärrvärme till golvvärmesystem	51	19
Fjärrvärme till tappvarmvatten	38	14
El till värmepump-tappvarmvatten	15	5,7
Fastighetsel	48	18
Summa värme och el utom hushållsel	152	57,5
Hushållsel	80	30

Årsenergibehov för el och fjärrvärme har beräknats baserat på uppmätta data under perioden maj-november 2007. Hushållsel, fastighetsel samt el och fjärrvärme till tappvarmvatten har antagits vara svagt beroende av utetemperatur och årstid. Dessa årsenergibehov har beräknats baserat på genomsnittlig förbrukning under mätperioden.

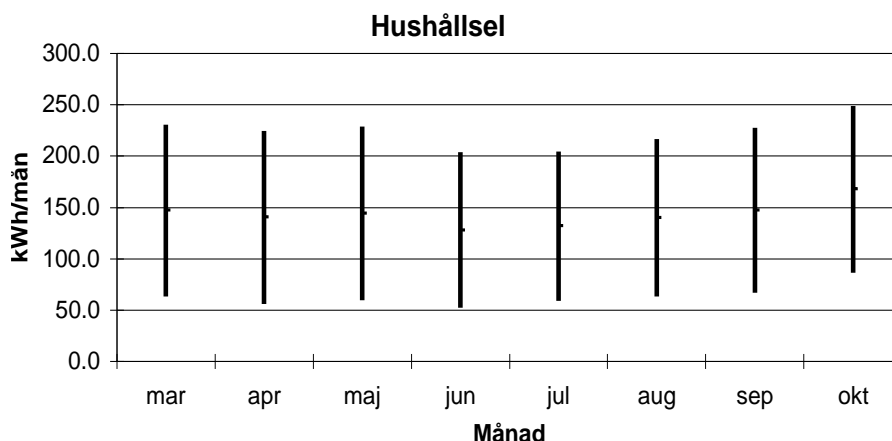
Byggnadens värmebehov (totala värmeförluster) har beräknats enligt två olika principer, dels med utgångspunkt från golvvärmesystemets energianvändning relaterat till balanstemperaturen +10°C och dels med utgångspunkt från total energitillförsel förutom solenergi relaterat till balanstemperaturen +21°C. Värmebehovet redovisas som ett fastighetsspecifikt förbrukningstal (kW/°C) beräknat för månaderna september-november i tabell 3. Syftet är att med hjälp av förbrukningstalet kunna beräkna förväntat årsenergibehov för golvvärmesystemet för ett normalår. Förbrukningstalet varierar något över mätperioden. Det genomsnittliga förbrukningstalet för ett helt år har, baserat på framräknade tal för mätperioden, uppskattats till 1,2 kW/°C.

Tabell 3. Byggnadens värmeförbrukningstal beräknat med utgångspunkt från månadsvis uppmätt energiförbrukning.

Månad	Förbrukningstal, kW/°C	
	Enbart energi till golvvärme, balanstemperatur 10°C	Total energitillförsel utom solenergi, balanstemperatur 21°C
September	1,3	1,2
Oktober	1,7	1,2
November	0,9	0,9

Uppvärmning av tappvarmvatten sker i två steg. Först genom direktvärmväxling mot fjärrvärmenätets returvatten och sedan med hjälp av spetsvärme från en värmepump som också hämtar sin värme från fjärrvärmenätets returvatten. Av den totala energin som åtgår för uppvärmning av tappvarmvatten bidrar fjärrvärmenätet med ca 75% och resterande 25% är el för drift av värmepumpen.

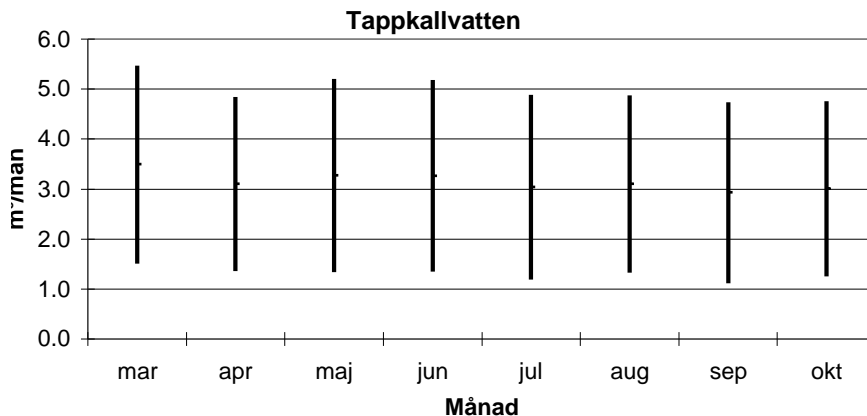
Förbrukningen av hushållsel varierar kraftigt, ca  $2000 \pm 1000$  kWh/lgh,år. Relaterat till golvyta blir förbrukningen  $35 \pm 15$  kWh/m<sup>2</sup>,år. Förbrukningen varierar svagt över året med en något ökad förbrukning under vinterhalvåret, se figur 3.



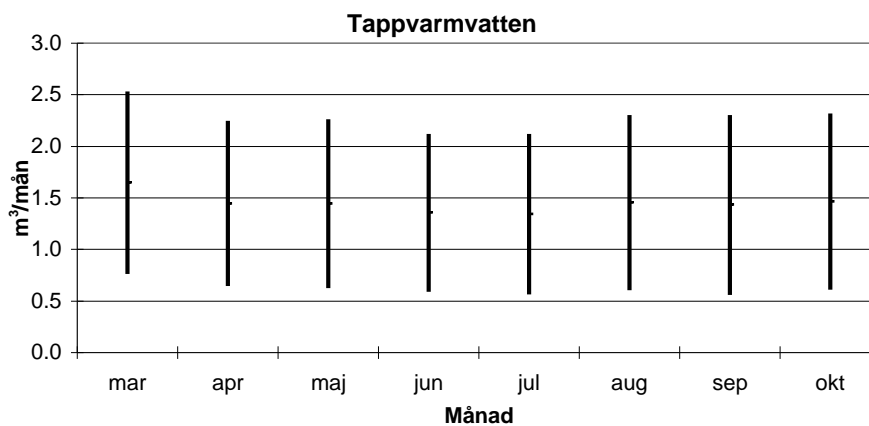
**Figur 3.** Förbrukning av hushållsel per lägenhet. Medelvärde samt spridning  $\pm 1$  standardavvikelse.

### Tappvattenbehov

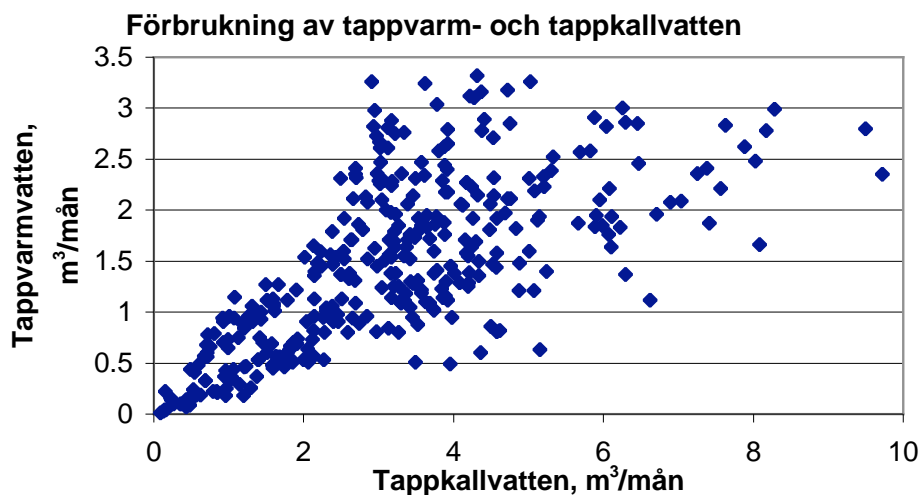
Förbrukning av tappvatten varierar kraftigt. Tappkallvattenförbrukningen är  $42 \pm 22$  m<sup>3</sup>/lgh,år och tappvarmvattenförbrukningen är  $23 \pm 19$  m<sup>3</sup>/lgh,år. Förbrukningen varierar marginellt över året, se figur 4 och 5. I medeltal är förbrukningen av tappkallvatten ungefär dubbelt så stor som förbrukningen av tappvarmvatten, se figur 6.



**Figur 4.** Förbrukning av tappkallvatten per lägenhet. Medelvärde samt spridning  $\pm 1$  standardavvikelse.



**Figur 5.** Förbrukning av tappvarmvatten per lägenhet. Medelvärde samt spridning  $\pm 1$  standardavvikelse.

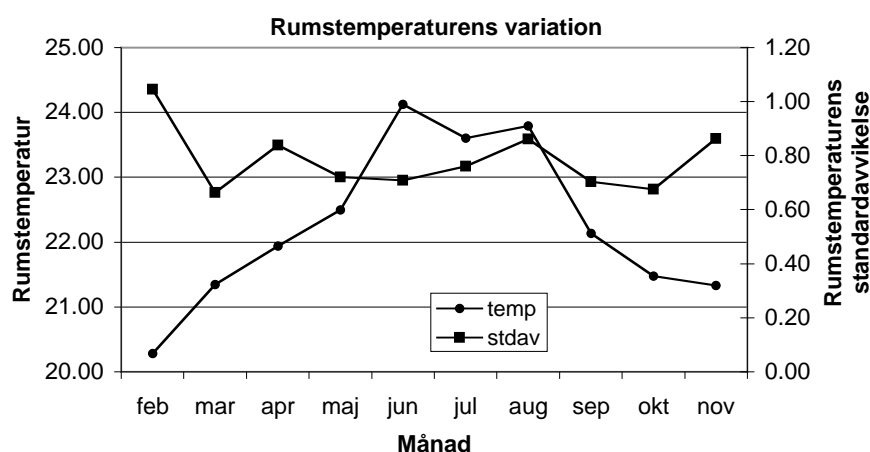


**Figur 6.** Förbrukning av tappvarmvatten i relation till tappkallvatten. Varje punkt anger mängden kall- och varmvatten för en enskild lägenhet och månad.

## Rumstemperatur

Ett allmänt önskemål är att rumstemperaturen håller sig inom det komfortabla området. KBAB har som policy att sträva mot rumstemperaturen 21°C i sitt lägenhetsbestånd. Temperaturen bör inte understiga detta värde med hänsyn till värmekomfort. Temperaturen bör vintertid inte heller överstiga detta värde för att undvika onödigt höga värmeförluster. Driftstatistik saknas fortfarande för vinterperioden men tendensen under höstmånaderna ger oss en fingervisning i förtid.

Det månatliga medelvärdet av lägenheternas rumstemperatur har under hela perioden överstigit 21°C, förutom under februari vilket var inflyttningsmånad (inflyttning 23/2) med delvis obebodda lägenheter, se figur 7. Rumstemperaturens variation mellan lägenheterna, beräknat utifrån månadsmedelvärde för respektive lägenhet, har en standardavvikelse understigande 1°C.



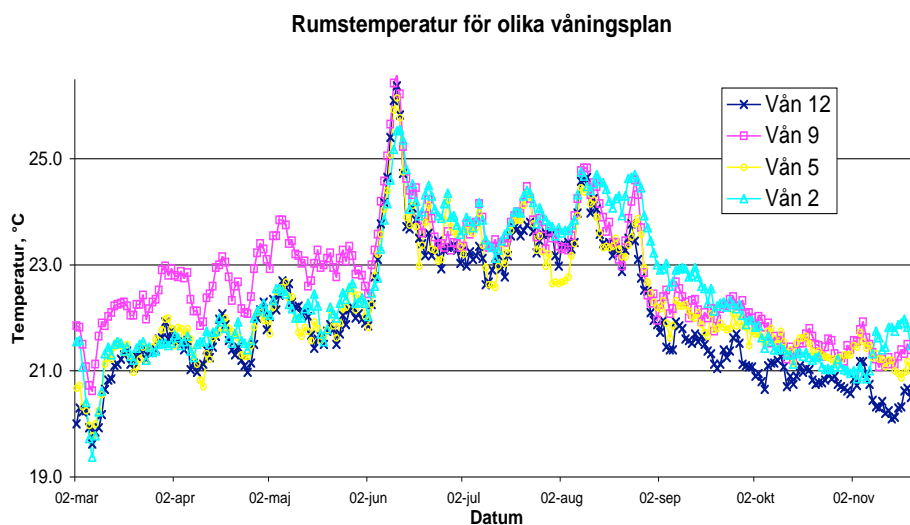
**Figur 7.** Medelvärde av samt standardavvikelse för lägenheternas rumstemperatur.

En utförligare bild av rumstemperaturernas variation redovisas i figur 8. Här visas även rumstemperaturens variation för lägenheter på olika våningsplan. Rumstemperaturen följer utetemperaturens svängningar, och en värmebölja i början av juni med dagstemperaturer över 25°C får samma genomslag i alla lägenheter.

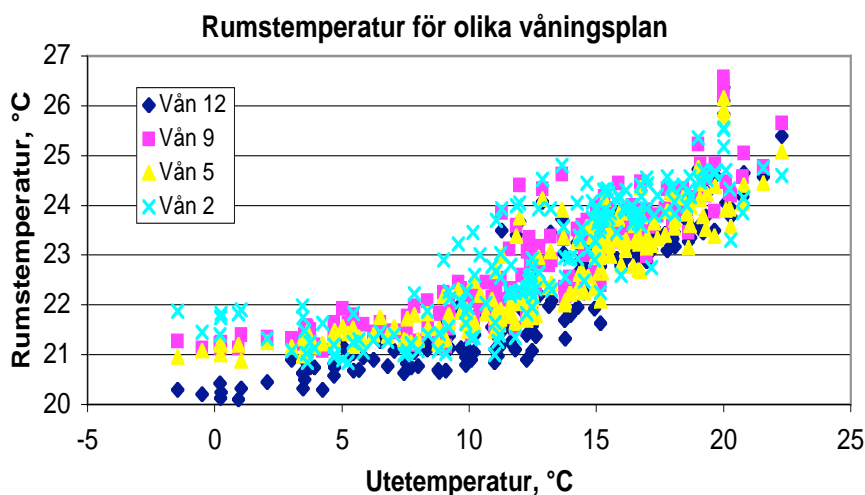
Lägenheter på våning 9 tycks ha en högre rumstemperatur än övriga lägenheter. Fenomenet är tydligt under våren, men försvinner helt under sommar och höst. Regelbundenheten antyder systematisk missvisning hos givaren. Den fortsatta mätdatainsamlingen får utvisa om fenomenet återkommer.

Rumstemperaturens variation mellan olika lägenheter minskar under hösten då värmebehovet ökar. Golvvärmesystemets termostater är inställda med börvärde 21°C och rumstemperaturen tenderar att plana ut mot detta värde för allt lägre utomhustemperatur. Lägenheterna på våning 12 avviker från denna tendens med rumstemperaturer som snarare tycks plana ut någonstans mellan 20 och 21°C. Väljer vi att plotta rumstemperatur mot utetemperatur, se figur 9, syns detta ännu tydligare. Problemet uppmärksammades mycket tidigt efter inflyttning och åtgärdades enligt beskrivning under "Värmeisolering av vindsbjälklag". De senaste

månadernas mätdata pekar på att ytterligare åtgärder behöver vidtas för att uppnå den önskade rumstemperaturen 21°C.



**Figur 8.** Rumstemperaturens dygnsmedelvärde för lägenheter på olika våningsplan.



**Figur 9.** Rumstemperaturens dygnsmedelvärde för lägenheter på olika våningsplan som funktion av utetemperaturens dygnsmedelvärde.

Ett mycket välisolerat hus har svårt att bli av med sitt värmeöverskott sommartid. Särskilt utsatta är lägenheter med stort solvärmestillskott samt lägenheter med hög förbrukning av hushållsel. Svenska bostäder är normalt inte utrustade med anläggningar för komfortkyla, så inte heller Kv Seglet. De möjligheter som står till buds för att undvika besvärande höga rumstemperaturer sommartid är solskyddsåtgärder samt vädring. För Kv Seglet har dessa möjligheter utnyttjats genom att förse fönstren mot söder med solskyddsglas samt att välja fönster som enkelt kan ställas i vädringsläge.

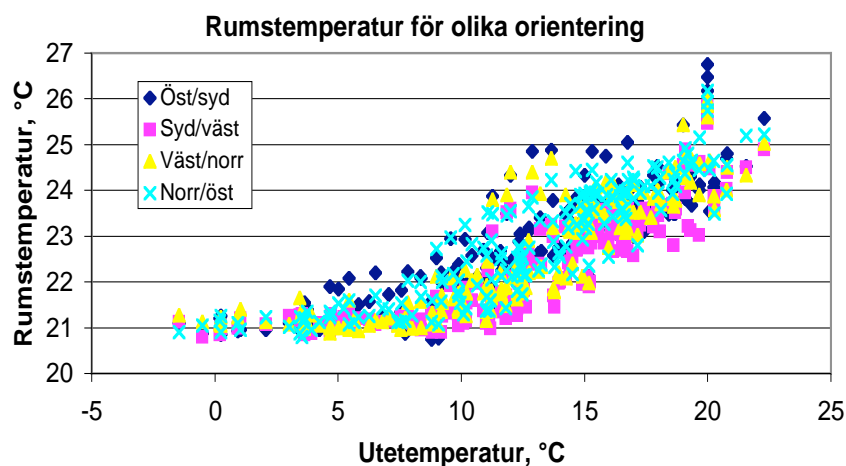
Varje våningsplan i Kv Seglet har samma planering, två tvåor och två treor. Tvåorna har sina fönster mot söder/öster respektive öster/norr. Treorna har således kompassriktningarna söder/väster respektive väster/norr. De stora fönsterpartierna i tvåorna ligger i riktning mot öster och i treorna mot väster. Huskroppen ligger helt oskyddad för väderpåverkan i nordlig

och östlig riktning. Mot söder och väster finns huskroppar som delvis kan skugga de nedre våningsplanen.

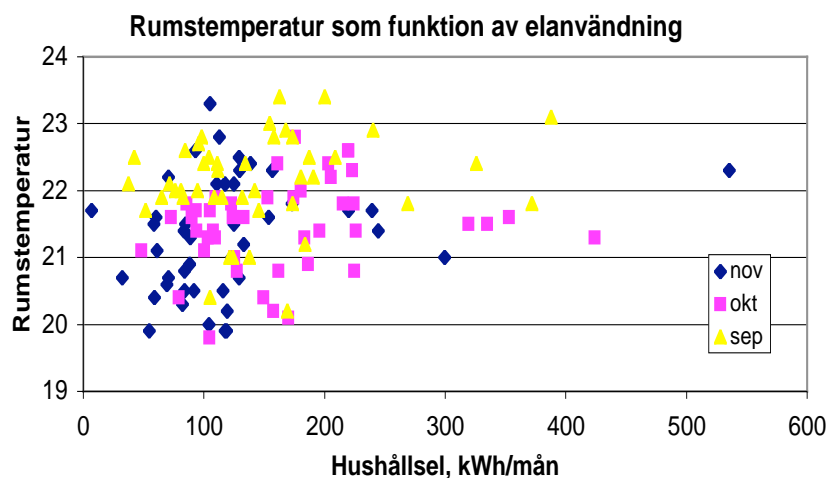
En jämförelse av rumstemperaturer för lägenheter med olika orientering finns redovisad i figur 10. Spridningen i rumstemperatur mellan enskilda lägenheter ökar med ökande utetemperatur, men det är svårt att se någon tydlig trend att lägenheter med orientering mot söder skulle ha högre rumstemperatur än andra lägenheter.

Motsvarande jämförelse av rumstemperaturer för lägenheter med olika användning av hushållsel redovisas i figur 11.. Skillnaden mellan låg- och högförbrukare är mer än 200 kWh/mån. Skillnaden borde motivera klart högre rumstemperatur hos högförbrukarna än hos lågförbrukarna. I synnerhet gäller detta resonemang under september då golvvärmsystemet endast är i drift vid enstaka tillfällen och uppvärmningsbehovet till största delen täcks av internvärme. Figuren visar att det inte finns någon tydlig koppling mellan användning av hushållsel och rumstemperatur.

Denna förenklade analys indikerar att de boende i Kv Seglet på ett effektivt sätt klarar att vädra bort överskottsenergin. En förfinad analys är inplanerad inom projektet.



**Figur 10.** Rumstemperaturens dygnsmedelvärde för lägenheter med olika orientering som funktion av utetemperaturens dygnsmedelvärde.



**Figur 11.** Rumstemperaturens månadsmedelvärde som funktion av lägenhetens förbrukning av hushållsel.

## **Miljöbedömning av energianvändning**

### **Om miljöbedömningen**

Att bedöma miljöeffekter av energianvändning är komplicerat eftersom energisystemen i sig är komplexa. Man kan påverka utfallet av bedömningen avsevärt genom val av systemgräns, genom val av medelvärden eller marginaleffekter, etc. Eftersom det inte råder konsensus inom området redovisas här kort grunderna för nedanstående bedömning.

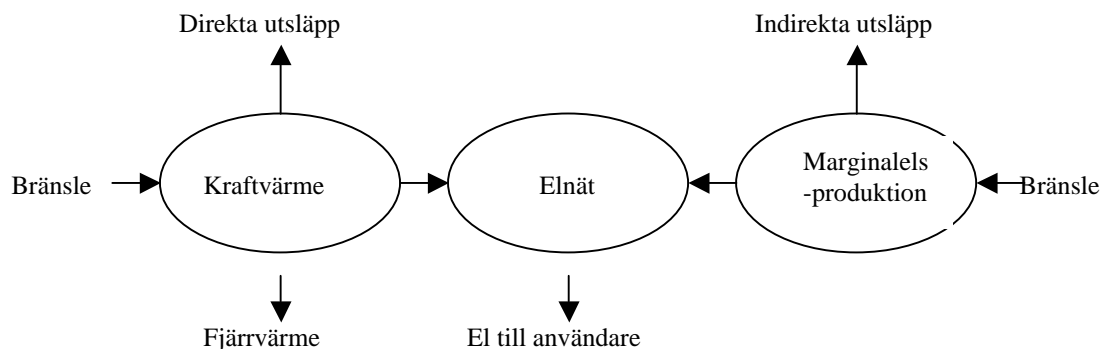
Såväl Kv Seglet som ett fiktivt referensobjekt använder fjärrvärme från Karlstads Energi AB samt el. För el gäller att miljöbelastningen kan beräknas från den genomsnittliga miljöbelastningen från Sveriges eller nordens elproduktion, alternativt som den miljöbelastning som uppstår på grund av en tillkommande elproduktion (s k marginalel). Det senare synsättet speglar den faktiskt uppkomna miljöpåverkan när elanvändningen ökar eller minskar och är att föredra när man beslutar om nyinvesteringar. Ett problem i sammanhanget är att elproduktionens sammansättning med stor sannolikhet kommer att förändras under byggnadens livslängd. En ökad elanvändning idag medför en ökad användning av elproduktion i kolkraftverk med stora utsläpp av bl a koldioxid. I framtiden kan förändringar i elsystemet påverka helt andra kraftslag. Många bedömare menar att det är troligt att kraft från fossilgas blir s k marginalel inom 15-25 år. Avregleringen av EU's elmarknad innebär att det nordiska nätet troligen blir allt mer sammanlänkat med kontinentens. Det är osannolikt att all fossilbaserad el inom EU skulle vara borta inom de närmsta decennierna. I föreliggande miljöbedömning anses el komma från fossilgaseldade kraftverk med de bästa prestanda som finns idag (verkningsgrad 0,58). KBAB har visserligen köpt andelar i vindkraftverk för att täcka delar av Kv Seglets elanvändning, men eftersom detta egentligen inte har något med byggnadens utformning att göra bortses från detta i jämförelsen.

När en byggnad använder fjärrvärme från ett fjärrvärmeverk är miljöbedömningen normalt relativt okomplicerad. För Kv Seglet finns några aspekter som komplicerar bedömningen.

Kv Seglet använder fjärrvärme från returledningen. Det innebär att temperaturen på fjärrvärmereturen sjunker. Detta skulle kunna innebära att effektiviteten i fjärrvärmeverkets rökgaskondensering ökar, vilket innebär att mer fjärrvärmeenergi kan produceras med samma mängd bränsle. Detta skulle i så fall kunna räknas Kv Seglet tillgodo. I brist på data har vi här räknat med två extrempunkter, 1) att den fjärrvärmeenergi Kv Seglet använder kompenseras helt av ökad effektivitet i fjärrvärmeverket, dvs Kv Seglet belastas inte alls av fjärrvärmeanvändningen, och 2) att ingen hänsyn tas till eventuell ökning av effektiviteten, dvs miljöpåverkan beräknas som om Kv Seglet fick primär fjärrvärme.

Den andra aspekten som komplicerar är att det finns kraftvärme i systemet, dvs samtidig produktion av el och fjärrvärme. Ett ökat fjärrvärmeuttag innebär att elproduktionen kan öka. Eftersom denna elproduktion kan antas ersätta den dyraste elproduktionen i systemet (återigen marginalel) innebär det att en ökad fjärrvärmeanvändning kan leda till minskade koldioxidutsläpp från kolkraften (se figur 12). Eftersom elproduktion i kraftvärmeverk är mycket bränsleeffektiv så kan en ökning av fjärrvärmen med 1 MWh innebära att den totala bränsleanvändningen i systemet (kolkraften inräknad) endast innebär en ökning av 0,5 MWh bränsle. Variationen är dock stor beroende på hur effektiv elproduktionen är på respektive anläggning, samt hur stora kulvertförlusterna i fjärrvärmenätet är. I föreliggande

miljöbedömning beräknas två fall: 1) fjärrvärmeanvändningen påverkar inte kraftproduktionen samt 2) för 1 MWh köpt fjärrvärme antas 0,1 MWh el produceras och ersätta el från kolkraftverk.



**Figur 12.** En ökad användning av fjärrvärme från ett kraftvärmeverk leder till att bränsleanvändning och utsläpp från kraftvärmeverket ökar. Den el som produceras kan dock konkurrera ut den elproduktion som vid tillfället har högst produktionskostnad, s k marginalel, och därmed minska bränsleanvändning och utsläpp från dessa kraftverk. Är marginalelen fossilbaserad kan de totala koldioxidutsläppen i systemet minska vid ökad fjärrvärmeanvändning.

Den tredje aspekten är att både avfall och biobränsle, samt lite olja, används som bränslen. I de nya standarder som utarbetas kommer miljöbelastning från avfallsförbränning att tillskrivas de produkter som genererat avfallet, dvs fjärrvärmekunden orsakar (nästan) ingen miljöpåverkan<sup>6</sup>. En fullständig miljöbedömning av alla miljöparametrar blir mycket komplicerad. I denna studie används koldioxidutsläpp eftersom det är det miljömål som är svårast att nå och allmänt högt prioriterat. Som komplement används bränsleenergi eftersom det speglar en effektiv resursanvändning. Ju effektivare energin användes, oavsett bränsleslag, desto större möjligheter finns att avveckla de energislag som har högst miljöpåverkan. Här antar vi för enkelhetens skull att bränslet för fjärrvärmes är flis och att inga koldioxidutsläpp genereras vid förbränningen. Miljöpåverkan för att ta fram bränslet till pannan försummas både för fjärrvärmes och för elproduktionen (kraft från fossilgas). Togs denna del med skulle miljöpåverkan stiga med storleksordningen 10%. Likaså har kulvertförluster försummat i beräkningarna.

### Kort beskrivning av energisystem och energianvändning

Kv Seglet använder som nämnts fjärrvärme från returledningen för uppvärmning. På grund av det låga effektbehovet för uppvärmning räcker temperaturen på detta vatten. För att få önskad temperatur på tappvarmvattnet måste dock en värmepump användas.

Ett fiktivt referensobjekt med energiförbrukning enligt kraven i BBR (120 kWh/m<sup>2</sup> exklusive hushållsel) har använts i miljöbedömningen. Referensobjektet antas använda en frånluftsvärmepump för uppvärmning av tappvarmvatten. I nedanstående tabeller anges uppmätta samt antagna värden.

<sup>6</sup> Anonym 200X.Environmental Product Declaration. Product category rules, electricity, steam and hot and cold water generation and distribution. Draft. Tillgänglig på <http://www.environdec.com/page.asp?id=131&menu=1,3,0&pcrId=243> 2007-11-27.

Tabell 4. Energianvändning i Kv Seglet (MWh, uppmätt, preliminär), samt ett referenshus som precis klarar kraven i BBR (120 KWh/m<sup>2</sup>). Användningen av hushållsel varierar stort mellan brukare, men det finns skäl att anta att användningen är något lägre i Kv Seglet på grund av medvetna val av energieffektiva vitvaror.

	Energislag	BBR	Kv Seglet
Uppvärmning	Fjärrvärme	220	51
Varmvatten	Fjärrvärme		38
Varmvatten	El (VP)	25	15
Hushållsel	El	110	80
Fastighetsel	El	70	48

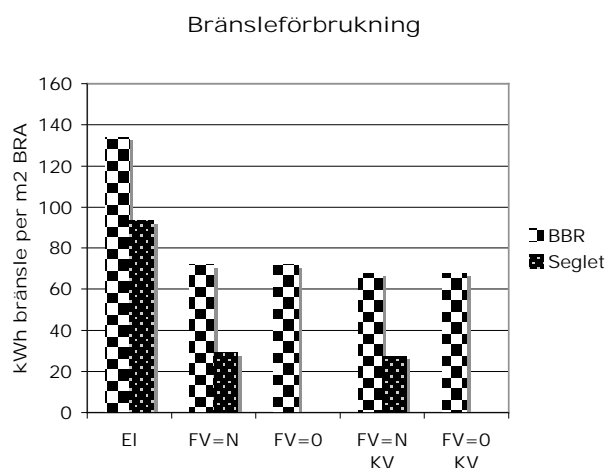
Tabell 5. Summering av köpt energi fördelat på el och fjärrvärme.

Energislag	BBR	Kv Seglet
Fjärrvärme	220	89
El	205	143

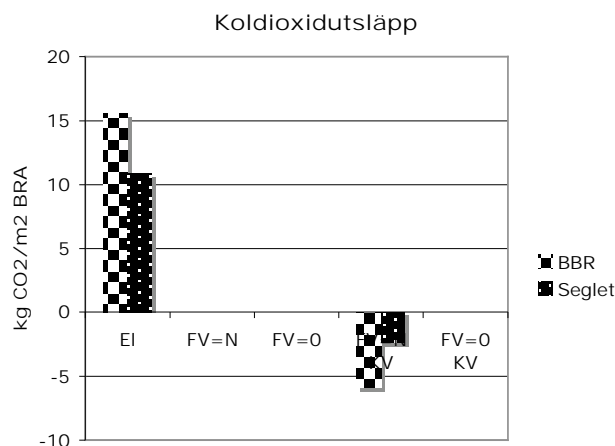
Kv Seglet har en bostadsyta på 2640 m<sup>2</sup> (BRA).

## Resultat

Resursanvändning i form av bränsle samt koldioxidutsläpp för de bägge byggnaderna återges i figur 13 och 14. Resultaten är beräknade för följande alternativ: El (köpt el, fossilgaskraft), FV=N (normal fjärrvärme), FV=0 (Kv Seglet antas inte öka bränsleanvändningen pga effektivare rökgaskondensering i fjärrvärmeverket), samt de bägge senare alternativen när fjärrvärmens antas komma ifrån kraftvärme.



**Figur 13.** Bränsleförbrukning för köpt el samt för fjärrvärme. Kv Seglet använder som väntat betydligt mindre bränsle än BBR-huset för alla alternativ. Bränsleåtgången för fjärrvärmens är betydligt mindre än bränsleåtgången för att producera el. Hur Kv Seglets användning av fjärrvärmereturen påverkar bränsleanvändningen är oklart, men ligger emellan resultaten för FV=0 och FV=N. Om fjärrvärmens antas komma ifrån ett kraftvärmeverk sjunker bränsleanvändningen något eftersom produktionen av marginalet kan minska. Hade dagens marginalet med kolkraft använts i beräkningarna hade bränsleanvändningen halverats för fjärrvärme ansluten till kraftvärme.



**Figur 14.** Eftersom fjärrvärmen antas komma ifrån koldioxidneutrala bränslen kommer de enda koldioxidutsläppen från köpt el. Om fjärrvärmen antas komma ifrån ett kraftvärmeverk blir koldioxidutsläppen negativa eftersom produktionen av fossilbaserad marginal kan minska. I detta fall leder en ökning av fjärrvärmeanvändningen till en minskning av koldioxidutsläppen. Innan man öppnar varmvattenkran bör dock figur 1 studeras... Eftersom biobränslen på sikt är en begränsad resurs leder en ineffektiv biobränsleanvändning till att det blir svårare att ersätta fossila bränslen. Notera att om Kv Seglet genom sin användning av fjärrvärmereturen inte antas förbruka bränsle så kan Kv Seglet inte heller tillgodoräkna sig de negativa koldioxidutsläppen till följd av ökad elproduktion i kraftvärmeverket.

För en enkel jämförelse med andra lågenergibyggnader har även behovet av köpt energi per area beräknats. För uppvärmning använder Kv Seglet 19 kWh/m<sup>2</sup>. Total mängd köpt energi är 89 kWh/m<sup>2</sup>.

## Diskussion

Att Kv Seglet använder lite resurser och orsakar låg miljöbelastning för sin energiförsörjning relativt traditionellt byggande står utom tvivel. Med ett behov av 89 kWh köpt energi per m<sup>2</sup> är byggnaden bland de bästa i landet, och vida bättre än den genomsnittliga byggproduktionen. I denna studie har vi ej beräknat prestanda jämfört med de passivhus och de lågenergibyggnader som uppförts under de senaste åren. Som jämförelse kan dock nämnas hyreshuset Jöns Ols i Lund som har ett behov av köpt energi på 84 kWh/m<sup>2</sup>, tillkommer ca 10 kWh/m<sup>2</sup> från solvärme. Byggnaden har ett mycket bra klimatskal, frånluftsvärmepump för beredning av tappvarmvatten, samt fjärrvärme för uppvärmning. De omskrivna passivhusen i Lindås använder ca 68 kWh/m<sup>2</sup> (enbart el) plus solvärme, totalt 78 kWh/m<sup>2</sup>. Med tanke på att Kv Seglet ligger i ett kallare klimat är resultatet mycket bra<sup>7</sup>.

Man kan konstatera att för så välisolerade byggnader som Kv Seglet har uppvärmningen en relativt liten andel av den totala resursanvändningen och miljöbelastningen. Fastighetsel, hushållsel och el till värmepumpar ger störst behov av energiresurser och störst miljöpåverkan. För att ytterligare förbättra miljöprestanda bör fokus ligga på åtgärder som kan minska elanvändningen. Hade dagens marginaler i form av kolkraftanläggningar antagits

<sup>7</sup> Warfvinge C. 2005. KV Jöns Ols i Lund – energisnålt och lönsamt flerfamiljshus med konventionell teknik. WSP Environmental Byggnadsfysik. Malmö.

hade elens andel av miljöpåverkan ökat än mer. Antas svensk eller nordisk medelvärd blir elens andel lägre. Det senare alternativet speglar dock inte den faktiska skillnaden som uppstår i valet mellan att använda fjärrvärme eller el.

Om fjärrvärmen hämtas från kraftvärmeanläggningar blir resursanvändningen för fjärrvärme mycket låg, och utsläppet av koldioxid (samt fler föroreningar) kan till och med minska eftersom elen från kraftvärmeverket ersätter fossilbaserad el. För att göra en bättre bedömning av dessa effekter behöver en analys göras över hur fjärrvärmeanvändningen marginellt påverkar produktionen av el vid Karlstads Energis anläggningar. Vidare behöver en analys göras för hur sänkningen av fjärrvärmereturen från Kv Seglet påverkar energiutbytet vid rökgaskondenseringen.

Exemplet med kraftvärmen visar att det är uppenbart att det behövs bättre standarder för hur miljöbelastningen ska beräknas för olika tillförselsystem. Det finns fler exempel. Ofta räknas inte värmen från en solfångare in i husets energianvändning. Ska andelar i vindkraft räknas på samma sätt? Ur miljösynpunkt är det bättre att investera i vindkraft istället för en solfångare om fjärrvärme från kraftvärmeanläggningar finns tillgänglig.

#### **Slutsatser**

- Kv Seglet är en mycket energieffektiv byggnad med relativt sett låg miljöpåverkan för sin energitillförsel.
- Elanvändningen svarar för en betydligt högre andel av miljöpåverkan än uppvärmningen.
- Utfallet av beräkningarna påverkas i hög grad av hur fjärrvärmeanvändningen påverkar driften vid Karlstad Energi AB's anläggningar. Detta måste utredas innan en noggrannare analys kan göras.
- Avsaknaden av standarder inom området medför att resultatet kan påverkas avsevärt genom val av systemgränser.

# Boverket

Box 534, 371 23 Karlskrona  
Tel: 0455-35 30 00. Fax: 0455-35 31 00  
[www.boverket.se](http://www.boverket.se)