

CERBOF 69, SBUF 12368

December 2011

Effektiv projektering av lägenergihus



Stefan Dehlin & Katarína Heikkilä



Thomas Olofsson, Jutta Schade,
Tamas Racz & Per-Erik Eriksson

Sammanfattning

Byggbranschen står inför stora miljö- som affärsmässiga utmaningar med krav på att reducera energiförbrukning och miljöpåverkan. Detta projekt syftar till att bidra med kunskap hur energiprojektering kan effektiviseras vid nyproduktion av lågenergibygnader där det övergripande målet är att stödja ett långsiktigt hållbart och lönsamt byggande. Studien har genomförts i samverkan mellan byggbransch och akademi genom fallstudier och enkätundersökningen.

Resultatet visar på behovet och nyttan av att redan i tidigt planeringsskede utreda konsekvensen av olika alternativ av exempelvis byggnadsutformning och klimatskärmens tekniska prestanda. Det spelar mindre roll vilket energiberäkningsverktyg man använder om resultatet används för att jämföra olika alternativ med varandra.

Skillnaderna i krav och institutionella ramverk vad gäller energiprestanda påverkar också projektering av energieffektiva byggnader. En jämförande studie av hur man hanterar energifrågor från krav till färdig lösning mellan Tyskland och Sverige visar på ett behov av vidareutbildning i energifrågor för arkitekter och ingenjörer i Sverige som kommer in tidigt i byggprocessen. Undersökningen och jämförelsen pekar också mot ett behov av en sammanlänkande funktion, här kallad energisamordnare. Energisamordnarens roll är att föra in energikompetens in i projektet, säkerställa att krav och mål formuleras och hanteras samt aktivt delta i projekteringen för att guida utformningen av byggnaden mot en effektiv och låg energiförbrukning.

Vi kan konstatera att det är marknadskrafter och engagemang från byggare, beställare och lokala myndigheter snarare än nationella krav som driver energieffektivisering framåt i Sverige idag. Det kan emellertid leda till en situation där krav på energieffektivitet blir lokalt satta vilket kan leda till svårigheter för utvecklare av olika typer av byggnadssystem för bostäder och lokaler. Därför är det önskvärt att utvecklingen av byggnadstekniken som skett de senaste åren också följs upp av Boverket i form av krav som ligger i framkant snarare än minimikrav för att förhindra att en flora av lokala krav uppstår som kan verka som "handelshinder" för den fortsatta utvecklingen av det industriella byggandet i Sverige.

Vi ser också ett tydligt behov för ökad samverkan och integration för att kunna driva energieffektiviseringen framåt men samtidigt också ett tydligt behov av att utveckla upphandlings- och samverkansformer för att möjliggöra detta. Upphandlingen, till exempel, bör utformas så att lämpliga aktörer väljs utifrån mjuka parametrar och involveras tidigt under projekteringsskedet samt ges ekonomiska incitament kopplade till projektets mål, ekonomi och tidplan.

Projektet har också undersökt hur man skall åstadkomma en mer integrerad projekteringsprocess genom att:

- Skapa en struktur för att samla, uttrycka och klargöra mål och krav och utveckla dessa mot funktionskrav och tekniska lösningar.
- Genomföra en modellbaserad projektering som detaljerar tekniska lösningar allteftersom de utvecklas.

- Införa beslutsstöd för energifrågor i projektutveckling där produktens prestanda successivt jämförs mot funktionskrav med hjälp av alltmer detaljerade prestandaanalyser.

I projektet har också ett nyutvecklat formellt beslutsstöd exemplifierats där flera alternativa lösningar kan utvärderas mot olika kriterier (MADM) vilka kan organiseras och viktas hierarkiskt utifrån projektets mål och krav.

I projektets har en prototyp, en så kallad energikonfigurator, utvecklats för att effektivisera produkt och projektutveckling av s.k. konceptbyggande. Användandet har demonstrerats på NCC:s koncept P303 där man optimerat konfigureringen i produkt och projektutveckling efter både subjektiva och objektiva kriterier som tänkas efterlikna ett visst kundsegment. Hundratals alternativa utformningar kan utvärderas på några minuter i jämförelse med dagar och veckor om samma analyser skulle göras för hand med hjälp av energiberäkningsprogram med manuell inmatning av indata.

För att effektivisera projekteringen mot ett energieffektivt byggande rekommenderar projektet att:

- Man tidigt upphandlar och involverar de viktigaste aktörerna så att man tidigt kan inkludera energiaspekter i utformning av koncept.
- Beställaren aktivt deltar i kravformuleringen och i analys- och beslutsprocessen. Dels för att säkerställa val mot uppställda krav och behov och dels för att tillgodose de praktiska behov som uppstår i och med en integrerad och modellbaserad projekteringsprocess.
- Utse en energisamordnare som skall säkerställa att formulerade energikrav och mål hanteras optimalt för att guida utformningen av byggnaden mot en effektiv och låg energiförbrukning.
- Använda en modellbaserad projekteringsprocess för utformning, simulering och analys av konceptlösningar gentemot energirelaterade aspekter.
- Energianalyser som görs i tidigt skede används för att jämföra olika alternativa utformningar. När detaljeringsnivån ökar bör man använda dynamiska verktyg och för att beräkna energiförbrukning och inneklimat på rumsnivå. Man bör tidigt inkludera utformning av t ex ventilation och eventuella maskinrum då de kan ha stor inverkan på energiförbrukningen.
- Man utför prestandaanalyser av energi och inneklimat innan man fryser design av klimatskärm och VVS så att resultatet kan guida konstruktörer och installatörer i den slutliga utformningen av systemhandlingarna.
- Man i driftfasen utför en mer automatisk och kontinuerlig jämförelse mellan simulerad och verklig energiförbrukning för att bekräfta att byggnaden uppfyller initiala krav samt för att inhämta data och erfarenheter för vidare optimering eller andra framtida projekt.

Förändring sker i och med att beställaren möjliggör en miljö som initierar och stödjer en hög grad av samverkan och integration mellan inblandade aktörer, där tyngden på beslutsfattandet flyttas till ett tidigare skede, där rätt kompetenser kan komma in vid rätt tillfälle och där fokus är på slutprodukten och dess livscykel och inte på avskilda åtaganden.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	2
1. Introduktion	6
Bakgrund och motivation	6
Syfte och omfattning	9
Metod och projektupplägg	9
Disposition i rapport	10
Projektorganisation	11
Finansiering	11
Publikationer	11
2. Energiprojektering av bostadshus idag	12
Hantering av energikrav i byggprocessen	12
Energikrav vid nyproduktion	13
Energiklassningssystem	15
Hjälpmedel och handledning vid nyproduktion	19
Sammanfattning	22
3. Energiprojekterings påverkan av institutionella ramverk och marknadskrafter	24
Bakgrund	24
Energiprojektering i Tyskland och Sverige: En enkätstudie av skillnader och likheter	25
Konsekvensanalys: Energianalyser i detaljprojekteringskedje	27
Konsekvensanalys: utvärdering av ekonomisk lönsamhet	28
Summering och avslutande kommentarer	29
4. Integrerad energiprojektering	30
En modellbaserad projekteringsprocess	30
Från behov till funktionskrav och tekniska lösningar	31
Briefing	33
Konsekvensanalyser	34
Beslutsprocess	36
Energianalyser i en modellbaserad projekteringsprocess	40
Uppföljning, verifiering och erfarenhetsåterföring	42
Energisamordnare	42
Partnering i tidiga skeden för att underlätta energiprojektering	43
5. Energianalyser i ett industriellt konceptbyggande	45
Industriellt konceptbyggande	45
Energianalyser i konceptutveckling och projektutveckling	46
Demonstration	47
6. Slutsatser	54
7. Referenser	56

1. Introduktion

Bakgrund och motivation

Byggbranschen står inför stora miljö- som affärsmässiga utmaningar med krav på att reducera energiförbrukning och miljöpåverkan samtidigt som man ska sänka kostnaderna, öka sina marginaler och förbättra kvaliteten på byggandet. Byggandet måste bli långsiktig mer hållbarhet och lönsamt. Detta projekt syftar till att stödja projektering av mer energieffektiva flerbostadshus, så kallade lågenergihus.

Politiska styrmedel

Uppvärmning och nedkylning av Europas fastighetsbestånd står idag för den största andelen, ca 40 %, av den totala energiförbrukningen. Potentialen att minska energiförbrukningen i bostäder och fastigheter har resulterat i att man har satt upp politiska mål – både nationellt och inom EU – för energieffektivisering. Mål som kontinuerligt har skärps det senaste decenniet. Sveriges riksdag har antagit EU:s energisparmål att all bebyggelse skall använda 20 % mindre energi år 2020 och 50 % mindre år 2050 (jämfört med år 1990).

Detta mål är dock inte rättsligt bindande som till exempel EUs strategi för förnybar energi. Man förlitar sig istället på drivkrafter från nationella regler och marknadskrafter. Man uppskattar till exempel att en minskning av energianvändandet till 20 % inom EU resulterar i två miljoner nya jobb under nästföljande årtionde, huvudsakligen för byggsektorns aktörer som i sin tur kan stimulera ekonomin för andra sektorer.

Till detta följer "Direktivet för byggnaders energiprestanda" som har antagits av alla medlemsländer i EU. Direktivet anger att energianvändningen för alla nybyggda hus ska vara nära noll år 2020. I EU-direktivet används begreppet "almost zero energy homes". Detta kommer att innebära att energicertifikaten kommer att få en större betydelse då direktivet preciserar att information om en byggnads energiprestanda måste anges redan i försäljningstillfället.

Slutsatsen är att en effektivare energianvändning och nya energisnåla byggnader är nödvändigt för att säkra EU:s långsiktiga energisparmål.

Nationella krav för lågt ställda?

Krav på energiprestanda i fastighetsbeståndet styrs av Svenska regelsamlingen för byggande - Boverkets Byggregler (BBR). Det är huvudsakligen de olika energirelaterade egenskaper hos byggnadsskalet som regleras. Dagens krav (BBR 2006) anger en miniminivå på 110 kWh per kvadratmeter och är för nybyggda bostäder i Sydsverige, och dessa krav kommer att sänkas med 20 % till 90 kWh i den nya författningen som träder i kraft den 1 januari 2012.

Ser man på enskilda beställare så har de dock ofta strängare krav. NCC Boende, till exempel, har krav på 75 kWh per kvadratmeter och är och siktar på ytterligare reduktion till 30 kWh per kvadratmeter och år inom de kommande 7-8 år.

Även tillbaka i tiden kan man konstatera att det ofta har varit andra faktorer än de nationella kraven som har varit drivande i energieffektivisering. Ett exempel går tillbaka till tiden efter energikrisen på 1970-talet då man kunde se goda framsteg i reducering av energianvändning, en utveckling som under senare tid avstannade. Anledningen till det var troligtvis en kombination av förutsättningar: energibesparingsvinster kom i början relativt enkelt med små förändringar. Denna effekt avstannade emellertid samtidigt som fokus på sänkta byggkostnader gradvis ökade till att vara mer drivande i byggprocessen än byggregler och incitament att sänka energi- och driftskostnader.

En fortsatt positiv utveckling av energieffektiviseringen ställer högre krav på byggprocessen i form av processutveckling som nya metoder och hjälpmedel samt stöd i kravställandet och projektering av bostäder och lokaler.

Behov av förändring ger nya möjligheter

En direkt konsekvens av ökade krav på energieffektiva hus är att det blivit nödvändigt att tidigt ta hänsyn till energirelaterade aspekter ur ett livscykelperspektiv i planering och projektering av nya byggnader. Processen behöver dock effektiviseras och renodlas.

Att bygga energisnålt behöver inte betyda merkostnader och avkall på funktion och estetik. Se det som en möjlighet att vidareutveckla byggandet att färdigställa energieffektiva och estetiska byggnader effektivt. Den som blir duktig på energieffektivisering och kan säkerställa god energiprestanda av sina produkter vinner också större marknadsandelar. Beställare får bättre produkter med billigare drift och entreprenörer och konsulter har kontroll över sina processer och kostnader och ökar därmed sina konkurrensfördelar, se exempel Figur 1:1, Figur 1:2. Man kan rimligtvis anta att en sundare, mer hållbar och lönsam byggsektor bidrar bättre till att skapa ett hållbarare Sverige.



FIGUR 1:1 NCC BYGGER 160 HYRESRÄTTER I VÄSTERÅS
MED ENERGIANVÄNDNING NÄRA KRAVEN TILL
PASSIVHUS



FIGUR 1:2 NCC BYGGER 84 ENERGI- OCH
KOSTNADSEFFEKTIVA BOSTADSRÄTTER I ÖREBRO

Ökat samarbete ger bättre kundvärde

Genom att se projektering som en kreativ och problemlösande process som syftar till att utveckla en produkt i steg av att skapa, utveckla och förverkliga idéer så inser man vilken stor roll den sociala kontexten spelar. Man kan alltså säga att projektering är en social och kreativ process. Detta är intressant då innovation, som är starkt sammanlänkat till kreativitet, är något som i hög grad gynnar kundvärde. Ett vanligt missförstånd är att likställa kreativitet med originalitet när det egentligen finns ganska få helt originella innovativa idéer. Det flesta "idéer" som kommer fram i projekteringen är ofta återanvända från tidigare projekt. Dessa idéer kanske fyller sitt grundläggande syfte men saknar att inkludera [gruppens] tidigare erfarenheter. Detta traditionella sätt att arbeta på är kanske effektivt och faktiskt rätt ändamålsenligt men bidrar till en statisk miljö som hämmar kreativitet och då, följaktligen, begränsar möjligheterna till ökat kundvärde. Ett förbättrat socialt kontext gynnar däremot en kreativ miljö där man utifrån erfarenheter och specifik projektfokus intuitivt istället för mekaniskt hanterar idéer att stegvis utveckla en produkt med störst möjliga kundvärde. Ett förbättrat samarbete i ett tidigt skede av projektet underlättar kravformulering och införandet av livscykelaspekter i beslutsprocessen.

Stegen att hantera idéer mot en färdig produkt följs parallellt av en beslutsprocess. Liknande alla andra utav byggnadens karakteristika så fattas också de beslut som bestämmer energiförbrukningen redan i ett tidigt skede av projekteringsprocessen. Några av dessa beslut kan användas till att omformulera några av projektmål till att införlivas in i vidare projekteringsfas. En nyckelfråga blir då:

Hur kan man skapa förutsättningar för att involvera expertis från olika områden som tillsammans tidigt i projekteringsprocessen kan systematiskt integrera livscykelaspekter såsom energiförbrukning i ett tidigt skede av projektet?

Förändring under utarbetande

Byggsektorn genomgår nu en radikal förändring av sin struktur, speciellt så förändras rollerna i byggprocessen. Bostadsbubblan i början av 90-talet medförde att bostadssubventionerna minskade vilket innebar att de kommunala bostadsbolagen ändrade sin roll från att vara beställare till att fokusera mer på förvaltning. Byggherrerollen togs över av byggbolagen vilket då ledde till ett större åtagande i byggprocessen och ett större fokus på kostnadseffektivisering och standardisering.

Vi ser också en teknisk förändring i och med införandet av 3D CAD och byggnadsinformationsmodeller (BIM) i byggprocessen. BIM effektiviserar informationshanteringen och skapar möjligheter att fatta bättre underbyggda livscykelrelaterade beslut tidigare i processen. En sådan förändring kräver dock att man anpassar arbetssättet i den traditionella byggprocessen.

Att använda nya IT verktyg och arbetsmetoder utan att förändra processer leder ofta till små eller inga vinster; att förändra processer utan att anpassa organisation hämmar effektivitet och kommunikation; och att reformera organisation utan att grunda med lämplig miljö för samarbete och incitament till förändring leder ofta till dåligt engagemang och förståelse för förändringen. Därför behöver byggprocessen mer incitament för att främja samarbete och produktfokus. Detta kommer inte bara ha en stor inverkan på möjligheterna att påverka energiförbrukning och lönsamhet

utan dessutom påverka omvärldens syn på byggbranschen som samhällsbyggare och arbetsgivare positivt.

Byggsektorns aktörer har i mångt och mycket insett detta och har och startat upp flera nya initiativ. Detta kan omfatta allt från införandet av konkreta verktyg och metoder till processutveckling eller former för samverkan affärsmodeller. Några av dessa initiativ kommer att redovisas närmare i denna rapport.

Syfte och omfattning

Syftet med detta projekt är öka kunskapen hur energiprojektering kan effektiviseras vid nyproduktion av energieffektiva byggnader där det övergripande målet är att stödja ett långsiktigt hållbart och lönsamt byggande. Projektets skall föreslå rutiner, metoder och organisationer som i ett tidigt skede av projekteringen kan analysera alternativa lösningar för att minimera energiförbrukningen.

Grundförutsättningen är en process där ett flertal olika aktörer, ofta utlokaliserade på olika orter, kan samarbeta effektivt med ett projektfokus där användningen av BIM, byggnadsinformationsmodeller, skall underlätta samverkan, utformning av alternativa lösningar och analyser för att producera beslutsunderlag för beslutsfattarna.

Utvecklingsdelen av projektet kommer att kopplas till utveckling av energisimuleringar i konceptbyggande av flerbostadshus. Aktuellt projekt är avgränsat till att behandla nyproduktion av energieffektiva flerbostadshus, s.k. lågenergihus.

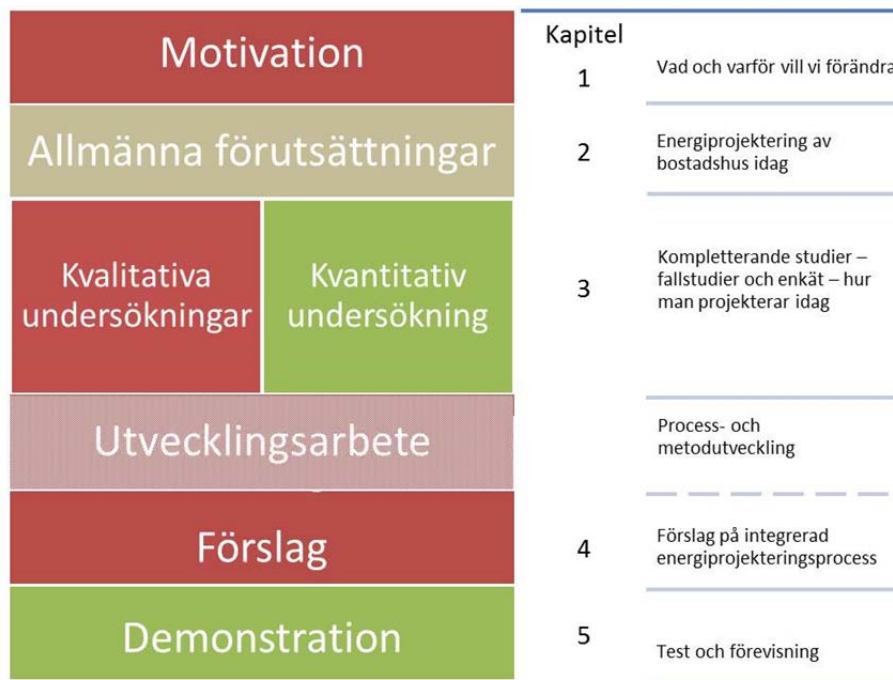
Metod och projektupplägg

Studien som genomförts i samverkan mellan byggbransch och akademi och omfattar inhämtande av kvalitativa och kvantitativa data genom

- fallstudier, samt
- kvantitativ enkätstudie

Syntes och analys har legat till grund för det utvecklingsarbete som har producerat resultat beskrivet i kapitel 4 och demonstrerats i kapitel 5.

Figur 1:3 illustrerar arbetsstruktur, huvudfrågor och kapitelindelning.



FIGUR 1:3 ARBETSUPPLÄGG OCH PRESENTATION

Disposition i rapport

Rapporten som beskriver FoU projektet - *Effektiv projektering av lågenergihus* - består av följande kapitel:

Kapitel 1 – Introduktion avser att ge läsaren en bakgrund till utvecklingsarbetet – en förståelse och motivation till de förslag som presenteras av projektet.

Kapitel 2 – Energiprojektering av bostadshus idag ger en bild av hur man idag arbetar med kravställning och energifrågor i projekteringen.

Kapitel 3 – Fallstudier och enkät bidrar med empiriskt kvalitativt och kvantitativt underlag till utvecklingsarbetet

Kapitel 4 – Förslag på en integrerad energiprojekteringsprocess Konkret förslag som beskriver en utveckling mot ett integrerat och modellbaserat sätt att hantera energifrågor genom projekteringsprocessen.

Kapitel 5 – Demonstration och beskrivning av nyutvecklat verktyg och metod som stödjer en integrerad och iterativ och effektiv beslutsprocess i tidigt projekteringskedje.

Kapitel 6 – Slutsatser från arbetet samt

Kapitel 7 – Referenser består av en förteckning av de källor som hänvisas till i slutrapporten.

Projektorganisation

Deltagarna i detta projekt är från NCC Construction Sverige AB, NCC Teknik, tekn. dr. Stefan Dehlin (projektledare) och tekn. dr. Katarina Heikkilä.

Från Luleå tekniska universitet (LTU) deltar tekn. dr. Thomas Olofsson (Professor, projektansvarig LTU), tekn. lic. Jutta Schade, civ. ing. Tamas Racz samt tekn. dr. Per-Erik Eriksson.

Projektet har fått stöd av referensgrupp bestående av följande personer:

- Anders Rönneblad, Cementa
- Andreas Behm Fredin, Tyréns
- Björn Berggren, Skanska
- Simone Kreuzer, Tyréns

Finansiering

Detta projekt har finansierats av CERBOF – Centrum för Energi och Resurseffektivitet i Byggnad och Förvaltning, SBUF – Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond samt deltagande parter NCC Construction Sverige AB och Luleå tekniska universitet (LTU).

Publikationer

Schade, J., Olofsson, T. & Schreyer, M. (2011). Decision-making in a model-based design process: Construction Management and Economics. 29, 371-382

Jansson, G., Schade, J., Olofsson, T. & Tarandi, V. (2010). Requirements transformation in construction design. In Proceedings of the 27th CIB W78 International Conference in Cairo, Egypt, 16-18 November

Racz, T., & Olofsson, T. (2011). Decision support for configuration systems of industrialized constructions. In Proceedings of the 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2011, 217-222

Abstract till ECPPM 2012 (skickas in i december 2011):

Schade, J., Wallström, P. & Olofsson, T. (2012). The energy consumption task in the construction process for buildings in Germany and Sweden

Heikkilä, K. & Dehlin, S. (2012). Effective design of low energy multifamily houses and knowledge management of energy related issues

Dessutom kommer resultatet spridas internt i NCC och på LTU i populärvetenskapliga artiklar och presentationer.

2. Energiprojektering av bostadshus idag

Sammanställningen i detta kapitel har varit ett underlag för det fortsatta arbetet i projektet. Behovet har framkommit från diskussioner inom projektet och med referensgruppen. Syftet har varit att ta lyfta fram utvecklingsbehovet och få inspiration från aktuella initiativ för energieffektivisering.

Hantering av energikrav i byggprocessen

Byggprocess

Byggprocessen kan beskrivas som en rad på varandra följande skeden som utgår från behov och slutar i en färdig byggnad eller anläggning, Figur 2:1.



FIGUR 2:1 EN TRADITIONELL BYGGPROCESS SOM ETT STAFETTLOPP

Beställarens krav och behov som inhämtas under programskedet och ligger till grund för projekterings omvandling till en teknisk lösning i form av bygghandlingar som utgör specifikationen för produktionen. Projekteringen ger successivt underlag för beställaren att ta alltmer detaljerade beslut om utformning och val av specifika tekniska lösningar.

Hantering av energikrav och entreprenadformer

Beslut som inverkar på byggnadens energianvändning – som till exempel val av värmesystem, ventilation, fönster, väggar och isolering – fattas relativt tidigt i projekteringen. Resterande projektering är i stort en detaljering av valda system. Därför är det speciellt viktigt att krav på energieffektivisering hanteras systematiskt och verifieras genom byggprocessen olika skeden.

Uppskattning av energiåtgången kommer ofta från energibalansberäkningar vilket ställer stora krav på de som hanterar, utför och tolkar resultaten från beräkningarna. Idag används oftast någon form av beräkningsprogram där olika alternativ jämförs mot energikraven.

Traditionellt så sker styrning av byggprojekt utifrån kontrakt och kontraktshandlingar, (t ex förfrågningsunderlag, anbud, beställning, betalningsplan), mellan de olika aktörerna. Organisation och planering av projektet styrs av

entreprenadformerna där valet är beroende av marknadssituation, tidplan och projektets karaktär. Med entreprenadformer avses hur ansvaret fördelas mellan parterna, vilket regleras i avtalet. De vanligaste formerna av entreprenader är totalentreprenad, generalentreprenad, samt delad entreprenad:

- Beställaren har en avtalspart, totalentreprenören, i en totalentreprenad. Totalentreprenören ansvarar för att projektering och produktion utförs enligt normer och funktionskrav som är sammanställda i förfrågningsunderlaget.
- I en generalentreprenad delas ansvaret mellan projektering och produktion. Beställaren anlitar ofta en arkitekt för projektera huset och en generalentreprenör ansvarar att byggnaden produceras enligt handlingarna som projekterats av arkitekten. Beställaren ansvarar för projekteringen.
- I en delad entreprenad så delas ansvaret för produktionen av antal entreprenörer ofta efter entreprenadgränserna för bygg, värme sanitet, ventilation och el. Beställaren ansvarar för projekteringen samt samordning av entreprenaderna.

Det kan vara svårt att uppfylla krav på energieffektivt byggande om gränser mellan olika ansvarsområden i entreprenadformerna inte kan överbryggas eftersom beslut i olika skeden behöver stödjas av ett mångdisciplinärt kunnande och en integrerad byggprocess. En samarbetsform som kan vara lämpad för att öka fokus på gemensamma mål och reducera optimering av partsintresse och kontraktsutnyttjande genom byggprocessen är Partnering. Partnering är ett sätt att skapa förutsättningar för kunskaps- och erfarenhetsutbyte och tidig samverkan i en mer integrerad process mellan involverade aktörer.

Ser man på informationsutbyte mellan olika skeden och aktörer så är den fortfarande i huvudsak baserad på dokument och ritningar även om andelen som projekt som projekteras med BIM ökar. Informationshantering och det traditionella stafettloppet i speciellt delade entreprenader brukar anges som orsaker till att ställda krav och information i tidiga skeden av projektet förändras eller tappas bort i dagens byggprocess. Eftersom Boverkets Byggregler kräver på energiförbrukning anger en miniminivå är utvecklingen idag beroende på att marknaden skall driva utvecklingen av energieffektiva byggnader. Därför krävs bland annat stöd i kravställandet och hantering av energikrav i projektering av bostäder och lokaler.

Energikrav vid nyproduktion

Boverkets Byggregler (BBR)

Krav på byggnaders energibehov är redovisade i Boverkets Byggregler (BBR06) (Boverket, 2006) (se Figur 2:2). Dessa krav är egentligen funktionskrav på energianvändningen som innebär att man under projekteringen behöver energiberäkna alla nya byggnader i avsikt att visa att den projekterade byggnadens energiprestanda uppfyller kraven. Denna energiprestanda skall sedan verifieras inom 24 månader efter det att byggnaden har tagits i bruk. Ett negativt utfall kan bli föremål för korrigerande (Boverkets författningssamling, 2006). Dessa krav

reviderades och ytterligare skärptes i och med BBR 2010. Man skall nu beräkna och analysera byggnadens energiprestanda i ett tidigt skede.

Energitak i Boverkets byggregler, BBR		Norra Sverige (kWh/kvm/år)	Mellansverige (kWh/kvm/år)	Sydsverige (kWh/kvm/år)
2008	bostäder	150	130	110
	eluppvärmda bostäder	95	75	55
	kontor och övriga lokaler	140	120	100
2011	bostäder	130	110	90
	eluppvärmda bostäder	95	75	55
	kontor och övriga lokaler	120	100	80
2015	bostäder	100	90	70
	kontor och övriga lokaler	100	80	60
2019	bostäder	90	70	50
	kontor och övriga lokaler	80	60	40

FIGUR 2:2 ENERGITAK I BOVERKETS BYGGREGLER (BOVERKET, 2006)

Lagen om energideklarationer av byggnader

Lagen om energideklarationer (2006:985) trädde i kraft hösten 2006. Den innebär att alla ägare av byggnader blir skyldiga att upprätta en energideklaration. Detta skall ske när en byggnad ska uppföras, innan en byggnad säljs, när en bostad eller lokal ska hyras ut eller när en bostadsrätt ska överlåtas.

Deklarationen ska ange referensvärden, som gör det möjligt att bedöma och jämföra energiprestanda med andra alternativa lokaler eller boenden. Enligt energimyndigheten, (<http://energimyndigheten.se>), ska deklarationen innehålla:

- Uppgift om byggnadens energiprestanda, dvs. hur stort energibehov byggnaden har vid "normalt" bruk
- Uppgift om obligatorisk funktionskontroll av ventilationssystemet har utförts i byggnaden
- Uppgift om radonmätning har utförts i byggnaden
- Uppgift om byggnadens energiprestanda kan förbättras med hänsyn till en god inomhusmiljö. I så fall ska rekommendationer om kostnadseffektiva åtgärder finnas med, och
- Referensvärden, som gör det möjligt för konsumenter att bedöma och jämföra byggnadens energiprestanda med andra byggnaders.

Särskilda krav ställs på regelbunden besiktning av större luftkonditioneringsystem, och redovisning av alternativa energiförsörjningssystem för större nybyggnader inklusive en teknisk, miljömässig och ekonomisk bedömning för ett genomförande av systemet.

Energiklassningssystem

SIS – Energiklassning av byggnader

SIS, *Swedish Standards Institute*, förslag till energiklassning av byggnader (se www.sis.se) är utvecklad efter svenska förhållanden och redovisar ett antal energirelaterade klasser med märkning från A till E. Arbetet som har genomförts i arbetsgruppen Energiklassning av hus inom SIS (TK 189) har grundats på EU-direktivet om byggnaders energiprestanda med krav på energideklarationer av byggnader.

Standarden, SS-EN 24300 (Byggnaders energiprestanda, se www.sis.se), består av två delar. *Effektklassning av värmebehov*, SS-EN 24300-1, och *Klassning av energianvändning*, SS-EN 24300-2, som specificerar indikatorer för att uttrycka energiprestanda, förfarande vid bestämning av indikatorvärden, gränsvärden vid energiklassning, regler vid energiklassning samt innehåll i intyg för klassning av energianvändning. Standarden klassificerar fyra aspekter; byggnadens effektbehov, användning av köpt energi, användning av naturresurser och möjlig påverkan på växthuseffekten samt elanvändning för hushåll eller verksamhet. Standarden gäller för i princip alla byggnader oavsett kategori eller om det är en ny eller befintlig byggnad.

Lågenergihus

”Lågenergihus” är ett samlingsbegrepp i Sverige för byggnader som använder mindre energi än det som byggnormer (BBR) kräver eller vad som är ”normal standard”.¹ Byggnaden skall vara konstruerad så att behovet av tillförd energi under drift skall vara lågt. Förenklat kan man dock säga att klimatskal och ventilation för att minimera värmeförluster. Vanligtvis så innebär detta en välisolerad byggnad med någon form av värmeåtervinning av frånluft. Även om man inte kan utgå från att reducera energibehovet av köpt energi genom till exempel solenergi så kan ändå begreppet ”lågenergihus” även innebära en *strävan* att använda förnybar energi.

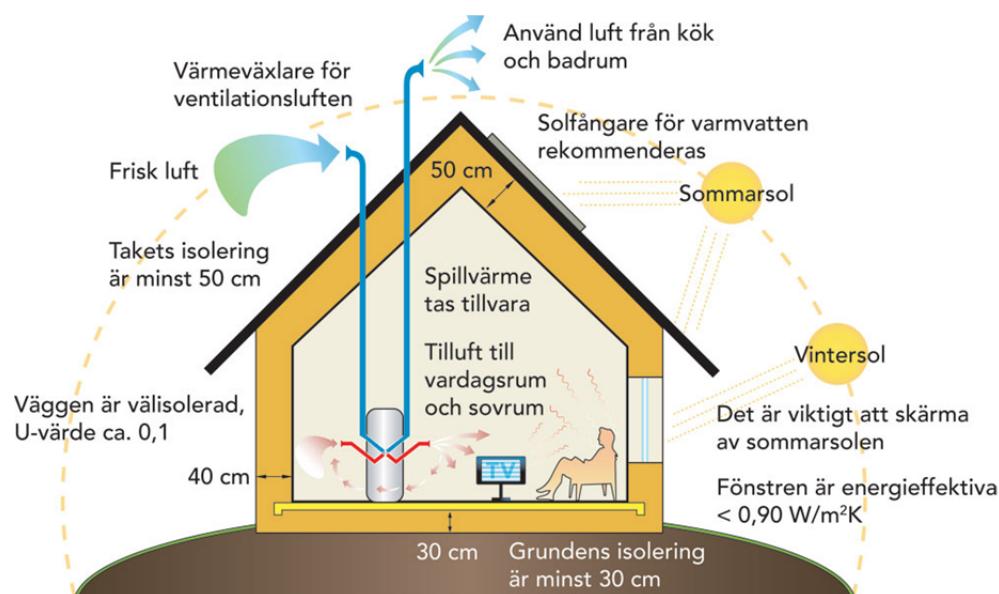
I gruppen lågenergihus finns *minienergihus*, *passivhus*, *nollenergihus*, och *plusenergihus* – i en ökande skala av energieffektivisering. För närvarande är det vanligast med minienergihus men vi går mot passivhus. Målet är dock att kunna erbjuda hus vars nettoenergiförbrukning är noll, s.k. nollenergihus, eller t o m hus som producerar mer energi än de förbrukar, s.k. plusenergihus. Blomsterberg (2009) ger en utförligare beskrivning i rapporten lågenergihus – en studie av olika koncept/begrepp.

Begreppet passivhus är ett internationellt begrepp som myntades av Wolfgang Feist i Tyskland. Han vidareutvecklade idéer från Bo Adamson, Lunds universitet, om ett välisolerat hus med minimala energiförluster och Amory Lovins koncept att reducera

¹ Begreppet ”lågenergihus” har dock definierats i andra länder. I Tyskland, till exempel, så innebär ”lågenergihus” ett energibehov av 40 % eller 60 % under rådande norm. I Finland så gäller definitionen att värmeförlusterna genom klimatskärmen och från ventilation och infiltration inte får överskrida 60 % av referensvärdet i den finska byggnormen. Danmark definierar två klasser i byggnormen, klass 2 och klass 1, där respektive klass definieras som en beräknad energianvändning som är 25 och 50 procent lägre än minimum prestanda enligt den danska byggnormen för nya byggnader.

kostnader genom energieffektivt byggande. Lovins koncept grundar sig i att en drastisk ökning av energieffektiviteten hos en byggnad leder till radikalt förenklade installationer (Lovins, 1977).

Passivhus är ett sätt att uppnå en mycket energieffektiv byggnad med högsta möjliga termiska komfort på ett kostnadseffektivt sätt. Passivhusfilosofin innebär att minimera värmeförluster genom att utföra klimatskalet välisolerat, samt att genom högeffektiva ventilationssystem minimera ventilationsförluster. Detta resulterar i ett mycket lågt värmebehov som täcks med ett enkelt värmesystem (International Passive House Association, 2010) (se principskiss Figur 2:3).



FIGUR 2:3 PRINCIPSKISS PASSIVHUS. KÄLLA: VÄSTRA GÖTALANDSREGIONEN (KÄLLA: VÄSTRA GÖTALANDSREGIONEN, WWW.VGREGION.SE)

Metodiken för passivhus kan användas oavsett geografiska och klimatmässiga skillnader, men specifika konstruktionsmässiga lösningar måste anpassas utifrån byggnadens lokalisering och platsens förutsättningar. Ett hus i norr kräver till exempel mer isolering än ett hus i söder på grund av ett kallare utomhusklimat (International Passive House Association, 2010).

Svenska krav för passivhus (och minienergihus) har utarbetats av FEBY, (FEBY, 2009a), Forum för Energieffektiva BYggnader. Förutom benämningen "Passivhus" så används också bl a "Hus utan värmesystem", "Självvärmmande hus", "Egenvärmehus" och "Komforthus", för att nämna de vanligaste. Dock är passivhus den mest vedertagna benämningen då det är den som används i länder med utveckling före Sverige, till exempel Österrike och Tyskland. Benämningen "Passivhus" är i själva verket ett varumärke (registrerat av Hans Eek på Passivhuscentrum) som är fritt att använda så länge man uppfyller kravspecifikationen.

"Passivhus" ett namnskyddat begrepp och det krävs därför att man uppfyller Forum för energieffektiva byggnaders (FEBY) kravspecifikation för att en byggnad ska få kallas passivhus. De har ursprung i de tyska kraven men är anpassade till svenska

förhållanden. Utöver dessa krav så gäller minst krav enligt Boverkets Byggregler (BBR). I dag omfattar denna kravspecifikation småhus och flerbostadshus men de lösningar som används i ett passivhus kan även tillämpas på andra typer av byggnader.

Skillnader i krav mellan svenska och internationell kriterier för passivhus redovisas i Tabell 2:1

TABELL 2:1 JÄMFÖRELSE MELLAN DE INTERNATIONELLA OCH SVENSKA KRITERIERNÄ FÖR PASSIVHUS (FEBY, 2009C)

Kravskillnader mellan certifieringsmetoderna	FEBY	PHI/PHPP
Effektkrav, bostäder och lokaler	$\leq 10-14 \text{ W/m}^2$	$\leq 10 \text{ W/m}^2$, eller energikravet uppfyllt
Effektkrav, småhus (< 200 m ²)	$\leq 12-16 \text{ W/m}^2$	$\leq 10 \text{ W/m}^2$, eller energikravet uppfyllt
DUT	SSO24310	Egen (PHI) bestämning av två DUT
Energikrav, värme	-	15 kWh/m ² , eller effektkravet uppfyllt
Beräkningsmetod	Öppen redovisad	PHPP-programmet
Luftflöde	$\geq 0,35 \text{ l/s, m}^2$	0,3 - 0,4 oms/h
Täthet	0,3 l/s, m ²	0,6 oms/h
Spillvärme + sol vid DUT	4 W/m ²	1,6 W/m ²
Spillvärme värmeberäkning	verklig enligt metod	2,8 W/m ²
U-värde fönster	0,9 W/K, m ²	0,8 W/K, m ²
Um-värde	-	0,15 W/K, m ²
Värmeåtervinning	$\geq 70 \%$ (Börkrav)	$\geq 75 \%$ (Skallkrav, egen mätmetod)
Varmvatten	1)	Sol/Värmepump
"Primärenergi"	60-68 kWh/m ²	120 kWh/m ²
Innertemperatur vid värmeber.	22 °C	20 °C
Max tilluftstemperatur	52 °C	52 °C

Skillnaden mellan passivhus och *minienergihus* är att minienergihus tillåter högre energi- och effektnivåer än passivhus. Värmeförsörjningen i ett minienergihus kommer inte enbart från hygienluftflödet, som gäller för passivhus, utan kan kompletteras med re-cirkulation eller konventionellt värmesystem. Dessutom tillkommer krav på ljud, termisk komfort, luftläckning, fönster och mätning.

I kravspecifikationen för passivhus från FEBY finns ett tilläggskrav för *nollenergihus* som innebär att summan av använd energi skall vara mindre än eller lika med summan producerad energi under ett år. Förutom att energianvändningen skall vara noll, så är gemensamt också att energibehovet skall täckas med lågkostnads-, lokalt tillgänglig, icke förorenande eller förnybar energi (Torcellini 2006). Man accepterar dock traditionell el från nätet vid de tillfällen då den lokalt producerade energin inte räcker till. Överskottet skall levereras till nätet om möjligt och helst skall man också balansera överskott och underskott över året. Till tillgängliga tekniker för lokal energiproduktion räknas solceller, solfångare, vindkraft, vattenkraft och biobränsle.

Plusenergihus motsvarar kraven och de olika definitionerna för nollenergihus med tillägg att den producerade energimängden skall vara större än den förbrukade. Vid projektering gäller först att säkerställa energieffektivitet följt av användandet av förnybar energi.

Certifiering och verifiering av passivhus och minienergihus

Forum för Energieffektiva Byggnader (FEBY, 2009a och b) har ett system för intyg av Passivhus och Minienergihus som anger:

1. För att dokumentera energirelaterade funktionskrav och hur dessa följs upp förutsätts i SVEBY (Standardisera och verifiera energiprestanda i byggnader) att byggherren upprättar ett "Energiverifikat". Denna benämning avser byggherrens eget kvalitetsdokument som löpande dokumenterar och följer projektet genom dess olika faser med resultat från energiberäkningar, mätningar, provningar och besiktningsprotokoll.
2. FEBYs funktionskrav inkluderar metodanvisningar och parametervärden anpassade för att kunna tillämpas. Vid verifiering av ett lågenergihus enligt FEBYs lågenergikriterier är det därför FEBYs beräkningsanvisningar och parametervärden som gäller och kan då betraktas som komplement till SVEBYs mer generella anvisningar.
3. Bekräftelse på att en byggnad klarar FEBYs krav kan göras i två steg med två olika slags intyg. I första steget görs en egendeklaration för en projekterad byggnad som FEBY benämner ett certifikat. När byggnaden är klar bedöms det faktiska utfallet med en tredjepartsgranskning som utfärdar ett verifikat baserat på mätdata som bekräftar att kraven uppfyllts.

Hjälpmedel och handledning vid nyproduktion

Kyotopyramiden – ett etablerat arbetssätt att projektera lågenergihus

Ett sätt att projektera lågenergihus är att använda den s.k. Kyotopyramiden som har ursprung från en tolkning av Kyotoprotokollet från 1997, Figur 2:4. Pyramiden som har utvecklats av bland annat norska SINTEF är nu ett allmänt vedertaget arbetssätt i projektering av lågenergihus i Skandinavium.

Kyotopyramiden är ett förslag på arbetssätt som ger anvisningar om i vilken ordning man bör genomföra energibesparande åtgärder i projekteringen för att mest effektivt minska energianvändningen i hus. Arbetsordningen börjar från pyramidens bas med att minimera behovet av värme och kyla. Därefter följer att minimera behovet av el genom att till exempel välja energisnål utrustning samt att utnyttja solenergi och dagsljus.

Avslutande två delar av pyramiden relaterar till energianvändningen: visa och reglera energianvändningen samt, slutligen, val av energikälla. En byggnad ska med andra ord i första hand utformas för ett lågt energibehov och därefter kan en värmekälla väljas som minskar behovet av köpt energi. Genom att välja energikälla efter det att alla åtgärder för att minimera energibehovet är gjorda så minimerar man risken att få överdimensionerade värmesystem. Den föreslagna arbetsordningen skall ses som ett överordnat angreppssätt och dess inbördes ordning kan alterneras utifrån till exempel yttre omständigheter, till exempel när man redan har fastställt val av värmekälla.



FIGUR 2:4 KYOTOPYRAMIDEN SOM ARBETSSÄTT I PROJEKTERING AV LÅGENERGIHUS (KÄLLA: WWW.SINTEF.NO)

Energilotsen

Energilotsen är ett verktyg för aktörer i byggbranschen att på ett organiserat sätt i projekteringsprocessen kunna hantera energifrågor – energianvändning och inomhusklimat - och därmed kunna säkra att projektera energieffektiva hus. Energilotsen vänder sig till byggherrar, arkitekter, bygg och installationskonstruktörer och nybyggnad av bostäder eller lokalbyggnader, Figur 2:5.

Energilotsen är anpassad för Boverkets energihushållningsregler från 2006.



FIGUR 2:5 VERKTYGET ENERGILOSENS STRUKTUR (KÄLLA: WWW.ENERGILOSEN.NU)

Energilotsen tillhandahåller stöd i projekteringsprocessen – rådgivning och tips om hur energi och miljö styrs genom byggprocessens faser. Energilotsen stöds av energianalysverktygen VIPWEB och VIP+.

PHPP - PassivHusProjekteringsPaket

Passivhaus Institut (PHI), ett forskningsinstitut i Darmstadt, Tyskland, har tagit fram en ett verktyg, *Passivhus Projekteringspaket* (PHPP), som används i projekteringen av passivhus enligt den internationella definitionen. Beräkningsprogrammet och tillhörande beskrivning är användbart för all slags bebyggelse men är särskilt inriktat på passivhus och vänder sig till konsulter och kunniga byggare samt VVS-entreprenörer. Programmet till grund för den internationella passivhus certifieringen enligt kraven redovisade i Tabell 2:1

Sveby Energiverifikat09

Även om man i tidigt skede sätter upp krav på byggnadens energiprestanda så är det inte alltid som detta följs upp genom byggprocessen. Någon systematisk kontroll och kvalitetssäkring kopplad till enskilt krav finns inte för närvarande. Ett initiativ från SVEBY (*Standardisera och verifiera energiprestanda i nya byggnader*) som svarar mot detta behov är Energiverifikat09. De generella riktlinjer som ges gäller oavsett entreprenadform och utgår från att byggherren ger det övergripande ansvaret för energiuppföljning till projektledningen. Projektledningen fördelar därefter ansvar för de aktiviteter som ska ingå i uppföljningen. Riktlinjerna består av: en checklista för energiuppföljning under byggprocessen; ett energiverifikat för dokumentation och resultat av utförda uppgifter enligt checklistan (energiverifikatet kan utgöra en relationshandling); energiberäkningar och sammanställning av energitekniska funktionskrav som utgör underlag för en mer detaljerad uppföljning med kontroll och funktionsprovning av mätbara energiparametrar; en verifikationsplan för att i detalj planera för vilka uppföljningsaktiviteter som skall utföras, när de ska utföras och av vem samt hur de ska dokumenteras och kommuniceras; samt att provning och kontroll under byggprocessen kompletteras med effekt och prestandaprov vid olika driftfall och klimatförhållanden utomhus i samband med vinter- och sommarfallsprov. Även om behovet av insatser för uppföljning kommer att variera beroende på projektets omfattning och entreprenadform så måste alla aktiviteter ändå planeras, beskrivas och budgeteras.

Lågan

LÅGAN är ett program för byggnader med mycket låg energianvändning. LÅGAN syftar till att ändra byggprocessen för att stimulera och stödja ny- och ombyggnad av byggnader med mycket låg energianvändning genom att bevilja stöd till demonstrationsprojekt och regionala/lokala samverkansinitiativ. Programmet ger också stöd till idéutveckling genom att utvärdera och sprida information från demonstrationsprojekt. Inom programmet pågår också ett projekt för att ta fram en webbaserad marknadsöversikt av byggtutvecklingen, detta för att inspirera till och underlätta för energieffektiv ny- och ombyggnad.

Energimyndigheten finansierar 40 procent av LÅGAN. Programmet koordineras och administreras av Sveriges Byggindustrier. Programmet startade 2010 och är femårigt.

BELOK – Beställargruppen Lokaler

BELOK – Beställargruppen Lokaler – är ett nätverk med Sveriges största privata och offentliga fastighetsägare av lokaler som gemensamt med Energimyndigheten arbetar med målsättning att underlätta energieffektivisering och samtidigt förbättra funktion och komfort. Initiativet har till grund i de svenska lokalfastigheternas höga energiåtgång och statens mål om att minska energianvändningen i byggnadsbeståndet med 20 procent fram till år 2020 och 50 procent fram till år 2050.

För att kunna möta statens mål om minskad energianvändning så kommer det att krävas drastiska sänkningar av energianvändningen i en stor del av dagens bestånd. För att möta detta driver BELOK olika utvecklingsprojekt tillsammans med sina medlemmar med inriktning på energieffektivitet och miljöfrågor.

Några verktyg som presenteras av BELOK är: *BELOK LCC* som är ett verktyg för kostnads- och energiberäkningar för olika system och utrustningar. Användaren uppskattar alternativa investeringar och dess livscykelkostnader. Verktöget används vanligtvis inför investeringsbeslut; samt *BELOK Totalverktyg* som används efter det att man har identifierat alla möjliga energibesparande åtgärder i en befintlig fastighet. Användaren för att räkna fram det ekonomiska utfallet av åtgärderna inför beslutet om genomförande.

Ett praktiskt verktyg för stöd i energieffektiviseringsprocessen är *BELOK BV²Arch*. Detta verktyg är utvecklat ur energiberäkningsprogrammet *BV²* vilket beräknar en byggnads behov av värme, kyl och elenergi. *BV²Arch* används till energiuppskattningar i tidigt skede av byggprocessen. Användaren skall grovt kunna jämföra olika arkitektförslag ur energisynpunkt.

BV²Arch är utvecklat efter att lite är känt om den blivande byggnaden, särskilt med avseende på de tekniska installationerna. Därför innefattar *BV²Arch* beräkningar av byggnadens värmeöverskott och värmeunderskott utan att explicita precisera tekniska system. Byggnaden med tekniska system studeras därför i ett senare skede av byggprocessen då man tar fram systemlösningar.

BV²Arch simulerar en byggnad med hjälp av indata som grupperas enligt byggnadens konstruktion, intern värmegenerering, byggnadens innelufttemperatur samt

byggnadens geografiska placering. Programmet tar hänsyn till dynamik och värmelagring i byggnaden samt solinstrålning. Byggnadens verkliga effekt/energiebehov bestäms sedan av det system som ser till att rätt klimat uppnås i byggnaden.

Sammanfattning

Relationen mellan aktörer i en traditionell byggprocess är baserade på kontraktshandlingar i form av detaljerade förfrågningsunderlag, applicering av "lägsta pris" vid upphandling av entreprenör, beställarkontroll av utförande samt korta (projekt)relationer. Bristen på samarbete leder ofta till kortsiktiga relationer med optimering av partsintresse, svårigheter att integrera slutproduktens (byggandens) aspekter i projekteringen, samt dålig lönsamhet och kvalitet. Speciellt avsaknad av väl fungerande samverkan och informationshantering är en betydande riskfaktor när det gäller att utforma energieffektiva byggnader. Energifrågor har helt enkelt inte tillräckligt med tyngd i projekteringen.

Speciellt BBRs nya krav ger nu incitament för byggherrar, projektörer och entreprenörer att fokusera på energieffektiviteten hos befintliga och nyproducerade byggnader. Istället för att studera enskilda byggnadsdelar och deras effekt på energianvändningen kräver de nya förutsättningarna en mer integrerad projekteringsprocess där byggnaden betraktas utifrån en helhetssyn och att samspelet mellan olika delsystem kan studeras (Abel och Elmroth, 2008). Detta är en komplex uppgift som ställer nya krav på en ökad samverkan i processen (Kvist och Nordström, 2008).

Det behövs kompetens, stödjande dokumentation och verktyg för nya metoder till kommunikation, analys och beslut. Det behövs verktyg och metoder för kalkylering, simulering och konsekvensanalys som skall stödja beslutsprocessen. Ett av de största problemen idag är att få fram indata till energianalysverktygen. Den kommer ofta sent, med förfrågningsunderlaget, är svår att verifiera och är också ofta inkomplett. Det finns ingen kravspecifikation för hur man modellerar med BIM utifrån energiaspekter. Merparten av tiden för analysen går till att hantera indata. Dessutom så försvaras hanteringen av indata av en viss begreppsförvirring. Det finns idag inga klara definitioner och aktörer tenderar att tolka begrepp olika. Till detta kommer också att ha kompetens att bedöma analyserna – dess underlag och resultat – "är det rimligt". Idag så grundar sig dessa bedömningar på individuell kunskap och erfarenhet. Att man dessutom integrerar analys och projektering gör också saken mer komplicerad.

Inspiration att hantera energifrågor i projekteringen kommer från aktuella initiativ som:

- Kyotopyramiden ger anvisningar om vilken ordning man bör genomföra energibesparande åtgärder i projekteringen för att mest effektivt minska den framtida energianvändningen i hus.
- Energilotsen bistår med rådgivning och tips om systematisk handledning av energifrågor mellan olika aktörer genom byggprocessens faser.

- PHPP visar med energiberäkningsprogram och projekteringsverktyg hur man kan optimera energianvändningen genom att betrakta huset som ett system och inte bara som summan av dess delar.
- Sveby Energiverifikat09 ger riktlinjer för uppföljning av energikrav under byggprocessen samt stöd för dokumentation av viktig kommunikation genom processen, definition av uppdrag med mål, ekonomi samt ansvarsfrågan för uppföljningsarbetet.

Det finns också initiativ som inte direkt bidrar med resultat själva utan som istället inriktar sig på att stimulera utveckling. Ett sådant är programmet Lågan som beviljar stöd till demonstrationsprojekt och samverkansinitiativ. Initiativ från BELOK, som är ett nätverk för fastighetsägare av lokaler, kan också appliceras för flerbostadshus. Dessutom bistår programmet med en rad verktyg för beräkningar och analyser.

Processen med beställarens kravställning, hanteringen i projekteringen med avseende på energiaspekter är viktig. Man måste i tidigt skede säkerställa att BIM modellen är utformad så att den möjliggör energianalyser. Till detta ansvar tillkommer också uppföljningar av beräkningar och nedbrytning av övergripande energikrav till krav på komponenter, system och utförande i produktionsskedet. En metod, som snabbt kan utvärdera prestandan av olika alternativ och för att optimera byggnaden gentemot beställarens (energi)krav behövs.

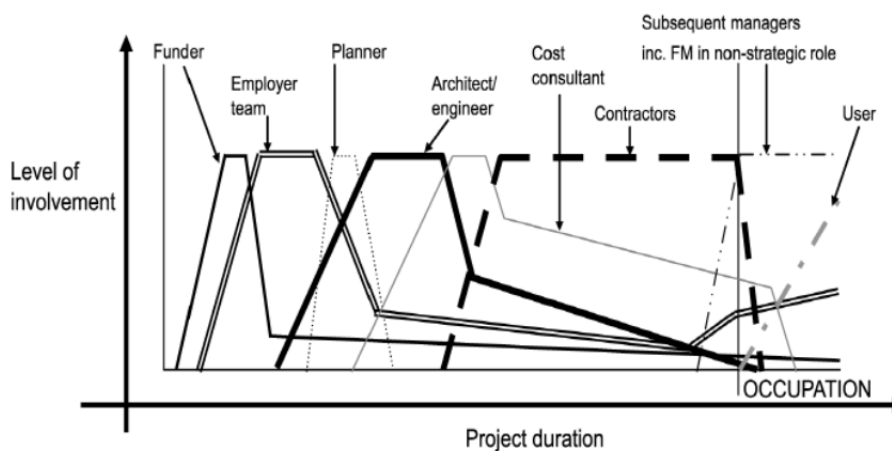
En process och samarbetsformer som kan stödja en integrerad och modellbaserad projekteringsprocess är också nödvändig men det behövs också tillräckliga ekonomiska incitament eller ett nationellt regelverk för att skapa nödvändiga drivkrafter för ett energieffektivt byggande.

3. Energiprojekterings påverkan av institutionella ramverk och marknadskrafter

Bakgrund

Den internationella ramkonventionen från Rio de Janeiro 1992 och Kyotoprotokollet 1997 ledde till krav på minskande CO₂ utsläpp. Den Europeiska unionen förklarade sig villig att minska sina utsläpp med 8 % baserat på 1990 års nivåer fram till 2008-2012. Procentsatserna för minskning av utsläpp inom EU varierar kraftigt från land till land. Där Tysklands mål var att minska CO₂-utsläpp med 21 % tilläts Sverige att öka sina utsläpp med 4 % under samma period (Míguez et al., 2006). Detta kan vara en av orsakerna att Sverige och Tyskland har haft olika policy vad gäller att reducera energianvändningen i byggnadsbeståndet. När Tyskland har skärpt sina energiförbrukningskrav avsevärt för nybyggnation och renovering under 90-talet, har Sverige i stort sett haft samma krav på energiförbrukning på nya byggnader fram till idag. Däremot har både den svenska och den tyska regeringen samma mål att minska energianvändningen per uppvärmd golvarea med 20 % fram till 2020 och 50 % fram till 2050. (IEA, 2008).

Jagemar och Petterson (2009), anser att Sverige hittills inte lyckas nå det uppsatta målet med den Svenska policyn att låta marknaden styra med tanke på utvecklingen av energipriserna. Däremot har Tyskland redan lyckats att reducera energianvändningen med 23 %. Nässén m flera (2008) påpekar också att den nuvarande svenska standarden endast förändrats marginellt sedan 1977. Byggnader med energistandarden som användes fram till 2008 använder mer värmeenergi än de bästa byggnaderna på 70- och 80-talet. De svenska kraven har utvecklats till att vara normen snarare än ett minimum för energiprestanda (Nässén & Holmberg, 2005). En del av problemet har hänförs till byggandets fragmentering i aktörers engagemang, se Figur 3:1. Det är också svårt att med ekonomiska incitament investera i energieffektivitet och därför blir myndighetskrav styrande på ett helt annat sätt jämfört med andra branscher.



FIGUR 3:1 OLIKA AKTÖRERS ENGAGEMANG I BYGGPROCESSEN, EFTER BROWN (2001)

För att undersöka hur krav och institutionella ramverk kan påverka energiprojektering har en enkätstudie genomförts i Tyskland och Sverige. Utifrån resultatet har två fallstudier genomförts dels för att undersöka möjligheterna att påverka energiförbrukningen när man kommer in sent i projekteringen dels för att undersöka de ekonomiska drivkrafterna att minska energiförbrukningen.

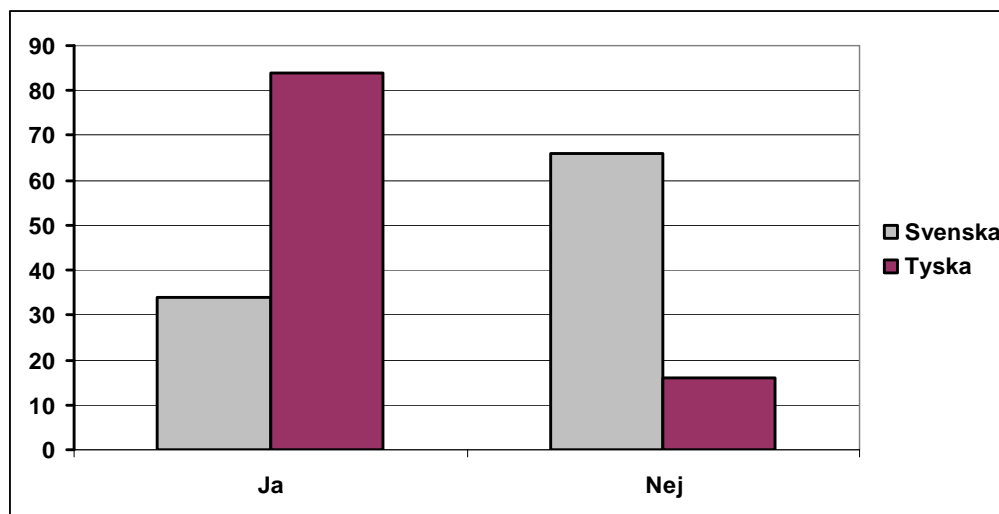
Energiprojektering i Tyskland och Sverige: En enkätstudie av skillnader och likheter

En jämförande enkätstudie genomfördes bland arkitekter och civilingenjörer i Tyskland och Sverige. Syftet med undersökningen var att analysera om och hur/var i byggprocessen krav och analyser av energiförbrukningen hanteras.

Enkätundersökningen består av tre sektioner. Den första delen innehåller allmänna frågor om respondenten. Den andra delen omfattar hur energiförbrukningen för byggnader analyseras och projekteras i byggprocessens olika skeden. Det tredje avsnittet behandlar skälen till att varför energiförbrukningen behandlas alternativt inte behandlas i byggprocessen. Respondenterna representerade ett slumpmässigt urval av arkitekter, civilingenjörer, experter på energiprojektering samt certifierade passivhus designer (främst i Tyskland).

Totalt 1262 enkäter skickades ut i Tyskland och 513 enkäter i Sverige. I Tyskland besvarades 155 enkäter och i Sverige 210 enkäter. Detta ger en svarsfrekvens av 12 % för Tyskland och 41 % för Sverige. Även om svarsfrekvensen inte är tillräckligt hög, anses studiens resultat vara representativ för energiprojektering i Tyskland och Sverige. Olika statistiska analyser har använts för att bestämma signifikanta skillnader och likheter mellan olika grupper av respondenter i respektive land.

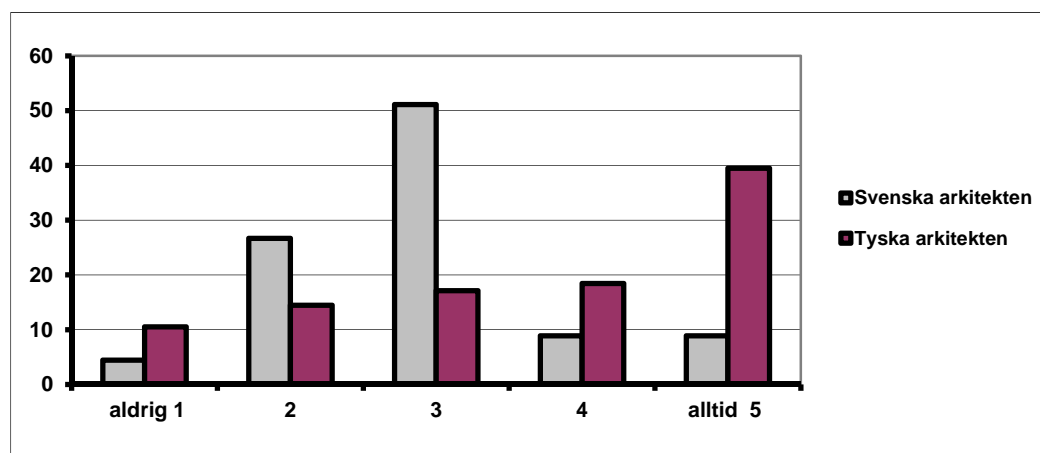
Den tyska urvalsgruppen är i allmänhet mer vidareutbildad när det gäller energiprojektering av lågenergihus som passivhus eller motsvarande. I Sverige har 34 % av urvalsgruppen fått vidareutbildning jämfört med 84 % av den tyska gruppen, se Figur 3:2.



FIGUR 3:2 VISAR ANDEL VIDAREUTBILDADE INOM ENERGI I SVERIGE OCH TYSKLAND

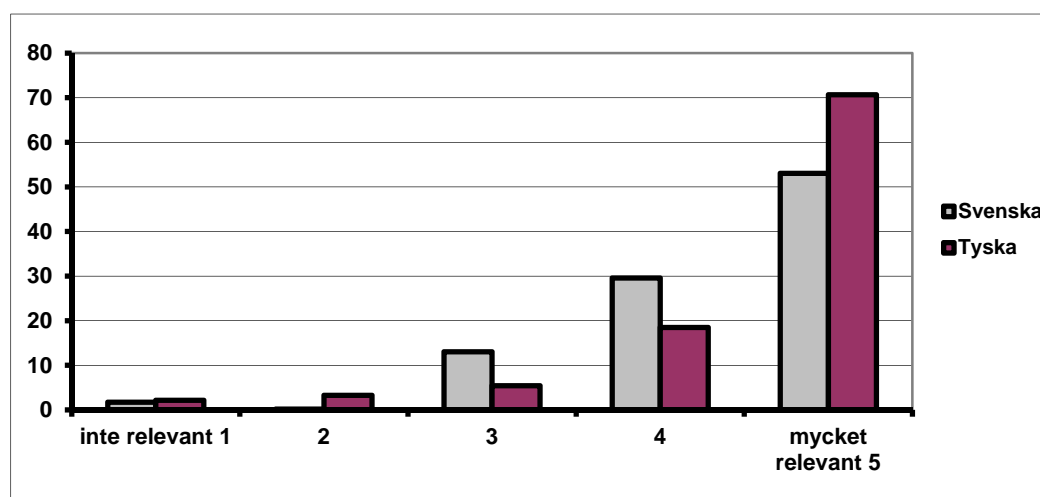
Ser vi på de specifika yrkeskategorierna så har 20 % av de tillfrågande svenska arkitekterna och 35 % av ingenjörerna fått vidareutbildning inom energiområdet. Motsvarande siffror för den tyska gruppen är 66 % för arkitekterna och 72 % för ingenjörerna.

Undersökning visar också att den tyska arkitekten är mer involverad i hela byggprocessen jämfört med sina svenska kollegor, se Figur 3:3.



FIGUR 3:3 ARKITEKTENS ENGAGEMANG I BYGGPROCESSEN

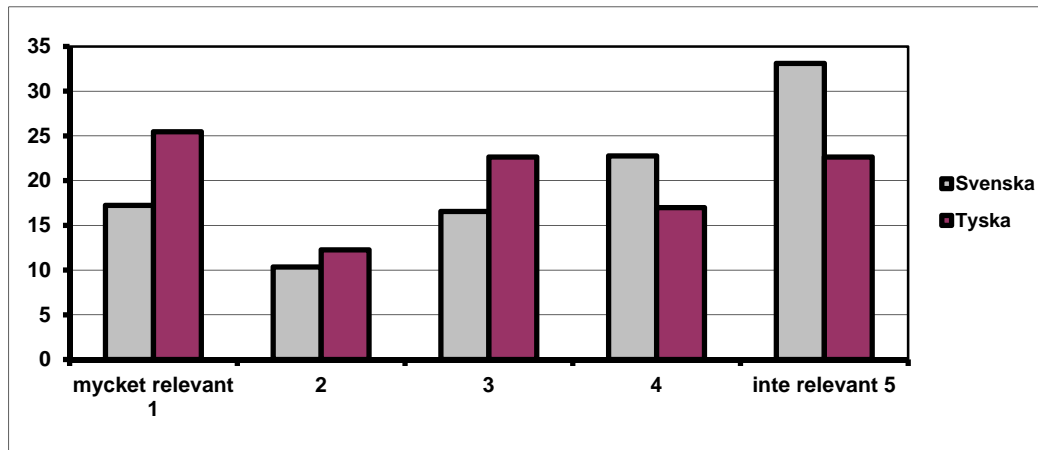
Både svenska och tyska arkitekter och ingenjörer tycker att det är mycket viktigt att analysera energiförbrukning i syfte att kontrollera landets byggregler för energi uppfylls. Tyska och svenska arkitekter och ingenjör genomför också energianalyser för att kontrollera om byggnaden uppfyller byggherrens krav, se Figur 3:4.



FIGUR 3:4 HUR RELEVANT ÄR DET ATT GENOMFÖR ENERGIANALYSER FÖR ATT SÄKERSTÄLLA BYGGHERREKRAV

Däremot finns det en viss skillnad om byggherren inte har krav på energianalyser. I Sverige är man mindre benägen att utföra energianalyser om inte byggherren ställer specifika krav på energieffektivitet, se Figur 3:5. Denna skillnad kan ha en förklaring

att det finns tydligare krav att genomföra energianalyser i det tyska regelverket jämfört med det svenska.



FIGUR 3:5 RELEVANS ATT GENOMFÖRA ENERGIANALYSER OM BYGGHERREN INTE KRÄVER DET

Framförallt visar undersökningen att:

- arkitekter och ingenjörer i Tyskland har mer vidareutbildning vad gäller energiprojektering
- tyska arkitekter är mer involverade i hela byggprocessen jämfört med svenska

Det tyska regelverket tillsammans med att tyska arkitekter har en mer övergripande projektledarroll jämfört med svensk tradition sannolikt medför att kravställning och uppföljningen av energiprestanda genomförs mer effektivt i Tyskland jämfört med Sverige. Konsekvens blir att energifrågorna kommer senare in i den svenska projekteringsprocessen. Det är också tydligt att marknadskrafter och engagemang från byggare, beställare och lokala myndigheter snarare än nationella krav som driver energieffektivisering framåt i Sverige idag.

Konsekvensanalys: Energianalyser i detaljprojekteringsskede

Tidigt i projekteringsprocessen bestämmer man målen för projektet och utifrån dessa mål formulerar man vilka krav som skall uppfyllas. Projekteringsprocessen fortsätter med en förstudie där man utformar en produkt som motsvarar dessa krav, men de olika beslut och val som görs under resans gång dokumenteras inte, och de följer sällan en strukturerad process. Resultatet av en sådan projektering är oftast en enda produkt som presenteras för beställaren, och som formar underlaget för detaljprojektering. Om man vid denna tidpunkt väljer att undersöka vilka tekniska åtgärder som behövs för att utforma produkten till att uppfylla högre krav, följer en konsekvensanalysprocess som innefattar ofta betydande arbetsinsatser. Det kan äventyra hela byggprocessens tidsplan, och även kostnader. En sådan process kan exemplifieras med ett examensarbete i vilket man analyserar vilka åtgärder som krävs i anpassningen av ett projekterat hus till en teknisk prestanda som motsvarar ett passivhus (Gårdenborg, 2011). För att utvärdera byggnadens energiprestanda av olika alternativ används dynamiska energisimuleringar, vilka bygger på detaljerade

uppgifter om konstruktionen, installationstekniska system, driftstrategier mm. Sådana simuleringar kräver tid, men genererar tillförlitliga resultat under förutsättningen att man hanterar beräkningsverktyget rätt. Resultaten av examensarbetet visar, att de förändringar som krävs omfattar inte bara teknisk prestanda av klimatskärmen och de olika byggnadsdelarna och komponenterna, utan det krävs även en förändring av husets utformning. Sådana förändringar är svåra att genomföra i ett så sent skede av projektet utan att det innebär betydande ökning av arbetsinsatser och kostnader. Därför bör olika typer av energianalyser göras tidigt i planeringsstadiet för att kunna öka husets energiprestanda innan utformning och val av system har lästs.

Konsekvensanalys: utvärdering av ekonomisk lönsamhet

Konsekvensanalysen handlar inte bara om vad som är tekniskt möjligt utan de olika tekniska lösningarna behöver utvärderas från ett ekonomiskt perspektiv. Även om utvärdering av miljöprestanda av olika alternativ efterfrågas allt oftare, saknas fortfarande en etablerad praxis i projekteringsprocessen för denna typ av utvärdering trots att olika verktyg och rekommendationer har funnits en längre tid.

En konsekvensanalys med fokus på energiteknisk optimering inklusive bedömningen av den ekonomiska lönsamheten av klimatskärmens olika alternativ kan exemplifieras med examensarbetet *Energieffektivisering av ett flerbostadshus. Går det att nå kraven för minienergihus? (Wiking, 2011, LTU)*. Examensarbetet utfördes inom det aktuella projektet och syftet med arbetet var att m h a energiberäkningar och livscykelkostnadsanalysen (LCC) undersöka vilka åtgärder som krävs för att huset ska uppfylla de energikrav som ställs i ett projekt, samt att finna den ekonomiskt optimala isolertjockleken. Analysen genomförs utifrån färdiga handlingar som motsvarar detaljprojekteringskedje, och anpassningen görs för klimatet som råder i Norra Sverige (Zon III enligt BBR). Huset med de nya byggnadstekniska lösningarna även projekterades i 3D-modeller.

Sju olika alternativ av tjockleken på isolering för olika delar av klimatskärmen utvärderades; det sista alternativet var en total optimerad konstruktionslösning. De olika förslagen förbättrar byggnadens energiprestanda mellan 23-36 %, vilket är lönsamt ur energieffektiviseringssynpunkt. LCC analys visar däremot, att vissa alternativ är att föredra framför andra. Dessa alternativ innebär likvärdig energibesparing men är ekonomisk mer lönsamma och med mer moderata återbetalningstider. Återbetalningstiden för de sju utvärderade alternativ var mellan 6 – 171 år. Som lönsamma har betraktats åtgärder med återbetalningstiden kortare än 50 år, vilket baserar sig på livslängden av byggnaden. Sådana långa återbetalningstider är ej vanligt att tillämpa speciellt för privata byggherrar som utvecklar och säljer fastigheter vilket kan vara en förklaring till att de ekonomiska marknadskrafterna för att bygga energisnålt inte är särskild pådrivande. Privata byggherrar som baserar sina beslut på strikt kommersiella grunder kan dock utnyttja möjligheter som politiska institutioner inför för att främja byggandet av lågenergihus (Femenias and Kadefors, 2011).

Antalet alternativ som utvärderades är inte unik, utan man kan konstatera att i en vanlig projekteringsprocess förekommer ofta fler än två alternativa lösningar. För att utvärdera dessa på ett metodiskt och strukturerat sätt behöver

projekteringsprocessen stöd både i form av en metod och av ett verktyg. Slutsatser från studien är att det inte är svårt att bygga energieffektivare än dagens lagkrav, utan att det handlar om att satsa på byggprocesser med kvalitet och effektivitet samt att ha högre ambitioner när det gäller energiprestanda.

Summering och avslutande kommentarer

Enkätstudien och de exempel som tas upp i detta avsnitt visar, att energianalyser kan genomföras redan i tidigt skede av projekteringsprocessen. Beräkningar av flera olika tekniska alternativ i syfte att utvärdera deras energiprestanda och lönsamhet rekommenderas, men utförs sällan idag då krav på detta inte ställs av beställaren.

Skillnaderna mellan Tyskland och Sverige visar också arkitekternas viktiga roll för energiprojekteringen. I Tyskland är arkitekter mer utbildade vad gäller energiprojektering och får ofta en samordnande roll genom hela byggprocessen. Svenska arkitekter och ingenjörer har inte en lika tydlig övergripande roll i den svenska projekteringsprocessen och därför blir energifrågorna mer fragmentariskt beaktade. Hypotesen är att de behövs en typ av energisamordnare i den svenska byggprocessen för att säkerställa att energikrav bli rätt behandlat under hela processen.

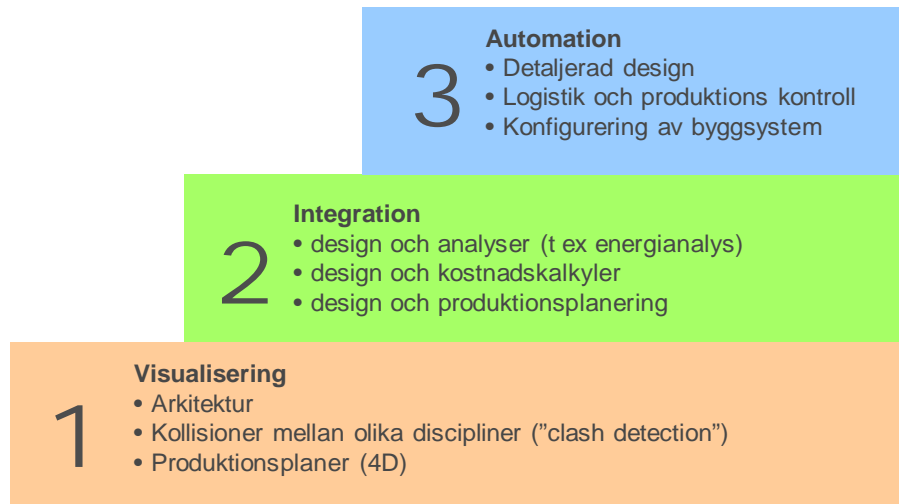
För att produktion av lågenergi bostäder skall bli mer dominant på den svenska marknaden krävs det dels att kraven på den minsta energiprestanda av byggnader skärps, men även hela byggprocessen behöver anpassas till de nya förutsättningarna. Det kan tänkas ske genom mer frekvent tillämpning av olika samarbetsformer där de olika aktörer involveras i en gemensam kommunikativ arbetsprocess och där teknisk expertis inom energiområdet kopplas in tidigare. En sådan process skall vidare möjliggöra jämförande analyser av olika tekniska alternativ och deras utvärdering för att producera beslutsunderlag vid rätt tidpunkt i byggprocessen.

För att effektivisera processen behövs dels verktyg för att snabba upp beräkningsprocessen och dels verktyg som kan utvärdera de föreslagna alternativen utifrån givna preferenser. I nästa avsnitt skall vi titta närmare på en modellbaserad integrerad projekteringsprocess där design och energianalys kan integreras i syfte att utvärdera alternativa lösningar för att välja den ur kundens synpunkt mest optimala.

4. Integrerad energiprojektering

En modellbaserad projekteringsprocess

Införandet av modellbaserad projektering, s.k. BIM (bygginformationsmodellering), kan delas in i 3 nivåer (Kunz och Fischer, 2008), Figur 4:1.



FIGUR 4:1 IMPLEMENTERING NIVÅER AV MODELLBASERAD PROJEKTERING

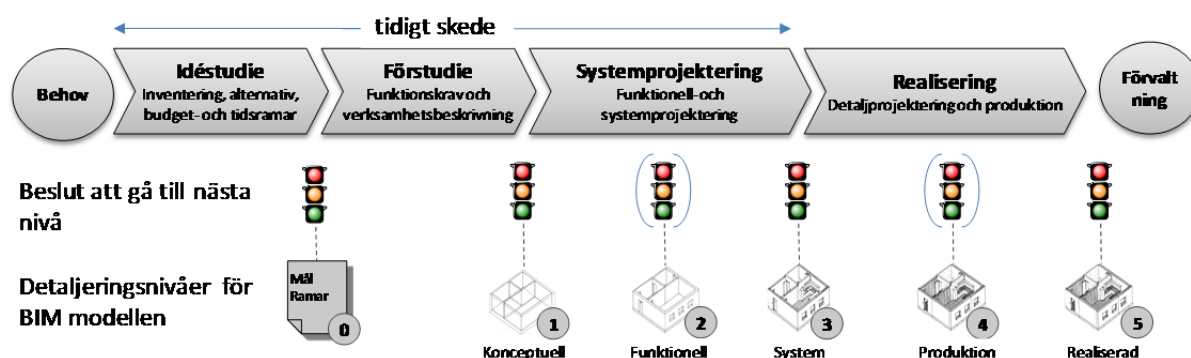
1. Med *Visualisering* menas att de mesta skall projekteras i 3D så att man visuellt skall kunna granska arkitekturen, kollisioner mellan olika discipliners projekteringsmodeller eller hur produktionen skall planeras (s.k. 4D).
2. *Integration* av design, analys, kalkyl och planering kommer att underlätta informationsflödet mellan olika aktörer och skeden i byggprocessen. Informationen i BIM modellen kommer successivt att byggas upp och kunna återanvändas för att göra olika typer av analyser, kalkyler och planer.
3. I nivå 3 kommer delar av byggprocessen att *Automatiseras*, t. ex rutinmässig detaljprojektering, styrning av maskiner i produktionsfasen av industriella byggsystem samt regelstyrd projektering (s.k. konfigurering),

Även om vissa delar av de högre nivåerna används redan idag så är det den första nivån, *visualisering*, som håller på att implementeras på bred front i byggbranschen. Det är också den enklaste eftersom den går att implementera utan att projekteringsprocessen förändras nämnvärt.

Integrationsnivån innebär att information som skapas av olika aktörer i projekteringen skall kunna sammanställas och integreras och utbytas mellan olika analys, kalkyl och planeringsapplikationer. Det kommer att ställa högre tekniska krav på projekteringen i form av format för informationsutbyte, kvalitetsgranskning och verifiering BIM modellens integritet. Detta eftersom validiteten på analyser,

kalkyler m.m. är beroende av BIM modellen för indata. De kommer i sin tur att påverka projektorganisation och kontrakt. Vinsterna i form av både tid och pengar kommer dock att vara stora speciellt för beställare som i högre grad kommer att få bättre information om prestandan på de valmöjligheter som undersöks i projekteringen. En mer integrerad projektering kommer också ge möjligheter att undersöka flera alternativ för att få bättre och mer optimerade lösningar för beställaren.

I det Europeiska projektet InPro (se www.inpro-project.eu) undersöktes hur en modellbaserad integrerad projekteringsprocess skulle vara organiserad, se Figur 4:2. Speciellt projekteringsens tidiga skede studerades (fram till att systemhandlingar var framtagna) då möjligheten att påverka livscykelkostnaderna och byggnadens övrig prestanda såsom energi och miljö, är som störst. En uppskattning gör gällande att när 1 % av kostnaderna i ett projekt har förbrukats så har man bestämt mer än 70 % av projektets livscykelkostnader, (Romm, 1994).



FIGUR 4:2 INPROS FÖRSLAG TILL EN MODELLORIENTERAD OCH INTEGRERAD PROJEKTERINGSPROCESS(OLOFSSON ET AL., 2009). BIM MODELLENS 3 FÖRSTA DETALJERINGSNIVÅER (KONCEPTUELL, FUNKTIONELL OCH SYSTEMNIVÅN) TILLHÖR PROJEKTERINGENS TIDIGA SKEDEN

Efter idéstudien är genomförd och beställaren bestämt budget och tidsramar för projektet startar en förstudie där mål och behov omvandlats till funktionskrav samt att projektets genomförbarhet inom givna tids- och budgetramar valideras av designteam och beställare. Förstudien avslutas med att en första konceptuell BIM modell tas fram innan beslutet tas att gå vidare till nästa etapp. I nästa nivå detaljeras modellen funktionellt alternativa rumsutformningar som utvärderas innan systemhandlingarna och eventuell förfrågningsunderlag projekteras. På så sätt växer BIM modellen gradvis fram samtidigt som alltmer detaljerade prestandaanalyser av olika tekniska lösningar kan jämföras med funktionskraven för projektet. En viktig aspekt i en modellbaserad projekteringsprocess är att ha en strukturerad beslutsprocess som hjälper designteamet att ta fram alternativa lösningar som kan utvärderas med ett beslutstöd baserat på beställarens kriterier och krav för ett lyckat projekt.

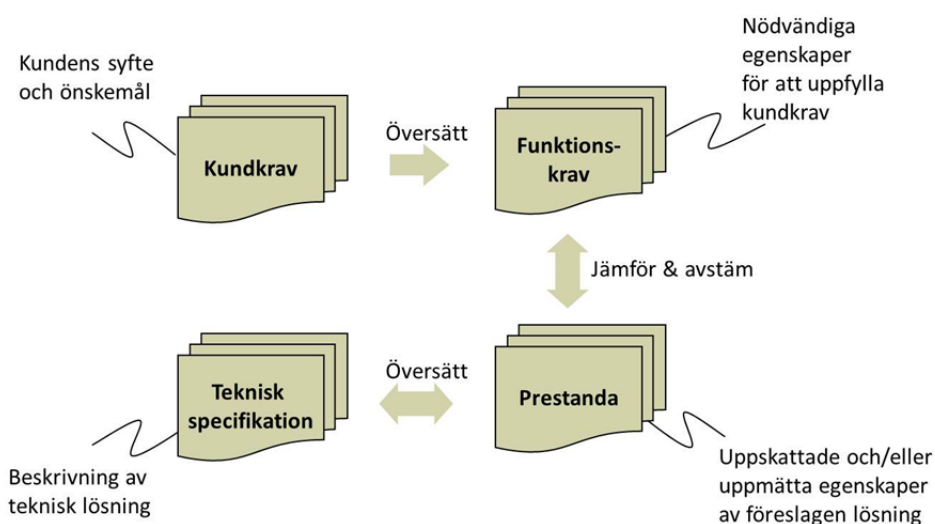
Från behov till funktionskrav och tekniska lösningar

Kunders önskemål och behov, den så kallade "Voice of the customer", leder ofta till komplexa beslutsprocesser i utvecklingen av en produkts egenskaper. Till exempel kan estetiska önskemål om fönsters placering och utformning stå i konflikt med krav

på klimatskalets egenskaper och på byggnadens energiprestanda. Kriterier för utvärdering av en föreslagen teknisk lösning kan också variera från subjektiva kriterier med hjälp av kvalitativa uttalanden till objektiva och mätbara kriterier, med olika dimensioner eller skalor. Det är viktigt att krav ställs på funktion och inte på tekniska lösningar och att varje krav är tydligt och relevant för byggnaden.

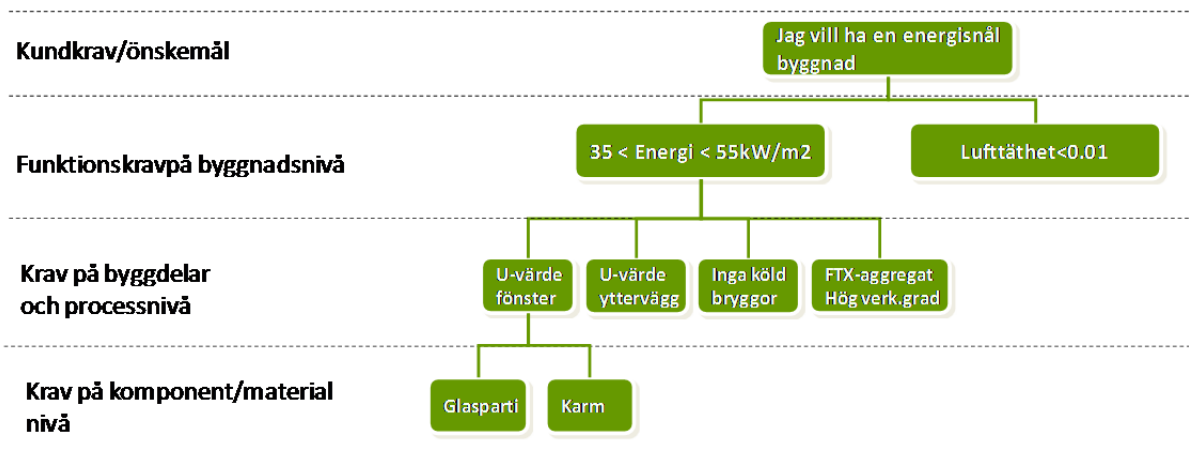
Det är skillnad på krav och önskemål. Ett krav är ett mått som erbjuden lösning måste uppfylla för att vara möjlig att erbjuda kunden. Ett (önske)mål är ett mått som en lösning kan uppfylla för att vara ett attraktivt erbjudande för kunden. Krav och önskemål kan sättas i olika nivåer för en viss funktion eller egenskap. Exempelvis är det inte ovanligt att önskemålet på energiprestanda sätts högre i förhållandet till det gällande projektkravet eller Boverkets krav på energiprestanda som är det lägsta möjliga.

Att på detta sätt uttrycka en produkts funktion i termer av prestanda, Figur 4:3, erbjuder här ett språk som kan länka en produkts föreslagna tekniska lösning till kundens krav och önskemål (Spekkink, 2005).



FIGUR 4:3 ANVÄNDNING AV FUNKTIONSKRAV OCH PRESTANDA FÖR ATT JÄMFÖRA KUNDKRAV MED UTVECKLADE TEKNISKA LÖSNINGAR, ANPASSAD EFTER SPEKKINK, (2005)

Ett kundkrav leder ofta till övergripande funktionskrav på byggnaden som i sin tur kommer att generera detaljkrav på delsystem, process och utförandet och val av komponent och material. Exempelvis, tolkningen av "energislut" översätts till ett funktionskrav på energiprestanda mellan 35 - 55 kW/m² och år samt en lufttätethet 0.1-0.2 l/s, m² där de övre gränserna är kravnivån (högsta godtagbara) medan de lägre gränserna kan betraktas som målnivån för projektet, Figur 4.4.



FIGUR 4:4 EXEMPEL PÅ ÖNSKEMÅL/KRAV SOM GENERAR HIERARKISKA FUNKTIONSKRAV PÅ BYGGNADS-, BYGGDELS-, PROCESS- OCH MATERIALNIVÅ

Grundläggande är att det skall tydligt framgå vad som är krav och vad som är projektets mål. Kravställningen skall omfatta uppföljning och kontroll av att den levererade produkten/lösningen uppfyller kraven. Det skall vara tydligt hur man utför uppföljningen och att följa upp att lösningarna uppfyller de ställda funktionskraven.

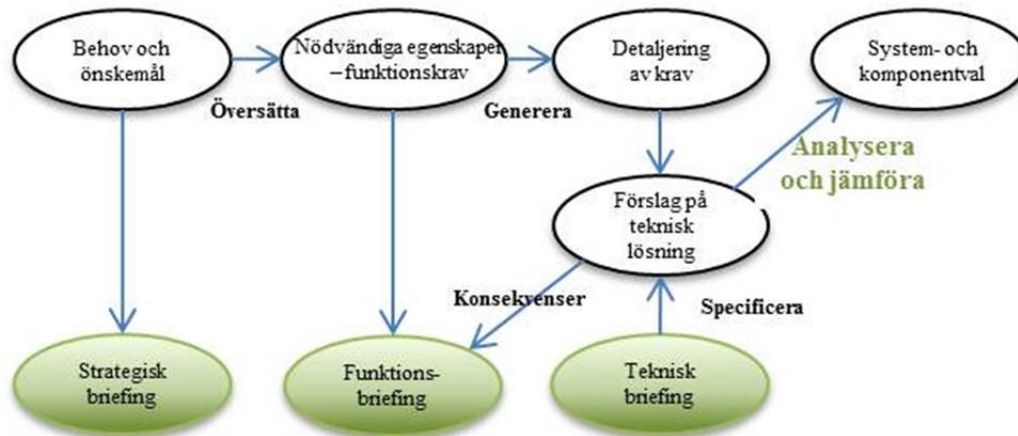
Briefing

En metod att i samverkan samla, uttrycka och klargöra beställarens och andra relevanta aktörers mål och krav är att använda sig av så kallad briefing. Då det kan vara svårt för berörda aktörer, t ex beställaren, att veta allt vad som önskas och krävs av byggnaden i projektets initialskede så sker briefing kontinuerligt med ökad detaljeringsgrad. Resultatet från briefing registreras i en handling som utgör en formell referens för det efterföljande projekteringsarbetet. Med detta följer att beställaren och andra relevanta aktörer engageras i projektet och att kommunikation med tekniska projektörer ökar. Egentligen används alltid någon form av briefing i projekt men inte nödvändigtvis konsekvent och med god kvalitet.

Metoden att "briefa" indelat i strategisk briefing, funktionsbriefing och teknisk briefing presenterades i InPro (InPro, 2009). I strategisk briefing fångar man upp beställarens krav och önskemål (kundkrav) och utifrån dessa så definieras byggnadens funktionskrav i funktionsbriefingen. Energirelaterade funktionskrav, inklusive metदानvisningar, som följer på ytterligare kravspecifikation (för lågenergihus om så beställaren väljer) fångas in och sätts i sin kontext i inledande skedet av projektet. På samma sätt som BIM modellen utvecklas så fokuserar "briefingen" i första hand på att utveckla konceptet och dess tids- och kostnadsramar innan man hanterar byggnadens ingående funktioner.

Den detaljering som följer på de tekniska konsekvenserna av att uppfylla krav på funktion definieras i den tekniska briefing. En föreslagen lösning utgår från att uppfylla funktionskrav men jämförs i konsekvensanalysen mot detaljkrav (se Figur 4:5). Till exempel, man kan skapa ett förslag utifrån kundens krav på önskvärda lågenergiprestanda och byggnadens utformning men konsekvenserna av detta måste

uppfylla rådande funktionskrav från BBR och den kravspecifikation som har specificerats för lågenergihus.



FIGUR 4:5 UTVECKLA FÖRSLAG PÅ LÖSNING MED STÖD I BRIEFING

När fel eller avvikelser uppstår i nyproducerade byggnader har man ofta har missat kopplingen mellan uppställt krav och vald teknisk lösning. Det kan vara att man inte har förstått vad som krävs för att uppfylla ett visst krav eller inte förstått konsekvenserna som följer med att uppfylla funktionskravet. Det kan också vara att en lösning har valts utan att kontrollera att denna uppfyller uppställda krav inom satta tids- och/eller ekonomiska ramar.

Även om beställaren ensam ansvarar för att uttrycka sina önskemål i kund och funktionskrav bör den göras i samverkan med övriga aktörer för att öka kvaliteten på kravställandet och för att bättre fånga upp eventuella konsekvenser av kravet. Förutom den kunskap och erfarenhet man tillför så blir beslutsfattande lättare om man tidigare i processen får insikt om konsekvenser av olika krav, dessutom blir kraven tydligare förankrade i processen.

Konsekvensanalyser

En metod att utreda olika alternativ och dess konsekvenser är att använda sig av s.k. konsekvensanalys. Som anges i delstudie i kapitel 3 "Konsekvensanalyser: utvärdering av ekonomisk lönsamhet" så efterfrågas ofta utvärdering av olika alternativets prestanda inför en beslutssituation men att en etablerad praxis i projekteringsprocessen för detta ofta saknas trots att det under en längre tid har funnits olika typer av verktyg och rekommendationer tillgängliga.

Det grundläggande syftet med en konsekvensanalys är att säkerställa projektering mot en byggnad som svarar mot uppställda krav och behov inom givna kostnadsramar. Genom att man kontinuerligt, med start i tidigt skede, gör konsekvensanalyser inför de beslut som tas minskar risken för otillräckliga lösningar. Abel & Elmroth (2008) beskriver en process och ansvarsområden för att utföra konsekvensanalyser, se Figur 4:6, samtidigt som de understryker vikten av löpande kommunikation mellan berörda parter så att alla är medvetna om vad som krävs. För att gå vidare till en analysituation måste inblandade beställare och projektörer vara

överens om och acceptera de krav med dess konsekvenser som ligger till grund för analysen. Analys av alternativa lösningars prestanda bedöms utifrån konsekvenser med avseende på kundkrav, nyttjandekrav och krav på byggnadens utformning.



FIGUR 4:6 KONSEKVENSPANALYS, OMARBETAD FRÅN ABEL & ELMROTH (2008)

Det är beställarens ansvar att funktions-, detaljkrav samt att projektets kostnadsram definieras för de tekniska projektörerna. De tekniska projektörerna svarar för att hämta in de uppgifter som täcker påverkan från slutkundernas nyttjande av byggnaden samt de uppgifter som följer med byggnadens utformning. Byggnadsutformningen samt de boendes nyttjande ligger till grund för att bedöma utrymmesbehov samt definiera byggnadens och de tekniska installationernas kapacitet. Ett första val av systemlösning görs sedan utifrån ett antal möjliga alternativ. Konsekvensanalys vid detta skede är speciellt viktigt då val av lösningen definierar dimensionerande förutsättningar som i sin tur ligger till grund för mer detaljerade byggnadstekniska lösningar och installationer.

Det är i systemskede av projektet som man får en bra uppfattning om inom vilken kostnadsram föreslagna lösningar uppfyller de ställda krav och önskemål, t ex krav på energiprestanda. Även om detaljeringsskedet som följer lägger större tyngd vid enskilda projektörers arbete med att vidare förbättra och detaljera förslaget, krävs det att enskilda lösningar inte faller utanför ramen och påverkar den fastställda kostnadsnivån för projektet.

Beslut baserat på felaktiga konsekvensanalyser i tidigt skede kan ha stor inverkan på efterföljande process eftersom ju senare felaktigheterna upptäckts desto mer resurser kräver åtgärderna. Förutom att säkerställa indata så är det viktigt att utföra analysen på bästa möjliga sätt genom att ha bra stöd för i form av beräkningsanvisningar och analysprogram, se också kapitel 2.

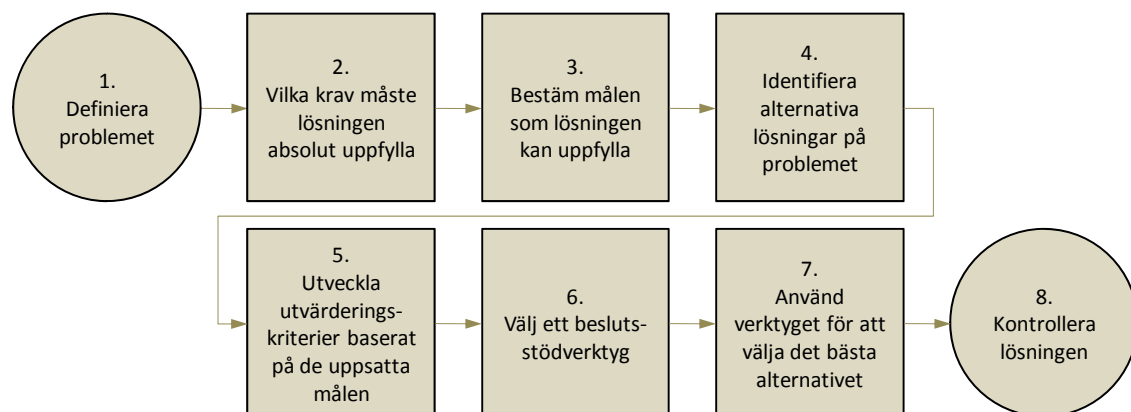
Det är beställaren som fattar det avgörande beslutet hur projektet skall bedöma alternativet och om man skall acceptera det. Det är också beställaren som "Accepterar" eller "Accepterar ej" den föreslagna lösningen, se Figur 4:6. Ett avslag kan antingen innebära att alternativet avfärdas och man försöker hitta bättre alternativ eller så måste kravställningarna förändras. Man kan säga att man byggnaden skapas genom en rad beslut i en alltmer detaljerad projekteringsprocess.

Det är därför av största vikt att denna process utförs effektivt och i så hög grad av samverkan som möjligt.

Beslutsprocess

Beslutsprocessen är att studera, identifiera och välja från ett urval av alternativa lösningar baserat på beslutsfattarnas värden och preferenser. Att fatta ett beslut innebär alltså att det finns alternativa lösningar att beakta, och förutom att kunna identifiera så många alternativ som möjligt vill vi också kunna välja den som bäst uppfyller våra syften, krav och önskemål.

Baker et al. (2001) delar in en formell beslutsprocess i ett antal steg, se Figur 4:7. Berörda intressenter måste vara överens om vad problemet är innan man kan gå vidare och diskutera vilka krav som en lösning måste innehålla för att vara acceptabel. I nästa steg bestäms mål, dvs. önskvärda prestanda som lösningen bör sträva efter. Målen kan vara motstridiga men detta är ofta vanligt i praktiska beslutssituationer. Efter att krav och mål definierats utvecklas/identifieras alternativa lösningar som sedan jämförs med utvärderingskriterier som baseras på de uppsatta målen. Observera att alla alternativ skall uppfylla kraven definierat i steg 2.

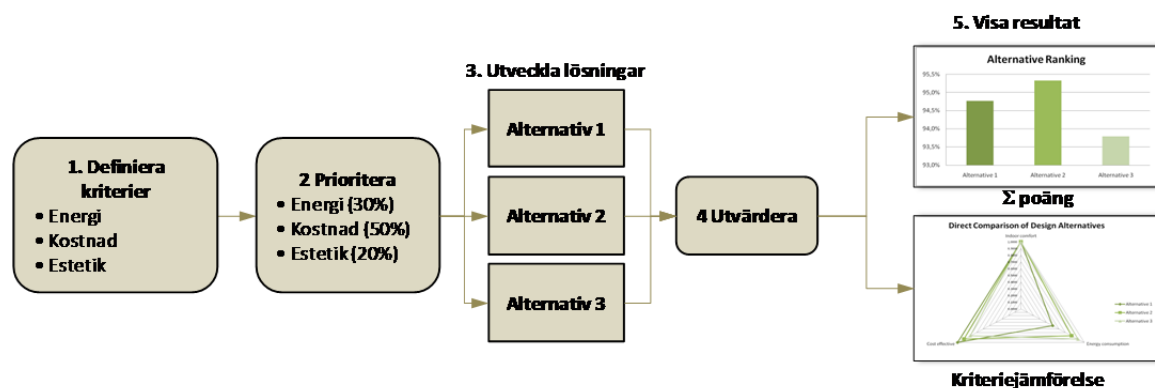


FIGUR 4:7 EN FORMELL BESLUTSPROCESS, ANPASSAD EFTER BAKER ET AL. (2001)

Idag finns en uppsjö av system och metoder som kan användas för att stödja olika typer av så kallade beslutsproblem. I praktiska problem har man ofta ett ändligt antal kriterier att utvärdera för ett fixt antal alternativ. Denna typ brukar benämnas för "Multi-Attribute Decision Making" problems, (MADM). I InPro projektet (InPro, 2011) utvecklades ett MADM verktyg som anpassat till en krav/prestandadrivet modellbaserat projekteringsprocess. Verktyget har utvecklats vidare i detta projekt och använts för att inkludera energiprestanda, (Schade et al., 2011). Kortfattat består metodiken av 5 steg, Figur 4:8:

- Definiera vilka kriterier som skall användas för att utvärdera de olika lösningsalternativen. Dessa kriterier skall vara tydligt kopplade till målen och helst vara oberoende av varandra. Kriterierna kan vara objektiva (exempelvis mätbara prestandamått som energiprestanda, kostnader etc.) eller subjektiva (som t ex uppskattningar av estetiska värden).

- Bestäm hur viktig de olika kriterierna är relativt varandra genom parvisa jämförelse enligt Saaty's Analytical Hierarchical Process, (AHP) (Saaty, 1980). Varje kriterium får en vikt mellan 0-100 %, $w_{j=1..3} \in \{0-100\}$ %
- Utveckla alternativa lösningar som varierar prestandan av de olika kriterierna.
- Utvärdera kriterierna för de olika lösningarna genom att normalisera prestandan i en skala 0-100 %, där 100 % motsvarar för total måluppfyllelse av kriteriet, $c_{j=1..3} \in \{0-100\}$ %.
- Visa resultatet som en summa för varje alternativ $r_i = \sum_{j=1..3} w_j c_j$



FIGUR 4:8 BESLUTSTÖDSMETODIK

Ett enkelt exempel

1) En byggherre vill bygga ett kombinerat affär, kontor och bostadshus och har satt upp följande mål och krav gällande tre kriterier som skall användas för att välja alternativ:

- Energiprestanda (EP); mål EP = 110 kWh/m²a, krav EP < 150 kWh/m²a
- Miljöprestanda (MP) som mäts via utsläpp av växthusgaser CO₂ ekvivalenter från material, produktion och brukarfase på 50 år; mål MP = 500 kg/m² a CO_{2e}, krav MP < 900 kg/m² a CO_{2e}
- Investeringskostnad (I); mål I = 150 MSEK, krav I < 250 MSEK

2) De tre kriterierna prioriteras genom parvis jämförelse med användande av Saaty's verbala AHP skala²:

- *Energiprestanda* är mindre viktig än *Investeringskostnad*, (E1:I3)
- *Energiprestanda* är lika viktig som *Miljöprestanda*, (E1:C1)

² AHP skalan varierar mellan 1 till 9 och anger hur mycket mer den ena kriteriet betyder jämfört med det andra. Saaty föreslog att använda en verbal skala och översätta detta till den numeriska (lika=1 viktigare=3 mer viktig=5 mycket viktigare=7 extremt viktigare=9). T.ex. A är viktigare än B betyder att A är 3 ggr viktigare än B.

- *Investeringskostnad* är viktigare än *Miljöprestanda* (I3:C1)

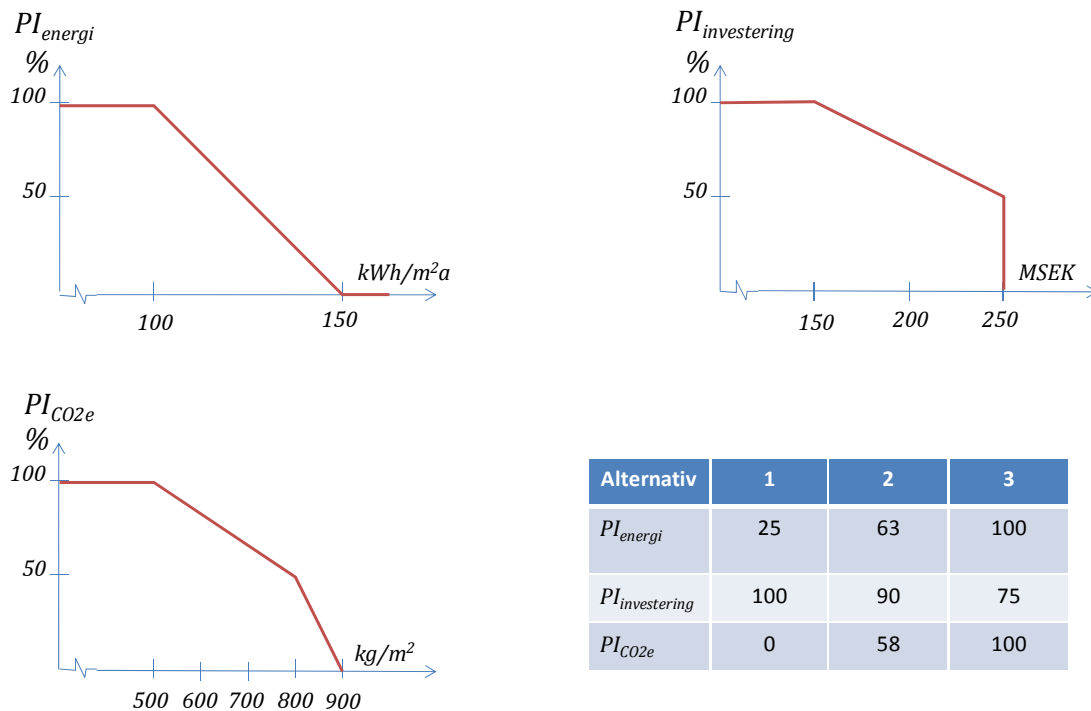
Genom att beräkna den normaliserade egenvektorn från den s.k. prioritetmatrisen från man vikterna för de olika kriterierna.

$$\mathbf{w} = \begin{bmatrix} w_{energi} \\ w_{invest} \\ w_{co2e} \end{bmatrix} = \text{egenvektor} \left(\begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1 \\ 3 & 1 & 3 \\ 1 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \right) = \begin{bmatrix} 0,2 \\ 0,6 \\ 0,2 \end{bmatrix}$$

3) Från valet av kriterier och hur intressenterna prioriterar de olika kriterierna kan man utveckla/projektera olika alternativ som i nästa steg utvärderas. I exemplet projekterades 3 alternativ med följande uppskattade prestanda:

- Alternativ 1: Energi EP=140 kWh/m² a, Investering I=150 MSEK, MP= 900 CO₂e kg/m²a,
- Alternativ 2: Energi EP=125 kWh/m² a, Investering I=170 MSEK, MP= 750 CO₂e kg/m²a,
- Alternativ 3: Energi EP=100 kWh/m² a, Investering I=200 MSEK, MP = 500 CO₂e kg/m²a

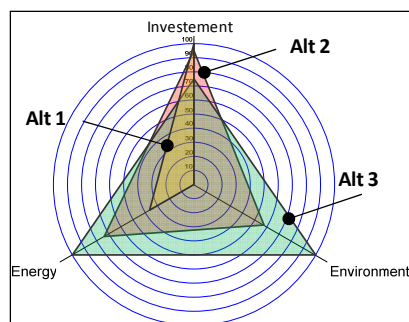
4) Innan vi kan utvärdera och jämföra de tre alternativen måste vi normera kriterieskalorna. Vad betyder det att alternativ 2:s energiprestanda är 15kWh/m² a från målvärdet jämfört med att investeringen är 20 MSEK från målvärdet? Normering av skalorna görs med s.k. "utility" funktioner där vi översätter prestanda till ett prestandaindex som anger hur intressenterna värdera värdet i förhållandet till målvärdet för kriteriet. Ett prestandaindex (PI) på 1 eller 100 % innebär att målvärdet är uppnått. I Figur 4:9 har tre s.k. PI funktioner definierats för kriterierna energi, investeringskostnad och växthusgaser. Observera att värden som ej uppnått kravnivån inte är tillåtna, det alternativet uppfyller inte kraven.



FIGUR 4:9 UTILITY FUNKTIONER OCH UTVÄRDERADE PI FÖR DE TRE KRITERIERNÄ FÖR VARJE ALTERNATIV

5) I sista steget sammanställs resultaten och visas som ett beslutsunderlag för de intressenter som skall fatta beslut. Förutom att varje alternativs prestandaindex kan visualiseras så kan summa prestandan beräknas genom att multiplicera med den viktade prioritetsvektorn som ett mått på måluppfyllelsen för de olika alternativen, se Figur 4:10.

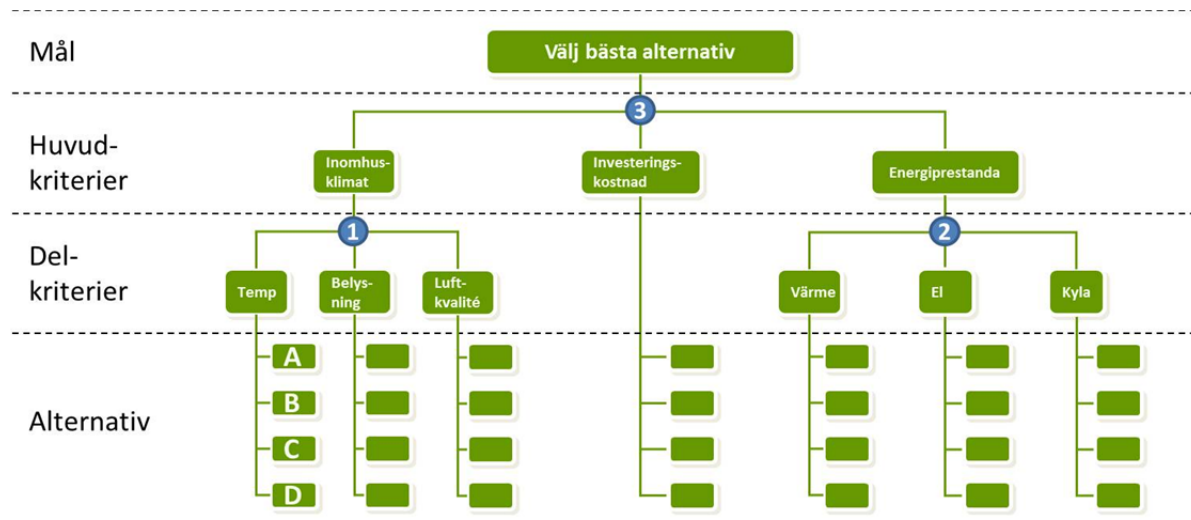
I exemplet kan vi se att alternativ 3 får det högsta värdet med 85 % måluppfyllelsen av uppsatta kriteriemål.



$$\begin{bmatrix} PI_1 \\ PI_2 \\ PI_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,25 & 1,0 & 0,0 \\ 0,63 & 0,90 & 0,58 \\ 1,0 & 0,75 & 1,0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,2 \\ 0,6 \\ 0,2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,65 \\ 0,78 \\ 0,85 \end{bmatrix}$$

FIGUR 4:10 EXEMPEL PÅ VISUALISERING AV PRESTANDAINDEX OCH SUMMA PRESTANDA FÖR DE OLIKA ALTERNATIVEN

Metodiken går att skala upp till att omfatta ett mycket större antal kriterier genom att organisera kriterierna hierarkiskt, se Figur 4:11. I exemplet så finns totalt 7 beslutskriterier och 4 alternativ att utvärdera. Kriterierna *temperatur*, *belysning* och *luftkvalité* har underordnats huvudkriteriet *inomhusklimat*, medan *värme*, *el* och *kyla* har underordnats huvudkriteriet *energiprestanda*.



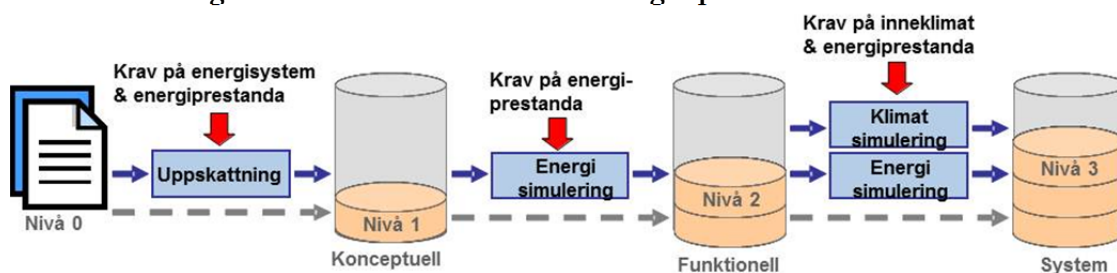
FIGUR 4:11 HIERARKISK UPPDELNING AV KRITERIER OCH BESLUT, SE FÖRKLARADE TEXT

Beslutsprocessen delas in i tre steg där, (1) alternativen A till D utvärderas först gentemot delkriterierna under *inomhusklimat*. I nästa steg (2) utvärderas alternativ A till D mot *energiprestanda*. Summan prestandan från de två utvärderingarna förs nu in som kriterieresultat för alternativ A-D under huvudkriterier *inomhusklimat* och *energiprestanda*. Slutligen, (3), kan alternativ A-D utvärderas gentemot huvudkriterierna *inomhusklimat*, *investeringskostnad* och *energiprestanda*.

I nästa delkapitel skall vi skissa på en sådan modellbaserad projekteringsprocess där byggnadens energiprestanda är funktionskravet som vi skall uppfylla.

Energianalyser i en modellbaserad projekteringsprocess

Analyser och simuleringar för utvärdering av olika design alternativ ur energisynpunkt kan utföras på olika detaljeringsnivåer i en modellbaserad projekteringsprocess. Enligt kapitel 2 bör man utvärdera och analysera olika designalternativ så tidigt som möjligt för att kunna påverka livscykelkostnaderna. Figur 4:12 visar möjliga analysmetoder för energiprestanda i modellprojekteringsens tre första detaljeringsnivåer för BIM modellen: (1) konceptuell, (2) funktionell och (3) system. Att BIM modellen utvecklas och detaljeras betyder inte att kravställningen förändras utan ger att man kan utvärdera med högre precision.



FIGUR 4:12 ANALYSER AV ENERGI OCH INNEKLIMAT I MODELLPROJEKTERINGENS 3 FÖRSTA NIVÅER

Analysmetoder och syftet med analyserna kommer att förändras allteftersom som projekteringen blir mer detaljerad, se också Tabell 4:1 .

I förstudiefasen innan någon egentlig modell har utvecklats (nivå 0-1) görs enkla energianalyser baserade på energibalanser för att sätta upp mål och krav avseende energiprestanda samt för att få en första uppfattning om driftskostnader baserad på val av energiförsörjningssystem. Så kallade statiska beräkningar baserade på årsmedeltemperaturer beaktar inte byggnadens värmetröghet vilket kan påverka beräknat kylbehov, speciellt i större byggnader där stommen kan lagra avsevärda mängder energi. Därför rekommenderas användandet av s.k. dynamiska analyser baserade på temperaturdata som varierar timvis så snart den första modellen skapats (detaljeringsnivå 1). För flerbostadshus, som inte innehåller kylsystem, bör dessa beräkningar fokusera på utvärdering av konsekvenser för inomhusklimat under sommarhalvåret.

Herronen (2009) studerade energianvändning i två byggnader i tre detaljeringsnivåer av BIM modellen (nivå 1 tom 3) med användning av ett dynamiskt analysverktyg. Även om total energiprestanda inte varierade så mycket mellan de olika BIM nivåerna ($\pm 10\%$) så var variationen av ingående komponenters bidrag till den totala energianvändningen, såsom värme, kyla och elektricitet betydligt större ($\pm 20\%$).

TABELL 4:1 METODER OCH SYFTE MED ANALYS OCH SIMULERING AV ENERGIPRESTANDA OCH INNEKLIMAT

	tidigt skede	metod	BIM nivå	Beskrivning
0		Statisk	Koncept	Uppskattning av effekt och energiförbrukning för validering av funktionskrav
1		Statisk/ Dynamisk	Funktionell	Energy analys av alternativa utformningar, klimatskal och orientering
2		Dynamisk	System	Simulering och analys av energy och inneklimat för alternativa rumslayouter, installationssystem, solskydd m.m.
3		Dynamisk	Produktion	Simulering och analys av energy och inneklimat för verifiering av funktionskrav
4				

BIM nivå

Schade (2009) analyserade inverkan av detaljeringsnivå och val av beräkningsverktyg (statisk och dynamiska verktyg) på resultatet av energianalyserna på alternativa utformningar av bland annat klimatskalet. Även om analyserna gav olika resultat visade alla verktyg samma tendenser när olika alternativa utformningar och detaljeringsnivåer analyserades. I tidiga projektskedet, Konceptuell till Funktionell, kan man med fördel använda enklare energianalysverktyg för att jämföra olika alternativa utformningar. När detaljeringsnivån ökar till nivå, Funktionell till System, bör man använda dynamiska verktyg för att utvärdera energiprestanda och inneklimat. Dessa studier tillåter analyser på rumsnivå vilket är av betydelse för de mest utsatta utrymmen, t ex maskinrum, datasalar.

Prestandaanalyser av energi och inneklimat skall göras innan man fryser design av klimatskärm och utformning av installationstekniska system. Dessa resultatet kan guida konstruktörer och installatörer i den slutliga utformningen av systemhandlingarna. Analyser och simuleringar i detaljprojekteringen görs för att verifiera att funktionskraven av energi och inneklimat uppfylls.

Uppföljning, verifiering och erfarenhetsåterföring

Ofta tar det år mellan design och energiberäkningar till uppföljning och mätning av verkliga data. Den verkliga energiförbrukningen kan vara så mycket som 50-100 % högre än den simulerade förbrukningen (Elmroth, 2002). Orsaker kan spåras till ett antal osäkerhetsfaktorer som beror på använt simuleringsverktyg, indata, referensdata som använts i simuleringen jämfört med verkliga förhållanden när det gäller solinstrålning, luftläckage och vädring, bidrag från hushållsapparater, verkligt klimat i jämförelse med medelvärden, samt förändringar som skett i ventilationssystem och byggnadens klimatskal under tiden mellan simulering och mätning (Neto och Fiorelli, 2007; Bagge, 2011).

En stor del av skillnaden förklaras av att brukarpåverkade indatavariabler som innetemperatur, relative fuktighet, användning av bostäder och lokaler, hushållsapparater och konsumtion av varmvatten. Studier visar att kulturella vanor och beteenden kan ha stor betydelse på för brukarbeteendet (Wilhite et al., 1996) men också att omedelbar återkoppling av momentan förbrukningen kan påverka beteendet.

Maile (2010) menar att genom en automatiskt och kontinuerlig jämförelse mellan simulerad och verklig förbrukning kan ägare av fastigheten få ett kvitto på att anläggningen fungerar enligt intentionerna. Ett sådant system skulle också ge uppslag och erfarenhetsåterföring för framtida uppgraderingar samt information till industriella konceptbyggare om deras produkters prestanda.

Med införande av BBR 2006 kom också krav på uppföljning av den specifika energianvändningen. Den verkliga energianvändningen skall mätas under en 12 månaders period inom 24 månader efter det att byggnaden tagits i drift. Detta leder till högre krav på energiberäkningar och på dess ingående data, speciellt i ett tidigt skede. För att kunna möta denna utveckling kan man urskilja ett tydligt behov av en integrerad process som inkluderar rätt kompetens vid rätt tillfälle och en central roll som tar ansvar för att tillgodose energirelaterade aspekter.

Energisamordnare

För att säkerställa att krav på energiprestanda av byggnaden kommer att uppfyllas krävs också att dessa krav beaktas under hela processen. Det innefattar att alla föreslagna lösningar kontinuerligt kontrolleras mot dessa krav och att varje avsteg från de ursprungliga kraven dokumenteras i både omfattning, anledning varför man har gjort dessa avsteg och, till exempel, om ändringen är gjort bara utifrån utvärdering av en aspekt. Konsekvenser av alla avsteg och ändringar, främst i detaljprojekteringen för energiprestanda och de ursprungliga funktionskraven som inkluderar inomhusmiljö, skall utvärderas och dokumenteras. I fallen då de enskilda avsteg leder till en försämrad prestanda bör kraven modifieras så att de avspeglar de aktuella förhållandena. För att bästa möjliga sätt kunna hantera detta behov föreslår vi en ny roll i projektorganisationen: energisamordnaren.

I energisamordnarens roll åligger att bidra med energikompetens till projektet och att samordna energifrågor under projekteringen. Eventuella specifika krav såsom krav på energicertifiering till olika nivåer, och energifrågor inom miljöklassningsprocessen skall också administreras av energisamordnare och innefattas till de övergripande

projektkraven. Till detta ansvar tillkommer dessutom uppföljningar av beräkningar och resultat, beständighetsanalyser, riskanalyser i projekteringen, uppskattningar av eventuella avvikelser i utförandet samt kommunikation med produktionspersonal.

Energisamordnaren koordinerar energi- och inomhusmiljöfrågor under hela processen och ser till att beställarens krav på energiprestandan och på inomhusmiljö uppfylls. Systematisk kravställare – hantering – verifiering

Energisamordnare skall ingå i projektteamet från start och vara delaktig i briefingsprocessen. Energisamordnare skall vara behjälplig beställaren i kravformuleringsprocessen i samförstånd med verksamheten och med de olika förutsättningarna för lågenergianvändning för att hitta lösningar som fungerar mot allas behov. Även identifikation av prestandaindikatorer som skall verifieras genom mätning vid överlämnande av byggnader och under de första åren skall omfattas av kravformuleringsprocessen. Fokus är på projektet snarare än enskilda sårintressen. Vidare skall energisamordnaren säkerställa att en initial projekteringsmodell, en BIM modell, är utformad efter energiaspekter då det annars kan vara svårt att lita på senare energianalyser.

Energisamordnaren måste under hela projekteringen initiera och säkerställa relevanta analyser och studier så att ett bra beslutsunderlag erhålls samt styra jämförande analyser och utvärderingar av alternativa tekniska lösningar. Energisamordnaren tar fram beslutsunderlag och utför eventuellt analyser, men beslutanderätten ligger på beställaren.

Energisamordnaren roll blir lika betydande i den fortsatta projekteringsprocessen där alla ändringar behöver anpassas och utvärderas ur ett energiperspektiv. Engagemanget fortsätter under byggskedet då enskilda energifrågor bevakas och följs upp och det förs en dialog med produktionspersonalen under en egen punkt på dagordningen.

Man kan även tänka sig att rollen utökas till att också omfatta drift av byggnad under och efter garantitid med kontroll och uppföljning av verklig förbrukning vs uppskattad energiprestanda och initialkrav. Utredning vid avvikelser och förslag på eventuella åtgärder, också löpande åtgärder för att minska förbrukning.

Ett förslag på kravprofil för energisamordnaren är att denne skall kunna hantera energi- och inomhusmiljörelaterade frågor, t ex kravställning. En installations- och byggnadstekniks bakgrund är därför önskvärd. Man kan också tänka sig en framtida certifiering av energisamordnare. Förslag på energisamordnare har också presenterats av Warfvinger (2007) och BELOK (2011) (kravspecifikation). Svebys handledning för framtagning av krav, standardiserade brukardata för beräkningar och verifiering av energiprestanda (Sveby, 2011) utgör också exempel på arbetsuppgifter för en energisamordnare.

Partnering i tidiga skeden för att underlätta energiprojektering

För att öka möjligheterna till effektiv energiprojektering bör de viktiga aktörerna upphandlas och involveras tidigt. Genom samverkan mellan beställare, konsulter, entreprenör och viktiga underentreprenörer/leverantörer redan under

projekteringsskedet kan deras kunskaper och erfarenheter tas till vara och integreras. Gemensam problemlösning där alla dessa aktörer medverkar är viktigt eftersom effektiv energiprojektering kräver stora kunskaper och erfarenheter om materialegenskaper, design av tekniska lösningar, samt produktionsmetoder. Tidigare forskning om Partnering och samverkansprojekt i byggbranschen har visat att just tidig upphandling och involvering av nyckelaktörer är av central betydelse för samverkan under hela projektiden (Rahman & Kumaraswamy, 2004; Eriksson, 2010a).

Tidigare forskning inom hållbar utveckling har också visat att tidig upphandling och samverkan mellan konsulter, entreprenör och viktiga underentreprenörer/leverantörer redan under projekteringsskedet är viktigt för att främja hållbart och "grönt" byggande som fokuserar på livscykelkostnader och energiförbrukning under en byggnads livslängd (Cole, 2000; Ugwu & Haupt, 2007; Robichaud & Anantatmula, 2011).

För att de tidigt involverade aktörerna ska kunna bidra till gemensam problemlösning under projekteringsskedet är deras kompetens och erfarenhet av central betydelse. Detta ställer större krav på beställarens val av leverantörer som måste ske på basis av mjuka parametrar snarare än lägsta pris. Tidigare forskning har också visat att val av leverantör baserat på mjuka parametrar blir extra viktigt då beställaren vill uppnå högre samverkan genom att involvera nyckelaktörer tidigt på ett incitamentbaserat kontrakt (Eriksson & Pesämaa, 2007).

Utöver den tidiga upphandlingen av lämpliga leverantörer är det också av central betydelse att aktörerna har incitament att samverka och fokusera på projektets gemensamma mål. Detta kan uppnås med hjälp av incitament och bonusmöjligheter som kopplas inte bara till ekonomi och tidplan utan även till andra mål som är relaterade till hållbart byggande (Eriksson & Westerberg, 2011; Robichaud & Anantatmula, 2011) som t ex energiprestanda och livscykelkostnader. Sådana incitament ger också mest påverkan om de baseras på gruppens prestationer, dvs. de samverkande aktörerna delar incitament, istället för att de kopplas till prestationer i enskilda kontrakt (Eriksson, 2010b).

För att öka möjligheterna till effektiv energiprojektering bör därmed upphandlings- och samverkansformer utvecklas. Upphandlingen bör utformas så att lämpliga aktörer väljs ut med hjälp av mjuka parametrar och involveras tidigt under projekteringsskedet. De bör också ha gemensamma incitament att samverka och tillsammans sträva efter lägre energiförbrukning och livscykelkostnader. Detta kräver en förändringsbenägen beställare som är proaktiv och kompetent nog att delta i den gemensamma problemlösningen under projekteringsskedet.

5. Energianalyser i ett industriellt konceptbyggande

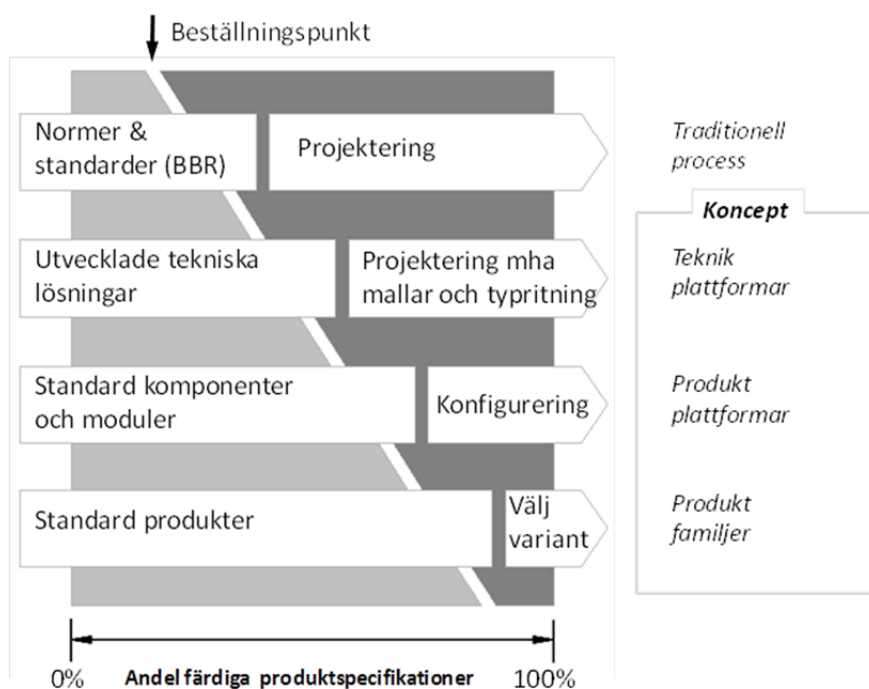
Industriellt konceptbyggande

Byggföretag hanterar brukarkrav först och främst genom sin affärsidé, där man riktar sig till vissa kundsegment. Det finns idag en väl förankrad traditionell byggprocess och ett förhållningssätt mellan byggherre, byggare och myndigheter. Denna process innebär att ett projekt sakta växer fram, och en rad kompromisser, förhandlingar och överenskommelser i samförstånd måste genomföras innan ett projekt kan förverkligas. Denna process är inte alls förenlig med ett industriellt konceptbyggande och är grunden till att nya och obeprövade lösningar gång på gång testas skarpt i pågående byggprojekt. Ett industriellt konceptbyggande innebär att byggherren inte skall tala om vad byggaren ska bygga, utan byggaren ska berätta för byggherren vad hans/hennes produkt kan erbjuda. Det optimala ur ett strikt industrialiseringsperspektiv är ett koncept baserat på massproduktion. Men eftersom byggbranschen arbetar traditionellt nästan enbart med enstycksprodukter krävs att dessa två principer kan mötas genom att utveckla koncept som kan anpassas till platsen. Beroende på hur stor del som specificeras i förväg innan beställaren gör sin order kan olika typer av industriella koncept urskiljas, Figur 5.1.

I den *traditionella processen* så utgår man normalt från standarder och normer som boverkets byggregler (BBR) m.m. Utvecklingen av s.k. *Teknikplattformar* som t.ex. NCC Bostad och SKANSKA Xchange, baserat på i förväg definierade metoder och lösningar som integreras och projektanpassas i en traditionell projekteringsprocess är ofta baserade på mallar. Även om själva projekteringsprocessen inte påverkas så mycket, bygger användningen av plattformen på att ägaren av konceptet (byggföretaget) blir totalentreprenör och kan kontrollera att utformningen av projektet faller inom ramen för den tekniska plattformen.

Konfigurerbara koncept eller *produktplattformar* är mer flexibla i jämförelse med produktfamiljer men har fler begränsningar i jämförelse med tekniska plattformar. Det är också ett affärsstrategiskt verktyg som definierar villkor inom vilka ett byggprojekt ska hålla sig inom. Projekteringen ersätts av en konfigureringsprocess där framtagandet av prestandadokument och bygghandlingar kan mer eller mindre automatiseras. Exempel på konfigurerbara koncept är Lindbäck's Byggs volymbyggnadssystem och PartAB's badrumsmoduler. NCC Komplet var ett exempel på ett elementbaserat konfigurerbart koncept.

Produktfamilj består av i princip färdiga byggnader med få variabler inom konceptets ramar. Exempel på variabler kan vara antal våningar, antal lameller, balkongplacering, entréplacering, grundläggningstyp, kulörval och andra kosmetiska tillval. Projekteringen ersätts av i stort sett en säljprocess där prestandadokument och bygghandlingar är i huvudsak framtagna i förväg. Exempel på koncept som produceras inom kategorin produktfamiljer är BoKlok, SKANSKA ModernaHus och NCC P303. BoKlok producerar "mindre hus" i form av villor, radhus och flerbostadshus. Deras i särklass största produkt är ett flerbostadshus med sex lägenheter som uppförs i två våningar. SKANSKA ModernaHus producerar flerbostadshus, 3-8 våningars lamell eller punkthus.



FIGUR 5.1: KONCEPT KATEGORISERADE EFTER BESTÄLLNINGSPUNKTENS LÄGE I FÖRHÅLLANDE TILL ANDEL FÄRDIG PRODUKTSPECIFIKATION, ANPASSAD EFTER HWAM ET AL. (2008)

I s.k. *produktplattformar* och *produktfamiljer* där möjligheten för kund Anpassning minskar kan det vara viktigt att komma in tidigt i byggherrens/kundens process för att kunna erbjuda alternativ som passar. Ibland kan även detalj-, illustrationsplaner och skisser innefatta krav som kullkastar användande av ett koncept. Anvisningar för husmått, höjder, indragna våningar, takutformning och liknande kan vara mycket svåra eller omöjliga att uppfylla om de är alltför detaljerade.

Energianalyser i konceptutveckling och projektutveckling

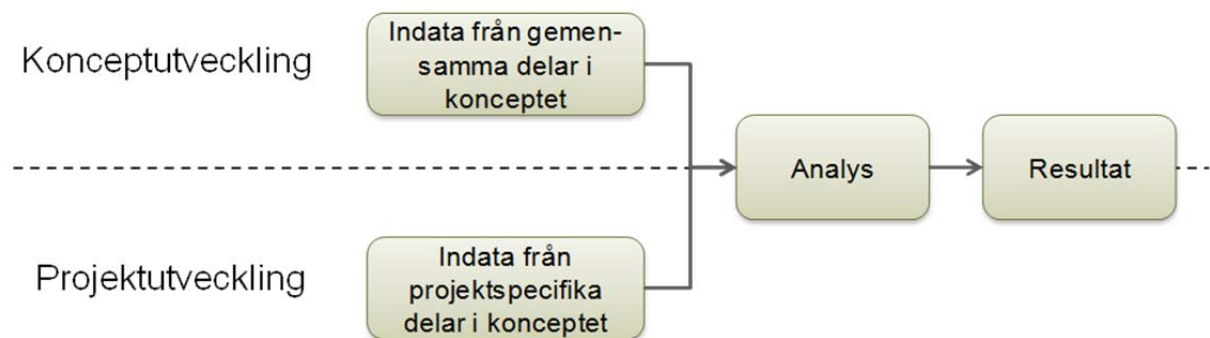
Alla typer av utvecklad koncept har en organisation för förvaltning, hantering av vidareutveckling, inköp och uppföljning. Denna organisation har också ett ansvar för att ta fram och följa upp den offererade produktens prestanda. Energiförbrukning ingår som del i den offererade produktens prestanda så att byggherren kan jämföra med funktionskraven som beställarorganisationen har ställt upp.

Till skillnad från traditionell byggprocess så består ett industriellt konceptbyggande av två separata processer; en konceptutvecklingsprocess (jämför produktutvecklingsprocess) och en projektutvecklingsprocess (jämför säljprocess) när konceptet kund Anpassas till behov och plats.

Konceptutveckling liknar i viss mån en vanlig projekteringsprocess på så sätt att prestandaanalyser av konceptet skall uppfylla de funktionskrav som ställs. Skillnaden är att kraven inte kommer från en specifik kund utan representerar ett marknadssegment istället. Marknadsanalysen bestämmer också vilken typ av koncept som skall utvecklas och hur många varianter som skall erbjudas. Prestandaanalyser,

t.ex. energianalys, görs på samma sätt som vanlig projektering för att utveckla koncept som har attraktiva egenskaper.

I projektutvecklingen, d v s när konceptet skall anpassas till kund och plats, kan prestandaanalys för enklare avsevärt. En stor del av konceptets egenskaper eller indata kommer att vara gemensamt och på förhand känt, dvs. endast de egenskaperna som varierar (påverkas av kundanpassningen) behöver definieras, Figur 5.2.



FIGUR 5.2: PRESTANDAANALYSER AV INDUSTRIELLA KONCEPT, I KONCEPTUTVECKLING OCH PROJEKTUTVECKLING

Eftersom en stor del av tiden i t. ex en energianalys ägnas åt att definiera nödvändiga indata i en normal projekteringsprocess kan tiden för att genomföra prestandaanalys av industriella koncept och produktvarianter kortas ned avsevärt (Racz et al., 2010). Olika prestandaanalys och val av produktkonfigurationer kan sedan integreras i s.k. konfigurationssystem. Ett exempel på automation av energianalys ges i nästa delkapitel av NCCs koncept P303.

Demonstration

NCC konceptet P303

I detta kapitel skall vi demonstrera möjligheterna med energiprojektering och konfiguration av konceptet P303. P303 (Byggsystem P303 – ett nytt sätt att bygga bostäder - NCC, se <http://www.ncc.se/sv/Projekt-och-koncept/Byggsystem-och-produkter/boende-hyresratter>) är ett koncept som består av ett flerbostadshus i två våningar som kan konfigureras som par- eller radhus, Figur 5.3. Energianvändningen skall vara låg, maximalt ca 60 kWh per kvadratmeter och år. Husen levereras nyckelfärdiga till fast pris (från 11 995 kronor per kvadratmeter) och har en byggtid på ca fyra månader.



FIGUR 5.3: NCC P303 KONCEPTET, TVÅ-VÅNING PAR ELLER RADHUS, BILDEN HÄMTAD FRÅN WWW.NCC.SE

Husen kan levereras i olika lägenhetskfigurationer, se Figur 5.4:

- 2 x 54 m² BOA tvårumslägenheter (E22),
- 2 x 67 m² BOA trerumslägenheter (E33),
- 2 x 82,8 m² BOA fyrrumslägenheter (E44).

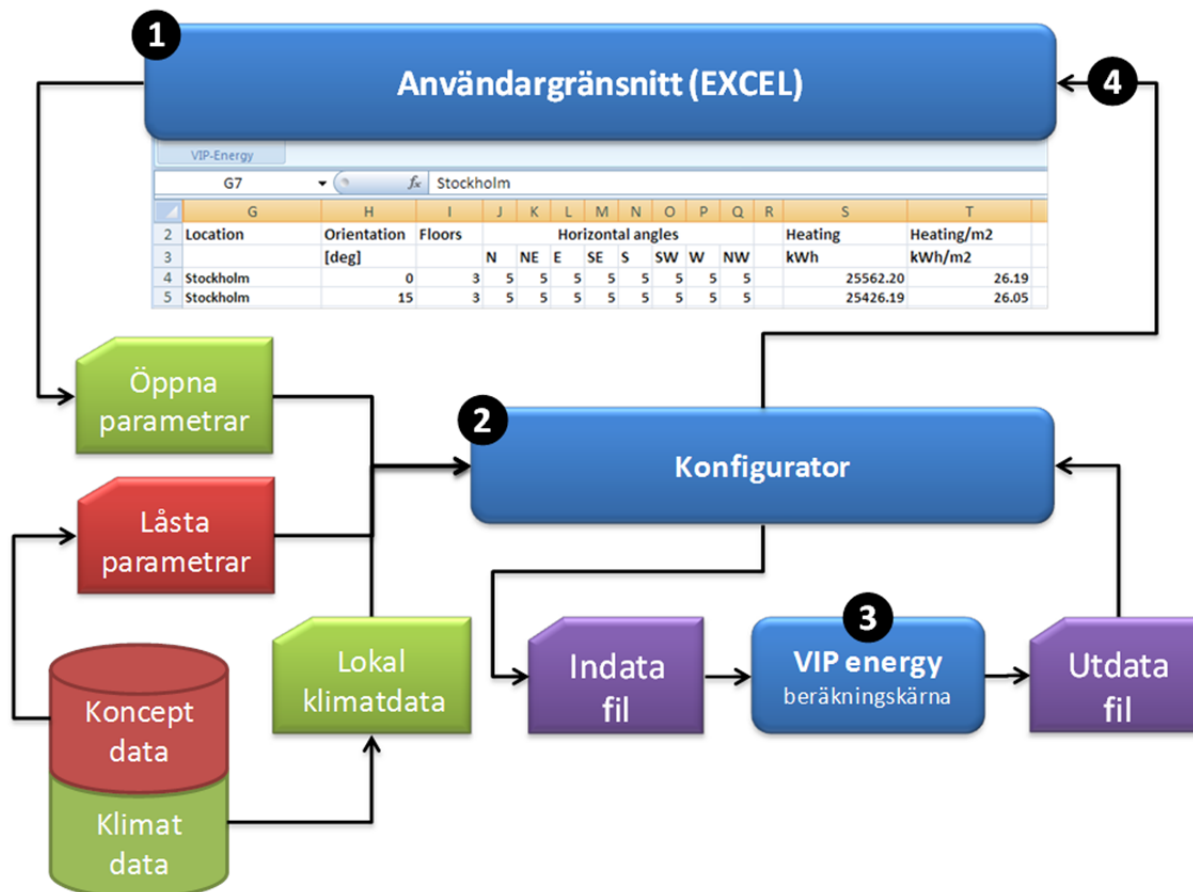
Utvecklad prototyp för energiprojektering och konfigurering av P303

I projektutvecklingen när konceptet skall anpassas till kund och plats, kan prestandaanalyser av t ex energiförbrukning och kostnader förenklas avsevärt. En stor del av konceptets egenskaper eller indata kommer att vara gemensamt och på förhand känt för alla produktvarianter, d v s endast de egenskaperna som varierar (påverkas av kundanpassningen) behöver definieras. Olika prestandaanalyser och val av produktkonfigurationer kan sedan integreras i s.k. konfigurationssystem. I demonstrationen av konfigurering och beräkning av energiprestanda ingår endast transmissionsförluster, d v s det som i huvudsak påverkas av klimatskalets egenskaper.



FIGUR 5.4: P303 TRE MODULKONFIGURATIONER, E44 - 4 RUM OCH KÖK, E33 - 3 RUM OCH KÖK SAMT E22 - 2 RUM OCH KÖK

Figur 5.5 visar ett flödesschema över den utvecklade konfigureringsprototypen.



FIGUR 5.5: DEMONSTRATIONSPROTOTYP UTVECKLAD FÖR KONFIGURERING OCH PRESTANDAANALYS AV P303

Excel (1) har använts som användargränssnitt för öppna parametrar och visning av resultat och som verktyg för kompletterande beräkningar och presentationer. Konfiguratorn (2) läser in öppna parametrar från Excel samt låsta parametrar och klimatdata från en databas för att generera indatafilen till VIP beräkningskärna. När energiberäkningen är klar (3) så läser konfiguratorn in resultatet från utdatafilen, beräknar produktionskostnader samt utvärderar projektalternativet enligt MADM verktyget beskrivet i kapitel 4 och sammanställer informationen i Excel (4).

Konfiguratorn går att använda i manuellt läge eller i optimeringsläge. I manuellt läge beräknas resultatet från öppna parametrar som ges radvis. De öppna parametrar som kan varieras är plats, orientering av byggnaden i förhållande till norr, konfiguration (d v s vilka moduler som används och kopplas ihop, se Figur 5.4), fönsteregenskaper (u-värde och solenergitransmission %) samt solinstrålningvinklar i olika väderstreck. Solinstrålningvinklarna är kopplade till valet av plats.

Resultatet av beräkningen är transmissionsförlusten av konfigurationen uttryckt som kWh per år och som kWh/m² BOA och år samt investeringskostnad kr/m² BOA

beräknad som husentreprenadkostnad (12000 kr/m²) och uppskattad markkostnad (inklusive byggherrekostnader) som är beroende av platsen.

Enligt BBR så redovisas energiprestanda per m² av den uppvärmda arean, A_{temp}. Orsaken till att energiförbrukningen visas som m² BOA är för att investeringskostnader beräknats i kr/m² BOA. Resultaten för energiprestanda per m² BOA kan enkelt skalas om till m² A_{temp} i ett verkligt fall.

För att demonstrera möjligheten till att använda beslutstödsystemet beskrivet i kapitel 4 vid konfigurering av olika alternativ har det implementerats i P303 prototypen. Utvärderingen baseras på 5 kriterier, varav tre är subjektiva och två objektiva. De subjektiva kriterierna är läget, orientering av byggnaden i förhållande till norr samt valda konfigurationer. De objektiva baseras på investeringskostnader och energianvändning för uppvärmning (i detta fall enbart transmissionsförlusterna) per m² BOA. Det sammanvägda resultatet presenteras i form av ett betyg där 100 % är det högsta betyget som kan ges och symboliserar att alternativet uppfyller byggherrens samtliga krav på samtliga kriterier.

I optimeringsläge ges de öppna parametrarna som skall varieras. Konfigureringsprogrammet beräknar automatiskt antalet alternativ som skall analyseras och genomför sedan analysen och presenterar de alternativ som ger det högsta betyget. Om exempelvis 3 platser skall undersökas, med 4 orienteringar på varje plats, 5 konfigurationer med 2 fönstertyper för varje konfiguration så innebär det att konfiguratoren kommer att analysera 3x4x5x2 = 120 varianter där den variant som ger den högsta sammanlagda betyget kommer att presenteras.

Konfigurering av P303 i manuellt läge

Tabell 5.1 visar P303 varianter som kommer att analyseras i manuellt läge; två konfigurationer (E22+E33+E33+E44 innebär 2 tvåor, 4 treor och 2 fyror) vid fyra olika städer i Sverige. Övriga öppna parametrar hålls konstanta. Observera att solinstrålningsvinklarna är kopplade till val av plats.

TABELL 5.1: ÖPPNA PARAMETRAR I MANUELLT LÄGE. EN UPPSÄTTNING PARAMETRAR PER RAD

Plats	Orientering [grader]	Konfigurationer	Fönster		Solinstrålningsvinkel i riktning							
			U värde	transmission	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Malmö	90	E22+E33+E33+E44	0,80	60	5	5	10	15	15	10	5	5
Malmö	90	E33+E33+E44+E44	0,80	60	5	5	10	15	15	10	5	5
Göteborg	60	E22+E33+E33+E44	0,80	60	10	15	10	20	20	10	30	30
Göteborg	60	E33+E33+E44+E44	0,80	60	10	15	10	20	20	10	30	30
Stockholm	0	E22+E33+E33+E44	0,80	60	30	25	20	25	15	15	10	10
Stockholm	0	E33+E33+E44+E44	0,80	60	30	25	20	25	15	15	10	10
Luleå	45	E22+E33+E33+E44	0,80	60	25	15	10	5	5	10	5	5
Luleå	45	E33+E33+E44+E44	0,80	60	25	15	10	5	5	10	5	5

Nästa tabell, Tabell 5.2, visar resultatet av konfigureringen:

- Area (BOA) för olika alternativ
- Transmissionförluster totalt (kWh) och per kvadratmeter BOA (kWh/m² BOA) och år.

- Kostnad (kr/m² BOA) för entreprenadkostnad inklusive uppskattade mark och byggherrekostnader.
- Sammanvägt betyg av beslutskriterierna: plats, orientering, konfigurering, energiförbrukning (transmissionsförlust) samt investeringskostnader.

Betyget är beroende på vilka värden och kriterier som anses vara viktiga för investeringsbeslutet.

TABELL 5.2: RESULTATREDOVISNING AV OLIKA KONFIGURERINGSALTERNATIV

Plats	Konfigurationer	Area	Transmissionförlust		Kostnad	Betyg
		m ²	kWh	kWh/m ²	Kr/m ²	%
Malmö	E22+E33+E33+E44	542	7946	14,7	18422	83
Malmö	E33+E33+E44+E44	599	8986	15,0	17820	85
Göteborg	E22+E33+E33+E44	542	8570	15,8	18422	88
Göteborg	E33+E33+E44+E44	599	9749	16,3	17820	90
Stockholm	E22+E33+E33+E44	542	10374	19,1	21589	72
Stockholm	E33+E33+E44+E44	599	11798	19,7	20684	73
Luleå	E22+E33+E33+E44	542	13481	24,9	15255	83
Luleå	E33+E33+E44+E44	599	15245	25,4	14957	83

I ovanstående exempel faller den ena konfigurationen (4 treor och 4 fyror) ut som den mest optimala med placering i Göteborg. Vi skall nu i nästa skede optimera orientering och val av isolerfönster

Konfigurering av P303 i optimeringsläge

För att optimera orientering och val av isolerfönster bestäms vilka fönstertyper och orienteringar som skall undersökas. Plats och konfigurationer hålls konstanta, se Tabell 5.3.

TABELL 5.3: KONFIGURERING I OPTIMERINGSLÄGE

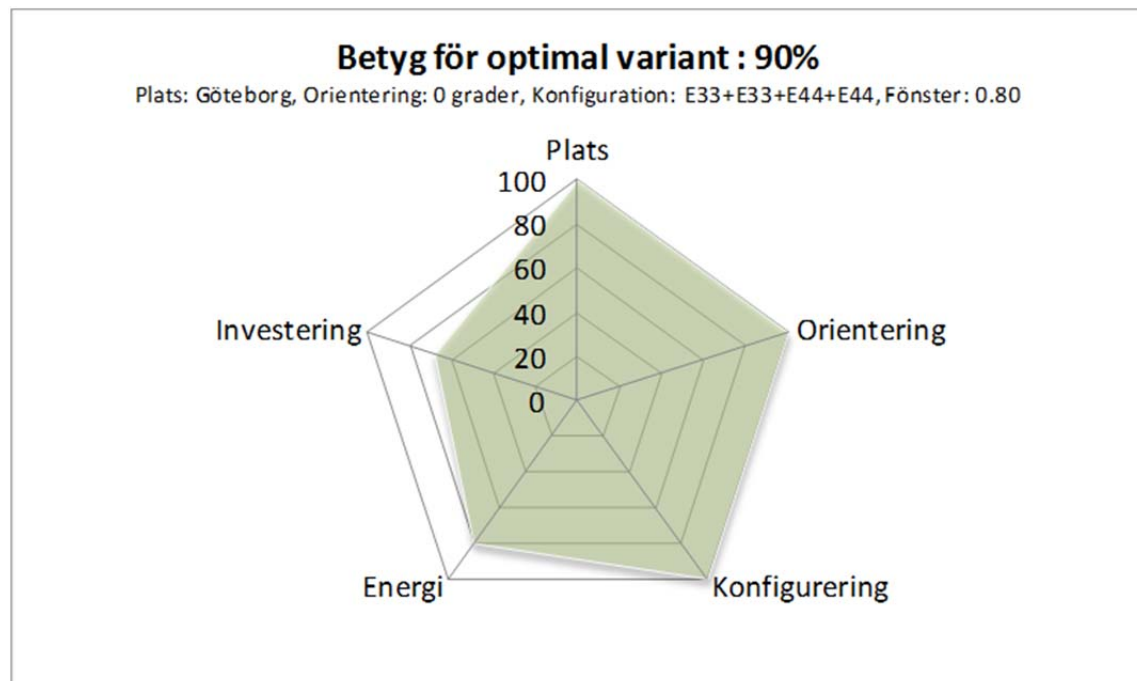
Plats	Orientering [grader]	Konfigurationer	Fönster		Solinstrålningsvinkel i riktning							
			U värde	transmission	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Göteborg	0	E33+E33+E44+E44	0,80	50	10	15	10	20	20	10	30	30
	45		1,00	60								
	90		1,20	70								
	135											
	180											

Antal varianter som analyseras blir $1 \times 5 \times 1 \times 3 = 15$ st. Resultat av analysen som tar några sekunder och presenteras i en Excel tabell där *Progress* raden visar resultatet från den senaste analysen medan *Optimal* raden visar det alternativ som fått högst betyg, Tabell 5:4.

TABELL 5:4 RESULTATREDOVISNING I OPTIMERINGSLÄGE

	Orientering	Fönster		Area	Transmissionförlust		Kostnad	Betyg
	[grader]	U värde	transmission	m2	kWh	kWh/m2	EUR/m2	%
Progress	180,00	0,80	50	599	9593	16	17820	82
Optimal	0,00	0,80	50	599	9749	16	17820	90

I stället för det sammanvägda betyg kan man studera hur valt alternativet har fått för betyg i de olika beslutskriterierna, Figur 5.6.



FIGUR 5.6: DEN OPTIMALA VARIANTENS BETYG FÖR DE OLIKA BESLUTSKRITERIERNA. BETYG GES FRÅN 0-100 %, DÄR 100 % REPRESENTERAR ATT BESLUTSKRITERIET HAR UPPFYLLTS TILL FULLO.

6. Slutsatser

Resultatet från fallstudierna visar på behovet och nyttan av att redan i tidigt planeringsskede utreda konsekvensen av olika alternativ vad gäller byggnadsutformning och klimatskärmens tekniska prestanda. Det spelar mindre roll vilket energiberäkningsverktyg man använder om resultatet används för att jämföra olika alternativ med varandra. Däremot kan energiförbrukningen i absoluta tal skilja sig avsevärt mellan tidiga energiuppskattningar och energisimuleringar senare i projekteringen. Simuleringsresultat som dessutom kan skilja sig från den verkligt uppmätta förbrukningen som påverkas av andra ej mätbara faktorer som t. ex kulturella vanor och beteenden.

Skillnaderna i krav och institutionella ramverk påverkar projektering av energieffektiva byggnader. En jämförande studie av hur man hanterar energifrågor från krav till färdig lösning mellan Tyskland och Sverige visar på ett behov av vidareutbildning i energifrågor för arkitekter och ingenjörer som kommer in tidigt i byggprocessen i Sverige. Undersökningen och jämförelsen pekar också mot ett behov av en sammanlänkande funktion, här kallad energisamordnare. Energisamordnarens roll är att föra in energikompetens in i projektet, säkerställa att krav och mål formuleras och hanteras samt aktivt delta i projekteringen för att guida utformningen av byggnaden mot en effektiv och låg energiförbrukning.

Vi kan konstatera att det är marknadskrafter och engagemang från byggare, beställare och lokala myndigheter snarare än nationella krav som driver energieffektivisering framåt i Sverige idag. Det kan emellertid leda till en situation där krav på energieffektivitet blir lokalt satta vilket kan leda till svårigheter för utvecklare av olika typer av byggnadssystem för bostäder och lokaler. Därför är det önskvärt att utvecklingen av byggnadstekniken som skett de senaste åren också följs upp av Boverket i form av krav som ligger i framkant snarare än minimikrav för att förhindra att en flora av lokala krav uppstår som kan verka som "handelshinder" för den fortsatta utvecklingen av det industriella byggandet i Sverige.

Vi ser också ett tydligt behov för ökad samverkan och integration för att kunna driva energieffektiviseringen framåt men samtidigt också ett tydligt behov av att utveckla upphandlings- och samverkansformer för att möjliggöra detta. Upphandlingen, till exempel, bör utformas så att lämpliga aktörer väljs utifrån mjuka parametrar och involveras tidigt under projekteringsskedet samt ges ekonomiska incitament kopplade till projektets mål, ekonomi och tidplan.

Projektet har också undersökt hur man skall åstadkomma en mer integrerad projekteringsprocess genom att:

- Skapa en struktur för att samla, uttrycka och klargöra mål och krav och utveckla dessa mot funktionskrav och tekniska lösningar.
- Genomföra en modellbaserad projektering som detaljerar tekniska lösningar allteftersom de utvecklas.
- Införa beslutsstöd för energifrågor i projektutveckling där funktionskrav successivt jämförs mot med hjälp av alltmer detaljerade prestandaanalyser.

I projektet har också ett nyutvecklat formellt beslutsstöd applicerats där flera alternativa lösningar kan utvärderas mot olika kriterier (MADM) vilka kan organiseras och viktas hierarkiskt utifrån projektets mål och krav.

I projektets utvecklingsdel har en prototyp, en "energikonfigurator", utvecklats för att effektivisera produkt och projektutveckling av s.k. konceptbyggande. Användandet har demonstrerats på NCCs koncept P303 där man optimerat konfigureringen i produkt och projektutveckling efter både subjektiva och objektiva kriterier som tänkas efterlikna ett visst kundsegment. Hundratals alternativa utformningar kan utvärderas på några minuter i jämförelse med dagar och veckor om samma analyser skulle göras för hand med hjälp av energiberäkningsprogram med manuell inmatning av indata.

7. Referenser

- Abel, E. & Elmroth, A. (2008) *Byggnaden som system*, (2:a upplagan), Stockholm, Formas.
- Bagge, H. (2011). *Building Performance: Methods for improved prediction and verification of energy use and indoor climate*, Doctoral Thesis, report TVBH-1019, Building Physics LTH.
- Baker, D., Bridges, D., Hunter, R., Johnson, G., Krupa, J., Murphy, J. and Sorenson, K. (2001). *Guidebook to Decision-Making Methods*, WSRC-IM-2002-00002, Department of Energy, USA.
- BELOK (2011). *Kravspecifikation för Energisamordnare*. <http://www.belok.se>
- Blomsterberg, Å. (2009). *Lågenergihus - En studie av olika koncept*, Institutionen för arkitektur och byggd miljö, Energi och ByggnadsDesign, Lunds universitet, Rapport nr EBD-R--09/28, Lund, Sverige
- Boverket (2006) *Regelsamling för byggande: Boverkets byggregler, BBR (BFS 1993:57 med ändringar till och med 2006:12)* Karlskrona: Boverket, 2006
- Boverket. (2010). *Regelsamling för energideklaration med kommentarer*. Karlskrona: Boverket.
- Boverkets författningssamling 2006:12,
BBR12.<http://webtjanst.boverket.se/Boverket/RattsinfoWeb/vault/BBR/PDF/BFS2006-12BBR12.pdf>
- Brown, S.A. (2001). *Communication in the Design Process*. Spon Press, London.
- Cole, R. (2000). *Building Environmental Assessment Methods: Assessing Construction Practices*. *Construction Management and Economics*, 18 (8), 949-57.
- Elmroth, A. (2002). *Energianvändning i teori och praktik i flerbostadshus i Effektivare energi i bostäder:66-75*, Boverket, Energimyndigheten, Naturvårdsverket.
- Energimyndigheten (2008). *Kravspecifikation för passivhus i Sverige – Energieffektiva bostäder*. Energimyndighetens program för passivhus och lågenergihus, Version 2008:1.
- Eriksson, P. E. & Pesämaa, O. (2007). *Modelling Procurement Effects on Cooperation*. *Construction Management and Economics*, 25 (8), 893-901.
- Eriksson, P. E. (2010a). *Partnering: What is it, When should it be used and How should it be implemented?* *Construction Management and Economics*, 28 (9), 905-17.
- Eriksson, P. E. (2010b). *Improving Construction Supply Chain Collaboration and Performance: A Lean Construction Pilot Project*. *Supply Chain Management: An International Journal*, 15 (5), 394-403.
- Eriksson, P. E. & Westerberg, M. (2011). *Effects of Cooperative Procurement Procedures on Construction Project Performance: A Conceptual Framework*. *International Journal of Project Management*, 29 (2), 197-208.
- FEBY, 2009a. *Kravspecifikation för passivhus*. Forum för energieffektiva byggnader, energimyndighetens program för passivhus och lågenergihus.

- FEBY, 2009b. Kravspecifikation för Minienergihus. Forum för energieffektiva byggnader, energimyndighetens program för passivhus och lågenergihus.
- FEBY, 2009c. Kriteriejämförelse av passivhus enligt PHI och FEBY, Forum för energieffektiva byggnader, energimyndighetens program för passivhus och lågenergihus.
- Femenias, P. & Kadefors, A., (2011), Clients' strategies for driving innovation in low energy building, In proc. from the International Sustainable Building Conference SB11 in Helsinki 18-21 September 2011
- Gårdenborg, L. (2011). Energiprestanda i nyproducerade småhus - En undersökning av ett typhus i södra Sverige. Examensarbete, Luleå tekniska universitet.
- Herronen, N. (2009). Calculation of energy consumption based on a Building Information Model. Master Thesis, Helsinki University of Technology, Helsinki.
- Hvam L., Mortensen, N. H., Riis, J. (2008). Product customization, Berlin: Springer.
- IEA (2008). World Energy outlook 2008. Paris, France, International Energy Agency.
- InPro (2009). Capturing stakeholder values. <http://www.inpro-project.eu/main.asp>
- InPro (2011). Open Information Environment for Knowledge-Based Collaborative Processes throughout the Lifecycle of a Building. <http://www.inpro-project.eu/main.asp>
- International Passive House Association (2010). <http://www.passivehouse-international.org/>
- Jagemar, L. & Pettersson, B. (Eds.) (2009). Energieffektivisering – möjligheter och hinder, IVA Vägval energi.
- Kunz, J., & Fischer, M. (2008). Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions. Stanford, USA: Stanford University, Center for Integrated Facility Engineering.
- Kvist, H. och Nordström, C. (2008). Energieffektiva byggnader: Riktlinjer för effektiv användning av projekteringshjälpmedel i byggprocessen. Energi och ByggnadsDesign. Institutionen för arkitektur och byggd miljö. Lunds tekniska högskola. Rapport EBD-R--08/23
- Lovins, A. B. (1977). Soft Energy Paths: Toward a Durable Peace, Penguin Books.
- Maile, T., Fischer, M., & Bazjanac, V. (2010). A Method to Compare Measured and Simulated Data to Assess Building Energy Performance, Working Paper #WP127, Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University.
- Míguez, J. L., Porteiro, J., López-González, L. M., Vicuña, J. E., Murillo, S., Morán, J. C. & Granada, E. (2006). Review of the energy rating of dwellings in the European Union as a mechanism for sustainable energy. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 10, 24-45.
- Neto, A. H. & Fiorelli, F. A. S. (2007). Use of Simulation Tools For Managing Building Energy Demand. Paper presented at the Building Simulation 2007, Tsinghua University, Beijing, China.

Nässén, J. & Holmberg, J. (2005). Energy efficiency—a forgotten goal in the Swedish building sector? *Energy Policy*, 33, 1037-1051.

Nässén, J., Sprei, F. & Holmberg, J. (2008) Stagnating energy efficiency in the Swedish building sector—Economic and organisational explanations. *Energy Policy*, 36, 3814-3822.

Olofsson, T., Schade, J., Heikkilä, K., Benning, P., Schunke, M., Schreyer, M., Dehlin, S., Sormunen, P., Hirvonen, T., Meiling, J., Tulke, J. & Holopainen, R. (2009). The InPro Lifecycle Design Framework for Buildings. www.inpro-project.eu/docs/InPro_LifeCycleDesignFramework.pdf

Racz, T., Rönneblad, A., & Olofsson, T. (2010). Energy analysis automation for industrialized construction processes. *Proceedings of the CIB W78 2010: 27th International Conference -Cairo, Egypt, 16-18 November*.

Rahman, M. & Kumaraswamy, M. (2004). Contracting Relationship Trends and Transitions. *Journal of Management in Engineering*, 20 (4), 147-61.

Robichaud, L. & Anantamula, V. (2011). Greening Project Management Practices for Sustainable Construction. *Journal of Management in Engineering*, 27 (1), 48-57.

Romm, J. J. (1994). *Lean and clean management: how to boost profits and productivity by reducing pollution*. New York: Kodansha International.

Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw Hill.

Schade, J. (2009). Energy simulation and life cycle costs: estimation of a building's performance in the early design phase, Licentiate thesis, Luleå University of Technology, ISBN: 1402-1757.

Schade, J., Olofsson, T. & Schreyer, M. (2011). Decision-making in a model-based design process, *Construction Management and Economics*, 29:4, 371-382.

Spekkink D. (2005). *Performance based design: Bringing Vitruvius up to Date*. CIB (PeBBu) General Secretariat, Rotterdam.

SVEBY (2009). *Energiverifikat09 – Uppföljning av energikrav under byggprocessen*. Svebyprogrammet, projektrapport 091231.

Torcellini, P., et al. (2006). *Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition*. ACEE Summer Study, USA.

Ugwu, O. & Haupt, T. C. (2007). Key Performance Indicators and Assessment Methods for Infrastructure Sustainability - A South African Construction Industry Perspective. *Building & Environment*, 42 (2), 665-80.

Warfvinge, C. (2007). *Ta in en energisamordnare i hela byggprocessen*. Husbyggaren, nr 5.

Wiking, S. (2011). *Energieffektivisering av ett flerbostadshus – Går det att nå kraven för minienergihus?* Examensarbete, Luleå tekniska universitet.

Wilhite, H., Nakagami, H., Masuda, T., & Yamaga, Y. (1996) A cross-cultural analysis of household energy use behavior in Japan and Norway, *Energy policy*, 24, 9, 795-803.