



Svensk sammanfattning av licentiatavhandlingen,  
Passive House Construction – Symbiosis between Construction Efficiency & Energy Efficiency

# Passivhusproduktion

*Symbios mellan Produktionseffektivitet &  
Energieffektivitet*

*Albert Boqvist, 2010*

## Bakgrund

Energieffektivitet och produktionseffektivitet är idag två stora fokusområden inom den svenska byggsektorn. Ganska ofta ses de dock som varandras motsatser.

I Sverige har byggkostnaderna ökat med 2,5 ggr konsumentprisindex under de senaste årtiondena. Det finns många förklaringar till detta, men oavsett vilken, så får det som konsekvens att byggverksamheten blir onödigt dyr, vilket utgör hinder för samhället att utvecklas i nödvändig takt. Samtidigt måste produktionseffektiviteten öka för att byggföretagen ska klara av att hålla hälsosamma finansiella marginaler.

Byggbranschen har stor inverkan på klimatförändringarna eftersom cirka 40 procent av den totala europeiska energianvändningen används inom byggsektorn. Efterfrågan på energieffektivare byggnader har på senare tid ökat. Två marknadsundersökningar, genomförda av NCC respektive Skanska, visar att bostadsmarknaden efterfrågar mer energieffektiva bostäder. Den ena av undersökningarna visar att hela 73 procent finner det självklart att byggföretag alltid bygger så energieffektivt som möjligt.

I takt med ökade energipriser och en större fokus på klimatförändringar blir det avgörande för byggföretagen att visa att man inte ignorerar energifrågan. Byggnaders energiprestanda måste bli bättre och fokus på livscykelkostnader måste öka.

Vid den tidpunkten då detta doktorandprojekt startade var passivhuskonceptet ett relativt okänt koncept inom den svenska byggbranschen. Det hade dock byggts ett begränsat antal passivhus i Sverige och generellt ansågs energieffektiva bostäder innebära en ökad kostnad. Istället låg huvudfokus på att reducera byggkostnaderna och i flertalet fall, genom industrialisering. Några få flerbostadshusproducenter satsade på att industrialisera byggprocessen, dock med varierande resultat. Det som dock var samstämmigt i satsningarna på industriellt byggande var att alla utvecklare planerade konceptens energiprestanda efter aktuellt minimikrav, och därmed utan marginal till de aktuella byggreglerna.

För att öka kvalitén och samtidigt reducera kostnader inom ett industriellt koncept är repetition en förutsättning. Genom att repetera arbetsmoment och processer skapas stabilitet och effektivitet, eftersom färre fel och problem uppstår. Denna insikt fanns inte vid de första passivhusprojekten i Sverige, eftersom projekten bestod av nya unika ”produkter” utan tanke på återanvändning. Målet inom dessa projekt var istället att kontrollera och verifiera konceptet i sig och därför utvärderades olika tekniska frågor som till exempel energianvändning och brukarbeteende.

Byggbranschen behöver reducera byggkostnaderna och samtidigt möta den växande efterfrågan hos kunder efter energieffektivare bostäder utan att dessa ska vara märkvärdigt dyrare än traditionella bostäder. I Sverige, och inom våra marknadsledande företag, finns det få personer som besitter båda dessa kunskapsområden och samarbetet över gränserna är svagt. Forskning som tar hänsyn till båda områdena är därmed nödvändigt för att bygga upp tvärdisciplinär kunskap.

Utifrån detta initierades detta forskningsprojekt, med start hösten 2007 och avslut under våren 2010.

## Syfte

Det huvudsakliga syftet med avhandlingen är att öka kunskapen om produktionseffektivitet och energieffektivitet samt att öka kunskapen om hur dessa interagerar. Mer specifika mål är:

- öka den generella förståelsen om energieffektiva bostäder och produktionseffektivitet,
- föreslå en produktionsstrategi som underlättar integrationen av energieffektivitet och produktionseffektivitet, och,
- vidare exemplifiera hur den föreslagna strategin skulle kunna implementeras och användas inom byggandet av energieffektiva bostäder.

## Avgränsningar

Det finns flertalet namn och idéer om vad som är en energieffektiv bostad. Passivhuskonceptet är ett av få koncept som har en tydlig definition och även kravspecifikation. För att därför klargöra vad som avses med energieffektiva bostäder och minimera risken för missuppfattning avgränsades detta projekt till att fokusera på bostäder byggda enligt den svenska kravspecifikationen för passivhus. Eftersom de studerade passivhusprojekten inom denna avhandling har varit ”pilotprojekt” har byggkostnaderna heller inte studerats i detalj.

Det finns också en flora av strategier, metoder och verktyg för att generellt förbättra produktionen, och detta förbättringsarbete är något som forskare och utvecklare har arbetat med sedan lång tid tillbaka. Därför är denna avhandling avgränsad till att studera strategier, metoder och verktyg, som enligt författaren är relevanta avseende passivhusproduktionens egenskaper, förutsättningar och problem.

## Genomförande

### Fas 1 – Identifiering av problemet

För att verkligen förstå vad passivhusproduktion innebar och därmed kunna identifiera problemen genomfördes först en intervjustudie. De intervjuade var platschefer med erfarenhet från passivhusprojekt. Anledningen till att endast platschefer valdes för intervju var för att de har en god överblick över projektet, både över projekterings- och produktionsfasen. Vid denna tidpunkt fanns det nio genomförda passivhusprojekt och med hänsyn till tidsaspekten var sju aktuella att studera. Sex av sju accepterade att bli intervjuade.

Intervjuerna var semistrukturerade och intervjuplanen var kategoriserad i fem olika områden. Uppdelningen gjordes för att förstå det aktuella företaget likväl som det aktuella projektet.

Efter att ha utvecklat relevanta frågor inom respektive kategori, diskuterades frågorna inom den till projektet tillhörande referensgruppen. Referensgruppen bestod av tio personer med stor erfarenhet från byggprocessen samt även med specialistkunskap inom passivhusområdet. Syftet med att diskutera frågorna inom gruppen var att komplettera intervjuplanen med fler frågor tills dess att gruppen enades om att alla relevanta områden täckts. Efter detta testades intervjuplanen på en testperson. Efter mindre justeringar genomfördes sedan intervjuerna, bestående av 32 huvudfrågor exklusive underfrågor. Intervjuerna tog cirka två timmar i genomsnitt och samtliga spelades in med diktafon.

Resultatet analyserades sedan utifrån ”skillnader”, orsakade av passivhuskonceptet, och hur dessa påverkade den traditionella byggprocessen. Resultatet strukturerades sedan och fördelades i olika kategorier.

*Fas 1 utmynnade i en vetenskaplig artikel:*

Boqvist A., Claeson-Jonsson C., Thelandersson S. (2010): *Passive House Construction – What is the Difference Compared to Traditional Construction?* The Open Construction and Building Technology Journal, vol 4, pp. 9-16

## Fas 2 – Sökandet efter lösning

Resultatet från den första fasen låg sedan till grund för vidare forskning. Denna andra fas inleddes med litteraturstudier inom områdena produktionseffektivitet samt industriell produktion. Syftet var att genom förfrågningar och litteraturstudier finna en passande produktionsstrategi till passivhus.

*Fas 2 utmynnade i ett konferensbidrag:*

Boqvist A. (2009): *Passive house construction; from pilot project to main stream construction*. Proceedings of Passivhus Norden Conference 2009, Gothenburg, Sweden.

## Fas 3 – Utveckling och applicering av lösningen

Denna avslutande fas var tänkt att verifiera resultatet från föregående fas och därmed verifiera den föreslagna produktionsstrategin. Utifrån detta implementerades och anpassades en industriell metod för produktionsvänlig design.

Först skapades en modell som visade orsaken till problemen inom passivhusproduktionen tillsammans med förslag på lösningar/åtgärder. Syftet var att illustrera hur energieffektivitet och dess egenskaper kan kopplas till en effektiv produktion. Efter att metoden implementerats och anpassats kom den kallas ”Design for Construction” (DFC). För att testa användbarheten hos DFC genomfördes en fallstudie inom ett ”verkligt” passivhusprojekt, (NCCs Brf Stierncrona, Beckomberga, Stockholm). För att omfattningen skulle vara hanterbar fokuserade fallstudien på utvecklingsprocessen av lätta ytterväggar. För att påvisa nyttan med DFC sattes tre hypoteser upp. Samtliga skulle verifieras för att DFC skulle anses användbart.

1. Alla svagheter (identifierade och förbättrade inom det verkliga projektet) skulle identifieras av DFC
2. Ytterligare svagheter skulle identifieras. Svagheter som alltså inte hade identifierats inom den verkliga utvecklingsprocessen.
3. Användandet av DFC skulle reducera tid, tack vare en produktionsvänligare design.

*Fas 3 utmynnade i en vetenskaplig artikel:*

Boqvist A., Gerth R., Claeson-Jonsson C., Thelandersson S. (2010): *Design for Construction – A Model to Integrate Energy Efficiency and Construction Efficiency*. Submitted to the Journal of Construction Engineering and Management, 2010-01-19.

## Resultat

Passivhusproduktion är idag en fråga om högkvalitativt byggande och därmed kräver ingående arbetsmoment hög noggrannhet vid utförandet. Detta är den stora skillnaden i jämförelse med byggandet av traditionella hus och det förflyttar byggprocessen till helt ny nivå. I samtliga studerade projekt tog det längre tid att bygga i enlighet med passivhuskonceptet och det var också dyrare, även om det varierade hur mycket dyrare. Dock menade alla de platschefer som intervjuades att det inte var den ökade materialvolymen som orsakade den extra kostnaden utan snarare den extra arbetstiden. Därför anses tid vara ett problem idag, och att det tar för mycket tid, och tiden behöver reduceras för att realisera en långsiktig standardproduktion av passivhus.

Sju områden identifierades som nyckelområden inom passivhusproduktionen; Systemdesign, Ritningar, Produktionsplanering, Arbetsmetoder, Kvalitetskontroller, Ledarskap samt Attityder. De projekt som enligt platscheferna själva gått bra, ekonomiskt och produktionsmässigt, hade varit väl förberedda genom att de haft speciell fokus inom dessa områden. I de mindre lyckade projekten hade vikten av att förstå konceptet underskattats eller ignorerats. Detta ledde till ytterligare tidskrävande aktiviteter, vilka skulle kunna beskrivas som rent slöseri.

Det finns ett behov av att finna en alternativ produktionsstrategi som prioriterar produktkvaliteten bättre och på ett mer integrerat sätt, samtidigt som den reducerar tiden och kostnaderna för produktionen. Utifrån detta föreslogs ett mer industrialiserat tillvägagångssätt. Anledningen till att tillverkningsindustrin utvecklat stödjande verktyg och systematiska metoder var initialt, och är fortfarande, för att försäkra hög kvalitet till låga kostnader. Nu möter alltså byggindustrin samma problematik som tillverkningsindustrin redan har mött. Därför föreslås det att byggindustrin ska tillämpa samma tänk och anpassa, implementera och använda redan befintliga metoder, utvecklade för samma syfte och flitigt använda inom andra industrier.

Följande presenterar en produktionsstrategi i form av ett femstegsprogram för effektivisering av passivhusproduktionen:

### **1. Standardisera en teknisk plattform (produktmodell)**

Om företag använder sig av unika lösningar inom var projekt är det omöjligt att driva ständiga förbättringar på ett effektivt sätt. För att det på ett effektivt sätt ska vara möjligt att driva ständiga förbättringar måste det finnas fördefinierade och standardiserade lösningar samt att projekten ska kunna kommunicera relevanta förbättringsförslag. Vidare skapas en upprepnings effekt vid nyttjandet av en teknisk plattform som leder till effektivare projektering, produktion och inköp. Långsiktigare samarbeten med leverantörer kan etableras vilket även gör att leverantörerna kan vara med vid utvecklings- och förbättringsarbeten. Utvecklingskostnaderna kan också reduceras eftersom de kan fördelas ut på många olika projekt. De industriella metoderna "Design for X" och "Concurrent Engineering" bör implementeras, anpassas och användas i utvecklingsarbetet för att säkra att erforderlig kvalitet uppnås inom de standardiserade lösningarna och produkterna, samt för att underlätta en effektiv utvecklingsprocess.

## **2. Standardisera delprocesser**

För att vidare effektivisera passivhusproduktionen behöver processerna standardiseras. Anledningen är densamma för att standardisera en teknisk plattform och därigenom möjliggöra effektiv erfarenhetsåterföring och ständig förbättring. För att behålla flexibiliteten ska processerna standardiseras i delprocesser som sedan kan kombineras på olika sätt för att passa projekten.

## **3. Manuellt, maskinellt och automatiserat arbete**

Det är viktigt att produkten eller lösningen utformas med hänsyn till alla relevanta aspekter, såsom t.ex. produktion, energi och miljö. Att lösa problem, och därmed förändra lösningar, ute på plats riskerar innebära att endast produktionsaspekten kommer med i lösningen. Det är därför viktigt att projektera färdigt innan produktionen startar samt att ritningar kompletteras med arbetsbeskrivningar över hur arbetet ska utföras. Det manuella arbetet innebär därför att moment utförs i enlighet med framtagna föreskrifter. Maskinellt arbete innebär att det manuella arbetet effektiviseras genom användning av maskiner medan automatiserat arbete utförs utan mänsklig insats.

## **4. Processororientering**

Byggföretag behöver tänka om och bryta upp gamla vanor och istället organisera sig efter de nya villkoren. Traditionella byggföretag är ofta organiserade efter funktioner, vilket innebär att alla specialister är separerade i olika avdelningar. En funktionsorienterad organisation får ofta svårt med det tvärfunktionella arbetet som krävs inom passivhusprojekten. Respektive avdelning fokuserar endast på sina egna uppgifter och sitt eget resultat och därmed förloras förståelsen för helheten. Processororienteringen utgår från ett helhetsperspektiv och arrangerar resurser så att flödet i processerna optimeras.

## **5. Styr materialförsörjning**

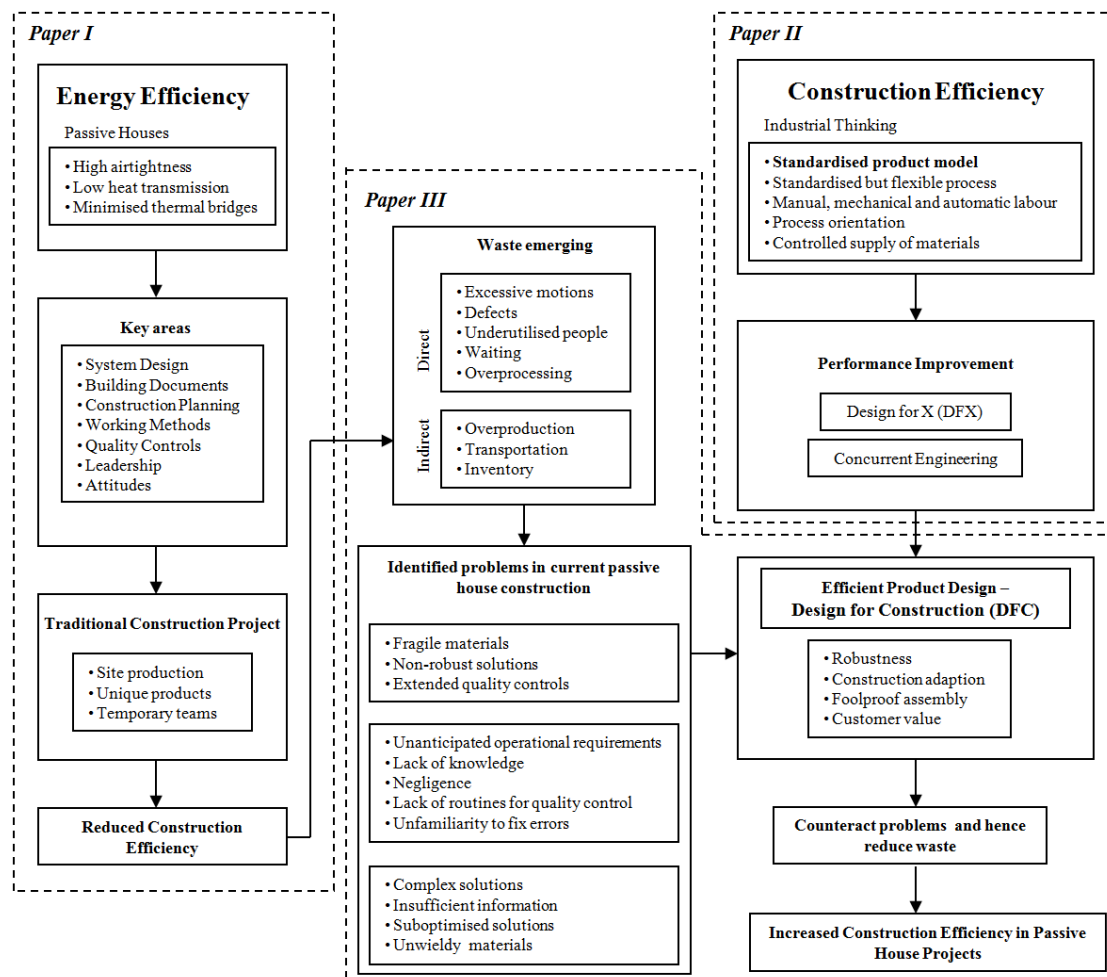
Planera materialförsörjningen och kontrollera/uppdatera vid förändringar. Så snart flödet är balanserat genom processororienteringen kan materialförsörjningen planeras och kontrolleras. Att kontrollera materialförsörjningen till arbetsplatsen minskar slöseri och det sparar tid. Om material levereras för tidigt måste det temporärt lagras på platsen och i de flesta fall även väderskyddas, vilket kräver extra tid för hantering. Ännu värre kan det dock vara om material inte levereras i tid. Då riskerar bygget att avstanna, vilket snabbt blir mycket kostsamt.

Arbetet i denna avhandling fokuserade på att utveckla det första steget (standardiserad plattform). Dels för att stegen i programmet följer i sekventiell ordning men speciellt eftersom en noggrant planerad design till stor del reducerar de identifierade problemen inom passivhusproduktionen. Enligt författaren skulle en systematisk och planerad design, kompletterad med arbetsbeskrivningar, kunna effektivisera passivhusproduktionen att bli likvärdig med dagen produktion av traditionella hus, avseende byggkostnader. Men för att fortsätta att effektivisera passivhusproduktionen måste dock efterföljande steg tas.

För att exemplifiera hur det första steget skulle kunna implementeras, presenterades en designmetod baserad på "Design for X" och "Concurrent Engineering", namngiven "Design for Construction" (DFC). DFC använder kriterier härledda från de identifierade problemen inom passivhusproduktionen och kundvärden. Detta för att i tidiga skeden av produktutvecklingsprocessen kunna utvärdera produktionsaspekter och kundnytta. Därmed utvärderar DFC att "saker görs rätt" (produktionsaspekten) och "rätt saker görs" (kundaspekten) vilket gör att produktens totala prestanda kan utvärderas i tidiga skeden.

DFC belyser starka och svaga sidor hos produkten och visar på så sätt var förbättringar är nödvändiga. Metoden har tillämpats och framgångsrikt testats inom utvecklingsfasen av ett svensk passivhusprojekt. Eftersom DFC initialt visar var man behöver fokusera menar deltagarna i utvärderingsprocessen att användandet reducerar tid likväl som användandet av DFC ökar kvalitén, både i utvecklingsfasen och i produktionsfasen. Därför har DFC potentialen att förbättra produktionen av passivhus och underlätta dess utveckling mot standardproduktion.

Följande figur visar en modell över interaktionen mellan resultaten från respektive fas.



## Resultatens praktiska tillämpningar och möjliga konsekvenser

Resultatet i denna avhandling visar att utvecklingen av nya koncept måste ske i samarbete mellan alla ingående relevanta discipliner. Alltför ofta ser man idag att någon relevant aspekt glöms bort vilket ofta resulterar i en sämre produkt än utlovat alternativt en dyrare produkt, på grund av omarbeten eller onödigt tidskrävande arbetsmoment. DFC inkluderar tydliga metodanvisningar som visar hur arbetet med utveckling bör ske. Förenklat skulle man kunna säga att DFC är en form av checklista för produktionsvänlighet och kundnytta. Det första DFC förordar är att undersöka tidigare erfarenheter, för att se vilka problem det finns samt hur dessa ska kunna motverkas i designen. Sedan sätts kriterier upp för att utvärdera hur väl den aktuella produktdesignen överensstämmer med den ”perfekta” produktdesignen. Detta synsätt har saknats inom byggandet av passivhus och därför borde den praktiska tillämpningen av DFC vara stor. Dock krävs det att mer tid läggs ner i tidiga skeden vilket i sin tur kräver ett annorlunda tänk i jämförelse med hur flertalet bolag driver utveckling idag.

Att bygga effektivt handlar också mycket om engagemang; enkelt uttryckt: vill alla, är det svårt att misslyckas. Arbetsättet som den föreslagna produktionsstrategin förutsätter, bygger på ett närmare samarbete mellan produktansvarig och den/de som slutligen monterar/bygger produkten. Detta är naturligtvis dock inte unikt för passivhusproduktion men ett mindre väl fungerande samarbete blir tydligare i passivhus eftersom det krävs högre noggrannhet, avseende t.ex. lufttäthet, fuktsäkerhet etc. Om passivhus, som är en relativt ny produkt i Sverige, får en tillhörande produktionsstrategi som skapar engagemang och effektivitet, borde konsekvensen vara att fler väljer att bygga mer energieffektivt. Det skapas en trygghet för beställare om byggprocessen blir mer strukturerad och systematisk och att utgå från plattformar gör att erfarenhetsåterföring och ständiga förbättringar kan drivas mer effektivt.

Avslutningsvis är därigenom en av slutsatserna från denna avhandling att passivhusproduktion kräver en mer strukturerad och systematisk process och upprättas en sådan process blir konsekvensen, förutom lägre kostnader, ett större engagemang och ett bättre samarbete. Denna konsekvens tror författaren leder till att fler vill bygga passivhus och att passivhus därför inom en snar framtid kan vara standardproduktion.