

Produktionsvänlig projektering av passivhus

SBUF-projekt 12149

**NCC Construction Sverige AB**
NCC Teknik

Postadress
405 14 Göteborg

Besöksadress
Gullbergs Strandgata 2

Kontakt
Tel: 031-7715000
Fax: 031-15 11 88
www.ncc.se

Organisation
Org.nr 556613-4929
Solna, Sverige
VAT.nr SE663000130001

Förord

Projektet har finansierats av NCC Construction Sverige AB samt Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF. Projektledare har varit Christina Claeson-Jonsson (NCC Teknik). I arbetsgruppen har Agge Holmqvist, Fredrik Gränne, Mats Öberg och Eugene Camara (NCC) förtjänstfullt bidragit med sina erfarenheter. I referensgruppen har ingått Albert Boqvist, LTU och NCC Teknik, som bidragit med sin erfarenhet inom området och gett värdefull input och koppling till sitt industridoktorandprojekt, samt Kristina Gabrielli, PEAB och Tomas Engelbertsson, SKANSKA.

Göteborg, juli 2009

Christina Claeson-Jonsson, NCC Teknik

Sammanfattning

En av byggbranschen största utmaningar ligger i att bygga energieffektivt samtidigt som byggprocessen måste effektiviseras. En möjlighet utgör de så kallade passivhusen, vilka är så energieffektiva att det traditionella värmesystemet inte längre behövs. Passivhus ställer dock krav på högsta installerad effekt för uppvärmning och tillåter inget annat än felfritt byggande. Därmed krävs idag en hög grad av manuellt arbete och ineffektiva hantverksbaserade metoder. Detta rimmar illa med ambitionen att sänka produktionskostnaderna. Många ser kravet på felfritt byggande som ett problem men är det inte så att det snarare är en potential för hela byggbranschen? Behöver vi inte ett allmänt mer felfritt byggande?

Det industriella tänkandet innebär möjligheter att nå ett mer felfritt byggande genom att integrera konstruktion med produktion och minimera icke värdeskapande aktiviteter. I denna studie föreslås en metodik, baserat på industrialiserat tänkande, som redan i projekteringsskedet utformar lösningar som är anpassade för tillverkning och montage. Den byggnadspassade varianten av det i den fasta industrin välbekanta angreppssättet DFMA (Design for Manufacture and Assembly) har använts i denna studie och utgör basen för det verktyg som framtagits som hjälpmedel. Detta har illustrerats med ett exempel för att underlätta förståelsen. Som resultat erhålls ett komplement till det prisindex som vanligtvis enbart används och som indikerar ett mått på produktionsvänlighet. Detta index, tillsammans med till exempel materialkostnad, kan utgöra underlag för val av lösning. Detta angreppssätt frångår traditionell fokusering på enbart pris och tar en helhetssyn på problematiken. Det specifika projektet kan således få fram en lösning som är mest lämpad sin specifika situation avseende till exempel arbetskraft, erfarenhet och lokala förutsättningar.

Produktionen av passivhus står inför ett vägskäl. Om inte branschen som helhet kan hitta en effektivare produktion så kommer detta leda till att enbart ett fåtal nischade företag erbjuder byggnation av passivhus medan den stora massan enbart uppfyller lägsta rådande myndighetskrav avseende energieffektivitet. Om en rationell, kostnadseffektiv produktion finns att tillgripa finns det möjligheten att företagen ser detta som ett konkurrensmedel och således verkar dessa för hårdare krav från myndigheterna och internt. Först då kan vi uppnå ett energieffektivare samhälle. Den i arbetet redovisade metodiken är ett led i att stödja denna utveckling.

Innehållsförteckning

1. Inledning	5
2. Bakgrund.....	5
3. Problemen och möjligheterna	5
4. DFMA (Design for Manufacture and Assembly)	6
5. Bygganpassat verktyg	7
6. Arbetssätt	9
7. Exempel som illustrerar modellen	9
7.1 Yttervägg.....	9
7.2 Absoluta krav	10
7.3 Kriterier.....	11
7.4 Betygsättning av kriterier.....	13
7.5 Resultat av utvärderingsmodellen.....	14
8. Slutsatser och rekommendationer	15
9. Referenser	17

1. Inledning

Syftet och målet med detta projekt är att för passivhusproduktion öka effektiviteten och lönsamheten samt minska felen genom att föreslå en metodik, baserat på industriellt tänkande, som redan i projekteringsstadiet av passivhus utformar lösningar som är anpassade för tillverkning och montage. Detta illustreras även med ett exempel för att ytterligare tydliggöra metodiken.

2. Bakgrund

En av byggbranschen största utmaningar ligger i att bygga energieffektivt samtidigt som byggprocessen måste effektiviseras.

En av de mest extrema formerna av lågenergihus är passivhus, vilka är så energieffektiva att det traditionella värmesystemet inte längre behövs. Under de senaste 17 åren har man byggt över 10 000 passivhus i Tyskland, Österrike och Schweiz. Även om Sverige i en jämförelse ligger långt efter så pekar efterfrågekurvan över lågenergihus rakt uppåt. Många bedömare förespår faktiskt en ökning av produktionen av passivhus trots en allmän nedgång i bostadsbyggandet.

Passivhus ställer dock krav på högsta installerad effekt för uppvärmning och tillåter inget annat än felfritt byggande. Därmed krävs idag en hög grad av manuellt arbete och ineffektiva hantverksbaserade metoder. Detta rimmar illa med ambitionen att sänka produktionskostnaderna. Många ser kravet på felfritt byggande som ett problem men är det inte så att det snarare är en potential för hela byggbranschen? Behöver vi inte ett allmänt mer felfritt byggande?

Det industriella tänkandet innebär möjligheter att nå ett mer felfritt byggande genom att integrera konstruktion med produktion och minimera icke värdeskapande aktiviteter. Precis som Boqvist (2008) och Engström et al (2005) rapporterar finns en möjlighet att låna kunskap från annan bransch och anpassa den efter byggandets villkor.

3. Problemen och möjligheterna

Dagens passivhusproduktion beskrivs ofta som tidskrävande och framförallt framhävs klimatskalets behov av förbättring och utveckling. För att effektivisera produktionen och samtidigt kvalitetssäkra produkten kan ett industrialiserat angreppssätt vara ett effektivt verktyg. Erfarenheter visar att platsbyggda passivhus kan förbättras, metoderna kan göras både snabbare och enklare. Idag finns dock inga riktlinjer eller kunskapsdokument som beskriver hur projekteringen av och arbetet med förtillverkade enheter skall/kan utföras.

För att förbättra kvaliteten och för att möjliggöra en mer effektiv produktion så strävar många byggbolag efter att industrialisera sina processer. Gerth (Gerth 2008) föreslog fem steg för att byggbolagen skulle nå en industrialiserad process och Boqvist (2009) har

senare anpassat dessa för att passa passivhusproduktion. Kontentan av dessa steg kan sammanfattas i att för att passivhusproduktion skall bli ”vardagsbyggande” måste byggindustrin fokusera på sina processer för att kunna sänka sina kostnader. Idag fokuserar många inom byggsektorn enbart på slutprodukten för att kunna sänka sina kostnader och detta är inte tillräckligt. Passivhus ställer högre anspråk på utförandet men det kan också ses som en möjlighet för förändring, utveckling och förbättring av byggprocessen.

För att kunna säkerställa en bra produktion måste man redan i projekteringsstadiet ha en strategi för hur man hanterar detaljutförandet utifrån aspekterna tillverkning och montage. Ett strukturerat angreppssätt är att föredra. Såsom ett möjligt verktyg för detta framstår det i den fasta tillverkningsindustrins etablerade verktyget DFMA (design for manufacture and assembly). DFMA riktar in sig på de egenskaper som beredning, produktion, system och komponenter måste ha för att produkten skall fylla rätt behov och samtidigt vara lätt att tillverka och montera. Dock kan inte verktyget användas rätt av utan måste anpassas för att tillgodose de specifika behov och krav som byggbranschen som helhet och byggprojektet specifikt kräver.

4. DFMA (Design for Manufacture and Assembly)

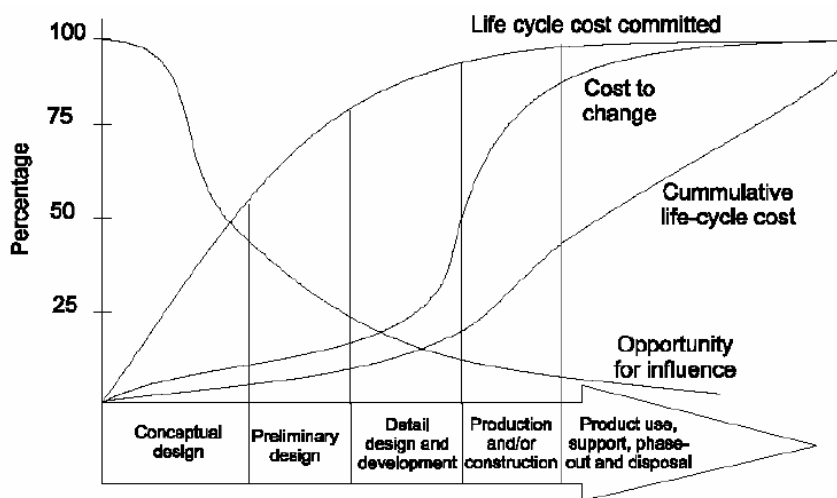
Design for Manufacture and Assembly (DFMA) består av ett antal metoder och verktyg för en produktionsorienterad utveckling av produkter, med avseende på hela produktlivscykeln. De första som utvecklade ett systematiskt tillvägagångssätt att arbeta med DFMA var Boothroyd, Dewhurst och Knight (2002). DFMA finns beskrivet i åtskillig litteratur och kommer inte att beskrivas i detalj i denna redovisning. Sammanfattningsvis kan dock DFMA förklaras:

- *Enkelhet är grunden:* Enkelhet ger lägre kostnader och större tillförlitlighet i tillverkning och montering, tack vare färre detaljer, kortare tillverkningssekvenser och enkel materialhantering.
- *Använd standardiserade material och komponenter:* Detta leder till färre komplikationer vid inköp, lagerstyrning, verktygshantering och vid tillverkning/montering.
- *Rationell och genomtänkt konstruktion:* Att använda sig av samma material, komponenter och förmontage i olika produktfamiljer ger ekonomiska fördelar, förenklar processtyrning och reducerar kostnader för verktyg och utrustning.
- *Största möjliga toleranser:* Snäva toleranser ger extra kostnader.
- *Materialval för rätt funktion och process:* Materialet måste samstämma med tillverkningsprocessen och säkerställa produktens tillförlitlighet som i sin tur påverkar garanti- och servicekostnader.
- *Eliminera operationer som inte tillför värde:* Att förädla produkten i så få moment som möjligt minskar hanterings-, lagrings- och administrationskostnader.

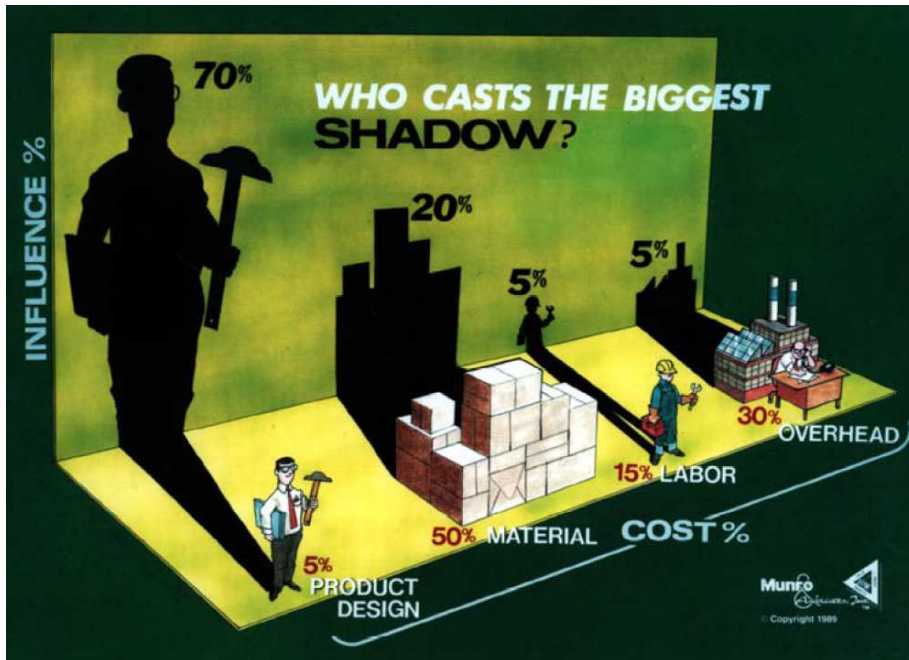
- *Konstruktion för process:* t.ex. ge ytstruktur på plasticsprutande detaljer, addera funktioner till vissa komponenter som underlättar matning och gripning.
- *Teamwork:* Framgången beror ofta på en öppen-dörr-kultur i hela organisationen, ledningens engagemang, utbildning för alla och en ständig dialog för ständiga förbättringar.

5. Bygganpassat verktyg

Produktutvecklingsfasen och projekteringsfasen är som direkta kostnader en relative liten del av den totala kostnaden av en produkt. Men, som syns i figurerna 1 och 2, kan de ha stor inverkan på de andra kostnaderna. Man kan också konstatera att möjligheterna till att påverka är som störst i början av projektet och minskar därefter drastiskt med tiden. Det är också viktigt att inse att kostnaden för ändringar ökar ju längre kommet projektet är. Precis som med kostnader så avgörs graden av miljöpåverkan i ett tidigt skede. EU har uppskattat att ca 80% av en produkts miljöpåverkan avgörs i projekteringsfasen. Genom att öka kunskapen om nästföljande faser så kan man i projekteringsfasen öka kvaliteten, sänka kostnaderna och minska miljöbelastningen.



Figur 1 Kostnader associerade till olika sekvensiella faser hos en produktutvecklingsprocess (Blanchard and Fabrycky, 1998).



Figur 2 Grön (green) och Lean produktutvecklingsprocess (Gnam and Chalmer, 2008)

För att kunna utvärdera en produkt eller konstruktionslösning så underlättas arbetet om det finns ett stödjande hjälpmedel som strukturerat går igenom viktiga moment och därigenom underlättar värderingen. I detta projekt har vi använt som bas den bygganpassade variant av Boothroyds, Dewhursts och Knights metodik som framtagits inom ramen för EU-projektet ManuBuild och som redovisats bla i Jürisoo och Staaf (2007). Utvärderingsmodellen har därefter anpassas för att ta hänsyn till de aspekter som är särskilt viktiga ur passivhusproduktionsperspektiv. Speciell vikt har lagts för att inkludera de områden som identifierades i Boqvist (2008).

Modellen inkluderar följande tre steg:

1. För att säkerställa att konstruktionsdetaljen i fråga exempelvis klarar att ta upp dimensionerande last, klarar lufttäthetskrav och U-värde kontrolleras absoluta krav med en checklista.
2. Nästa steg i metoden är en utvärdering av produktionsvänlighet men även andra aspekter kan inkluderas. Utvärderingen är baserad på kriterier som är uppdelade i tre påståenden. Ett betyg sätts på varje kriterium beroende både på konstruktionsdetaljens egenskaper och på kriteriets relevans.
3. Resultatet av utvärderingen är ett medelbetyg samt ett index för varje detalj. Detta resultat kan därefter användas som ett komplement till pris för att välja bästa möjliga lösning. Design med metoden bör ske iterativt.

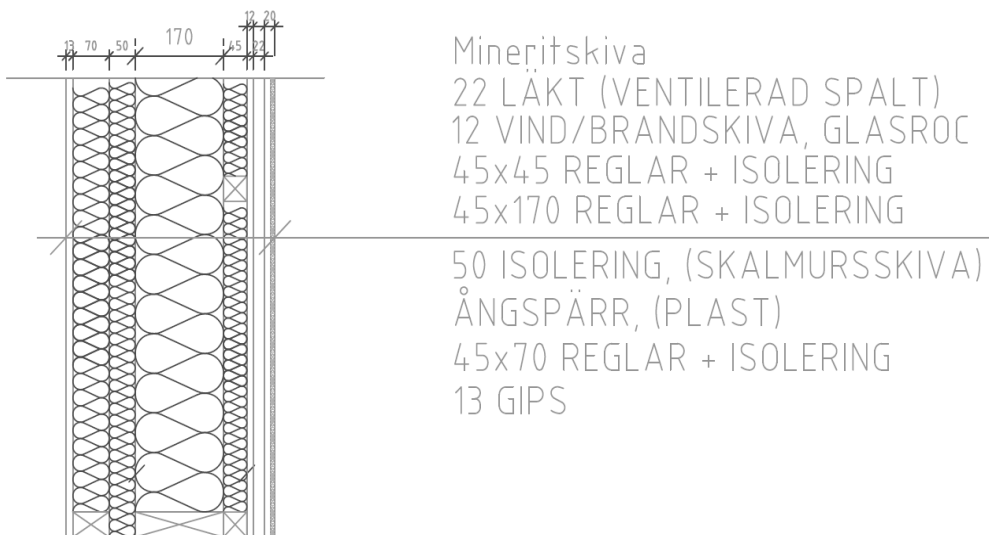
6. Arbetssätt

Traditionellt utarbetas de tekniska konstruktionslösningarna av en av projektet utsedd konstruktör och CAD-projektör. Dessa personer jobbar vanligtvis relativt separerade från byggproduktionen och första kontakt blir då ritningarna skickas på remiss till byggarbetsplatsen. Den i detta arbete föreslagna utvärderingsmodellen kräver ett annat arbetssätt. Framtagandet av ingående krav och kriterier utarbetas och sammanställs lämpligen redan i början av projektet av en tvärdisciplinell grupp bestående till exempel av platschef, konstruktör, energiexpert och inköpare. Genom detta förfarande kan projekt- och företagsspecifika kriterier tas fram och tidig information kommer redan i detta stadium fram vilket förbättrar beslutsunderlaget och minskar riskerna.

7. Exempel som illustrerar modellen

7.1 Yttervägg

För att illustrera användningen av modellen så har en yttervägg valts som exempel på konstruktionsdetalj. En typisk lösning på en passivhusvägg ges i Figur 3. Denna vägg uppfyller de absoluta kraven men är enbart delvis produktionsanpassad och produktionsanpassningen har inte utarbetats systematiskt utan tillkommit under resans gång. Vi skall med detta exempel utvärdera och kvantifiera produktionsvänligheten och identifiera vilka möjligheter till förbättringar som föreligger.



Figur 3 Yttervägg i passivhus (flerfamiljshus, anpassad efter en stomme av betong med stålpelare)

7.2 Absoluta krav

För att säkerställa att ytterväggen i fråga exempelvis klarar att ta upp dimensionerande last, har rätt U-värde eller täthet kontrolleras absoluta krav med en checklista. Ett exempel på en sådan checklista återfinns i Figur 4. Det är värt att understrykas att om något eller några av de grundläggande kraven ej uppfylls så måste dessa uppfyllas innan ytterväggen kan utvärderas ytterligare. När alla relevanta krav har uppfyllts kan ytterväggen utvärderas med hjälp av utvärderingsmetoden. Andra krav, till exempel företagsspecifika, kan läggas till vid behov.

CHECKLISTA			
Om något eller några av de grundläggande kraven inte uppfylls så måste dessa uppfyllas innan ytterväggen kan användas. När alla relevanta krav har uppfyllts kan ytterväggen utvärderas med hjälp av utvärderingsmetoden. Andra krav kan läggas till vid behov.			
Grundläggande krav Yttervägg			
Uppfyller ytterväggen följande krav...	Ja	Nej	Inte relevant
Bärförmåga, stadga och beständighet <i>Byggnadsverket skall vara konstruerat och utfört på ett sådant sätt att den påverkar det sannolikt utsäts för under bygg- och bruksskedet inte leder till</i> a) ras av byggnadsverket, helt eller delvis, b) sådana större deformationer som är oacceptabla, c) skada på andra delar av byggnadsverket, dess installationer eller fasta utrustning, till följd av större deformationer i den bärande konstruktionen, d) skada genom händelse som inte står i proportion till den ursprungliga orsaken			
Brandskydd <i>Byggnadsverket skall vara konstruerat och utfört på ett sådant sätt att om brand uppstår</i> — byggnadsverkets bärförmåga kan antas förbli intakt under en bestämd tid, — utveckling och spridning av brand och rök inom byggnaden begränsas, — spridning av brand till närliggande byggnader begränsas, — personer som befinner sig i byggnaden kan lämna den eller räddas på annat sätt, — räddningsmanskapets säkerhet beaktas.			
Hygien, hälsa och miljö <i>Byggnadsverket skall vara konstruerat och utfört på ett sådant sätt att det inte medför risk för de boendes eller grannarnas hygien eller hälsa, särskilt inte som en följd av</i> — utsläpp av giftig gas, — förekomst av farliga partiklar eller gaser i luften, — farlig strålning, — förorening eller förgiftning av vatten eller mark, — bristfälligt omhändertagande av avloppsvatten, rök och fast eller flytande avfall, — förekomst av fukt i byggnadens delar eller på ytor inom byggnaden.			
Säkerhet vid användning <i>Byggnadsverket skall vara projekterat och utfört på ett sådant sätt att det inte innebär oacceptabel risk för olyckor vid användning eller drift såsom halka, fall, sammanstötning, brännskador, elstötar eller skador från explosioner.</i>			
Bullerskydd <i>Byggnadsverket skall vara projekterat och utfört på ett sådant sätt att buller, som uppfattas av de boende eller av personer i närheten av byggnaden, ligger på en nivå som inte medför risk för deras hälsa och som möjliggör sömn, vila och arbete under tillfredsställande förhållanden.</i>			
Energihushållning och värmeisolering <i>Byggnadsverket och dess installationer för uppvärmning, kylning och ventilation skall vara projekterat och utfört på ett sådant sätt att den mängd energi som med hänsyn till klimatförhållandena på platsen behövs vid användandet är liten och värmekomforten för brukarna är tillfredsställande.</i>			
PASSIVHUSKRITERIER Uppfyller ytterväggen passivhuskriterierna?			
Väggens lufttäthet <i>Lufttätheten i passivhus är viktig. Väggens skall klara en lufttäthet på 0.3 l/sm²</i>			
Fönster <i>Fönster skall ha ett maximalt U-värde på 0.9 W/m² K</i>			
Generellt <i>Ytterväggen har tillräckligt låg värmegenomgång samt innehar tillräckliga egenskaper för att uppfylla resterande krav som ställs på totala byggnaden.</i>			

Figur 4 Checklista för grundläggande krav yttervägg

7.3 Kriterier

När de grundläggande kraven uppfyllts så kan övriga aspekter utredas. Till hjälp för denna utvärdering har 31 kriterier etablerats. Dessa kriterier inkluderar produktionsaspekter, tex hur monteringsvänlig väggen är, fukt- och kundaspekter. Syftet med dessa kriterier är att få en sammanvägd bedömning av väggens egenskaper och på så vis kunna jämföra den med andra lösningar. Detta angreppssätt kompletterar den normala bedömningen avseende enbart kostnad.

De använda kriterierna med en kort beskrivning är:

1. Robusthet avseende hantering

Ute på plats är det viktigt att väggen klarar av hård hantering, stötar, lyft, etc. Utstickande delar som kan skadas bör i så lång utsträckning som möjligt undvikas.

2. Stabilitet vid montering

Snabb och enkel stabilisering av väggelementet eller dess stabiliserande delar är att föredra, till dess att väggen fixerats "permanent". Anslutningsmetoden bör inte kräva temporär stöttning eller infästning.

3. Positionering

Väggelementet eller väggens styrande delar ska helst positioneras mekaniskt på rätt plats.

4. Idiotsäkert montage av externa lösa delar

Viktigt att monteringen av de lösa externa delarna är så enkel som möjligt, så att risken för fel minimeras.

5. Idiotsäkert montage av interna lösa delar

Viktigt att monteringen av de lösa interna delarna är så enkel som möjligt, så att risken för fel minimeras.

6. Antal materialskikt

Färre antal skikt och material är att föredra då det minskar antalet arbetsmoment.

7. Infästning av interna lösa delar

Vid montering är så få varianter som möjligt av infästningar/beslag att föredra, dvs färre littera

8. Storleken på interna lösa delar

Långa, breda, tunga etc. interna delar är svåra att hantera och bör undvikas. Även mindre men lätthanterliga delar bör undvikas om de anses vara produktionsmässigt ineffektiva (tidskrävande).

9. Anslutningslösning

Anslutningarna av väggelementen eller väggsektioner ska fixera väggen så att risk för oönskade rörelser inte föreligger. Anslutningarna bör också vara så enkla som möjligt.

10. Multifunktionella anslutningar

För att effektivisera är det lämpligt att använda en och samma typ av anslutning i så stor utsträckning som möjligt.

11. Lufttäteten

Lufttäteten är mycket viktig i dessa konstruktioner. Därför viktigt att väggen enkelt och kvalitetssäkert byggs lufttät.

12. Nedplockningsbarhet

Väggen eller dess delar bör enkelt kunna monteras ner om tex något gått fel i produktionen eller t.ex. för att sortera avfall vid större renovering.

13. Toleranser

Väggens uppbyggnad, på plats, bör inte skapa/kräva toleranskedjor. Element som skall anslutas bör ha liten tolerans medan själva anslutningen bör ha större.

14. Färdigställandegrad

En hög färdigställandegrad att föredra för att minimera arbetet på plats och för att säkra kvaliteten.

15. Resursbehov

Antalet montörer som behövs för att montera väggen bör vara så få som möjligt.

16. Specialistbehov

Det vore idealiskt att en person kunde uppföra hela väggen utan att behöva specialkompetens.

17. Säkerhet för arbetarna

Risken att de som monterar väggen kan skadas ska minimeras.

18. Maskinpark

Ju färre, enklare och anpassade maskiner som behövs, desto bättre är det.

19. Monteringstid

Ju mindre tid montaget tar, desto bättre är det.

20. Installationsskikt

Viktigt att installationerna i väggen kan dras utan att lufttätet och isolering riskerar påverkas negativt.

21. Luftspärrens robusthet

Luftspärren får inte gå sönder eller/och tappa funktion. Det är därför riskabelt att använda ett ömtåligt material.

22. Luftspärrens skarvar

Eventuella skarvar av luftspärren anses som en mycket kritisk punkt. Därför viktigt med robusta skarvar för att minimera risken för läckage.

23. Fuktkänslighet

Materialen bör kunna stå emot så pass mycket fukt att respektive materials funktion inte försämras.

24. Fuktsäker uppbyggnad

Om vatten eller fukt skulle komma in i konstruktionen är det viktigt att fukten har möjlighet att torka ut.

25. Väderberoende montering

En vägg (prefab eller platsbyggd) som kan uppföras oberoende väder utan att kvaliteten försämras är att föredra.

26. Fuktsäkra anslutningar & infästningar

Anslutning av externa lösa delar (såsom tex fönster) ska vara säkra mot vatteninträning.

27. Interiöra infästningar

Det är av värde för kunden att kunna fästa upp saker (t.ex. tv:n) på väggen utan att extra förstärkning behövs.

28. Skyddad luftspärr

För att de boende inte ska behöva riskera tätheten när de sätter upp tavlor etc är det viktigt att tätskiktet är skyddat.

29. Luftspärrens livslängd/beständighet

Luftspärrens (inkl dess anslutningar etc) beständighet är viktig då konstruktionen förväntas ha en lång livslängd.

30. Underhåll

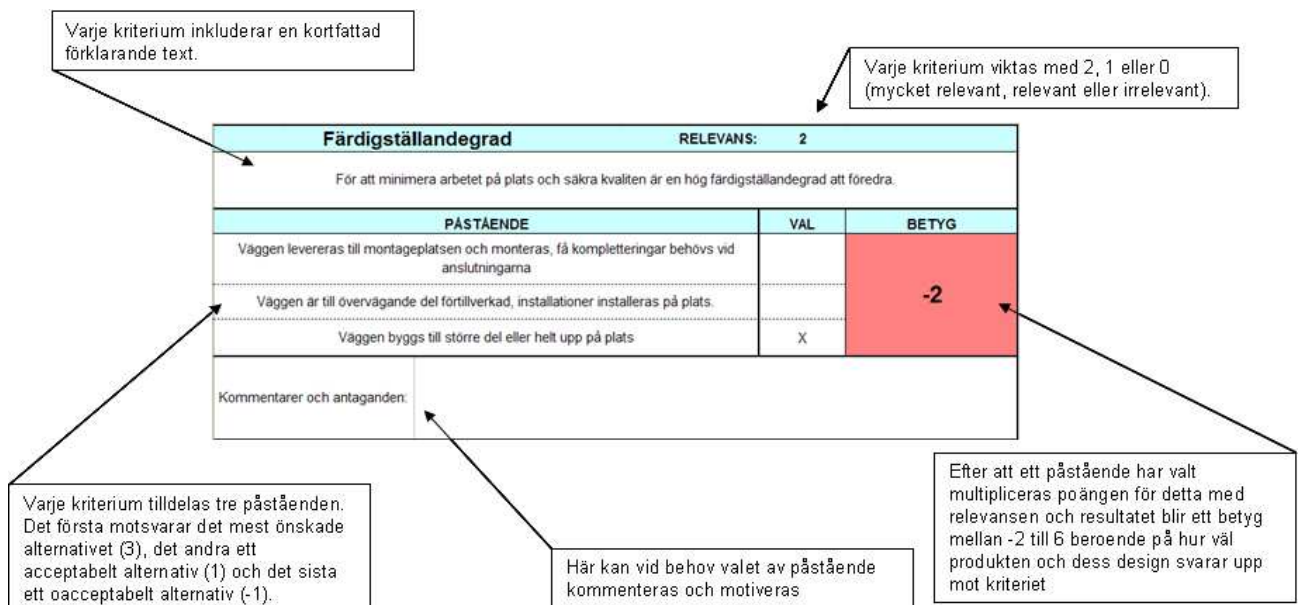
Bra om väggen är så underhållsfri som möjligt (fasaden med målning etc).

31. El-uttag

Att ha ordentligt med eluttag är viktigt i tex vardagsrum, detta måste dock beaktas med avseende på täthetsaspekt.

7.4 Betygsättning av kriterier

Varje kriterium betygsätts med hjälp av tre poängsatta påståenden och ett relevansindex. Det påstående som passar bäst in på den aktuella väggkonstruktionen väljs. Det första påståendet innebär 3 poäng (bäst), mittenpåståendet 1 poäng och det sista påståendet får -1 poäng (sämst). Relevansen har skalan 2 för mycket relevant, 1 för relevant och 0 för irrelevant. För att illustrera detta så ges nedan ett exempel, se Figur 5. Detta påstående behandlar färdigställandegrad och bedöms som väldigt relevant för konstruktionen (således väljs relevans = 2). Vår vägg byggs helt upp på plats och får således -1 poäng. Kriteriebetyget fås genom att multiplicera poängen (här -1) med relevansen (här 2) och således erhålls för detta kriterium betyget -2. Bästa möjliga betyg är 6.



Figur 5 Exempel på poäng och betygsättning av kriterium

7.5 Resultat av utvärderingsmodellen

Detta förfarande upprepas för varje kriterium och till slut erhålls ett fullständigt resultat för väggkonstruktionen. Dessa resultat sammanställs slutligen i en tabell för att erhålla en överskådlig bild av utvärderingsresultatet. Tabell 1 redovisar det slutliga resultatet för väggkonstruktionsexemplet.

Tabell 1 Sammanställt resultat för ytterväggsexemplet. Röd färg indikerar ett icke accepterbart resultat, grön färg indikerar ett bra värde.

	Kriterie	Relevans (I)	Poäng (P)	Betyg (G)
1	Robusthet avseende hantering	1	3	3
2	Stabilitet vid montering	1	1	1
3	Positionering	2	-1	-2
4	Idiotsäkert montage av externa lösa delar	1	-1	-1
5	Idiotsäkert montage av interna lösa delar	2	1	2
6	Antal materialskikt	2	-1	-2
7	Infästning av interna lösa delar	2	1	2
8	Storleken på interna lösa delar	1	1	1
9	Anslutningslösning	1	1	1
10	Multifunktionella anslutningar	1	-1	-1
11	Lufttätheten	2	-1	-2
12	Nedplockningsbarhet	1	3	3
13	Toleranser	1	1	1
14	Färdigställandegrad	2	-1	-2
15	Resursbehov	1	1	1
16	Specialistbehov	1	-1	-1
17	Säkerhet för arbetarna	1	1	1
18	Maskinpark	1	1	1
19	Monteringstid	2	1	2
20	Installationsskikt	1	1	1
21	Luftspärrens robusthet	2	-1	-2
22	Luftspärrens skarvar	1	-1	-1
23	Fuktkänslighet	1	1	1
24	Fuktsäker uppbyggnad	1	3	3
25	Väderberoende montering	1	-1	-1
26	Fuktsäkra anslutningar & infästningar	2	1	2
27	Interiöra infästningar	1	-1	-1
28	Skyddad luftspärr	2	3	6
29	Luftspärrens livslängd/beständighet	2	1	2
30	Underhåll	1	3	3
31	El-uttag	1	3	3

För att beräkna ett produktionsindex, A , beräknas först medelbetyget och därefter tas hänsyn till poängskalan ($p_{max}=3, p_{min}=-1$). Detta görs genom:

$$A = \frac{\sum \text{betyg}}{\sum \text{relevans}} - P_{\min}$$
$$P_{\max} - P_{\min}$$

Produktionsindexet A har enheten % och bästa värdet är 100% och sämsta 0%. Vägghkonstruktionen kan sedan jämföras med andra lösningsförslag för att identifiera vilken lösning som har det bästa produktionsindex. Ett annat alternativ är att se var svagheter hos konstruktionen ligger och förbättra dessa.

För väggexemplet i denna rapport erhålls ett medelbetyg om 0.57 och ett produktionsindex A om 37.3%.

Om man vill förbättra detta index ger Tabell 1 signaler över vad en sådan förbättring bör ske. Genom att studera Tabell 1 kan man konstatera att det finns uppenbara potentialer för förbättring främst avseende kriterierna 3, 6, 11 och 21 (vilka har den högsta relevansen) men även för kriterier 4, 10, 16, 22, 25 och 27. Bästa resultat erhöles för väggexemplet kriterierna 1, 12, 24, 28, 30 och 31.

Några av problemområdena kan lösas på projektnivå, andra kräver utvecklingsarbete och bör kanske angripas på företagsnivå. Efter att en ny lösning har etableras görs en ny utvärdering. Detta itereringsförfarande upprepas till dess ett resultat erhålls som är acceptabelt avseende teknik, produktion och kostnad.

8. Slutsatser och rekommendationer

I denna rapport har föreslagits en metodik som möjliggör ett produktionsvänligt projekterande. Fördelen med denna metodik är uppenbar. Genom att redan i ett tidigt projektskede beakta produktionsaspekter kan lösningar erhållas som är effektiva och företagsanpassade vilket ger både inköpsfördelar, kostnadsbesparingar och en produkt med bättre kvalitet. Genom att öka kunskapen om produkten i ett tidigt skede blir beslutsunderlaget säkrare och därmed minskas riskerna.

Metodiken har illustrerats med hjälp av ett exempel för att tydliggöra de ingående stegen. Det valda exemplet, en yttervägg, är en viktig beståndsdel i passivhusproduktion. Förutom de tekniska kraven, tex avseende statik, fukt, energi, som alltid måste uppfyllas, utvärderas ytterväggen avseende produktionsaspekter genom en rad kriterier. Dessa kriterier sammanställs lämpligen i början av projektet av en tvärdisciplinell grupp bestående till exempel av platschef, konstruktör, energiexpert och inköpare. Genom detta förfarande kan projekt- och företagsspecifika kriterier tas fram.

Resultatet av utvärderingen kan redovisas med hjälp av ett produktionsindex. Detta index, tillsammans med till exempel materialkostnad, kan utgöra underlag för val av lösning. Detta angreppssätt frångår traditionell fokusering på enbart pris och tar en helhetssyn på problematiken. Det specifika projektet kan således få fram en lösning som är mest lämpad sin specifika situation avseende till exempel arbetskraft, erfarenhet och lokala förutsättningar.

Produktionen av passivhus står inför ett vägskäl. Om inte branschen som helhet kan hitta en effektivare produktion så kommer detta leda till att enbart ett fåtal nischade företag erbjuder byggnation av passivhus medan den stora massan enbart uppfyller lägsta rådande myndighetskrav avseende energieffektivitet. Om en rationell, kostnadseffektiv produktion finns att tillgripa finns det möjligheten att företagen ser detta som ett konkurrensmedel och således verkar dessa för hårdare krav från myndigheterna och internt. Först då kan vi uppnå ett energieffektivare samhälle. Den i arbetet redovisade metodiken är ett led i att stödja denna utveckling.

9. Referenser

Blanchard, B.S., Fabrycky, W.J. (1998): *Systems engineering and analysis. Third edition*, Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ (United States)

Boothroyd, G., Dewherst, P., Knight, W. (2002): *Product design for manufacture and assembly*. Marcel Dekker, Inc., New York, 698 pp.

Boqvist, A (2008): "Lågenergihus i trä - Symbios mellan industriell småhusproduktion och energieffektivitet", SBUF 11963, www.sbuf.se

Engström et al. (2005) "Flerbostadshus utan värmesystem" - Passivhus i flera våningar (NCC Construction Sverige AB och White arkitekter)

Gerth, R. (2008) "En företagsmodell för modernt industriellt byggande", Licentiatavhandling, Skolan för industriell teknik och management, Institutionen för industriell produktion, Kungliga tekniska högskolan, Stockholm, ISBN 978-91-7415-036-0

Gnam, M., Chalmer, P. (2008): Lean and Green Product Development. Från <http://techcon.ncms.org/Symposium2008/presentations/GnamLeanGreenCTMAApr2008.pdf> (Nov 18 2008)

Jürisoo, E., Staaf, R.: "Connection Design for Easy Assembly On-Site - Method to Design and Evaluate Structural Connections in Industrial Construction", *Master's Thesis in the International Master's programme Structural Engineering*, Department of Civil and Environmental Engineering, *Division of Structural Engineering*, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden 2007, Master's Thesis 2007:99