

Sammanfattning av SBUF-projekt 12294 – Klimatskal 2019:

Evaluating building envelopes for energy efficient buildings

Energy - and moisture performance considering future climate change

SKANSKA

SBUF ®

Björn Berggren, Skanska Sverige AB

Här sammanfattas avrapporteringen av SBUF-projektet 12294; Klimatskal 2019.

Projektet har bedrivits som ett doktorandprojekt vid LTH och SBUF-projektet 12294, som sammanfattas här, avser den första delen som i huvudsak rapporterats genom licentiatavhandling [1]. Utöver de artiklar som avhandlingen baseras på [2-9] har kraft även lagts på att löpande sprida information i populärvetenskaplig form via branschtidskriften Bygg och Teknik [10-13] samt som föreläsare för studenter vid LTH och konferenser [14-18].

Introduktion – Bakgrund

Energianvändning relaterat till byggnader står för över 40 procent av primärenergianvändningen och nästan 25 % av alla utsläpp av växthusgaser på jorden. Eftersom jordens befolkning ökar, ökar behovet av byggnader. Därför är minskad energianvändning i byggnader och ökat användande av förnyelsebara energikällor viktiga åtgärder för att bromsa och begränsa den klimatförändring som pågår på jorden.

En vanlig åtgärd för att förbättra en byggnads energiprestanda, i kalla klimat, är att minska värmeförlusterna genom klimatskalet genom att använda och mer isolering eller att använda isolering med en lägre värmekonduktivitet än vad som normalt används. Detta leder till att mikroklimatet i byggnadernas klimatskal förändras. Yttre delar i välisolerade klimatskal kommer att få ett mikroklimat som är mer likt utomhusklimatet. Det kommer även att ta längre tid för fukt att torka ut jämfört med mindre välisolerade byggnadsdelar.

Ofta baseras bedömningar av byggnadsdelars kvaliteter på erfarenheter. Man använder tumregler och gör ”som man alltid har gjort”. I och med att klimatförändringarna kommer att ge oss ett mer extremt klimat och att mer isolering förändrar förutsättningarna behöver våra byggnadsdelar utformas för att ta hänsyn till dessa aspekter.

Syftet med detta projekt var att utarbeta en metod för att utvärdera tekniska lösningar för renovering och nyproduktion av klimatskal. Fokus ligger på klimatskal för bostäder i de Nordiska länderna; Sverige, Norge, Finland och Danmark.

En genomgång av hur man kan beräkna och presentera energi- och fuktprestanda genomfördes, samt teori kring hur man kan sammanväga olika prestandatal, med olika enheter, s k Multi-Criteria Decision Analysis. Baserat på detta utformades en metod för att sammanväga energi- och fuktprestanda.

Teori – Litteraturgenomgång

Energiprestanda är ett förhållandevis väletablerat begrepp. Vanligtvis refererar man till byggnadens energibehov i enheten kWh/m², uppvärmd golvarea. Det är dock viktigt att tydligt definiera randvillkoren, exempelvis normalt brukande, vilket energianvändning som inkluderas osv. Om det i samband med uppförande av byggnaden tillförs energiproduktion som kompenserar för byggnadens energibehov, baserat på förnyelsebara energikällor (exempelvis sol), så kan man referera till byggnaden som en Netto-nollenergibyggnad. Även för detta begrepp är det viktigt att definiera randvillkoren.

För en energieffektiv byggnad i nordiskt klimat är ett välisolerat klimatskal en fundamental förutsättning. I takt med att klimatskal utformas med lägre transmissionsförluster blir köldbryggor allt viktigare. Kunskapsläget samt effekten av köldbryggor undersöktes. Vid bedömning av om en anslutning kunde vara en köldbrygga eller gjorde drygt 40 % av de tillfrågade ingenjörerna och arkitekterna felaktiga bedömningar. Vidare så används ofta relativa schablonpåslag för att ta hänsyn till köldbryggor, med påslag om 5-15 %. I Tabell 1 redovisas köldbryggors relativa inverkan för olika byggsystem och byggnadskategorier. Detta visar tydligt att det är olämpligt att använda ett schablonpåslag om man inte tar hänsyn till byggteknik och byggnadskategori.

Tabell 1 Andelen transmissionsförluster som kan hänföras till köldbryggor för en referensbyggnad med olika byggsystem och för olika byggnadskategorier. Baserat på [8].

Byggsystem för ytterväggar	Byggnadskategorier		
	Äldre byggnader	BBR-standard	"Best practice"
Betongväggar med utvändig isolering	11 %	11 %	17 %
Sandwichväggar	22 %	28 %	39 %
Utfackningsväggar	14 %	17 %	27 %

I takt med att nya byggnader uppförs med lägre energibehov i drift, samt att byggnader energirenoveras, blir energianvändningen som kan hänföras till produktion och rivning av byggnader relativt större, sett till energianvändningen under byggnadens hela livslängd. Idag hävdas det ofta att en byggnadsenergianvändning i drift står för ~85 % av energianvändningen under hela dess livscykel. Baserad på analys av tidigare studier så kan dock man förvänta sig att energianvändningen i drift understiger 50 % för en bostadsbyggnad där primärenergiebehovet, för drift, understiger 33 kWh/m², år [7].

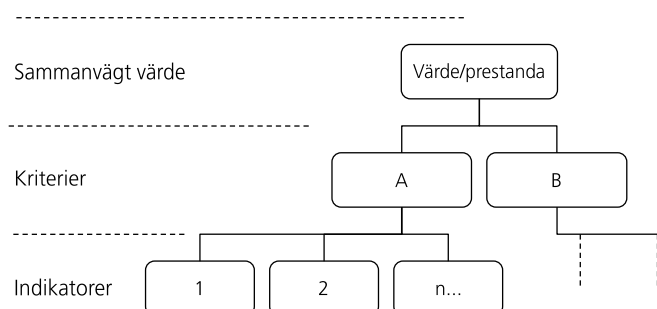
Fuktprestanda är inte ett lika väletablerad begrepp som energiprestanda. Fuktprestanda kan både avse ett materials egenskaper att transportera fukt och risk för materialförändringar. Det finns idag ingen definierad internationell eller europeisk standard för att utvärdera och presentera fuktprestanda. Lagkrav i de undersökta nordiska länderna är olika. Enbart Sverige anger en kvantifierad gräns för fuktsäkerhet. I Boverkets byggregler anges: "Om det kritiska fukttillståndet för ett material inte är väl undersökt och dokumenterat ska en relativ fuktighet (RF) på 75 % användas som kritiskt fukttillstånd."

Risken för materialförändringar och/eller mögeltillväxt är främst beroende av fuktnivå, temperatur och dess varaktighet. Det finns olika metoder och modeller för att utvärdera risk för mögeltillväxt. De som undersökts och testats här är den mindre komplexa "Hagentoftmodellen" och tre mer komplexa; Dosmodellen, m-modellen och WUFI-Bio.

Det finns även olika sätt att generera klimatscenariodata som kan användas för simuleringar av energiprestanda och fuktförhållanden. SMHI har en stor mängd data som kan nyttjas.

Det går att utvärdera fukt- och energiprestanda på flera olika sätt, och presentera dem i olika enheter. Det finns därför ett behov av att använda en metod där flera, eventuellt motstridiga mål, uttryckta i olika enheter, kan viktas till ett enda värde som står för samtliga mål och indikatorer. Detta kan lösas matematiskt genom att tillämpa Multi Criteria Decision Analysis, MCDA. Det finns flera olika metoder för detta. Generellt gäller dock att först skapa olika kriterier, exempelvis fuktprestanda och

energiprestanda. Därefter definiera olika indikatorer som kan uttrycka dessa. Detta kallas ofta värde-träd, se Figur 1.



Figur 1 Exempel på uppbyggnad av värde-träd

Indikatorerna uttrycks i numeriska värden och de olika indikatorerna kan sedan sammanvägas till ett prestandatal som uttrycker prestanda, inkluderat alla indikatorer.

Modell för utvärdering

Modellen för utvärdering baseras på att intressent eller intressenter förs definierar vilka indikatorer som ska användas för fukt- och energiprestanda. Under varje kriterium ställs därefter varje indikator parvis mot varandra och deras relativa värde väljs enligt skalan i Tabell 2.

Tabell 2 Gradering för relativ värdering

Relativt värde gentemot den andra indikatorn	Gradering
Lika viktigt	1
Mer viktigt	3
Mycket mer viktigt	5
Väldigt mycket mer viktigt	7
Extremt mycket mer viktigt	9
Mindre viktigt	3^{-1}
Mycket mindre viktigt	5^{-1}
Väldigt mycket mindre viktigt	7^{-1}
Extremt mycket mindre viktigt	9^{-1}

Samtliga beslut ställs upp i en utvärderingsmatris och med hjälp av egenvektorn löses viktningsfaktorer ut. Detta exemplifieras för tre indikatorer, i_1 , i_2 och i_3 i Tabell 3.

Tabell 3 Vänster: Gradering för relativ värdering. Höger: Utvärderingsmatris

Indikator	Relativt värderad	Indikator	i_1	i_2	i_3	Viktningsfaktor, w	
i_1	Är <i>mycket mer viktig</i> än	i_2	i_1	1	5	5^{-1}	0,26
i_1	Är <i>mycket mindre viktig</i> än	i_3	i_2	5^{-1}	1	3^{-1}	0,10
i_2	Är <i>mindre viktig</i> än	i_3	i_3	5	3	1	0,64

Samma metod som ovan används för att värdera de olika kriterierna gentemot varandra. Den specifika viktningsfaktor för varje indikator erhålls genom att multiplicera viktningsfaktor för varje indikator med viktningsfaktorn för det kriterium som det gäller.

För att omvandla de olika indikatorerna, som uttrycks i olika enheter, till ett värde används en av de två metoder som beskrivs nedan.

Den första metoden innebär att fem nivåer definieras enligt Tabell 4, vilket sedan ger ett värde 0-120 %. Den andra metoden innebär att en målsättning först definieras. Därefter definieras högsta möjliga nivå, följt av lägst accepterad nivå och icke accepterad nivå. Notera att för båda metoderna ger högsta ett värde över 100 %. Detta har valts för att indikera att bästa möjliga lösning eller utfall troligtvis är bättre än vad som krävs.

Tabell 4 Värden för indikatorer baserat på värdegradering

Nivå	Värde, v
Utmärkt	120 %
Mycket bra	90 %
Bra	60 %
Acceptabelt	30 %
Inte acceptabelt	0 %

Tabell 5 Värden för indikatorer baserat på målsättning

Nivå	Value, v
Högsta möjliga nivå	120 %
Målsättning	100 %
Lägst accepterade nivå	1 %
Inte acceptabelt	0 %

För att beräkna det totala värdet, beräknas först värdet, v , för varje indikator. Därefter beräknas/definieras en prestandafaktor, k , baserat på produkten av värdena för samtliga indikatorer, se Ekvation 1. Värdet, V , beräknas sedan enligt Ekvation 2.

$$\begin{aligned} k(a) &= 1 && \text{för } v_1(a) \cdot \dots \cdot v_n(a) > 0 \\ k(a) &= 0 && \text{för } v_1(a) \cdot \dots \cdot v_n(a) = 0 \end{aligned} \quad \text{Ekvation 1}$$

$$V(a) = k(a) \cdot \sum_1^i w_i v_i(a) \quad \text{Ekvation 2}$$

Där $k(a)$ är prestandafaktor för alternativ a , $v_i(a)$ är relativt värde för indikator i (för alternativ a), $V(a)$ är det totala värdet (för alternativ a) och w_i är viktningsfaktorn för indikator i .

Test av modell

Nedan redovisas en av två fiktiva fallstudier som redovisas i licentiatavhandlingen [1].

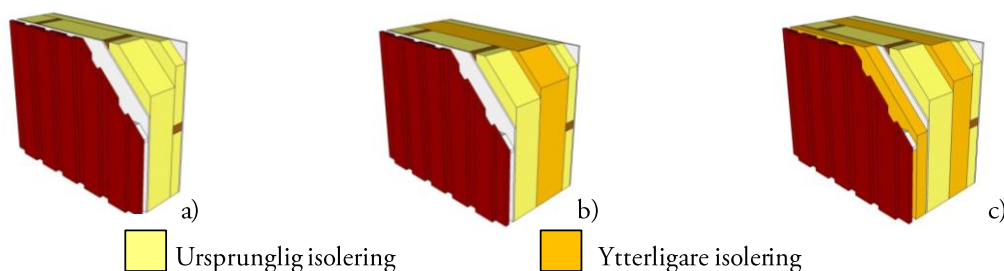
En leverantör av prefabricerade utfackningsväggar kontaktas av en potentiell beställare som önskar leverans av ytterväggar för att bygga ett passivhus. Beställaren har redan gjort en övergripande analys som visar att ytterväggens U-värde ej får överstiga $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tidigare har underleverantören alltid levererat ytterväggar med U-värde: $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. Det finns således ett behov av att undersöka alternativa utföranden som uppfyller det nya U-värdeskravet.

Underleverantören frågar beställaren om krav avseende köldbryggor och fuktprestanda. Beställaren har ej övervägt detta. Tillsammans definierar de tre indikatorer för energiprestanda och två indikatorer för fuktprestanda:

- Energi; U-värdeskrav.
- Energi; Köldbrygga vid ytterhörn.
- Energi; Köldbrygga vid anslutning mellan yttervägg och fönster.
- Fukt; Generell risk för mögel analyseras med hjälp av m-modellen.
- Fukt; Analys av ytterhörn med Hagentoftmodellen.

Leverantören bestämmer sig för att jämföra tre olika utföranden (se även Figur 2):

- Alternativ a: Grundfall, utan ytterligare isolering (170+70 mm isolering).
- Alternativ b: Ytterligare 220 mm isolering monteras mellan bärande stomme 170 mm och installationsspalt 70 mm.
- Alternativ c: Ytterligare isolering monteras dels som 70 mm utanpåliggande isolering om 170 mm bärande stomme, dels som 145 mm isolering mellan bärande stomme och installationsspalt.



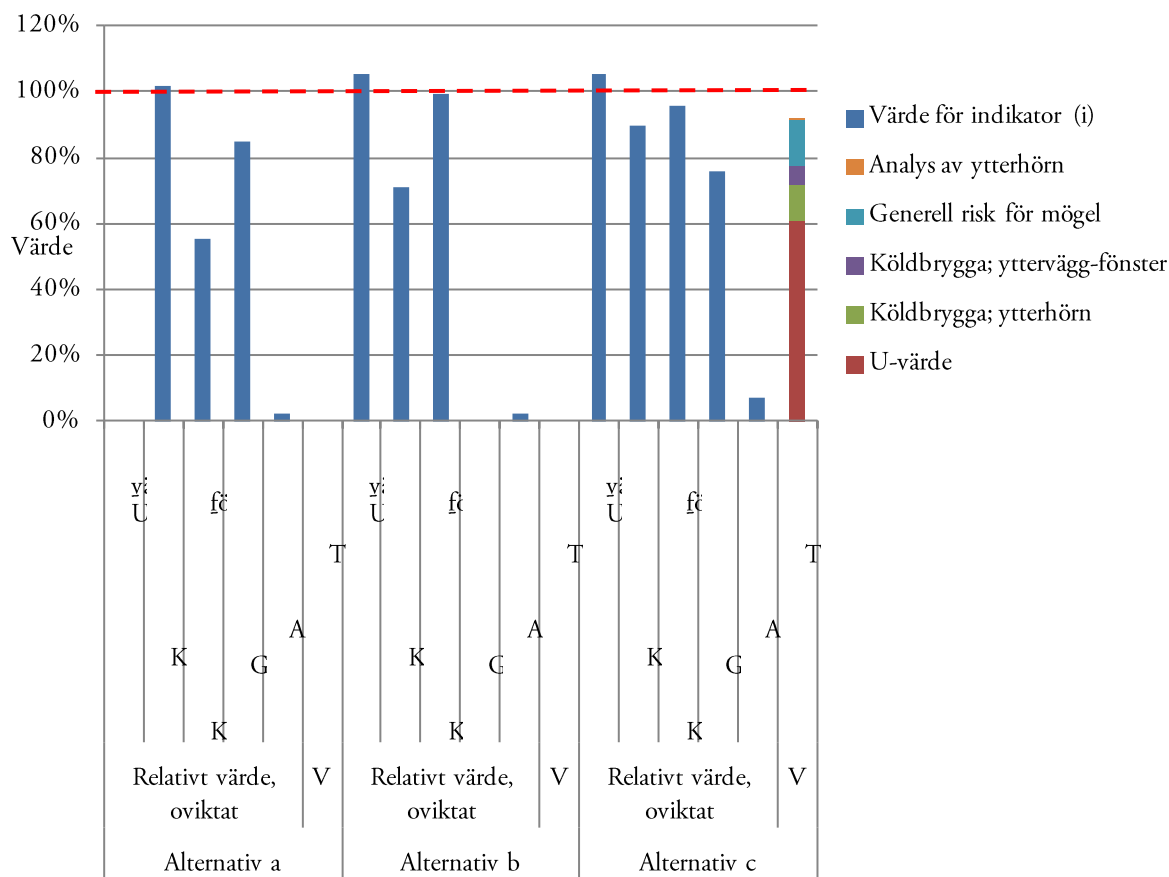
Figur 2 De tre olika alternativa väggutföranden som undersöks

Genom att använda metoden som beskrevs i föregående avsnitt beräknades viktningsfaktorer för de olika indikatorerna som visas i Tabell 6.

Tabell 6 Specifika viktningsfaktorer för de olika indikatorerna

Indikator	Viktningsfaktor, w
U-värdeskrav	0,58
Köldbrygga; ytterhörn	0,12
Köldbrygga: yttervägg – fönster	0,06
Generell risk för mögel	0,19
Analys av ytterhörn	0,06

I Figur 3 redovisas resultatet av analysen. För varje alternativ som undersöktes erhöles höga värden (>100 %) för en eller flera indikatorer (blåa staplar). För alternativ a och b så var ett värde ≤ 0 % vilket innebär att det totala värdet blir 0 då prestandafaktorn inkluderas.



Figur 3 Resultat från analys. Röd linje representerar målsättning (100 %). Högre värden är alltid önskvärdt, dvs ett högt värde för "Generell risk för mögel" innebär att risken är låg.

Diskussion och slutsatser

Energiprestanda för byggnader kommuniceras ofta idag och det tolkas generellt som årlig energianvändning dividerat med uppvärmd golvarea. Gällande byggnaders energianvändning och definitioner av Netto-nollenergibyggnader finns det dock olika uppfattningar om hur detta definieras. För att underlätta för kunskapsutbyte och nya idéer kan det vara lämpligt med mer harmoniserade definitioner. Vidare så är kunskapsnivån avseende hur transmissionsförluster skall beräknas för klimatskal är alarmerande låg. Här finns behov av tydligare byggregler, riktlinjer för tolkning av internationella standarder samt utbildning av ingenjörer och arkitekter.

Det finns ingen internationell standard för att utvärdera och presentera fuktprestanda. Det behövs således mer forskning och utveckling inom detta område. Vid jämförelse mellan energi- och fuktprestanda två viktiga skillnader bör uppmärksammas:

- Energiprestanda uttrycks nästan alltid i kvantifierade termer. Fuktprestanda uttrycks ofta i kvalitativa termer
- Avseende en byggnads energiprestanda så är det möjligt att kompensera för en köldbrygga genom att förbättra andra delar av byggnadens klimatskal. Avseende fuktprestanda så kan en dålig anslutning/detalj innebära att skadliga mängder fukt kommer in som påverkar hela byggnaden. Oavsett hur bra resterande delar av klimatskalet är.

Det pågår en uppvärmning av jordens klimat. De simuleringar som genomförts som baserats på klimatscenariodata visar att risken för mögeltillväxt ökar. Det finns således ett behov av att ta hänsyn till framtida klimat eftersom våra byggnader har lång livslängd.

Multi Criteria Decision Analysis, MCDA, hjälper intressenter att hantera subjektivitet och att sammanföra både kvantitativa prestandatal (i olika enheter) och värderingar. Det ska dock inte tolkas som att det ger ”rätt svar” eller att det presenterar den optimala lösningen. Flera olika metoder finns idag som varierar i komplexitet och användbarhet. På sätt och vis så används MCDA redan idag inom de miljöcertifieringssystem som ofta används (Miljöbyggnad, Svanen, m.m.). Inom dessa har dock viktningen och värdering av olika indikatorer redan gjorts och de har delats upp i olika kriterier.

Syftet med detta arbete har varit att utarbeta en metod för att utvärdera klimatskal, med hänsyn tagen till energi- och fuktprestanda. En metod har redovisats. Som arbetet har visat går det dock att uttrycka energi- och fuktprestanda på flera olika sätt. Därför har det inte här specificerats hur indikatorerna skall definieras. Den valda modellen för att värdera olika indikatorer mot varandra (definiera dess viktningsfaktor) är komplex men har fördelen att samtliga viktningsfaktorer värderas gentemot varandra.

De inledande testerna av metoden ger några huvudsakliga slutsatser:

- När viktningen av alla indikatorer och kriterium har genomförts är det värdefullt att redovisa och diskutera resultatet. Detta resultat bör återspegla intressenter/intressenterna prioritering av vad som är viktigt och mindre viktigt.
- När många indikatorer används blir resultatet svårtolkat om alla indikatorer redovisas samtidigt
- Inom denna studie gjordes alla beräkningar för hand. Detta är tidskrävande. Det finns troligtvis ett stort antal datorprogram som kan hantera detta.

Fortsatt arbete

Fortsatt arbete inom detta projekt föreslås fokusera på:

- Klimatskal
En historisk genomgång av vilka klimatskal som använts inom vårt byggnadsbestånd bör göras för att skapa ett underlag för framtida energirenoveringar och utvärdering av hur dessa kan påverkas av klimatförändringar.
- Framtida klimatscenario
Klimatfiler som baseras på SMHIs klimatscenedata behöver göras för att kunna göra mer omfattande undersökningar avseende hur framtida klimat kan påverka våra byggnader.
- Fortsatta tester och utvärderingar av utvärderingsmodellen
Den utvecklade modellen testas för både nyproduktion och renovering. Testerna fokuserar på att finna förbättringar avseende användbarhet samt hur resultat kan presenteras

Det har även identifierats andra aspekter som är av intresse, som ej inkluderas inom fortsatt arbete:

- Energiförändringar
 - Det finns idag ingen internationell standard för att ta hänsyn till egenkonvektion i isolering.
 - Den definition som finns för nollenergibyggnader i Sverige idag kan behöva fortsatt arbete.
 - Energianvändning vid produktion byggnader och material kommer att bli en viktig fråga.
- Fuktförändringar
 - Fuktförändringar uttrycks sällan i kvantitativa värden. Utveckling av ett värderingssystem likt energimärkningssystem (A-G) skulle kunna underlätta för intressenter att ta beslut.
 - Det behövs mer utvärderingsmodeller för att beräkna/bedöma risker för materialförändringar på grund av fukt som tar hänsyn till varaktighet av olika temperatur- och fuktillstånd.
 - De modeller som finns idag, för att beräkna risken för mögel, behöver ytterligare valideras.
- Framtida randvillkor
 - Det finns idag flera olika standarder som beskriver inomhusklimat och krav avseende detta. Undersökningar bör göras hur dessa påverkar byggnaders energi- och fuktförändringar.
- Multi Criteria Decision Analysis, MCDA
 - Studier bör genomföras för att undersöka och identifiera orsaker till varför Multi Criteria Decision Analysis, MCDA, inte används mer inom byggnadssektorn idag.
- Modell för utvärdering
 - Datorprogram som hanterar MCDA bör undersökas för att hitta lämpliga alternativ som kan hantera den modell som beskrivs i denna avhandling.
 - Den utvecklade modellen bör testas i riktiga projekt för att finna möjligheter för förbättringar.

Referenser

- [1] B. Berggren, Evaluating building envelopes for energy efficient buildings - Energy and moisture performance considering future climate change, Licentiate thesis, Architecture and Built Environment, Lund University, 2013.
- [2] B. Berggren, M. Wall, Thermal bridges in passive houses and nearly zero-energy buildings, 4th Nordic Passive House Conference, Helsinki, 2011, pp. 10.
- [3] B. Berggren, M. Wall, The importance of a common method and correct calculation of thermal bridges, Nordic Symposium on Building Physics, Tampere, 2011, pp. 8.
- [4] B. Berggren, H. Stenström, M. Wall, A parametric study of the energy and moisture performance in passive house exterior walls, 4th Nordic Passive House Conference, Helsinki, 2011, pp. 9.
- [5] B. Berggren, M. Wall, Moisture Conditions in Exterior Walls for Net Zero Energy Buildings in Cold Climate Considering Future Climate Scenario, 7th International Cold Climate HVAC Conference Calgary, 2012, pp. 8.
- [6] B. Berggren, M. Wall, Hygrothermal conditions in exterior walls for passive houses in cold climate considering future climate scenario, 5th Nordic Passive House Conference, Trondheim, 2012.
- [7] B. Berggren, M. Hall, M. Wall, LCE analysis of buildings – Taking the step towards Net Zero Energy Buildings, Energy and Buildings, 62 (0) (2013) 381-391.
- [8] B. Berggren, M. Wall, Calculation of thermal bridges in (Nordic) building envelopes – Risk of performance failure due to inconsistent use of methodology, Energy and Buildings, 65 (0) (2013) 331-339.
- [9] B. Berggren, M. Wall, K. Flodberg, E. Sandberg, Net ZEB office in Sweden – A case study, testing the Swedish Net ZEB definition, International Journal of Sustainable Built Environment, (0) (2013).
- [10] B. Berggren, Å. Togerö, C.S. Tengberg, Fuktsäkerhet och isolering i välisolerade hus - hur kan takkonstruktioner optimeras, Bygg och Teknik, 2010, pp. 7.
- [11] B. Berggren, M. Wall, Underlag för energirenovering - en genomgång av tillgänglig låneobjektsstatistik, Bygg och Teknik, 2011, pp. 3.
- [12] B. Berggren, M. Wall, B. Karlsson, J. Widén, Att definiera nollenergibyggnader - en internationell angelägenhet, Bygg och Teknik, 2012, pp. 3.
- [13] B. Berggren, M. Wall, Se byggsystemet - inte byggdelen - vid beräkning av energiförluster, Bygg och Teknik, 2012, pp. 3.
- [14] B. Berggren, J. Widén, B. Karlsson, M. Wall, Evaluation and optimization of a Swedish Net ZEB - Using load matching and grid interaction indicators, Building Simulation and Optimization (BSO12), Loughborough, 2012, pp. 8.
- [15] B. Berggren, Bâtiment éco énergétique, des exemples venus de Suède, Conférences CECOBOIS et Salon Solution en Bois, Montreal, 2012.
- [16] B. Berggren, LCE analysis of buildings - Taking the step towards Net Zero Energy Buildings, International Conference Towards Net Zero Energy Buildings, Copenhagen, 2013.
- [17] A.J. Marszal, J. Bourrelle, J. Nieminen, B. Berggren, A. Gustavsen, P. Heiselberg, M. Wall, North European Understanding of Zero Energy/Emission Buildings, Renewable Energy Conference 2010, Trondheim, 2010, pp. 12.
- [18] M. Hall, B. Berggren, Embodied Energy of Net Zero Energy Buildings, 16th International Passive House Conference 2012, Hannover, 2012, pp. 2.