

Utvärdering av lågenergibyggnader – fallstudie 2017

Rapport till regeringen mars 2018

Energimyndighetens publikationer kan beställas eller laddas ner via www.energimyndigheten.se, eller beställas via e-post till energimyndigheten@arkitektkopia.se

© Statens energimyndighet

ER 2018:08

ISSN 1403-1892

September 2018

Andra, justerade upplagan

Upplaga: 40 ex

Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma

Förord

Boverket och Energimyndigheten driver sedan 2014 ett mätprogram för att mäta energiprestanda i lågenergibyggnader. Programmet baseras på uppdrag i regleringsbrev till Energimyndigheten samt fortsättning på ett gemensamt uppdrag till Boverket och Energimyndigheten¹. I uppdraget i Energimyndighetens regleringsbrev ingår också kompetenshöjande insatser för lågenergibyggnader vilka också redovisas i denna rapport.

Utvärderingen av byggnaderna har gjorts i relation till reglerna i BBR 19 och 22 (Boverkets byggregler) då det var dessa regelverk som gällde när urvalet av byggnaderna och mätningarna gjordes.

Att mäta och göra analyser och förstå detaljerna kräver specialiserad teknisk kunskap. Denna rapport redovisar mätprogrammet på en nivå som syftar till att i huvudsak vara begriplig även för icke specialister. För den som vill fördjupa sig finns detaljerat underlag att ta del av.

Detta är således en komplettering till en rapport² som lämnades av myndigheterna 2015 samt redovisning av uppdrag som Energimyndigheten har i regleringsbrev 2014–2017.

Arbetet har utförts av Boverket och Energimyndigheten gemensamt. I projektgruppen har ingått från Energimyndigheten Sandra Lennander, Susan Linton Royen, Stefan Norrman, Anna Pettersson och Emma Thornberg. Från Boverket har Mikael Näslund och Sofia Wellander deltagit.

Mars 2018



Erik Brandsma
Energimyndigheten



Anders Sjelvgren
Boverket

¹ Regleringsbrev 2014–2017, Regeringsuppdrag den 9 januari 2014 att utvärdera befintliga och nya lågenergibyggnader.

² Utvärdering av lågenergibyggnader – en fallstudie, Boverket och Energimyndigheten 2015, Boverket rapport 2015:25.

Innehåll

Slutsatser och sammanfattning	4
Slutsatser	4
Sammanfattning	5
Analys i två steg	7
Energiberäkningar	7
Kostnadsberäkningar	8
Andelen lågenergibyggnader samt kompetenshöjande insatser	10
Inledning	11
Syfte med uppdragen	11
Denna rapportering	11
Byggnader i utredningens mätprogram	11
Speciellt med utredningen	12
Lågenergibyggnader – definition och förekomst	13
Hur vi definierat en lågenergibyggnad	13
Regelverk för nära-nollenergibyggnader i EU	15
Energikraven i BBR	16
Krav på övriga tekniska egenskaper i byggnaderna	18
Termisk komfort – temperatur	18
Ventilationsflöde	19
Ljus 19	
Ljud 19	
EU-utblick	21
Olika utgångspunkter i olika länder	21
Exempel på energikrav idag	21
Exempel på primärenergifaktorer	21
Förväntade kravnivåer	22

Kompetenshöjande insatser för att bygga lågenergibyggnader behövs	23
Målgrupper, utveckling och upplägg	24
Kanaler och insatser för att göra utbildningarna kända	26
Resultat och utvärdering	27
Effekter.....	30
Andra insatser för att främja lågenergibyggnader	31
Nätverk för innovation inom bygg- och fastighetssektorn	31
Känslighetsanalyser	32
Beräkningsmetod	32
Resultat	39
Inledning	39
Småhus.....	39
Flerbostadshus	46
Lokaler	53
Uppföljning av övriga tekniska egenskaper i lokalerna.....	58
Normalt brukande	61
Byggnader med enbart mätningar.....	61
Diskussion	64
Byggnader i fallstudien.....	64
Ekonomisk lönsamhet.....	64
Klimatskärmen avgörande?	64
Konventionellt eller specialiserat byggnadsutförande	64
Beteende hos brukaren.....	65
Skötsel av tekniska installationer.....	65
Referenser	67
Bilagor – Innehåll	70
Bilaga 1 – Metodbeskrivning	71
Bilaga 2 – Byggnader med specificeringar	80

Slutsatser och sammanfattning

Slutsatser

De slutsatser vi drar utifrån mätningarna och utifrån våra jämförande kostnadsberäkningar är att:

- **Det går att uppföra byggnader med bättre ekonomisk lönsamhet³ och med minst 25 procent lägre energianvändning och än vad som anges iBBR⁴ i såväl dess lydelse enligt BBR 19⁵ som enligt BBR 22⁶.** Utifrån känslighetsanalysen kan inverkan av fjärrvärmens olika effekttaxor på kostnadsbesparingspotentialen, komma att få störst påverkan på resultatet. Där kostnadsbesparingspotentialen för samma energieffektiviseringsåtgärd kan vara hälften så stor i vissa regioner än som i andra.
- **För 75 procent av byggnaderna visade sig den uppmätta energianvändningen överstiga den projekterade (beräknade) energianvändningen.** Detta visar på vikten av att verifiera den projekterade energianvändningen med mätningar.
- **Det är svårare för småhusen att klara 25 procents bättre energiprestanda.**
- **Konventionella byggnadsutföranden är att föredra framför specialutföranden.** De konventionellt utformade byggnaderna som ingår i fallstudien visade sig i högre grad leva upp till eller vara bättre än projekterad energianvändning och vara mer lönsamma i sitt låg energiutförande. De visade sig också i stor utsträckning ha en välfungerande helhet vilket är ett måste för att uppnå mycket bra energiprestanda.
- **Det krävs god kunskap för att kunna underhålla tekniska installationer och för att på så sätt uppnå och bibehålla en god energiprestanda.** För småhusens och till viss del även för lokalernas del i fallstudien, finns ett behov av ökad och fortsatt spridning av kunskap kopplat till de tekniska systemens funktion och samverkan.
- **Utvärderingarna visar att många fler i målgrupperna skulle ha stor nytta av de kompetenshöjande utbildningarna,** varför en fortsättning och kontinuitet bedöms vara av vikt. En utmaning har varit att få deltagare till utbildningarna, vilket kan hänga samman med de senaste årens högkonjunktur i byggbranschen.
- **Demonstrationsprojekt och marknadsintroduktion behövs fortsättningsvis.** Nya tekniker, system och metoder behöver testas i mindre skala för att vinna förtroende på marknaden och på sikt bli ett konventionellt val. Även om

³ Kostnadsberäkningarna har genomförts utifrån ett fastighetsekonomiskt perspektiv. Vi vidgar därefter beräkningarna till att också inkludera samhällsekonomiska mervärden.

⁴ Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd.

⁵ Boverkets föreskrifter (2011:26) om ändring i verkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd.

⁶ Boverkets föreskrifter (2015:3) om ändring i verkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd.

fallstudien visar på att de konventionella⁷ utförandena är mer fördelaktigt i ett lågenergibygnadsperspektiv är det ändå viktigt att specialutformade byggnader fortsättningsvis uppförs, eftersom det kan leda till ytterligare framgångsrika konventionella utföranden.

- **Övriga tekniska egenskaper påverkas sannolikt inte.** Utifrån fallstudiens genomförda enkätundersökning riktad till brukarna och utifrån mätningarna, går det inte givet att knyta de upplevda problemen till byggnadernas energiprestanda. Upplevda problem så som hög inomhustemperatur sommartid och kallras vintertid kan förklaras med underdimensionerade uppvärmningssystem och obalans i ventilationsflödet. Dessa problem hade även kunnat uppstå i byggnader som uppfyller energihushållningskraven i BBR.
- **Brukarnas beteende** (vädring, varmvattenanvändning, inomhustemperatur etcetera) får större relativ betydelse för energianvändningen, ju lägre energi per m² byggnaden är konstruerad för.

Sammanfattning

Det går att bygga med ekonomisk lönsamhet i förhållande till BBR-regler. Våra beräkningar visar att det med ekonomisk lönsamhet i många fall går att uppföra byggnader med minst 25 procent lägre energianvändning än vad som anges i Boverkets byggregler, BBR 19 och BBR 22. Resultatet bör kunna fungera som en indikation vid översyn av energihushållningskraven i byggreglerna och för att bedöma eventuella ändringar av framtida nivåer för byggreglernas energihushållningskrav.

Undersökningen bygger på en metod bestående av olika steg med syfte att utvärdera lågenergibygnader i skilda delar av landet och jämföra dem med teoretiska byggnader som uppfyller energikraven i BBR. Utredningen är en fallstudie varför det inte är lämpligt att dra några generella slutsatser om alla lågenergibygnader i Sverige utifrån resultaten. Den kostnadsberäkningsmetod som använts är samma metod – med undantag för restvärdesberäkningen – som anges i EU:s direktiv om byggnaders energiprestanda vid beräkning av kostnadsoptimala nivåer för energihushållningskraven i de nationella byggreglerna. Byggnadernas totala produktionskostnad (det vill säga även transporter, materialutvinning, rivning med mera) ingår därmed inte i analysen utan endast delar av den. Utredningens beräkningsresultat bör beaktas utifrån detta perspektiv och avvikelser jämfört med andra metoder kan därför förekomma.

Definitioner på lågenergibygnader

Det finns flera olika definitioner för vad som gör en byggnad till en lågenergibygnad. Passivhus, Green Buildings, A och B-klassad byggnad enligt energiklassningen i Boverkets energideklarationer och nära-nollenergibygnad är några av definitionerna som används.

I denna utredning har vi valt använda de kravnivåer som fram till 1 juli 2017 fanns i Boverkets byggregler som utgångspunkt. Vi har utgått från BBR 19 och BBR 22 och räknat ner den där tillåtna energianvändningen med 25 procent.

Nya byggnader ska från den 16 december 2016 enligt plan- och byggförordningen (2011:338, PBF) 3 kap. 14 § vara nära-nollenergibygnader för att uppfylla kravet på

⁷ Med konventionellt utförande menar vi att byggnaderna är uppförda med tekniker, metoder, material och lösningar som är främst förekommande på den fria marknaden.

energiushållning och värmeisolering i plan- och bygglagen (2010:900, PBL). Boverket fastställde energikravet i BBR den 1 juli 2017. I energiprestandadirektivet definieras nära-nollenergibyggnader som en byggnad som har mycket hög energiprestanda⁸. Det anges även att energikravet minst ska vara på kostnadsoptimal nivå och direktivet med tillhörande dokument anger även metodiken att fastställa kostnadsoptimala nivåer. Detta innebär att varje land själv – utifrån sina egna förutsättningar – gör bedömningen av vilken nivå på energianvändningen som är nära-nollnivå.

Uppdragen till myndigheterna är att följa upp och utvärdera lågenergibyggnader, om de är nära – noll byggnader beror på hur de motsvarar de energikrav Boverket fastställer.

Klarar såväl energiprestandakrav som tekniska egenskapskrav

I denna rapport redovisar vi exempel på byggnader, som utifrån våra energimätningar både klarar utredningens krav för att klassas som lågenergibyggnad och byggreglernas krav för övriga tekniska egenskapskrav såsom inomhustemperatur, ventilation med mera. Utifrån beräkningar av byggnadernas livscykelkostnader⁹ redovisar vi vilka lågenergibyggnader som kan anses vara mer alternativt mindre lönsamma än de teoretiska byggnaderna som uppfyller kraven i BBR 19 och BBR 22. För att få fram ett jämförelsealternativ har teoretiska alternativa utformningar av de verkliga lågenergibyggnaderna tagits fram genom att de verkliga lågenergibyggnaderna har försämrats energiprestandamässigt till att uppfylla kraven i BBR 19 och BBR 22. Vi redovisar också de olika steg vår metod innehåller som leder fram till resultatet.

Mätprogrammets omfattning

De 45 byggnader som ingår i myndigheternas mätprogram har valts ut i två omgångar utifrån att projekterad energianvändning klarar kraven för att klassas som en lågenergibyggnad. Det första urvalet har gjorts efter ett års mätning och då har byggnader fallit bort till följd av brister i mätningarna eller att den verkliga energianvändningen visat att det inte är en lågenergibyggnad. 31 byggnader har varit möjliga att utreda mer ingående. För 19 av dem har fördjupade analyser genomförts. För 16 av dessa har förutom projekterad och uppmätt energianvändning, också alternativa teoretiska utformningar av byggnaderna, som uppfyller kraven i BBR 19 och BBR 22, tagits fram. Dessa används som jämförelsealternativ till de befintliga lågenergibyggnaderna. För de tre byggnaderna som inga alternativa utformningar tagits fram har de visat sig, att de utifrån uppmätt energianvändning inte klarat utredningens krav för att definieras som en lågenergibyggnad eller brustit i kraven för något av de övriga tekniska egenskapskraven i byggreglerna. Utredningens resultat grundar sig därmed på de fördjupade analyserna av de 16 byggnader som klarade utredningens krav på lågenergibyggnader och mätkvalitet. Härutöver redovisas projekterad respektive uppmätt energianvändning i ytterligare 12 byggnader.

Anledningarna till varför de uppmätta värdena skiljer sig från de projekterade värdena varierar. Det har inte genomförts någon vidare analys av de olika anledningarna.

⁸ Nära noll mängden eller den mycket låga mängden energi som krävs bör i mycket hög grad tillföras i form av energi från förnybara energikällor, inklusive energi från förnybara energikällor som produceras på plats, eller i närheten.

⁹ Livscykelkostnadsbegreppet är i denna rapport begränsat till att inkludera de kostnader och nyttor som uppstår under byggnadens ekonomiska livslängd det vill säga driftfasen.

Analys i två steg

Energiberäkningar

Lågenergibyggnad utifrån projekterad och uppmätt energianvändning

Tekniska systemen spelar stor roll i småhus

Totalt 11 småhus ingår i analysen, varav fem klarade kravet att vara lågenergibyggnad. Ytterligare ett ligger på gränsen. För de småhus där uppmätt energianvändning visade sig vara högre än projekterad, är en generell iakttagelse att det är problem med de tekniska installationerna. Värmeväxlare i ventilationssystemet hade i själva verket en verkningsgrad på 40–45 procent istället för 70–80 procent vilket innebär att det krävs mer energi för uppvärmning än förväntat. Tolkning av fallstudien är att tekniska installationer verkar ha en avgörande roll för småhusens energiprestanda. På grund av de tekniska systemens inverkan på energiprestandan, spelar också brukarnas kunskap om systemens funktion en stor roll för småhusens energianvändning. Det krävs god kunskap i hur systemen bör driftas/underhållas för att bibehålla sin funktion och prestanda. Vad det gäller brukarnas beteende har det inte en lika central roll för energiprestandan. Värt att påpeka är ändå att majoriteten av småhus använder hälften av mängden tappvarmvatten än vad som idag enligt BEN 2¹⁰ anses som normalt brukande. Vid en uppjustering av tappvarmvattenanvändningen klarade byggnaderna ändå kravet för att definieras som en lågenergibyggnad.

Vad det gäller övriga tekniska egenskapskrav ligger byggnaderna i fallstudien generellt bra till jämfört med medelvärdet för de byggnader som ingick i Boverkets utredning ”Statistiska urval och metoder i Boverkets projekt BETSI”. De effekter som noterats i något enskilda fall är höga inomhustemperaturer sommartid och kallras vintertid. Detta kan förklaras med låga ventilationsflöden och underdimensionerade uppvärmningssystem. Problemen är troligen en följd av bristfällig injustering eller bristande produktkvalitet.

Konstruktionen och välisolerad klimatskärm spelar en viktig roll för flerbostadshus

Totalt 10 flerbostadshus ingår i analysen. Till skillnad från småhusen klarar alla (6) flerbostadshus, som ingår i fördjupade analysen, kraven för att klassas som en lågenergibyggnad. I flertalet fall skiljer sig dock uppmätta värden från de projekterade värdena. Från fallstudien går det att uttolka att klimatskärmen och byggnadens konstruktion generellt har en stor betydelse för flerbostadshusens energiprestanda. En klimatskärm med liten marginal till kraven i BBR får därmed svårt att nå kraven genom att ”räddas” av effektiva tekniska installationer.

Vad gäller övriga tekniska egenskapskrav finns inte problem som kan sägas vara generella. De problem som förekommer är bland annat att det är brister i ventilation och värmesystem, svårt att reglera temperaturen och för lite dagsljus i sovrum.

¹⁰ Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår.

För lokaler har både klimatskärm och installationer stor betydelse

Totalt 10 lokaler ingår i analysen. Tre typer av lokaler ingår i fallstudien, förskolor, kontor och vårdboenden. Alla (6) lokaler, som ingår i den fördjupade analysen klarar utredningens krav för att definieras som lågenergibyggnader och flera av dem visade sig ha lägre uppmätt energianvändning än projekterad. Förskolorna är byggda enligt passivhusstandard¹¹. Generellt har lokalbyggnaderna klimatskärmar med en genomsnittlig värmegenomgångskoefficient U_m markant under gällande krav i BBR. Här spelar ändå de tekniska installationerna och brukarnas beteende en viktig roll för att uppnå projekterad energiprestanda. För lokalerna är det därmed mer viktigt med en välfungerande helhet, än vad det är för de småhus och flerbostadshus som ingår i fallstudien.

Även när det gäller lokaler är inte problemen genomgående för byggnaderna även om vissa är gemensamma. Ojämn temperatur och problem med inomhusklimat förekommer samt att luften är för torr.

Kostnadsberäkningar

Lågenergibyggnad som dessutom är mer ekonomiskt lönsam än en byggnad byggd enligt byggreglerna

Fördjupade analyser med alternativa byggnadsutföranden

Förutom att utreda om byggnadernas energiprestanda klarade kravet för att definieras som lågenergibyggnader har vi också analyserat om lågenergibyggnaderna är mer lönsamma att bygga än BBR 19 och BBR 22 i ett livscykelkostnadsperspektiv. Det våra kostnadsberäkningar visar är om den ekonomiska nyttan till följd av minskad energianvändning överstiger merkostnaden för effektivare tekniska installationer och bättre isolerad klimatskärm.

Sammanfattningsvis är ett småhus, sex flerbostadshus och tre respektive fyra lokalbyggnader¹² mer lönsamma i sina lågenergibyggnadsutföranden jämfört med de alternativa BBR-utförandena. Det *småhus* som är mer lönsamt har klimatskärm med lågt U_m och effektiva tekniska installationer som fungerar väl. Där de teoretiska BBR-utförandena är mer lönsamma brister de tekniska installationerna i den verkliga bygganden i prestanda och/eller injustering. Således var själva klimatskärmen bra i småhusen. Alla *flerbostadshus* visade sig mer lönsamma i lågenergibyggnadsutförandet. Den främsta anledningen är att de har klimatskärmar med lågt U_m och FTX-aggregat vilket ger en effektiv energianvändning. Flera av *lokalbyggnaderna* visade sig ha god marginal upp till utredningens krav för lågenergibyggnad. Ändå var enbart hälften, det vill säga tre respektive fyra av lokalbyggnaderna mer lönsamma som lågenergibyggnader. Den främsta anledningen var ”onödigt” höga investeringskostnader, vilka inte hade varit nödvändiga för att byggnaden skulle kategoriseras som en mer lönsam lågenergibyggnad.

Mervärden fördel för byggnader med låg energianvändning

Inom utredningen har mervärden av låg energianvändning identifierats, och i den mån möjligt, kvantifierats kopplat till byggnaderna i fallstudien. De mervärden som

¹¹ Alla förskolor är inte certifierade enligt Passivhusstandard.

¹² Baserat på BBR 19 var det 3 byggnader och baserat på BBR 22 var det 4 byggnader.

identifierats är lokalt minskade luftföroreningar utomhus, hälsoeffekter av ett bättre inomhusklimat och minskade koldioxidutsläpp i driftfasen.¹³

Sammanfattningsvis visar beräkningarna att mervärdena tillfaller det byggnadsutförande som, i relation till sitt jämförelsealternativ har lägre energianvändning. I de flesta fall kan därmed mervärdena tillräknas lågenergibygnaderna.

Känslighetsanalyser av de jämförande kostnadsberäkningarna

För att studera resultatets robusthet har känslighetsanalyser genomförts. För de parametrar som kvantitativt inte ingår i kostnadsberäkningarna har påverkan på skillnaden mellan nyttor och kostnader kvalitativt diskuterats.

Ändrad diskonteringsränta (3–6 procent) och ökade energipriser (1–2 procent) visade sig inte ha någon större påverkan på resultatet. En av lokalerna blev med en diskonteringsränta på tre procent mer lönsam som lågenergibygnad än den var vid fyra procents diskonteringsränta som BBR- byggnad, vilket kan förklaras med att en lägre diskonteringsränta värderar framtida besparingar mer än en högre diskonteringsränta.

Olika effekttaxor för fjärrvärme och lönekostnader, kan påverka skillnad i lönsamhet

Vi har utgått från samma priser på el och fjärrvärme för alla byggnader. Andra parametrar som kan ha påverkan på skillnaden av nyttor och kostnader mellan de olika byggnadsutförandena är effekttaxor för fjärrvärme (motsvarande analys på el finns inte att tillgå) och lönekostnader för uppförandet av byggnader.

En studie genomförd vid Lunds Universitet visar att den ekonomiska besparingspotentialen för samma typ av åtgärd i samma teoretiska byggnad kan variera med 50 procent beroende på vilket fjärrvärmenät byggnaden är kopplad till¹⁴. Eftersom vi antagit ett genomsnittligt pris för el och fjärrvärme finns en risk att besparingen är överskattad eller underskattad i vissa delar av landet. Detta betyder att åtgärder som är lönsamma i en region kan anses som olönsamma i grannregionen och vice versa.

Skillnad i lönekostnader visade sig inte vara lätt tillgängliga. Vår bedömning är att kostnadsposten kan ha en viss inverkan på vårt resultat på så sätt att ytterligare en kostnad borde belasta lågenergibygnaderna. Anledningen är att det antas ta längre tid att installera och injustera ny teknik. Hur stor inverkan kan tänkas vara har inte vidare analyserats.

Begränsad effekt på resultatet

Sammantaget för känslighetsanalysen är att de flesta parametrar, som analyserats, har ingen eller begränsad effekt på kostnadsberäkningarnas resultat. Den parameter som kan ha en betydande effekt på utfallet är fjärrvärmeprisets påverkan på kostnadsbesparingspotentialen för de åtgärder som påverkar byggnadens värmebehov. Hur stor påverkan är beror på respektive fjärrvärmeproducent.

¹³ Viktigt att poängtera är att minskade koldioxidutsläpp för en specifik byggnad grundar sig på att minskad energianvändning från en byggnad leder till en minskad efterfrågan på totalen, vilket sällan är fallet. Resultatet av mervärdesberäkningarna påverkas endast marginellt av värdet av minskade koldioxidutsläpp. Resultatet från beräkningar bör betraktas utifrån det.

¹⁴ Andersson, S., Ekberg, O., (2017).

Andelen lågenergibyggnader samt kompetenshöjande insatser

Andelen lågenergibyggnader baserat på energideklarationsregistret

De byggnader som analyserats i fallstudien är byggda mellan 2010–2013. För byggnader med nybyggnadsår 2000–2015 går det, ur Boverkets energideklarationsregister utläsa, att 18 procent av småhusen, 10 procent av flerbostadshusen och 23 procent av lokalerna kan definieras som lågenergibyggnader¹⁵.

Kompetenshöjande insatser för att förbereda marknaden för nära-nollenergibyggnader

För att främja byggande av nära-nollenergibyggnader och förbereda marknaden på kommande energiprestandakrav vid uppförande av ny byggnad identifierades i ett tidigt skede behov av kompetenshöjande insatser. Energimyndigheten fick i uppdrag att ta fram utbildningar som vänder sig till relevanta målgrupper.

Fyra utbildningar har utarbetats och genomförts sedan 2016, med goda utvärderingsresultat. Under våren 2018 utreds hur en fortsättning ska möjliggöras och hur utbildningarna ska finansieras i framtiden. Enligt energiprestandadirektivet ska alla offentliga byggnader som färdigställs från 2019 vara nära-nollenergibyggnader och det gäller för alla byggnader som färdigställs från och med 2021.

Minskade merkostnader för lågenergibyggnader

Med hjälp av teknisk utveckling och marknadsintroduktion kan merkostnaden för lågenergibyggnader i relation till BBR-byggnader antas minska. Vad det gäller teknisk utveckling och marknadsintroduktionens effekt på marknadspriset har utredningen delvis tagit hänsyn till det genom att använda 2016 års priser vid beräkning av skillnaden mellan de olika åtgärdernas investeringskostnader.

Med lägre marknadspriser för energieffektiv teknik och i och med skarpare energikrav från 2021, kommer antalet nära-nollenergibyggnader öka. Byggnader med mycket låg energianvändning kan därmed förväntas betraktas som konventionellt byggnadsutförande.

Utifrån utredningens resultat är det också en utveckling som förespråkas eftersom de byggnader som ingår i fallstudien och klassas som konventionella byggnader också är de som är de mest välfungerande. Med andra ord lever dessa i större utsträckning upp till den projekterade låga energianvändningen. De visade sig också i större utsträckning vara mer lönsamma.

¹⁵ Byggnaderna uppfyller kraven för energiklasserna A och B i energideklarationerna.

Inledning

Boverket och Energimyndigheten driver sedan 2014 ett mätprogram för att mäta energiprestanda i lågenergibyggnader. Programmet baseras på uppdrag i regleringsbrev till Energimyndigheten samt ett gemensamt uppdrag till Boverket och Energimyndigheten¹⁶. I uppdraget i Energimyndighetens regleringsbrev ingår också kompetenshöjande insatser för lågenergibyggnader.

Syfte med uppdragen

Syftet med uppdragen till myndigheterna är att ta fram underlag inför kommande ändringar i Boverkets byggregler. Reglerna ska vara i överensstämmelse med EU-direktiv¹⁷ om byggnaders energiprestanda. Direktivet har genomgått en revidering.

Denna rapportering

Föreliggande rapport är dels ett komplement till den redovisning¹⁸ som Boverket och Energimyndigheten lämnade 2015, dels en avrapportering av uppdraget i regleringsbrev. I föregående rapport redovisades mätresultat och livscykelkostnadsanalys för tre byggnader samt effekterna av byggnadens energiprestandanivå i ett nationellt och globalt perspektiv. I denna rapport redovisas följande:

- Resultat av mätningar av energianvändningen i totalt 31 byggnader bestående av småhus, flerbostadshus och lokaler.
- Om det, för 16 av dessa, är mer ekonomiskt lönsamt att uppföra dem som lågenergibyggnader istället för att uppfylla kraven i BBR 19 och BBR 22.

Mervärden av låg energianvändning kopplat till byggnaderna i mätprogrammet.

Byggnader i utredningens mätprogram

De byggnader som ingått längst i mätprogrammet är sådana byggnader som redan var i bruk vid mätprogrammets start och där mätutrustning installerats i efterhand. I resterande byggnader har mätutrustningen installerats vid uppförandet av byggnaden. De senare är således byggda tidigast år 2014, medan övriga byggnader valts ut baserat på att de ibland annat i Lågan¹⁹ funnits registrerade med en energianvändning som var 25 procent lägre än BBR 19.

Såsom stipulerats i uppdraget till Boverket och Energimyndigheten har strävan varit att få en geografisk spridning på byggnaderna i mätprogrammet.

¹⁶ Regleringsbrev 2014 samt särskilt uppdrag till Boverket och Energimyndigheten januari 2014 att utvärdera befintliga och nya lågenergibyggnader.

¹⁷ Europaparlamentets och rådets direktiv om byggnaders energiprestanda (EPBD) 2010/31/EU (omarbetning).

¹⁸ Boverket och Energimyndigheten (2015).

¹⁹ Samarbete mellan Sveriges Byggindustrier, Energimyndigheten, Boverket, Västra Götalandsregionen, Formas, byggtreprenörer, byggherrar och konsulter.

Speciellt med utredningen

Att utvärdera byggnader genom mätning har inte tidigare genomförts av myndigheterna. Utredningens mätprogram bidrar därmed till en mer heltäckande och mer verklighetstrogen bild över hur energianvändningen i byggnader kan se ut och vad som är viktigt för att uppnå byggnader med låg energianvändning.

Förutom att mäta och analysera den faktiska energianvändningen i befintliga och nya byggnader analyseras också om det är mer ekonomiskt lönsamt att bygga lågenergi-byggnader än att bygga dem enligt BBR.

Speciellt med utredningen är den framtagna metod som innebär att befintliga lågenergi-byggnaders energiprestanda försämrats till att uppnå kraven i BBR 19 och BBR 22. För mer detaljerad beskrivning av metod och tillvägagångssätt se *bilaga 1*.

Lågenergibyggnader – definition och förekomst

Hur vi definierat en lågenergibyggnad

I BBR 19 och 22 avsnitt 9:8 angavs i ett allmänt råd att byggnaden ansågs ha låg energianvändning om den specifika energianvändningen uppgick till högst 75 procent av energikravet för byggnaden. I denna utredning har vi valt att definiera en lågenergibyggnad på samma sätt. Lydelsen har upphävts då då nära-nollenergiregler infördes i BBR.²⁰ Den nya innebörden av energikraven i BBR från och med den 1 juli 2017 avseende nära-nollenergibyggnader beskrivs senare i detta avsnitt. Dessa nya regler berör dock inte utvärderingen av lågenergibyggnaderna i denna utredning.

Fördelning av byggnadernas energiklasser i energideklarationerna

Energideklarationer för byggnader har funnits i Sverige sedan 2006 och Boverkets energideklarationsregister omfattar idag cirka 624 000 byggnader, där cirka 568 000 utgörs av bostäder och cirka 48 000 av lokaler. Registret omfattar inte alla Sveriges byggnader, eftersom en byggnad måste energideklareras först vid försäljning eller uthyrning. En energideklaration är giltig i tio år. Av bostäderna i energideklarationsregistret är cirka 425 000 en- och tvåbostadshus och cirka 143 000 flerbostadshus. Det finns två skillnader mellan informationen i energideklarationen och i den officiella energistatistiken. Energianvändningen i energideklarationen omfattar också fastighetsel och uppvärmd area, areamåttet, som redovisas är i A_{temp} istället för i BOA/LOA²¹.

År 2014 infördes en tydligare beskrivning av energiprestandan i deklarationerna genom att byggnaderna energiklassades i en skala från A till G (motsvarande som för t ex vitvaror), där A innebär bäst energiprestanda. En byggnad som har en energiprestanda som motsvarar det energikrav som ställs på ett nytt hus idag får klass C. För att en byggnad ska klara utredningens krav som en lågenergibyggnad ska byggnaden uppnå klass A eller B.

Eftersom energiklassningen är relativt ny är det många av de tidigare energideklarerade byggnaderna som saknar klassning. Om en äldre byggnad upprättar en ny energideklaration får den en energiklass som är relaterad till dagens krav på nya byggnader.

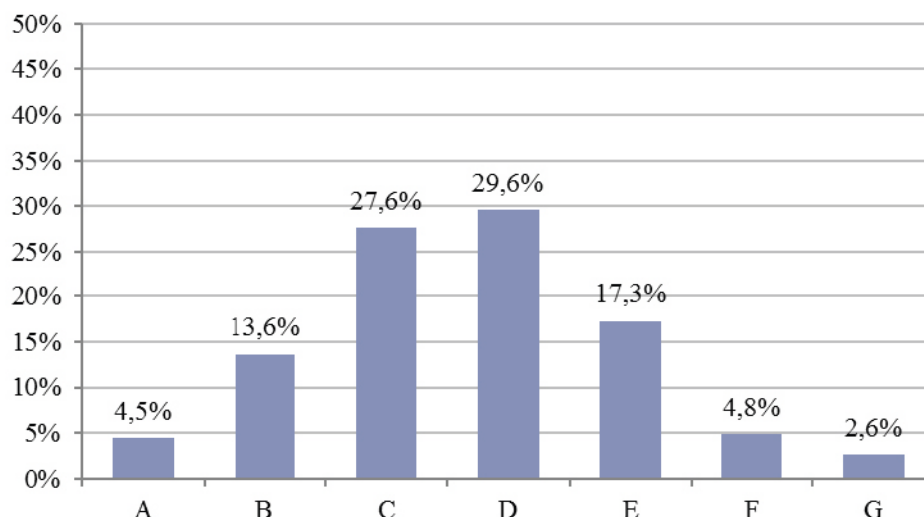
I Figur 1, Figur 2 och Figur 3 visas fördelningen av energiklasser per byggnadskategori. Energiklassen redovisas i förhållande till det krav på nya byggnader som gällde när respektive byggnad uppfördes, inte relaterat till kraven i dagens byggregler eller till BBR 19/22. Om byggnadens energiprestanda motsvarar det energikrav som ställdes genom byggreglerna när den uppfördes, har den tilldelats energiklass C i figurerna. Klassningen bör därför ses i relation till gällande byggregler när byggnaden uppfördes eftersom byggnaderna behåller sin klassning även om byggreglerna uppdateras. Vi redovisar alltså hur stor andel av byggnadernas yta som nått upp till de energi-

²⁰ Boverkets föreskrifter (2017:5) om ändring i verkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd.

²¹ Boarea BOA respektive lokalaria LOA.

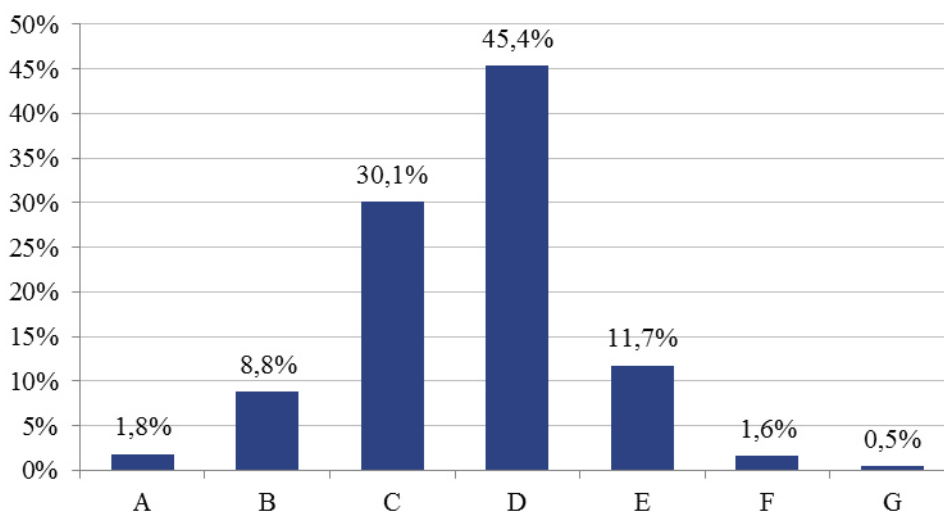
krav som ställdes när dessa byggdes. För flerbostadshusen är det 40 procent som klarar eller överträffar kravet. För småhus och lokaler är det runt 45 procent.

Figur 1 Fördelning av energiklass för ytan i småhus med nybyggnadsår 2000–2015 baserat på ytan i kvadratmeter A_{temp} exklusive varmgarage. Fördelningen är baserad på cirka 23,7 miljoner kvadratmeter A_{temp} . Energiklassen är anpassad till det krav på nya byggnader som gällde för respektive småhus.



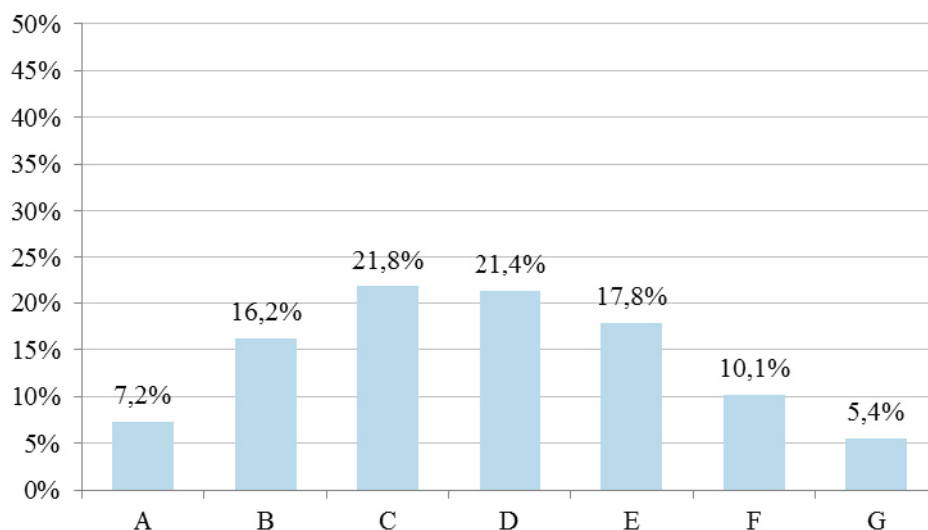
Källa: Energideklarationsregistret.

Figur 2 Fördelning av energiklass för ytan i flerbostadshus med nybyggnadsår 2000–2012 baserat på ytan i kvadratmeter A_{temp} exklusive varmgarage. Fördelningen är baserad på cirka 9,6 miljoner kvadratmeter A_{temp} . Energiklassen är anpassad till det krav på nya byggnader som gällde för respektive flerbostadshus.



Källa: Energideklarationsregistret.

Figur 3 Fördelning av energiklass för ytan i lokaler med nybyggnadsår 2000–2012 baserat på ytan i kvadratmeter A_{temp} exklusive varmgarage. Fördelningen är baserad på cirka 8,2 miljoner kvadratmeter A_{temp} . Energiklassen är anpassad till det krav på nya byggnader som gällde för respektive flerbostadshus.



Källa: Energideklarationsregistret.

Utifrån byggnaderna i energideklarationsregistret går det att utläsa att 18 procent av småhusen, 10 procent av flerbostadshusen och 23 procent av lokalerna kan definieras som lågenergibygnader.

Regelverk för nära-nollenergibygnader i EU

En nära-nollenergibygnad är en byggnad med hög energiprestanda och låg energi-användning. Nära-nollenergibygnader är ett begrepp som definieras i EU:s energiprestandadirektiv²². Här anges systemgräns för byggnadens energiprestanda, vilka parametrar som ska ingå och i vilken enhet som energiprestanda ska anges.

Nya byggnader ska enligt 3 kap. 14 § PBF vara nära-nollenergibygnader för att uppfylla kravet på energihushållning och värmeisolering i PBL. Boverket fastställer energikravet i BBR. I energiprestandadirektivet definieras nära-nollenergibygnader som ”en byggnad som har mycket hög energiprestanda...[...] Nära noll mängden eller den mycket låga mängden energi som krävs bör i mycket hög grad tillföras i form av energi från förnybara energikällor, inklusive energi från förnybara energikällor som produceras på plats, eller i närheten”. Det anges även att energikravet minst ska vara på kostnadsoptimal nivå. I den delegerade förordningen²³ och riktlinjerna²⁴ till denna anges ramarna för hur kostnadsoptimala nivåer för energikraven bestäms. Dessa nivåer är minimikrav och bestäms på nationell nivå.

²² Europaparlamentets och rådets direktiv 2010/31/EU av den 19 maj 2010 om byggnaders energiprestanda.

²³ Europeiska kommissionen (2012a).

²⁴ Europeiska kommissionen (2012b).

Enligt direktivet och tillhörande dokument anges byggnadens energiprestanda i primär-energi, beräknad som till byggnaden levererad energi multiplicerad med en primär-energifaktor per energibärare. Byggnadens energiprestanda kan då sägas vara ett mått på resursanvändningen i energisystemet för att tillgodose byggnadens energibehov. Fram till den 1 juli 2017 baserades byggnadens energiprestanda i BBR bara på energin levererad till byggnaden, ofta kallad levererad köpt energi.

Plan- och byggförordningen

I PBF infördes de förändringar som gör att energiprestandadirektivet införlivades i svensk lagstiftning när det gäller mycket hög (god) energiprestanda och nära-nollenergi-byggnad. I Boverkets byggregler infördes regler för nära-nollenergibyggnader den 1 juli 2017. De gällande energikraven konverterades till den nya systemgränsen och definitionen av energiprestanda. En skärpning av energikraven är planerad att träda i kraft 2021. Boverket har inte presenterat förslaget till energikrav som ska träda i kraft 2021. Dock har Boverket i en utredning²⁵ och ett första förslag till föreskrifter²⁶ för 2021 gett förslag på energikrav som är 10–30 procent hårdare än nu (2017) gällande krav.

Energikraven i BBR

Definitionen på lågenergibyggnader i denna utredning är minst 25 procent lägre än gällande energikrav när mätningarna startade, det vill säga BBR 19. Det innebär att byggnaderna i projektet som kan definieras som lågenergibyggnader har energiprestanda ungefär i nivå med kommande krav på nära-nollenergibyggnader, se ovan. Skärpningen behöver då huvudsakligen klaras med åtgärder på klimatskärm och installationer. Till viss del kan även effektivisering av fastighetsenergin ingå i den totala effektiviseringen. Tappvarmvatten utgör en schablonmängd av energikravet och representerar normalt brukande i byggnaden.

Alla byggnader i mätprogrammet är uppförda enligt äldre bestämmelser i förhållande till idag gällande regler. Energianvändning för tappvarmvatten som är lägre eller högre än vad som idag definierats som normalt brukande har inte heller korrigerats för i analysen. I några fall har normalisering gjorts för att illustrera de möjliga effekterna av normalisering av uppmätta data.

Specifik energianvändning infördes som mått på energiprestanda i BBR 2002. Specifik energianvändning innebär att byggnadens energianvändning fördelas på A_{temp} (byggnadens uppvärmda yta) och uttrycks i kWh/m² och år. Hushållsenergi inräknas inte. Före denna tidpunkt utgjordes energikravet som ett värmeförlusttal (W/m²K) som var en funktion av förhållandet mellan arean för fönster, dörrar och portar, och arean mot uppvärmd inneluft. Energikravet uttrycktes då i en form av nettoenergi.

Energikravet för varje redovisad byggnad finns angiven i tabellerna i resultatavsnittet. Här finns även nivån för när byggnaden betraktas som en lågenergibyggnad.

Utöver kravet på maximalt tillåten specifik energianvändning fanns även krav på klimatskärmens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient U_m och maximalt tillåten installerad eleffekt för uppvärmning.

²⁵ Boverket (2015).

²⁶ Boverkets remiss i januari 2017 BBR(B) <https://www.boverket.se/sv/lag--ratt/pagaende-regelarbete/boverkets-remisser/aldre-remisser/remiss-forslag-till-andringar-i-boverkets-byggregler-mm/>

Kraven avser energianvändning i byggnaden vid normalt bruk och ett normalår. Värden för normalt bruk infördes i Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt bruk och ett normalår, BEN. Före införandet av BEN kan värden för normalt bruk återfinnas i exempelvis ”Indata för energiberäkningar i kontor och småhus”²⁷ och i bakgrundsrapporten för energikraven till BBR 22²⁸. I denna rapports avsnitt *Normalt brukande* normaliseras uppmätta värden från några av demonstrationsbyggnaderna med metodik och värden enligt BEN.

²⁷ Boverket (2007).

²⁸ Boverket (2013).

Krav på övriga tekniska egenskaper i byggnaderna

Energikraven i Boverkets byggregler har direkta och indirekta kopplingar till uppfyllandet av andra krav. Hit hör krav på ventilationsflöde, termisk komfort, dagsljusinsläpp och ljudnivå. I detta avsnitt redovisas hur dessa regler formuleras i BBR. I avsnittet med resultat följer en genomgång av mätresultat och intervjuvar²⁹ från de boende i respektive byggnad. Vidare förs en kortfattad diskussion om hur dessa krav uppfylls i byggnaderna och hur energiprestanda kan ha påverkats.

Termisk komfort – temperatur

För termisk komfort³⁰ anges följande allmänna råd om termisk komfort vid normala driftsförhållanden.

”Byggnader bör vid DVUT³¹ utformas så att

- den lägsta riktade operativa temperaturen i vistelsezonen beräknas bli 18°C i bostads- och arbetsrum och 20°C i hygienrum och vårdlokaler samt i rum för barn i förskolor och för äldre i servicehus och dylikt,*
- den riktade operativa temperaturens differenser vid olika punkter i rummets vistelsezon beräknas bli högst 5K, och*
- ytemperaturen på golvet under vistelsezonen beräknas bli lägst 16°C (i hygienrum lägst 18°C och i lokaler avsedda för barn lägst 20°C) och kan begränsas till högst 26°C.*

Dessutom bör lufthastigheten i ett rums vistelsezon inte beräknas överstiga 0,15 m/s under uppvärmningssäsongen och lufthastigheten i vistelsezonen från ventilationssystemet inte överstiga 0,25 m/s under övrig tid på året.”

Det har inte varit möjligt att kontrollera hur detta uppfylls vid DVUT i de studerade byggnaderna.

Folkhälsomyndigheten har allmänna råd om temperaturer inomhus i bostäder, skolor etc.³² Här anges exempelvis indikerande temperaturer som grund för fortsatt utredning. Dessa är:

1. Lufttemperatur	Under 20°C
2. Lufttemperatur	Över 24°C Över 26°C under sommaren
3. Golvtemperatur	Under 18°C

För arbetsplatser kan regler användas från Arbetsmiljöverket³³ som kompletterar BBR.

²⁹ Enkätundersökning från 2015.

³⁰ BBR avsnitt 6:42.

³¹ DVUT = dimensionerande-vinter-utetemperatur.

³² Folkhälsomyndigheten (2014a).

³³ Arbetsmiljöverket (2009).

Ventilationsflöde

I föreskrifter om ventilationsflöde³⁴ skrivs:

”Ventilationssystem ska utformas för ett lägsta uteluftsflöde motsvarande 0,35 l/s per m² golvarea. Rum ska kunna ha kontinuerlig luftväxling när de används.

I bostadshus där ventilationen kan styras separat för varje bostad, får ventilationssystemet utformas med närvaro- och behovsstyrning av ventilationen. Dock får uteluftsflödet inte bli lägre än 0,10 l/s per m² golvarea då ingen vistas i bostaden och 0,35 l/s per m² golvarean då någon vistas där.”

Folkhälsomyndigheten har regler för ventilation i bostäder och lokaler för allmänna ändamål³⁵. Här ges ytterligare råd utöver det som anges i BBR. Se även regler från Arbetsmiljöverket.

Ljus

Föreskrifter gällande ljus³⁶ säger att:

”Rum eller avskiljbara delar av rum där människor vistas mer än tillfälligt ska utformas och orienteras så att god tillgång till direkt dagsljus är möjlig, om detta inte är orimligt med hänsyn till rummets avsedda användning.”

I det efterföljande allmänna rådet skrivs att: *”Då bör ett schablonvärde för rummets fönsterglasarea vara minst 10 % av golvarean.”*

Ljud

Enligt föreskrifterna gällande ljud³⁷ ska:

”Byggnader som innehåller bostäder, deras installationer och hissar ska utformas så att ljud från dessa och från angränsande utrymmen likväl som ljud utifrån dämpas. Detta ska ske i den omfattning som den avsedda användningen kräver och så att de som vistas i byggnaden inte besväras av ljudet.

De installationer som brukaren själv råder över och som inte påverkar ljudnivåer i någon annan bostad i samma byggnad, omfattas dock inte av ljudkraven.”

I det efterföljande allmänna rådet skrivs: *”Föreskriftens andra stycke kan exempelvis omfatta ljud från diskmaskin och köksfläkt vid forcering. Däremot omfattas inte ljud från installationer som behöver vara i funktion kontinuerligt, som exempelvis ljud från ventilationens grundflöde och ljud från värmepump.”*

I korthet är gränserna för kontinuerliga ljud från exempelvis frånluftsdon och radiatorer satta till 30–35 dB för dygnskvivalent nivå och 35–40 dB för maximal ljudnivå. Det lägre värdet gäller utrymmen för sömn, vila och daglig samvaro och det högre för utrymmen för matlagning och personlig hygien. För varierande ljud, till exempel från

³⁴ BBR avsnitt 6:25.

³⁵ Folkhälsomyndigheten (2014b).

³⁶ BBR avsnitt 6:322.

³⁷ BBR avsnitt 7:21.

hiss, WC och tvättmaskin gäller 25–30 dB och 35–40 dB med samma gränsdragning som för de kontinuerliga ljuden.

För yttre ljudkällor som exempelvis trafik gäller 30 dB dygnsekvivalent ljudnivå i utrymmen för sömn, vila och daglig samvaro och 40 dB i utrymmen för matlagning eller personlig hygien. Den maximala ljudnivån nattetid är 45 dB i utrymmen för sömn, vila och daglig samvaro.

EU-utblick

Olika utgångspunkter i olika länder

Enligt Energiprestandadirektivet EPBD är en nära-nollenergibygnad *”en byggnad som har mycket hög energiprestanda, som bestäms i enlighet med bilaga I. Nära noll mängden eller den mycket låga mängden energi som krävs bör i mycket hög grad tillföras i form av energi från förnybara energikällor, inklusive energi från förnybara energikällor som produceras på plats, eller i närheten”*. EU:s medlemsstater har infört regler som delvis skiljer sig åt, men har några grundläggande gemensamma egenskaper. Här ges några exempel på några nationella skillnader. Kravens utseende, krav på förnybart och primärenergifaktorer berörs, och sammanställningen avslutas med EU-kommissionens uppskattning av nivån på energikraven i medlemsstaterna.

Flertalet medlemsländer använder kravet på använd primärenergi kWh/m² och år, innehållande primärenergifaktorer, som det styrande kravet vid definitionen av nära-nollenergibygnader. Storbritannien, Spanien och Norge använder istället andel koldioxidutsläpp som det styrande kravet. Utöver dessa krav använder också några länder krav på en viss mängd använd förnybar energi för att kunna definiera byggnaden som en nära-nollenergibygnad³⁸.

Andelen förnybart i byggnadens energiförsörjning kan formuleras på i princip två olika sätt i energikraven. Antingen föreskrivs direkt en viss storlek på exempelvis andel förnybart, solcellsstorlek eller liknande, eller så sätts kravet indirekt med en nivå som inte kan uppfyllas utan att förnybart med låg primärenergifaktor måste användas. På så sätt blir kravet på andel förnybar energi det styrande kravet för att en byggnad ska kunna definieras som en nära-nollenergibygnad.

Exempel på energikrav idag

Några exempel³⁹ på energikrav tagna ur en rapport från Concerted Action för EPBD är följande. I Frankrike sätts energikravet till 50 kWh/m² och år primärenergi. Förnybar energi ska uppgå till 5–12 kWh/m² och år. I Tjeckien ställs kravet på primärenergi, levererad energi och byggnadens U_m . Kravet på förnybar energi är indirekt. Nederländerna har krav på en primärenergikoefficient, U -värde för fönster och ett mått liknande U_m . Kravet på förnybar energi är indirekt.

Exempel på primärenergifaktorer

Direktivet anger att primärenergifaktorerna bestäms på nationell nivå. I tabell 1 ges några exempel på primärenergifaktorer i några medlemsstater. Länderna har valts för att visa vilka skillnader som finns. De största skillnaderna när det gäller primärenergifaktorer finns för el och i viss mån även för fjärrvärme. Biobränslen ges oftast en primärenergifaktor som är lika med 1,0 och något högre. Lägre värden finns i några få

³⁸ BPIE (2015).

³⁹ Concerted Action (2016).

länder. Fossila bränslen som naturgas och eldningsolja får värden strax över 1,0; ofta ungefär samma värden som för biobränslen.

Tabell 1. Primärenergifaktorer i några EU-länder.

	Primärenergifaktorer				
	El	Fjärrvärme	Biobränsle	Naturgas	Olja
Sverige	1,6	1,0	1,0	1,0	1,0
Danmark	2,5	0,8	1,0	1,0	1,0
Finland	1,7	0,7	0,5	1,0	1,0
Tyskland	2,5	1,3	1,2	1,1	1,1
Storbritannien	3,07	–	1,04	1,22	1,1

Förväntade kravnivåer

EU-kommissionen har i ett dokument⁴⁰ om energiprestandadirektivet givit indikationer på förväntade kravnivåer för nära-nollenergibyggnader. Detta visas i tabell 2. Tabellen visar tydligt att energiförsörjningen från förnybar energi på platsen är den stora skillnaden mellan olika europeiska regioner. Här skiljer sig Sverige från många andra länder genom att enbart el som används direkt i byggnaden kan tillgodoräknas⁴¹. I andra länder kan även exporterad el tillgodoräknas. Den exporterade elenergin kan då även multipliceras med primärenergifaktorn och tillgodoräknas i fastställandet av byggnadens energiprestanda.

Tabell 2. Förväntad energiprestanda för nära-nollenergibyggnader enligt EU-kommissionen.

Region	Primärenergikrav (kWh/m ² , år)	Varav förnybart på platsen (kWh/m ² , år)
Medelhavet		
– Kontor	80–90	60
– Småhus	50–65	50
Atlantkusten		
– Kontor	85–100	45
– Småhus	50–70	35
Kontinental		
– Kontor	85–100	45
– Småhus	50–65	35
Norden		
– Kontor	85–100	30
– Småhus	65–90	25

⁴⁰ Europeiska kommissionen (2016).

⁴¹ PBF 3 kap. 14 §.

Kompetenshöjande insatser för att bygga lågenergibyggnader behövs

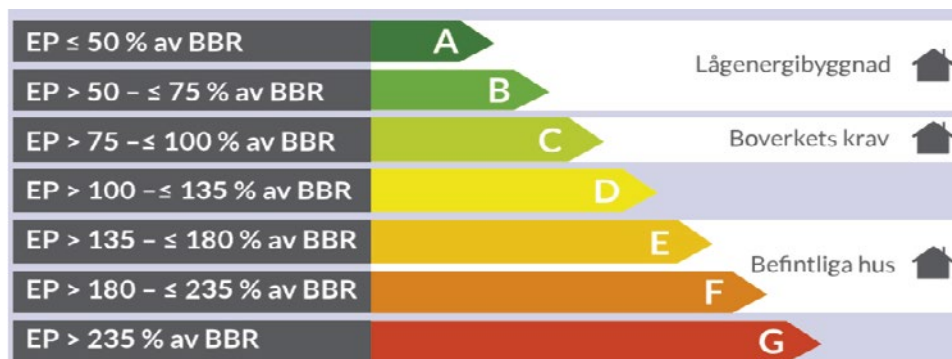
Regeringen konstaterade redan 2011⁴² behovet av kompetenshöjande insatser mot nyckelgrupper.

I det följande beskrivs hur de kompetenshöjande insatserna (fortsättningsvis kallat ”utbildningarna”) har tagits fram, utvecklats och genomförts t.o.m. oktober 2017. Därefter följer utvärdering, status idag och kort om framtiden för respektive utbildning.

För att främja byggande av lågenergibyggnader och förbereda hela byggbranschen för kommande krav på nära-nollenergibyggnader identifierades ett behov av kompetenshöjande insatser. För att öka kunskapen hos bygg- och fastighetsbranschen om hur man bygger och renoverar till lågenergibyggnader har utbildningar för olika målgrupper tagits fram. Enligt uppgifter från branschorganisationerna arbetar ca 500 000 yrkesverksamma i målgruppen för dessa kompetenshöjande insatser.

I utarbetandet av utbildningarna har förhållningssättet varit att ge målgrupperna ökad kunskap om hur man bygger och renoverar med god energiprestanda och med tillförsel av förnybar energi. I det följande benämns därför nära-nollenergibyggnader som lågenergibyggnader.

Figur 4. Källa illustration Energilyftet.



Resultatet från workshops och intervjuer med relevanta grupper såsom arkitekter, driftspersonal med flera kan sammanfattas så att bristande kunskap och otydlig, asymmetrisk information identifierades som tungt vägande skäl till att det inte i högre grad byggs fler lågenergibyggnader. Kompetensen i branschen gällande lågenergibyggnader behöver höjas avsevärt om Sveriges mål kopplade till energieffektivisering och miljöpåverkan ska kunna nås.

⁴² Miljö- och energidepartementet (2011).

Resultat av förarbete

I rådande högkonjunktur byggs och renoveras det intensivt och anställda i byggsektorn anser sig inte ha tid att gå på utbildningar. Webbaserade lösningar möjliggör att vidareutbilda sig när man har en stund över och utan tidskrävande resor. En kursmodul i taget kan genomföras, vilket ger en hög flexibilitet och tillgänglighet. Energimyndigheten har varit lyhörda för dessa signaler i det vidare arbetet med utformandet av utbildningarna.

Diskussioner under förarbetet rörde bland annat vikten av ökad kompetens i hela byggprocessen. Byggprocessen är lång och sträcker sig ofta över flera år, dessutom är väldigt många parter med olika roller inblandade. Beställarrollen är mycket viktig i sammanhanget. Men hela kedjan är av stor betydelse för att sedan uppnå de goda intentioner som initierats i beställning, ritning och projektering. Slutresultatet – en energieffektiv byggnad – är i hög grad beroende av ett kompetent genomförande och därefter uppföljning. Byggnaden blir inte bättre än kedjans svagaste länk. Därför behöver alla inblandade i byggprocessen höja sin kompetens kring att bygga lågenergibyggnader.

Målgrupper, utveckling och upplägg

Under år 2015 – 2016 arbetades fyra olika utbildningar fram utifrån förarbetet. De gavs efterhand följande namn:

- Beställarkompetens.
- Energibyggare.
- Energilyftet.
- Nya Glasögon.

Utbildningarna har tagits fram i nära dialog mellan myndigheten och branschen och man har på så sätt tagit fram utbildningspaket som täcker hela aktörskedjan när det gäller byggnade. Utbildningarna beskrivs mer ingående nedan.

Beställarkompetens

Primär målgrupp för Beställarkompetens är beställare, byggherrar, fastighetsägare och förvaltare. Utbildningarna genomförs som kvalificerade lärarledda kurser inom området energieffektiva byggnader och vägen mot lågenergibyggnader. Beställarkompetens administreras och utförs av organisationen Byggherrarna. Kurserna, som erbjuds i moduler, har utvecklats och genomförs i samarbete med Energi- och miljötekniska föreningen (EMTF), Fastighetsägarna, Sveriges Allmännyttiga Bostadsföretag (SABO) samt Sveriges Kommuner och Landsting (SKL). Flertalet av kurserna är kostnadsfria, medan vissa är förenade med en symbolisk avgift.

Utbildningsinnehållet är i första hand uppbyggt utifrån kunskap, metoder och verktyg som genom åren har tagits fram, utvecklats och provats inom nätverken Beställargruppen för bostäder (BeBo), Beställargruppen för lokaler (BELOK) samt SVEBY (branschstandard för energi i byggnader).

Energibyggar

Primär målgrupp för Energibyggar är byggnadsarbetare och installatörer. Arbetsledare och platschefer utbildas först till handledare, som sedan vidareförmedlar kunskapen till målgruppen.

Den utbildning som idag kallas ”Energibyggar” har sitt ursprung i ett EU-projekt; Build-Up-Skills (BUSS). Från 2011 till 2013 genomförde Energimyndigheten tillsammans med en projektgrupp projektet BUSS där man bland annat kartlade kunskapsbehovet för byggnadsarbetare och installatörer om energieffektivisering och installation av förnybar energi. Energibyggar riktar sig mot en av de största målgrupperna, yrkesarbetare verksamma på byggarbetsplatser.

Projektet medfinansierades av Intelligent Energy Europe (IEE). Projektgruppen bestod av Energimyndigheten, Sveriges Byggindustrier (BI), Svenska Byggarbetsförbundet (Byggnads), NCC, VVS företagen, WUSP, Föreningen Sveriges regionala energikontor (FSEK) och SP.

Idag är utbildningen webbaserad med en introduktion av en handledare. Energibyggar är uppdelad i flera interaktiva moduler som totalt tar cirka fyra timmar att genomföra.

Energilyftet

Den primära målgruppen för Energilyftet är bred; utbildningen vänder sig till beställare, konsulter, arkitekter, byggprojektledare och förvaltare. Även de kommunala energi- och klimatrådgivarna rekommenderas att gå utbildningen. Energilyftet är kostnadsfri och webbaserad med interaktiva inslag och har tagits fram av Energimyndigheten. Utbildningsprogrammet utvecklades under perioden mars 2015 till april 2016 och har funnits tillgänglig i sin helhet sedan maj 2016. Energilyftet har tagits fram i samarbete med Boverket, Byggherrarna, Energikontoren i Sverige, Energi- och miljötekniska föreningen, Fastighetsägarna, SABO, Svenska Teknik- och designföretagen (arkitekter), Sveriges kommuner och landsting samt Trä- och möbelföretagen (småhus).

De strategiska målen med Energilyftet är att:

- Nyckelaktörer inom bygg- och fastighetsbranschen är väl insatta i att bygga och renovera energieffektiva byggnader.
- Antalet lågenergibyggnader vid både ny- och ombyggnad ökar i Sverige.
- Att snabba på omställningen mot lågenergibyggnader.

Webbutbildningen föregås av ett frivilligt seminarium. Seminarierna har bedömts vara viktiga för att målgruppen ska komma igång med webbutbildningen, för att inspirera till mer kunskap och ge möjlighet att träffa kollegor. I samband med seminarierna erbjuds studiebesök vid en lågenergibyggnad. Att erbjuda seminarier har även varit ett sätt att göra Energilyftet känt. Seminarierna genomförs i samarbete med Energikontoren runt om i Sverige, som även har till uppgift att marknadsföra dessa och webbutbildningen. Via webinarier med experter ges möjlighet att ställa frågor som kan uppstå i samband med webbutbildningen.

Webbutbildningen tar 1–3 dagar att genomföra, beroende på förkunskaper. Upplägget gör det möjligt att genomföra Energilyftet helt i deltagarens egen takt. För att skriva ut kursintyg måste deltagaren klara samtliga frågor (105) i utbildningen. Frågorna är utformade som svarsalternativ och deltagaren ges flera möjligheter att svara korrekt för

att komma vidare. Utbildningsprogrammet är tillgängligt för alla via webben. Statistik visar att utöver den primära målgruppen, så används Energilyftet bl.a. av studenter och kommunala funktioner som arbetar med byggnader. Det krävs en registrering för att komma åt materialet, för att anmäla sig till ett seminarium och för att kunna skriva ut kursintyg.

Nya Glasögon

Primär målgrupp för Nya Glasögon är gymnasielärare på byggprogrammen, Mer specificerat gäller det yrkeslärare på gymnasienivå på programmen bygg- och anläggning, el- och energi samt VVS- och fastighetsprogrammen. Upplägget är en tredagars lärarledd utbildning som är kostnadsfri för deltagaren. I figuren framgår upplägg och samarbetspartners.

Första dagen är gemensam för samtliga och ger en gemensam plattform kring hållbarhetsfrågor ur globalt-, nationellt- och branschperspektiv. Därefter genomför deltagaren den webbaserade utbildningen Energibyggnader som hemläxa inför fortsättningen. Dag 2 och 3 är sammanhållna dagar med yrkesspecifika föreläsningar. Efter genomförd utbildning får den deltagande läraren tillgång till materialet för att sedan använda det i undervisningen med gymnasieeleverna.

Kanaler och insatser för att göra utbildningarna kända

Det nära samarbetet med branschorganisationer i byggsektorn har varit av stor vikt för att göra utbildningarna kända. Utbud och informationsflöde är stort, vilket gör att det är en utmaning att nå rätt målgrupp med budskapet om behov av ökad kompetens gällande lågenergibyggnader. Därifrån är det ytterligare ett steg till att få berörda individer att anmäla sig till och genomföra utbildningar, även om de är lättillgängliga och kostnadsfria. Incitamentet borde vara en efterfrågan på utbildad arbetskraft till de olika momenten i byggprocessen, främst från beställaren. Där är inte marknaden riktigt idag. I rådande högkonjunktur i byggsektorn råder det brist på arbetskraft både för uppförande av ny byggnad och renovering. I det läget är det en utmaning att finna tid för utbildning och kompetensutveckling. Om branschen heller inte efterfrågar en viss kompetens, minskar individens intresse för att prioritera vidareutbildning. För de fyra utbildningar som denna rapport omfattar har bl.a. följande marknadsföringsinsatser genomförts:

- Samarbete med Energikontoren (främst Energibyggnader och Energilyftet).
- Information till energi- och klimatrådgivare i samband med deras grundutbildning.
- Gemensam medverkan på Nordbygg april 2016.
- Utskick till medlemmar i föreningar och branschorganisationer.
- Information om utbildningarna i samband med andra aktiviteter.
- Medverkan på Byggforum maj 2017.
- Hemsidor och sociala medier.

Resultat och utvärdering

I det följande redovisas antal deltagare och utvärderingar för respektive utbildning, fram till och med 2017-06-30. Generellt kan sägas att de som har deltagit i utbildningarna har gett dem goda betyg. Nedan redovisas utvärderingar för respektive utbildning, för kurser som genomförts t.o.m. 2017-06-30.

Beställarkompetens

Snittbetyget på dessa kurser är, enligt utvärdering utförd bland deltagarna, 4,35 på en 5-gradig skala. Utvärdering hittills visar på en mycket god nöjdhet och hög kvalitet på innehåll och kursledare.

Erfarenheter från Beställarkompetens

Trots subventionen med kostnadsfri utbildning har det varit svårt att få deltagare till utbildningarna. Ett undantag är Energi- och Miljötekniska Föreningen, en personförening för energi- och miljökonsulter med 7 000 medlemmar, som har lyckats få sina medlemmar att prioritera kurserna. Totalt har drygt 6000 personer deltagit, det antas bero på följande:

- Utbildningarna var efterlängtrade och behövda.
- Ämnena (de flesta) passar föreningens medlemmar.
- Föreningens organisation är väl anpassad för denna typ av aktivitet.
- De har en öppen process, där lokalavdelningsansvariga har fått välja ämnen.
- Föreningen täcker i princip hela Sverige (29 orter), inte bara storstäderna.
- Utbildningsformen är bra – eftersom kursinnehållet är kärnfullt och koncentrerat utan perifera utvikningar.

Nuläge

Primär målgrupp för Beställarkompetens är beställare, byggherrar, fastighetsägare och förvaltare. I dessa yrkesgrupper arbetar uppskattningsvis 65 000⁴³ personer i Sverige. Intresset för kurserna är tillfredsställande och inblandade i planering och genomförande av utbildningarna ser en stor potential i en fortsättning. Byggherrarna har byggt upp en bra struktur kring kurserna, som erbjuds runt om i Sverige, även på mindre orter. Det finns god möjlighet till utveckling av konceptet, där kursmoduler erbjuds tillsammans och läggs ihop till hel- och halvdagsutbildningar. Med ett fortsatt arbete med nätverken Bebo och Belok samt SVEBY kommer löpande ny kunskap och teknik fram som behöver spridas till den breda marknaden. Beställarkompetens bedöms vara en bra och effektiv väg att löpande sprida och implementera ny kunskap.

Energibyggare

Projektets ursprungliga mål var att utbilda 500 handledare som i sin tur ska utbilda 18 000 byggnadsarbetare till 2017-12-31. Till år 2020 var det högt uppsatta målet 100 000 utbildade. Fram tills idag har ca drygt 800 handledare utbildats. Däremot har man inte kommit så långt med att nå vidare till byggnadsarbetarna. T.o.m. oktober

⁴³ Uppgift från Byggherrarna AB.

2017 är 2 350 byggnadsarbetare utbildade Energibyggare. Byggnadsarbetaren får utbildningen inlagd på sin ID06-bricka, som är yrkesgruppens CV. ID-06-brickan används som passerkort för att få tillträde till byggarbetsplatsen.

I lägesrapport från 2016-09-01 från projektet anges bl.a. följande:

- Det tar lång tid för en bransch att anamma ett utbildningskoncept. Tiden för detta har underskattats.
- Många frågor i byggbranschen är aktuella idag. Intresset för energieffektivisering tenderar att överskuggas av bostadsbrist för asylsökande, arbetsmiljö, avtalsrörelser etc.
- Definitionen av nära-nollenergibyggnader i Sverige blev försenad och minskade drivkraften i frågan.

Nuläge

Målgruppen för Energibyggare är byggnadsarbetare och installatörer. I Sverige finns ca 180 000 yrkesverksamma i målgruppen. I nuläget har drygt 800 handledare utbildats. På sikt förväntas varje handledare i sin tur utbilda 36 byggnadsarbetare och installatörer till Energibyggare. Här finns fortfarande mycket att göra, då det fram till dags datum är 2 350 Energibyggare registrerade, vilket är långt ifrån det ursprungliga målet om 18 000 utbildade. Berörda branschorganisationer ser gärna att utbildningen får en fortsättning. Betydande medel har satsats för att arbeta fram utbildningen och kanaler för att sprida den och nå fler är nu etablerade, vilket gynnar en fortsättning för att vidareutbilda fler i målgruppen.

Energilyftet

Deltagarsiffror fr.o.m. april 2016 t.o.m. oktober 2017:

Webbutbildningen

Totalt 1982 registrerade.

414 kursintyg (t.o.m. 10 november 2017), mål var 1 200 kursintyg till 2017-06-30.

Webbinarium

54 deltagare.

3 webinarier genomförda 2017, 3 genomförda 2016.

4 inställda totalt.

Seminarier

Totalt 935 deltagare (328 år 2017, t.o.m. oktober).

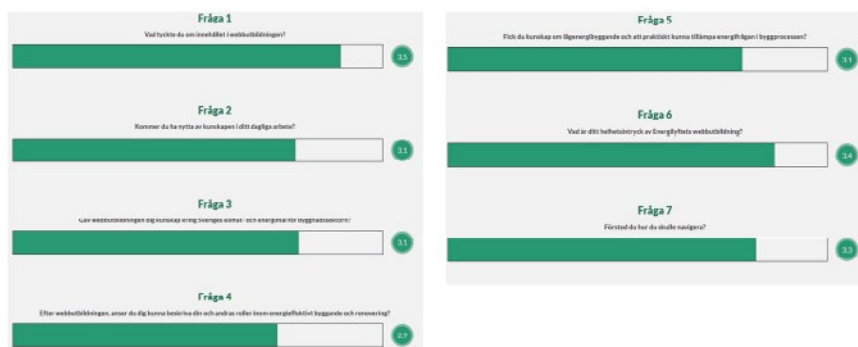
65 anmälda till kommande seminarier.

2017: 18 seminarier hittills, 8 kommande, 10 inställda/framflyttade.

2016: 36 seminarier genomfördes, 13 inställda/framflyttade.

Utvärdering

Resultat utvärdering webbutbildning (143 svar)



Kommentar till figur: Själva webbutbildningen ges betyg 3,5 (på 4-gradig skala).

Resultat utvärdering seminarier (391 svar)



Kommentar till figur: Själva seminarierna ges betyg 3,2 (på 4-gradig skala).

Nöjdheten hos deltagarna bedöms som god.

Nuläge

Primär målgrupp för Energifyftet är beställare, konsulter, arkitekter, byggprojektledare och förvaltare. I nuläget har ca 2 000 personer registrerat sig i webbverktyget, varav drygt 400 har tagit ut kursintyg, vilket betyder att en mycket liten del av målgruppen har gått Energifyftet. Här finns mycket att göra för att nå fler. Då webbutbildningen är mycket lättillgänglig har fler än den primära målgruppen hittat och genomfört Energifyftet, bl.a. högskolestudenter och kommunala funktioner som arbetar med byggnader. Berörda branschorganisationer och andra ser gärna att utbildningen får en fortsättning. Betydande medel har satsats för att arbeta fram utbildningen och webbverktyget. Bra kanaler för att sprida Energifyftet och nå fler är nu etablerade, vilket gynnar en fortsättning för att vidareutbilda fler i målgruppen. Kostnader för att fortsätta att bedriva webbutbildningen samt att hålla den uppdaterad är av begränsad omfattning i förhållande till vad som har satsats i medel för att ta fram och utveckla Energifyftet.

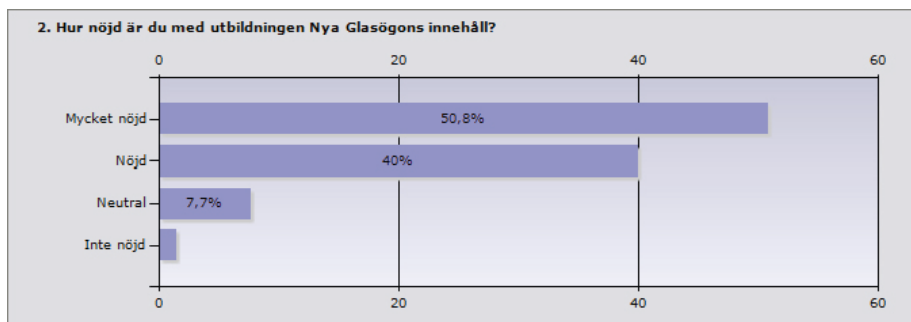
Nya Glasögon

Mål 500 deltagare

Resultat 477 deltagare

I hela målgruppen arbetar ca 1 500 lärare, vilket betyder att närmare en tredjedel av dem är utbildade i Nya Glasögon.

Deltagarutvärdering visar följande:



Mål 90% nöjda deltagare

Resultat 94% nöjda eller mycket nöjda

Mål 90% rekommenderar utb.

Resultat 92% rekommenderar utb.

Mål 100% anger ökad kompetens

Resultat 92% anger ökad kompetens

Nuläge Nya Glasögon har nått närmare 50 procent av sin målgrupp, vilket får betraktas som mycket bra. Byggnadsindustrins Yrkesnämnd, som har utvecklat och genomfört utbildningen har inte möjlighet att fortsätta med verksamheten. Materialet ägs av Energimyndigheten och är värdefullt att förvalta och hålla uppdaterat. Vem eller vilka som ska ansvara för det i fortsättningen är i skrivande stund inte klarlagt.

Effekter

Önskad effekt, på lång sikt, av samtliga utbildningar är ett byggnadsbestånd med förbättrad energiprestanda, som samtidigt uppfyller en god kvalitet när det gäller andra aspekter, t.ex. inomhusmiljö. I dagsläget är det för tidigt att utvärdera effekterna av utbildningarna. Tidigast om ett par år kan effekterna i samhället följas upp och utvärderas.

Andra insatser för att främja lågenergibyggnader

Nätverk för innovation inom bygg- och fastighetssektorn

Inom bygg- och fastighetssektorn finns det flera nätverk för innovation, tidigare benämnda beställargrupper. Syftet med nätverken är att skapa en plattform för nära samverkan mellan branschaktörer, akademien och staten. Nätverkens tonvikt ligger på innovation och att genomföra och följa upp demonstrationsprojekt, att utveckla energieffektiva metoder, upphandla ny teknik och att föra fram goda exempel.

Branschaktörer driver tillsammans med Energimyndigheten flertalet nätverk

LÅGAN för byggnader med mycket låg energianvändning, är ett samarbete mellan Sveriges Byggindustrier, Energimyndigheten, Boverket, Västra Götalandsregionen, Formas, byggtreprenörer, byggherrar och konsulter. LÅGAN stöttar regionala nätverk inom byggande av lågenergibyggnader och skapar gemensamma projekt och studier för att utveckla och driva byggande och renovering av lågenergibyggnader framåt. **Belok**, är ett samarbete mellan Energimyndigheten och 21 av Sveriges största fastighetsägare med inriktning mot Lokaler. Belok startade 2001 och representerar idag ca 25 procent av lokalytan i Sverige. **BeBo**, är ett samarbete mellan Energimyndigheten och Sveriges största fastighetsägare med inriktning mot flerbostadshus. BeBo startade 1989 och representerar idag ca 70 procent av alla flerbostadshus i Sverige. **Belivs**, är ett samarbete mellan Energimyndigheten, livsmedelshandeln, akademi, de branscher som arbetar med tjänster, produkter, installationer och system som är kopplade till livsmedelslokalers energianvändning. **Besmå** är ett samarbete mellan Energimyndigheten och TMF (Trä- och möbelföretagen).

Under 2016 har två nya nätverk startat upp sin verksamhet inom **energieffektiv sjukvård** och **energi- och resurseffektiva samhällen**.

Nätverken har framförallt påverkan på energieffektivisering av byggnadsbeståndet genom att främja framtagande av nya lösningar, tillämpa och demonstrera ny kunskap och teknik. Genom att det är branschaktörer som kommer samman i nätverken åstadkoms en spridning av erfarenheter och kunskap.

För att främja utveckling av ny teknik och åstadkomma marknadsintroduktion av energieffektiv teknik finns metoden teknikupphandling/innovationsupphandling.

Det är en process som omfattar ett antal olika faser eller aktiviteter och aktörer. De olika faserna är förstudie, beställargrupp, kravspecifikation, anbudsförfarande, utvärdering, spridning och vidareutveckling. Teknikupphandlingens syfte är att främja och påskynda utveckling av ny teknik. Målet med teknikupphandlingen är att få fram nya produkter, system eller processer som tillgodoser köparnas krav bättre än de produkter som redan finns på marknaden. Teknikupphandling genomförs idag i nära samverkan med fasta beställargrupper för bostäder, lokaler och livsmedelshandel. Teknikupphandlingar genomförs också med nätverk inom offentlig sektor, villaägarna, branschorganisationer med flera.

Känslighetsanalyser

Beräkningsmetod

Med hjälp av framtagna energiberäkningar och kostnadsunderlag⁴⁴ har skillnaden i nettonuvärde mellan en verklig lågenergi- och två olika teoretiska BBR-byggnader⁴⁵ beräknats med hänsyn tagen till investeringskostnader och energikostnader för de olika försämringsåtgärderna. På så sätt tas hänsyn till den ekonomiska livslängden och byggnadens livscykel.

Vid beräkningen av om en byggnad med bättre energiprestanda, än det som anges i BBR 19 och BBR 22, innebär större nytta än kostnad har nettonuvärdesmetoden använts. Val av metod grundar sig på rekommenderad beräkningsmetod i direktiv om byggnaders energiprestanda⁴⁶. Nettonuvärdesmetoden används därmed också vid beräkning av de kostnadsoptimala nivåerna för energihushållningskraven i Boverket föreskrifter.

Beräkningarna grundar sig på olika antaganden och parametrar. Nedan beskrivs beräkningsförutsättningarna som ligger till grund för utredningens resultat. Kostnadsberäkningarna genomfördes utifrån ett fastighetsekoniskt perspektiv, vilket framförallt påverkar val av diskonteringsränta.

Känslighetsanalysen innebär att antagandena för de olika parametrarna har varierats, uttryckt i ett spann. Känslighetsanalysen tar också hänsyn till parametrar som kvantitativt inte ingår i beräkningsförutsättningarna, men som ändå påverkar skillnaden mellan kostnader och nyttor.

För varje parameter, som inte kvantitativt ingår i beräkningarna, har vi gjort en kvalitativ bedömning av hur stor påverkan parametern⁴⁷ kan tänkas ha på resultatet. Deras potentiella inverkan på resultatet diskuteras kvalitativt i *Resultat*-kapitlet.

De parametrar som ingår i känslighetsanalysen av de kvantitativa beräkningarna finns i tabellen nedan.

⁴⁴ Prisuppgifter Wikells 2016.

⁴⁵ Byggnaderna uppfyller energikraven i BBR 19 och BBR 22.

⁴⁶ Bilaga III Europaparlamentets och rådets direktiv om byggnaders energiprestanda 2010/31/EU (omarbetning).

⁴⁷ Vid bedömning av de olika parametrarna har relevanta studier använts. Även experter inom fastighetsekonomi har tillfrågats.

Tabell 3. Beräkningsförutsättningar för känslighetsanalysen.

Parameter	Värde	Känslighetsanalys
Kalkylränta	4 %	3–6 %
Energiprisökning, procent	0	1–2 %
Fjärrvärmepris, kr/kWh	1,19	1,20–1,21
Elpris, kr/kWh	1,76*	1,78–1,80
Elpris, kr/kWh	1,26	1,27–1,29
Fjärrkylapris, kr/kWh	0,63	0,64
Pellets, kr/kWh	0,56	0,57
Restvärde	Beräknat på energibesparing	Beräknat på investeringskostnad

*Om småhus med annat uppvärmningssätt än elvärme.

För att se hur de olika parametrarna påverkar skillnaderna i kostnader och nyttor har antagandena varierats. Vi har framförallt fokuserat på de parametrar som påverkar skillnaden mellan nyttor (såsom *minskade* kostnader för energi) och kostnader (såsom kostnader för energi). Vi har också varierat antagandena för de parametrar som generellt påverkar lönsamheten för att granska resultatets robusthet.

Restvärde

I enlighet med riktlinjer från EU-kommissionen⁴⁸ innefattas restvärdet i beräkningen av total kostnad för energihushållningskravens kostnadsoptimala nivå. En byggnads restvärde vid slutet av beräkningsperioden är summan av restvärdena för alla byggnadselement. Restvärdet av ett byggnadselement beror vanligtvis på den initiala investeringskostnaden, värdeminskningsperioden (som återspeglar livslängden för detta byggnadselement) och i förekommande fall kostnader för avlägsnande av ett byggnadselement⁴⁹.

Eftersom syftet med utredningen är att analysera skillnaden mellan nyttor och kostnader för verkliga lågenergibygnader och teoretiska byggnader som baseras på BBR 19 och BBR 22, finns det skäl att beräkna restvärdet på byggnadselementens energibesparing istället för på investeringskostnaden. Den främsta anledningen är att besparingen av byggnadselementen efter den ekonomiska livslängdens slut genererar ett värde som är betydande för skillnaden mellan de olika byggnadsutförandena⁵⁰. Ytterligare anledning är att det finns belägg för att anta att byggnaden står längre än 30 år och att det också är sällsynt att byggnader rivs efter denna tid. Allteftersom de tekniska livslängderna för de olika byggnadselementen börjar närma sig sitt slut renoveras oftast byggnaden, vilket gör att värdet består eller ökar. En byggnad med låg energianvändning är ett säkrare alternativ i ett energisystem under förändring mot ett energisystem baserat på hållbarhet, vilket också bör tas med i beräkningen.

I vår analys har vi därför valt att beräkna restvärdet på den framtida energibesparingen mellan år 30 (ekonomisk livslängd) fram till år 50 (teknisk livslängd)⁵¹.

⁴⁸ Europeiska kommissionen (2012a).

⁴⁹ Europeiska kommissionen (2012b).

⁵⁰ På rekommendation av Agnieszka Zalejska Jonsson och Lena Borg, KTH.

⁵¹ Livslängd satt till 50 år eftersom vi antar att det efter år 50 krävs en omfattande renovering för att bibehålla byggnadens syfte och förmåga att hålla en väl fungerande inomhusmiljö.

För att se hur beräkningen av restvärdet påverkar utfallet har vi även räknat med EU:s rekommenderade sätt att beräkna byggnadselements restvärde.

Energiprisökning

Inför investeringsbeslut är energipriset och dess framtida förändring en viktig faktor att beakta. En investering som idag inte anses som lönsam om man räknar med dagens energipriser kan i och med en ökning av energipriset få ett helt annat utfall.

Energimyndigheten gör inga prognoser över energiprisökningen utan gör scenarios⁵².

På grund av avsaknaden av prognostiserad prisutveckling och att vi inte ser någon anledning till att anta en kraftig ökning i energipriserna har vi valt att variera energipriserna i kalkylen med 1–2 procent.

Diskonteringsränta

Vi har också valt att förändra diskonteringsräntan mellan 3–6 procent. Historiskt sett har den företagsekonomiska diskonteringsräntan legat runt 5–6 procent, medan diskonteringsräntan för samhället legat på cirka 3,5–4 procent en längre tid⁵³. I och med det fördelaktiga ränteläget ligger den företagsekonomiska och samhällsekonomiska räntan i dagsläget närmare varandra. Tre procent är en lågt antagen procentsats, vilket skulle betyda att framtida nyttor och kostnader har i stort sett lika stort värde i framtiden som nu. En årlig energibesparing värderas därmed högre med en låg diskonteringsränta än med en hög. Utifrån ett energiprestandaperspektiv är en låg diskonteringsränta mer fördelaktigt för byggnader med bra energiprestanda.

Byggkostnader

Vid beräkning av byggnadernas livscykelkostnader har utredningen valt att fokusera på själva driftsfasen. Den främsta anledningen är att vi antagit att skillnaden i övriga kostnader utöver de som hör till investering i material inte bör vara av betydelse eftersom varken byggnadens yta eller lokalisering har ändrats i våra beräkningar. Kostnader för att uppföra en byggnad, kostnaden för marken där byggnaden står eller kostnaden för rivning ingår därmed inte i beräkningarna. Livscykelkostnadsbegreppet är i och med det begränsat till att inkludera de kostnader och nyttor som uppstår under byggnadens ekonomiska livslängd dvs driftsfasen.

Den kostnadspost som troligtvis har en viss påverkan på skillnaden mellan kostnader och nyttor mellan de olika byggnadsutföranden är lönekostnad för byggnadsarbetare, UE-hantverkare och tjänstemän⁵⁴.

I takt med ökad standardisering av lågenergibyggnader och att fler fastighetsägare testar att bygga med nya tekniker ökar kunskapen om lågenergibyggnader. Vilket leder till att lönekostnaderna för byggandet av lågenergibyggnader antas minska.

Att flera av byggnaderna i fallstudien är konventionellt utformade tyder på att det i dessa fall borde vara en skillnad i lönekostnader mellan att bygga en lågenergibyggnad och en BBR-byggnad. På grund av att det varit svårt att få fram uppgifter om kostnads-

⁵² Energimyndigheten (2017).

⁵³ Trafikverket (2016).

⁵⁴ Boverket (2014).

posten har den inte tagits med i vår kvantitativa känslighetsanalys. Vår bedömning är att kostnadsposten kan ha haft en viss inverkan på vårt resultat på så sätt att ytterligare en kostnad borde belasta lågenergibygnaderna. Hur stor inverkan kan tänkas vara har inte vidare analyserats.

Teknikutveckling, marknadsintroduktion och lärlkurvor

Teknisk utveckling är en viktig faktor för den ekonomiska utvecklingens fortlevnad. Teknisk utveckling och innovation handlar om att tillgodose marknads behov på sätt som de befintliga teknikerna/systemen/metoderna inte gör. Förutom framställande av nya tekniker och produkter med förbättrad prestanda kan även teknikutveckling och innovation innebära att kombinera befintliga resurser på nytt sätt, som leder till kostnadsminskningar genom att resurserna används mer effektivt⁵⁵.

Nära kopplat till teknikutveckling är marknadsintroduktion och så kallade lärlkurvor. Vid marknadsintroduktion sjunker priset för nya tekniker som på så sätt konkurrerar på redan befintlig marknad. Lärlkurvor illustrerar detta med kvantitativa förhållanden mellan pris och ökad produktion eller ökad användning av ny teknik⁵⁶. Med andra ord synliggör lärlkurvor bland annat effekten av marknadsintroduktion. I takt med att produktionen eller användandet ökar sjunker priset. Effekten på pris brukar studeras efter att produktionen eller användandet fördubblats. Detta brukar kallas för ”framstegs ratio” (progress ratio). När den nya tekniken når marknads break-even kan den pris-mässigt konkurrera med befintlig teknik. Resultatet blir ökad effektivitet till ”samma” marknadspris. Fortsatt teknikutveckling i kombination med marknadsintroduktion kommer ha en positiv påverkan på marknadspriset för energieffektiva åtgärder. Det kommer i sin tur ha en positiv påverkan på byggnaders livscykelkostnader utifrån ett långsiktigt perspektiv. Frekvent användande av ny teknik leder mest troligt till standardiserat användande.

Vad det gäller teknisk utveckling och marknadsintroduktionens effekt på marknadspriset har utredningen delvis tagit hänsyn till det genom att använda 2016 års priser vid beräkning av skillnaden mellan de olika åtgärdernas investeringskostnader.

Effekttaxor för fjärrvärmepriser

I utredningen har ett pris för fjärrvärme och ett pris för el antagits, se *Tabell 1. Beräkningsförutsättningar för känslighetsanalysen*. I verkligheten varierar både fjärrvärmepriset och elpriset beroende på energileverantör och region.

Under de senaste åren har fjärrvärmebolagen i Sverige genomfört omarbetningar av deras prismodeller⁵⁷.

Den nya prismodellen gör det svårare att på förhand bedöma om en specifik energieffektiviseringsåtgärd är ekonomisk lönsam. Lönsamheten kan också variera mellan olika regioner beroende på hur vald åtgärd har för genomslag på en fastighets värmebehov.

⁵⁵ SOU 2003:90 *Innovativa processer*, Utbildningsdepartementet s. 104 ff.

⁵⁶ IEA (2000).

⁵⁷ Rydén, B., Sköldberg, H., Stridsman, D. et.al. (2013).

En studie genomförd vid Lunds Universitet⁵⁸ har bland annat tittat på hur samma energibesparingsåtgärder i samma fastighet påverkar den årliga totala värmekostnaden i olika regioner (olika fjärrvärmenät). Två olika teoretiska fastigheter och två olika energibesparingsåtgärder ingår i studien. Resultatet visar på stora skillnader i kostnadsbesparingspotential mellan de olika fjärrvärmenäten. Det fjärrvärmenät med lägst kostnadsbesparingspotential visade sig ha halva besparingspotentialen jämfört med det fjärrvärmenät med högst kostnadsbesparingspotential. Ur en fastighetsägares perspektiv är den faktiska kostnadsbesparingen en avgörande faktor vid beslut om en energieffektiviseringsåtgärd ska genomföras eller inte⁵⁹. Resultatet tyder också på att det är mer lönsamt att genomföra energieffektiviseringsåtgärder i vissa delar av landet.

Beroende på vilket fjärrvärmenät en byggnad är ansluten till kan livscykelkostnaderna i vår analys påverkas både positivt och negativt. Antagandet om samma energipriser kan därför ha en betydande inverkan på utredningens beräkningsresultat.

Mervärden

För att utreda om ett styrmedel, projekt eller en åtgärd bidrar till någon ytterligare samhällsnytta utöver det som styrmedlet/projektet/åtgärden syftar till behöver ytterligare nyttor analyseras. Dessa nyttor går under benämningen mervärden eller multipla nyttor. Det är viktigt att hålla isär begreppen mervärde och multipel nytta eftersom en multipel nytta inte alltid behöver vara ett mervärde. Det beror på styrmedlets, projektet eller åtgärdens syfte. Om syftet är att minska energianvändningen genom effektivisering är ett mervärde något utöver energibesparingen.

Med andra ord belyser mervärden nyttor av lägre eller effektivare energianvändning utifrån ett bredare samhällsperspektiv, än att enbart se till de direkta nyttorna.

År 2014 utkom internationella energimyndigheten, IEA, med sin rapport *Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency*, där de identifierat 15 kategorier multipla nyttor kopplat till energieffektivisering⁶⁰. Copenhagen Economics har identifierat 6 multipla nyttor kopplat till energieffektivisering. Skillnaden mellan kategoriseringarna är att Copenhagen Economics har samlat ihop och grupperat individuellt specificerade multipla nyttor för att minska risken för dubbelräkning⁶¹.

Inom ramen för utredningen har det analyserats vilka mervärden som kan kopplas till lågenergibygnaderna i fallstudien. De identifierade mervärdena har också i den mån det varit möjligt kvantifierats och inkluderats i kostnadsberäkningen. På så sätt presenteras ett alternativt nettonuvärde i resultatkapitlet. Effekterna av mervärdesanalysen diskuteras därefter i våra slutsatser.

De mervärden som identifierats kopplat till lågenergibygnader är minskade lokala luftföroreningar, bättre inomhusklimat och minskade koldioxidutsläpp från driftfasen. Lägre energianvändning innebär att de negativa externaliteterna kopplat till energiproduktion minskar⁶².

⁵⁸ Studien har gjorts på beställning av Energimyndighetens beställarnätverk för energieffektiva flerbostadshus, BeBo.

⁵⁹ Andersson, S., Ekberg, O., (2017).

⁶⁰ IEA (2014) .

⁶¹ Copenhagen Economics (2016).

⁶² Copenhagen Economics (2017).

När det kommer till merkostnader kopplat till lågenergibygnaderna i fallstudien har de översatts till ökad energikostnad eller ökad investeringskostnad. Orsaker bakom ökade kostnader kan vara att den befintliga lågenergibygnaden inte lever upp till kraven i byggreglerna varför åtgärder behövs vidtas. Exempelvis kan luftflödet behöva ökas vilket leder till ökad energianvändning och därmed ökad kostnad för energi.

Lokala luftföroreningar är svåra att beräkna

Att beräkna mervärden i monetära termer till följd av minskade luftföroreningar är svårt eftersom de ämnen som orsakar luftföroreningar sprids lokalt, regionalt och globalt. Lokala effekter är de som uppstår i närheten av utsläppen av kemiska föreningar bland annat från produktion av olika energislag. De främst förekommande luftföroreningar som uppstår vid energiproduktion är koldioxid (CO₂), svaveldioxid (SO₂), kväveoxider (NO_x) och PM_{2,5}. Koldioxid ger upphov till globala effekter medan övriga emissioner ger lokala effekter⁶³. Den svenska fjärrvärmes produceras till stor del av förnybart biobränsle och avfall⁶⁴. För att spegla de lokala luftföroreningar som byggnadernas energianvändning ger upphov till har antaganden om kommunspecifika emissionsfaktorer gjort och använts.

För att beräkna mervärdet av minskade lokala luftföroreningar har skadestnader från Trafikverkets rapport *Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 6.0* från 2016 och emissionsfaktorer från Naturvårdsverkets underlag till Sveriges inventering av luftföroreningar för utsläppsåren 1990–2014 använts⁶⁵.

Osäkert om minskade koldioxidutsläpp från lågenergibygnader leder till reell minskning

När det kommer till lägre CO₂ utsläpp till följd av lågenergibygnadernas lägre energianvändning har besparingsberäkningar för respektive byggnad genomförts. Viktigt att poängtera är dock att det inte är säkert att det leder till en verklig utsläppsminskning globalt. Osäkerheten beror på att de anläggningar som tillför energi (el och fjärrvärme) för uppvärmning och varmvatten omfattas av utsläppshandelssystemet EU-ETS. Det innebär att de totala utsläppen av koldioxid inom EU har ett tak. Om efterfrågan av t.ex. fjärrvärme minskar i Sverige, kommer de svenska utsläppen att minska. I det perspektivet gör den minskade efterfrågan som lågenergibygnader innebär skillnad för utsläpp av växthusgaser. Men eftersom utsläppsrätterna kan säljas inom systemet kan den minskade nationella utsläppen istället bli utsläpp någon annanstans. Siffrorna bör därför tolkas med försiktighet.

⁶³ Trafikverket (2016) Kapitel 11.1 Kostnader för luftföroreningar.

⁶⁴ <https://www.energiforetagen.se/sa-fungerar-det/fjarrvarme/produktion/>

⁶⁵ Naturvårdsverkets hemsida <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledningar/Luft-och-klimat/Berakna-dina-utslapp-av-luftfororeningar/>

Samhällsekonomiska nyttor och kostnader bör värderas utifrån alternativ användning

I ett samhällsekoniskt perspektiv ska nyttor och kostnader generellt värderas utifrån en alternativ användning av resurser till marknadspris inklusive moms och andra indirekta skatter⁶⁶. I våra beräkningar ingår inte moms och andra indirekta skatter eftersom det har antagits att den verkliga skillnaden i åtgärder inte påverkas av momsen, som endast höjer värdena med samma faktor. Detta går självklart att diskutera eftersom lägre energianvändning genererar en lägre momskostnad.

Men vid beräkning av mervärden är det intressant att ta med moms och andra indirekta skatter eftersom mervärdena är utöver den direkta skillnaden mellan byggutförandena. Detta har det tagits hänsyn till genom att ett generellt momspåslag på 21 procent har inkluderats⁶⁷. De framräknade nettonuvärdena inklusive mervärden kommer därmed skilja sig från vårt beräkningsresultat.

⁶⁶ Trafikverket (2016) 5.7.4 Indirekta skatter – Moms och generellt momspåslag.

⁶⁷ Det generella momspåslaget baseras på data från SCB och fångar upp hushållens konsumtionsutgifter för moms och övriga produktskatter.

Resultat

Inledning

I Energimyndighetens och Boverkets fallstudie ingår mätningar i 45 lågenergibyggnader. För 31 av dem fanns minst ett års mätvärde att utgå från, 19 av dessa var lågenergibyggnader varav för 16 har även ett alternativt teoretiskt utförande av bygganden enligt BBR 19 och BBR 22 tagits fram. För detaljerad beskrivning av vilken data som mäts samt hur de alternativa utformningarna tagits fram se bilaga 1.

Konstruktionerna för de alternativa utformningarna som valts är framtagna för att vara realistiska och spegla verkliga konventionellt utformade byggnader som byggs enligt BBR 19 och BBR 22. För att en byggnad ska ingå i den fördjupade analysen krävs ett års mätdata. Alla byggnader lever inte upp till det kravet varför ett antal byggnader endast redovisas med projekterat och uppmätt energianvändning och med en begränsad analys.

När analyserna genomförts i de byggnader som redovisas med fördjupad analys har brister i mätdata upptäckts. Vissa av mätarna har av olika anledningar inte levererat vad som förväntats vilket har gjort datasetet inkomplett. Uppskattningsvis har 20 procent av mätdata för småhus, 30 procent av mätdata för flerbostadshus och 50 procent av mätdata för lokaler visat sig vara bristfällig. Detta leder till osäkerhet vad det gäller mätresultatet. För att skapa ett komplett dataset och för att öka mätresultatets robusthet har mätningarna justerats med hjälp av byggnadernas effektsignatur⁶⁸ och uppgifter om köpt levererad energi. I och med kompletteringarna anses mätresultatet vara mer tillförlitligt men bör beaktas utifrån dessa förutsättningar.

Småhus

I mätprogrammet har 11 småhus ingått. Byggnaderna som ingår i analysen är såväl konventionellt utformade, speciallösningar och byggda enligt passivhusstandard. I sju av fallen har det genomförts en fördjupad analys utifrån mätningarna och i fyra av dem har även tagits fram alternativa utformningar. I tabell 3 presenteras byggnadernas projekterade och uppmätta energianvändning samt de alternativa utformningarnas energianvändning. I tabell 4 presenteras beräknade skillnader i kostnader och nyttor.

⁶⁸ Med effektsignatur menas byggnaders effektbehov vid olika utetemperaturer.

Byggnadernas projekterade och uppmätta energianvändning

Tabell 4. Resultat från mätningarna av byggnadernas energianvändning och uppfyllelse av kravet för lågenergibyggnad respektive kravet på BBR-byggnad.

Byggnad (klimatzon), uppvärmning, byggår	Projekterad energianvändning, (kWh/m ² , år)	Uppmätt normalårs-korr. energianvändning (kWh/m ² , år)	Uppmätt justerad energianvändning*, (kWh/m ² , år)	Energiprestandakrav för lågenergibyggnad, kWh/m ² , år BBR 19, (BBR 22)	Klarar kravet för lågenergibyggnad	Energianvändning modell enligt BBR 19 (kWh/m ² , år) (Kravnivå BBR 19)	Energianvändning modell enligt BBR 22 (kWh/m ² , år) (Kravnivå BBR 22)
S1 (III), el, 2010	40	35	44	41,25 41,25 (41,25)	På gränsen	51(55)	46(55)
S2 (III/IV), Fjv, 2012	61	47		67,5 (60,0)	Ja	90(90)	79(90)
S3, (I) el, 2010	44	75	80	71,25 (71,25)	Nej	90(95)	75(95)
S4, (I) pellet och elspets, 2009	65	57	77	97,5 (97,5)	Ja	126(130)	109(130)
S5 (III), el, 2011	34	63	47	41,25 (41,25)	Nej		
S7 (III), Fjv, 2012	74	84		67,5 (67,5)	Nej		
S9 (III/IV), 2009	26	78		41,25 (37,5)	Nej		
Byggnader med endast projekterad och uppmätt energianvändning							
S100 (III), EI	30		50	41,25 (41,25)	Nej	-	-
S101 (III/IV), EI	17		13	41,25 (37,5)	Ja	-	-
S105 (I), EI	30		28	71,25 (71,25)	Ja	-	-
S107 (III), EI	15		17	41,25 (41,25)	Ja	-	-

*byggnadens energianvändning har justerats efter generell modell på grund av driftsfel och eller tekniska fel. I de fall justerat värde finns är det detta som används i kostnadsberäkningarna.

Resultat av den fördjupade analysen av småhus

Två av sju småhus klarar kravet på 25 procent bättre specifik energianvändning än BBR 19 och BBR 22 och kan enligt vår utredning klassas som lågenergibygnader. Ytterligare ett ligger på gränsen. Fyra av sju klarar inte utredningens krav för lågenergi-byggnad. För tre av dessa har inga alternativa utföranden genomförts eftersom de ligger långt från gränsen för att klassas som lågenergibygnad.

Majoriteten av byggnaderna som ingår i den fördjupade analysen har en mycket bra till medelbra (lufttätt) klimatskärm med lågt U_m . Den främsta anledningen till varför några av byggnaderna i fallstudien inte lever upp till utredningens krav för lågenergibygg-nad är att de tekniska systemen visat sig ha en avgörande roll för småhusens energi-prestanda. Mätningar visar att två av fyra byggnader som inte lever upp till kraven har problem med värmeväxlarens verkningsgrad. Istället för 70–80 procent verkningsgrad ligger de i själva verket på 40–45 procent. För dessa byggnader är det viktigt eftersom de byggts med passivhusliknande teknik⁶⁹. Det finns även andra exempel där det visats sig att byggnaderna har problem med de tekniska systemen vilket påverkar byggnadens specifika energianvändning negativt. Detta kan också förklara varför flertalet av byggnaders uppmätta energianvändning skiljer sig från projekterad energianvändning. Endast en byggnad av sju i den fördjupade analysen ligger under projekterat värde.

Eftersom de tekniska systemen har en avgörande roll för småhusens energiprestanda är det av stor vikt att brukarna har god kunskap i hur systemen bör skötas för att bibehålla sin funktion och prestanda. Mätningarna visar att det finns anledning att anta att kunskapen hos småhusägarna är begränsad. Det finns med andra ord en risk att byggnadernas energiprestanda försämras med åren om de tekniska systemen inte underhålls på rätt sätt.

Brukarnas beteende påverkar mer vid lägre energianvändning

När det kommer till brukarnas beteende visar mätresultaten på att det är generellt låg tappvarmvattenanvändning i småhusen. Vissa småhus använder hälften så mycket tappvarmvatten än vad som idag anses som normalt brukande⁷⁰. Vid en ökad användning av varmvatten uppfyller byggnaderna ändå kravet för att klassas som lågenergibygnad. Den låga tappvarmvattenanvändningen kan ha logiska förklaringar som att byggnaden är dimensionerad för fler brukare än som permanent bor där eller att de exempelvis duschar i samband med träning någon annanstans, mer än att det är ett medvetet val att hushålla med varmvattnet. Det kan också vara så att schablonvärdet för småhus behöver ses över.

Är det mer lönsamt att bygga energieffektivare byggnader än att bygga enligt Boverkets byggregler?

Kostnadsberäkningar har genomförts av de småhus som klarat utredningens krav på att vara lågenergibygnad. Tabellen ska läsas som en jämförelse mellan att bygga huset som lågenergibygnad relativt att bygga enligt BBR-regler. Ett positivt värde för investering innebär att det är en merkostnad att bygga som lågenergibygnad. Medan ett positivt nettonuvärde visar att det som helhet är mer lönsamt att bygga som lågenergibygnad.

⁶⁹ <http://www.passiv.de> <http://www.nollhus.se>

⁷⁰ Boverkets föreskrifter (2017:6) om ändring av verkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår.

Tabell 5. Skillnad i kostnadsberäkningar mellan befintliga lågenergibyggnader och teoretiska BBR-byggnader

BBR 19 utföranden							
Byggnad	Merkostnad för investering, kr	Skillnad i total energikostnad, kr/år	Skillnad i netto- värde*	Mer lönsamt som lågenergibyggnad?	NNV Diskonterings- ränta 3-6 %	NNV Enerprisökning 1-2 %	NNV inkl. mervärden
S1	157 200	1 870	-120 140	Nej	(-113 600) till (-128 900)	(-119 800) till (-119 300)	(-150 000) till (-153 500)
S2	93 600	7 470	105 480	Ja***	(134 500) till (54 900)	(106 800) till (108 200)	146 000 till 162 500
S4	637 800	440	-659 150	Nej	(-660 500) till (-657 700)	(-661 300) till (-659 700)	(-691 500) till (-721 000)
BBR 22 utföranden							
Byggnad	Merkostnad för investering, kr**	Skillnad i total energikostnad, kr/år	Skillnad i netto- värde*	Mer lönsamt som lågenergibyggnad?	NNV Diskonterings- ränta 3-6 %	NNV Enerprisökning 1-2 %	NNV inkl. mervärden
S1	45 800	420	-37 440	Nej	(-36 000) till (-39 400)	(-36 100) till (-36 000)	(-45 000) till (-46 000)
S2	56 500	5 640	106 330	Ja	129 000 till 64 500	107 400 till 108 400	141 000 till 153 000
S4	488 100	-1 490	-548 150	Nej	(-555 500) till (-537 400)	(-550 200) till (-549 400)	(-578 000) till (-599 500)

* Ett positivt värde innebär att lågenergibyggnaden är mer lönsam medan ett negativt värde innebär att BBR-byggnaden är mer lönsam.

** Ett positivt värde innebär att lågenergibyggnaden är dyrare medan ett negativt värde innebär att BBR-utförandet är dyrare än den befintliga lågenergibyggnaden.

*** Till skillnad från ovan resultat gjordes bedömningen i vår tidigare rapportering, Boverket och Energimyndigheten (2015) att S2 var mindre lönsam i sitt lågenergiutförande. De främsta anledningarna till skillnaden är att vi nu har uppdaterat energipriserna och haft tillgång till nyare mätdata. I den tidigare rapporteringen använde vi också en kalkylränta på 6 procent istället för dagens kalkylränta på 4 procent. Vi anser att en kalkylränta på 4 procent stämmer mer överens med dagens marknadsräntor.

Utfifrån genomförda kostnadsberäkningar är ett av tre småhus mer lönsamma som lågenergibygnader och två av tre mindre lönsamma som lågenergibygnader. Det mer lönsamma lågenergihuset har en mycket bra klimatskärm och effektiva tekniska installationer som fungerar som de ska.

Anledningen till varför två av tre är mer lönsamma som BBR-byggnader beror dels på sämre klimatskärm, dels på att de tekniska installationerna brister i sin effektivitet och funktion. I ett av fallen är de installationer som finns mindre energieffektiva än väntat.

Känslighetsanalysens påverkan på skillnaden mellan nyttor och kostnader
Skillnaden av nyttor och kostnader påverkas relativt lite när diskonteringsräntan och energipriserna varieras. Ändring av diskonteringsräntan visade sig ha lite större effekt på skillnaden än ökade energipriser. Lägre diskonteringsränta ger ökat nettonuvärde vilket beror på att en lägre ränta värderar framtida energibesparingar högre än en hög diskonteringsränta. Med låg diskonteringsränta värderas nutida och framtida investeringar mer jämbördigt. Att ändring av diskonteringsräntan får större påverkan på nettonu-
värdet än energiprisökningen beror främst på detta.

Eftersom vi valt att titta på skillnaden mellan nyttor och kostnader mellan verkliga lågenergibygnader och teoretiska byggnader som uppfyller BBR 19 och BBR 22 har vi valt att i första hand beräkna restvärdet på den fortsatta energibesparingen efter den ordinarie kalkylperiodens slut fram till år 50. För mer utförlig förklaring se kapitlet om *Känslighetsanalyser*.

Enligt EU riktlinjer vid beräkning av kostnadsoptimala energikrav ska restvärdet beräknas på investeringskostnaden. För att se hur utfallet påverkas av de olika beräkningssätten av restvärdet, har vi i känslighetsanalysen räknat med EU:s rekommenderade metod.

När vi beräknade restvärdet i enlighet med EU:s riktlinjer påverkades nettonu-
värdet endast marginellt. Beräkningsmetod av restvärde får därmed ingen betydande effekt på resultatet. Och när vi förlängde kalkylperioden till 40 år istället för 30 år fick vi i stort sett samma resultat som vid beräkning av restvärdet på den framtida energibesparingen.

Nettonu-
värdet inklusive de identifierade och kvantifierade mervärdena och merkostnaderna skiljer sig till viss del från vårt gällande nettonu-
värde. Generellt för alla småhus är att mervärdena tillgodoses lågenergibygnaderna eftersom de leder till lägre lokala luftutsläpp och marginellt lägre koldioxidutsläpp till följd av lägre energianvändning. Beskrivning av beräkningsförutsättningarna gällande mervärden och merkostnader återfinns i avsnitt *Mervärden*.

Mervärdena leder inte till ändrat utfall. Det är lika många (samma) av byggnaderna som är mer lönsamma som lågenergibygnader respektive mer lönsamma som BBR-byggnader med mervärdena inklusive.

För de byggnader som värms upp med fjärrvärme (S2 och S7) finns en risk att den beräknade skillnaden i energikostnad (kr/år) inte stämmer överens med de verkliga kostnadsbesparingarna. Anledningen till det är att fjärrvärmens prismodell gör det svårare att på förhand bedöma om en specifik energieffektiviseringsåtgärd är ekonomisk lönsam. Lönsamheten kan också variera mellan olika regioner beroende på hur vald åtgärd har för genomslag på en fastighets värmebehov.

Exempelvis skulle skillnad i nettonuvärdet för S2 kunna ändras till 38 815 kronor istället för 105 482 kronor till följd av en halverad årlig kostnadsbesparing. Lågenergi-byggnaden skulle fortsatt vara mer lönsam men skillnaden är betydligt mindre.

Uppföljning av övriga tekniska egenskaper i småhusen

I utredningen har också ingått att se hur tekniska egenskapskrav påverkas av effektiv energianvändning. Övriga egenskapskrav i byggnaden som kan ha koppling till uppfyllande av definitionen av lågenergihus har kontrollerats med hjälp av mätningar och en enkätundersökning⁷¹.

I tabellen nedan för småhus och motsvarande tabeller för flerbostadshus och lokaler ges en sammanställning av byggnadernas utformning, energianvändning och energiprestanda tillsammans med resultaten av undersökningarna av ventilation, inomtemperatur och ljudnivå. Byggnaderna anges som konventionellt utformade, specialutformade eller som passivhus. I tabellen presenteras resultatet byggnad för byggnad.

Tabell 6. Kortfattad beskrivning av småhusens energiprestanda och övriga egenskaper.

Byggnad	Enkät svar och mätning	Kommentar										
S1	Småhus S1 anges som ett standardhus och har $A_{temp} = 205 \text{ m}^2$. $U_m = 0,24 \text{ W/m}^2$ och K, vilket är lågt för ett standardhus. Uppvärmningen sker med en bergvärmepump och spetsel. Huset har frånluftsventilation utan värmeåtervinning. Uppmätt specifik energianvändning är 35 kWh/m^2 och år i klimatzon III. Efter justering av luftflöden till $0,35 \text{ l/s m}^2$ beräknas energiprestanda till 44 kWh/m^2 och år. Byggnaden klarar kravet på att vara ett lågenergihus. <table><tr><td>Luftkvalitet</td><td></td></tr><tr><td>Ljus</td><td></td></tr><tr><td>Termisk komfort</td><td></td></tr><tr><td>Fukt</td><td></td></tr><tr><td>Ljud</td><td></td></tr></table>	Luftkvalitet		Ljus		Termisk komfort		Fukt		Ljud		Uppmätt ventilationsflöde var $0,21 \text{ l/s m}^2$ och då som en följd av inställningarna för att undvika problem inomhus. Ventilationsflödet är reducerat på grund av komfortproblem. "Vattenlås försvinner" vid projekterat ventilationsflöde. Stora fönster mot söder ger bristande komfort sommartid, och kallras och drag under vintern. Ventilationsproblemen är sannolikt inte en följd av strävan efter energieffektivitet utan användning av för små ventiler. Komfortproblemen intill de stora fönstren kan höras samman med en önskan om utnyttjande av solvärme, men det är inte dokumenterat.
Luftkvalitet												
Ljus												
Termisk komfort												
Fukt												
Ljud												
S2***	S2 är ett småhus som uppges vara av standardutförande och med $A_{temp} = 140 \text{ m}^2$. $U_m = 0,15 \text{ W/m}^2$ och K, vilket liksom för småhus S1 är lågt för ett standardhus. Huset värms med fjärrvärme och har ett FTX-system. Uppmätt specifik energianvändning är 47 kWh/m^2 och år i klimatzon III/IV. Byggnaden klarar kravet på att vara ett lågenergihus.	Intervjuer och mätningar visar obalans i ventilationsflöden som kräver injustering. Fönster behöver öppnas när köksfläkten används. Det termiska klimatet tycks vara utan problem till stora delar. Övertemperaturer sommartid på ovanvåningen har noterats. Inget tyder på att de nämnda problemen direkt kan hänföras till byggnadens höga energiprestanda.										

⁷¹ Enkätundersökning 2015.

Byggnad	Enkät svar och mätning	Kommentar										
S3	S3 är ett småhus som anges som specialutformat med $A_{temp} = 134 \text{ m}^2$. Huset är eluppvärmt med FTX. U_m-värdet är $0,17 \text{ W/m}^2$ och K. Ventilationsluft tillförs via en kulvert. Uppmätt energianvändning är 75 kWh/m^2 och år i klimatzon I. Efter justering av luftflöden till $0,35 \text{ l/s m}^2$ beräknas energiprestanda till 80 kWh/m^2 och år. Byggnaden klarar kravet på att vara ett lågenergihus. <table><tr><td>Luftkvalitet</td><td></td></tr><tr><td>Ljus</td><td></td></tr><tr><td>Termisk komfort</td><td></td></tr><tr><td>Fukt</td><td></td></tr><tr><td>Ljud</td><td></td></tr></table>	Luftkvalitet		Ljus		Termisk komfort		Fukt		Ljud		Enligt de boende blir det varmt sommartid och man vädrar. Vintertid blir det kallt inomhus och små elradiatorer används. Uppmätt innetemperatur är som lägst 18°C (frånluftstemperatur). Uppvärmningssystemet tycks vara underdimensionerat och det finns ett visst utrymme för att installera mer elvärme. Idag är $4,2 \text{ kW}$ elvärme installerat och i klimatzon I tillåts $5,5 \text{ kW}$. Det är oklart om el till de extra elradiatorerna är inräknat i uppvärmningsenergin.
Luftkvalitet												
Ljus												
Termisk komfort												
Fukt												
Ljud												
S4	Småhuset anges som specialutformat med $A_{temp} = 195 \text{ m}^2$. Husets $U_m = 0,17 \text{ W/m}^2$ och K. Byggnaden värms med pelletskamin, solfångare, solceller och spetsel. Huset har FTX-system. Uppmätt normalårskorrigerad energianvändning är 57 kWh/m^2 och år i klimatzon I. Efter korrigering beräknas den specifika energianvändningen till 77 kWh/m^2 och år. Byggnaden klarar kravet på att vara ett lågenergihus. <table><tr><td>Luftkvalitet</td><td></td></tr><tr><td>Ljus</td><td></td></tr><tr><td>Termisk komfort</td><td></td></tr><tr><td>Fukt</td><td></td></tr><tr><td>Ljud</td><td></td></tr></table>	Luftkvalitet		Ljus		Termisk komfort		Fukt		Ljud		Ventilationsflödet är ofta inställt på ett värde under nivåerna i BBR. Dock upplever de boende inga problem med luftkvaliteten. Dock bor enbart två personer i huset. Det låga ventilationsflödet understiger nivån i BBR och ger ett lågt uppvärmningsbehov. Korrigeringen av energiprestanda har gjorts med hänsyn till detta.
Luftkvalitet												
Ljus												
Termisk komfort												
Fukt												
Ljud												
S5****	S5 är ett specialutformat småhus med $A_{temp} = 155 \text{ m}^2$. Husets $U_m = 0,163 \text{ W/m}^2$ och K. Huset värms med elpanna och solfångare, och har FTX-system. Uppmätt specifik energianvändning är 69 kWh/m^2 och år. Levererad köpt energi när bidraget från solceller inkluderats är 63 kWh/m^2 och år i klimatzon III. Efter justering av obalans i luftflöden och högre verkningsgrad i värmeåtervinningen kan energiprestanda beräknas till 47 kWh/m^2 och år.	Luftflöden i huset uppfyller reglerna i BBR. Det finns dock en obalans mellan tilluft- och frånluftslöden. Innetemperaturen visar ojämnheter då golvvärmen på bottenvåningen och luftvärmen på ovanvåning inte samverkar korrekt så att exempelvis kalla golv förekommer. Det finns även ett lågfrekvent buller som överstiger 50 dB. Det finns inget som pekar på att dessa olägenheter beror på att byggnaden byggts som ett energieffektivt hus.										
S7****	S7 är utformat som ett standardsmåhus med $A_{temp} = 122 \text{ m}^2$. $U_m = 0,20 \text{ W/m}^2$ och K. Huset är varmt med fjärrvärme och har FTX-system. Uppmätt specifik energianvändning är 84 kWh/m^2 och år i klimatzon III.	Ventilationsflödet uppfyller nivåer i BBR men de boende behöver ändå vädra pga lukter. Innetemperaturen under vintern är utan anmärkningar. Sommartid är innetemperaturen ofta hög trots utomhustemperaturer strax under 20°C.										

Byggnad	Enkät svar och mätning	Kommentar
S9****	Småhus S9 är ett specialutformat hus med $A_{\text{temp}} = 183 \text{ m}^2$. Husets $U_m = 0,15 \text{ W/m}^2$ och K. Huset värms med solfångare och spetsel och har ventilationssystem med FTX. Uppmätt specifik energianvändning är 78 kW/m^2 och år i klimatzon IV. Projekterat värde var 46 kWh/m^2 och år.	Värmeväxlaren i FTX-aggregatet har en låg verkningsgrad och tilluften leds i bottenplattans kant. Isoleringen anges som bristfällig. Tilluftstemperaturen har varierat. Det har förekommit läckage i solfångaren som resulterat i problem med tappvarmvatten och ökad elanvändning för uppvärmning. De noterade problemen tycks inte kunna relateras till strävan efter hög energiprestanda. Problemen är troligen en följd av bristfällig injustering eller bristande produktkvalitet. FTX-aggregatets låga verkningsgrad förklarar varför den projekterade energiprestandan avviker så pass mycket från uppmätt prestanda.

* Skala mycket bra  Mycket dåligt ▲ Den här byggnaden ▼ Medelvärde för Svenska byggnader 2009

** Boverket (2009).

*** Inget färgdiagram för S2 är framtaget eftersom byggnaden inte ingick i enkätstudien "Kvalitativ utvärdering av inomhusmiljön i lågenergibyggnader: enkätundersökning i bostäder och lokaler" som Boverket och Energimyndigheten lät genomföras 2014/2015.

**** Eftersom S5, S7 och S9 inte uppfyller kraven för att definieras som lågenergibyggnader har inga alternativa utformningar för dessa tagits fram. Av den anledning ingår de heller inte i den fördjupade analysen varför inga diagram har tagits fram för dessa byggnader.

Gemensamt för alla småhusen är att de har en effektiv klimatskärm där U_m inte överstiger $0,24 \text{ W/m}^2$ och K. Kravet i BBR är $0,40 \text{ W/m}^2$ och K i både BBR 19 och BBR 22. Vad det gäller övriga tekniska egenskapskrav ligger byggnaderna i fallstudien generellt bra till jämfört med medelvärdet för byggnader från BETSI-undersökningen⁷². De effekter som noterats i något enskilda fall är höga inomhustemperaturer sommartid och kallras vintertid. Detta kan förklaras med låga ventilationsflöden och underdimensionerade uppvärmningssystem. Problemen är troligen en följd av bristfällig injustering eller bristande produktkvalitet och inte en effekt av byggnadernas låga energianvändning.

Flerbostadshus

I fallstudien har tio flerbostadshus ingått från alla olika klimatzoner. Fyra av flerbostadshusen som ingår i analysen anges som special utformade, ett är passivhus fyra flerbostadshus anges som konventionellt utformade byggnader och ett flerbostadshus definieras som en plusenergibyggnad. Värt att notera är också att flertalet är byggda för sju till tio år sedan. Vid den tidpunkten var det relativt nytt att bygga lågenergibyggnader vilket möjligtvis har en viss inverkan på val av utformning⁷³.

I sex av fallen har det genomförts en fördjupad analys utifrån mätningarna. Det har också tagits fram alternativa utformningar för dessa. Kravet för de alternativa utformningarna är att de ska leva upp till kraven i BBR 19 och BBR 22. Konstruktionerna för de alternativa utformningarna som valts är framtagna för att vara realistiska och spegla verkliga konventionellt utformade byggnader som byggs enligt BBR 19 eller BBR 22.

⁷² Boverket (2009).

⁷³ <http://salis.laganbygg.se/diagram3.html>

I tabell 6 nedan presenteras byggnadernas projekterade och uppmätta energianvändning samt de alternativa utformningarnas energianvändning. I tabell 7 presenteras beräknade skillnader i kostnader och nyttor.

Byggnadernas projekterade och uppmätta energianvändning

Tabell 7. Resultat från mätningarna av byggnadernas energianvändning och uppfyllelse av kravet för lågenergibyggnad respektive kravet på BBR-byggnad.

Byggnad (klimatzon), uppvärmning, byggår	Projekterad energianvändning, (kWh/m ² , år)	Uppmätt normalårs- energianvänd- ning (kWh/m ² , år)	Uppmätt justerad energianvändning, (kWh/m ² , år)**	Energiprestanda krav för lågenergibygg- nad, kWh/m ² , år BBR 19, (BBR 22)	Klarar kravet för lågenergibyggnad	Energianvändning modell enligt BBR 19 (kWh/m ² , år) (krav enligt BBR 19)	Energianvändning modell enligt BBR 22 (kWh/m ² , år) (krav enligt BBR 22)
F1 (III/IV), Fjv + Solf, 2010	50	44	46	67,5 (56,25)	Ja	75 (90)	70 (75)
F3 (II), Fjv, 2012	48	85	84	82,5 (75)	På gränsen	108 (110)	98 (100)
F4 (II), Fjv + vp, 2007	52	60	60	82,5 (75)	Ja	87 (110)	78 (100)
F9 (III), Fjv, 2009	41	40	41	60,7 (60,0)	Ja	70 (90)	61 (80)
F10 (III), Elbatteri + solfångare, 2006	28	35	36	41,25 (37,5)	Ja	55 (55)	49 (50)
F11 (I), Fjv och el, 2010	69	99	85	97,5 (86,25)	Ja	118 (130)	101 (115)
Byggnader med endast projekterad och uppmätt energianvändning							
F105 (I), Fjv	93	115	116	97,5 (97,5)	Nej		
F106 , (III), Fjv	50	82	83	67,5 (60)	Nej		
F107, (III), Fjv	52	57	57	67,5 (60)	Ja		
F114 (III), el och solceller	25*	28 41 utan sol	28	41,25 (37,5)	Ja		

* Projekterat energibehov. Huset är Plusenergi med projekterad energianvändning på -4 kWh/m², år

** Byggnadens energianvändning har justerats efter modell på grund av driftsfel och eller tekniska fel. I de fall justerat värde finns är det detta som används i kostnadsberäkningarna.

Resultat av den fördjupade analysen av flerbostadshus

Alla sex flerbostadshus som ingår i analysen klarar kravet för att klassas som lågenergi-byggnad i enlighet med vår utredning. Det är ett som är på gränsen att klara kravet.

Generellt för flerbostadshusen i analysen är att konstruktionen och dess värmeisolering har stor betydelse för byggnadens energiprestanda. Mängden utåt- och inåtgående hörn med tillhörande köldbryggor samt möjligheten att åstadkomma en tät klimatskärm är faktorer som påverkar detta. Vid tidpunkten när de aktuella byggnaderna projekterades var verkningsgraden för FTX-system vanligen lägre än vad som kan uppnås idag. Och det var vanligt att det satsades på kraftig värmeisolering när lågenergibyggnader skulle åstadkommas. Dessa åtgärder är fortfarande aktuella och eftersom dessa förlusterna därmed minskar får andra brukarpåverkade förluster relativt sett större betydelse. Exempel på sådana är inomhustemperatur, varmvattenanvändning och vädring. Men även mängden hushållsel är av betydelse i lågenergibyggnaderna. Efterhand har utvecklingen lett fram till effektivare elapparater och lägre stilleståndsförluster vilket gör att det interna tillskottet av värme har minskat.

För flerbostadshusen i fallstudien är konstruktionen och klimatskärmens isolerförmåga fortfarande av stor betydelse för energiprestandan eftersom de tekniska installationerna inte kan kompensera för en konstruktion och klimatskärm som enbart uppfyller BBR:s U-värdeskrav med liten marginal. Enligt BBR:s energikrav kan man dessutom tillgodoräkna sig den energi som producerats med solfångare eller solceller. Dessa är alternativ till övriga energisparåtgärder. Det är byggherren som har rätt att välja vilken åtgärd som ska användas för att klara BBR-kraven alternativt bli en lågenergibyggnad. I denna utredning har dock inte egenproducerad energi räknats med.

Vid jämförelse av projekterad och uppmätt energianvändning ligger flertalet av flerbostadshusen över projekterat värde. Två flerbostadshus har dock lägre uppmätt energianvändning än projekterad. Kännetecknade för dessa är låg formfaktor, ventilationssystem med hög återvinningsgrad och en välfungerande helhet.

Ett av Energimyndighetens och Boverkets krav var att grundkonstruktionen av klimatskärmen inte skulle förändras för de alternativa utformningarna. I praktiken betyder det att ett lågenergihus som är ett trähus med regelväggar ska vara det även i BBR-versionen av huset. Och på motsvarande sätt med betongväggar, lättbetong, utfackningsväggar etc. I vissa fall i det underliggande beräkningsarbetet har det varit en utmaning att försäkra de befintliga lågenergibyggnaderna så pass mycket att de precis klarar kraven för BBR 19 och BBR 22. Anledningen till att vi bibehållit befintligt konstruktionssätt är att få ett så likartat jämförelsealternativ som möjligt. Ett totalt byte av konstruktionssätt för BBR-alternativet hade sannolikt lett till en helt annan kostnadsbild. Resultatet hade då inte kunnat utvärderas i den typ av marginalkostnadsanalys som denna undersökning bygger på.

Att det varit en utmaning att uppnå BBR-nivåerna bekräftar konstruktionens och klimatskärmens isolerförmågas betydelse för att uppnå en bra energiprestanda för flerbostadshus. Det är därmed viktigt att tänka till från början för att uppnå låg energianvändning.

Vad det gäller de tekniska installationerna upptäcktes färre tekniska fel än i småhusen. Och de som upptäcktes var berörd aktör redan medveten om. Det tyder på att de som sköter driften av de tekniska systemen av flerbostadshus har god kunskap om hur driften bör skötas för att byggnaden ska bibehålla sin energiprestanda och funktion.

Tabell 8. Skillnad i kostnadsberäkningar mellan befintliga lågenergibyggnader och teoretiska BBR-byggnader.

BBR 19 utföranden							
Byggnad	Merkostnad för investering i lågenergibyggnad, kr**	Skillnad i total energikostnad, kr/år	Skillnad i nettoutvärde (NNV)*	Mer lönsam som lågenergibyggnad	NNV Diskonteringsränta 3-6 %	NNV Enerprisökning 1-2 %	NNV inkl. mervärden
F1	856 100	101 270	1 399 640	Ja***	1 143 400 till 224 400	1 416 400 till 1 433 900	1 989 000 till 2 173 500
F3	1 229 300	101 700	636 522	Ja	923 271 till 162 844	653 781 till 665 393	1 033 000
F4	751 100	108 110	1 564 878	Ja	1 937 915 till 1 005 312	1 583 060 till 1 598 040	2 346 500 till 2 949 500
F9	1 100 500	207 090	4 062 500	Ja	4 926 121 till 2 757 550	4 096 929 till 4 132 036	5 511 500 till 6 688 000
F10	289 250	19 830	221 540	Ja	307 592 till 221 535	224 652 till 230 887	178 500 till 189 000
F11	661 000	37 040	61 660	Ja	174 943 till (-107 337)	67 723 till 75 554	102 500 till 155 000
BBR 22 utföranden							
Byggnad	Merkostnad för investering, kr	Skillnad i total energikostnad, kr/år	Skillnad i nettoutvärde*	Mer lönsam som lågenergibyggnad?	NNV Diskonteringsränta 3-6 %	NNV Enerprisökning 1-2 %	NNV inkl. mervärden
F1	723 300	84 250	1 196 100	Ja	668 396 till 166 953	476 602 till 486 572	1 687 500 till 1 840 000
F3	347 200	56 350	616 500	Ja	761 005 till 354 050	626 215 till 630 279	985 500
F4	189 800	74 290	1 456 330	Ja	1 723 880 till 1 054 281	1 468 882 till 1 478 233	2 119 500 till 2 554 000
F9	161 800	143 220	3 736 220	Ja	4 400 633 till 2 728 733	3 760 017 till 3 784 494	4 923 000 till 5 731 500
F10	153 350	14 210	246 130	Ja	314 660 till 246 131	248 365 till 252 833	233 500 till 241 000
F11	335 700	18 700	23 740	Ja	79 818 till (-59 849)	26 745 till 31 520	1 000 till 20 000

* Ett positivt värde innebär att lågenergibyggnaden är mer lönsam medan ett negativt värde innebär att BBR-byggnaden är mer lönsam.

** Ett positivt värde innebär att lågenergibyggnaden är dyrare medan ett negativt värde innebär att BBR-utförandet är dyrare än den befintliga lågenergibyggnaden.

*** Till skillnad från ovan resultat gjordes bedömningen i vår tidigare rapportering, Boverket och Energimyndigheten (2015) att S2 var mindre lönsam i sitt lågenergiutförande. De främsta anledningarna till skillnaden är att vi nu har uppdaterat energipriserna och haft tillgång till nyare mätdata. I den tidigare rapporteringen använde vi också en kalkylränta på 6 procent istället för dagens kalkylränta på 4 procent. Vi anser att en kalkylränta på 4 procent stämmer mer överens med dagens marknadsräntor.

Är det mer lönsamt att bygga energieffektivare byggnader än att bygga enligt Boverkets byggregler?

Kostnadsberäkningar har genomförts av de flerbostadshus som klarat utredningens krav på lågenergibyggning.

Tabellen ska läsas som en jämförelse mellan att bygga huset som lågenergibyggning relativt enligt BBR-regler. Ett positivt värde för investering innebär att det är en mer kostnad att bygga som lågenergibyggning. Medan ett positivt nettonuvärde visar att det som helhet är mer lönsamt att bygga som lågenergibyggning.

Resultatet från kostnadsberäkningarna visar att det för alla flerbostadshus som klassa som lågenergibyggning är mer lönsamt att bygga lågenergibyggningar än byggnader som uppfyller BBR 19 och BBR 22.

Den goda lönsamheten för lågenergibyggningarna beror främst på att konstruktionen och klimatskärmens isolerförmåga är avgörande för byggnadernas energiprestanda. Det har varit svårt att försämla byggnaderna så pass mycket att kraven i BBR 19 och BBR 22 nås. Hade syftet varit att bygga en BBR-byggnad skulle projekteringen sett annorlunda ut. Detta skulle troligtvis påverka BBR-utförandenas lönsamhet i jämförelse med lågenergibyggningarna.

Känslighetsanalysens påverkan på skillnaden mellan nyttor och kostnader Ändring av diskonteringsränta och energipriser ger en relativt liten skillnad i nettonuvärde. Det är endast i ett fall där ändring till en högre diskonteringsränta påverkar skillnaden i nyttor och kostnader så pass mycket att BBR 22 utförandet blir mer lönsamt. I det här fallet är skillnaden i nettonuvärde initialt liten. Och eftersom en högre diskonteringsränta värderar framtida energibesparingar lägre är den framtida fördelen för lågenergibyggningen inte lika stor.

När vi beräknade restvärdet i enlighet med EU:s riktlinjer påverkades nettonuvärdet endast marginellt. Beräkningsmetod av restvärde får därmed ingen betydande effekt på resultatet, vilket vi initialt trodde. Och när vi förlängde kalkylperioden till 40 år istället för 30 år fick vi i stort sett samma resultat som vid beräkning av restvärdet på den framtida energibesparingen. Efter genomförd beräkning enligt EUs rekommendationer av restvärdet har ingen ny känslighetsanalys av diskonteringsräntan och energiprisökningen genomförts eftersom ingen av parametrarna har en avgörande påverkan på resultatet.

Nettonuvärdet inklusive de identifierade och kvantifierade mervärdena och merkostnaderna skiljer sig från det gällande nettonuvärdet. Det mest betydande mervärdet till följd av lägre energianvändning är minskade lokala luftföroreningar. Gemensamt för alla flerbostadshus är att mervärdena tillfaller lågenergibyggningarna.

För de byggnader som värms upp med fjärrvärme (majoriteten av flerbostadshusen i analysen) finns en risk att den beräknade skillnaden i energikostnad (kr/år) inte stämmer överens med de verkliga kostnadsbesparingarna. Anledningen till det är att fjärrvärmens prismodell gör det svårare att på förhand bedöma om en specifik energieffektiviseringsåtgärd är ekonomisk lönsam. Lönsamheten kan också variera mellan olika regioner beroende på hur vald åtgärd har för genomslag på en fastighets värmebehov.

Exempelvis skulle nettonuvärdet för flerbostadshuset F1 ändras till 1 112 928 kronor istället för 3 335 213 kronor till följd av en halverad kostnadsbesparing. Lågenergibyggnaden skulle fortsatt vara mer lönsam men skillnaden är betydligt mindre.

Uppföljning av övriga tekniska egenskaper i flerbostadshusen

På samma sätt som för småhusen redovisas här flerbostadshusens energiprestanda med undersökningsresultat av andra tekniska egenskaper.

Tabell 9. Kortfattad beskrivning av flerbostadshusens energiprestanda och övriga egenskaper.

Byggnad	Enkät svar och mätning	Kommentar										
F1	Byggnad F1 anges vara specialutformat avseende installationslösningar med $A_{temp} = 2758 \text{ m}^2$. $U_m = 0,24 \text{ W/m}^2$ och K, Byggnaden försörjs med fjärrvärme och har luftsolångare för värmning av ventilationsluft. FTX finns och även frånluft används till en mindre del. Uppmätt energiprestanda är 44 kWh/m^2 och år i klimatzon III/IV. Byggnaden klarar kravet på att vara ett lågenergihus. <table><tr><td>Luftkvalitet</td><td></td></tr><tr><td>Ljus</td><td></td></tr><tr><td>Termisk komfort</td><td></td></tr><tr><td>Fukt</td><td></td></tr><tr><td>Ljud</td><td></td></tr></table>	Luftkvalitet		Ljus		Termisk komfort		Fukt		Ljud		Uppmätta luftflöden uppfyller BBR. Läckage mellan frånluft och tilluft har uppmätts men inte klart om de boende verkligen klagat på lukt. Innetemperaturen är $20\text{--}22^\circ\text{C}$ och ibland $23\text{--}24^\circ\text{C}$. Sommartid stiger uppmätt innetemperatur till 27°C i vissa lägenheter. Det finns ingen information om glasytor och placering av dessa i lägenheterna.
Luftkvalitet												
Ljus												
Termisk komfort												
Fukt												
Ljud												
F3	F3 är ett flerbostadshus med $A_{temp} = 3856 \text{ m}^2$ och anges vara ett standardhus. $U_m = 0,32 \text{ W/m}^2$ och K Byggnaden försörjs med fjärrvärme och solfångare och har FTX installerat. Uppmätt korrigerad specifik energianvändning är 85 kWh/m^2 och år i klimatzon IV, och 69 kWh/m^2 och år efter normalisering. Byggnaden klarar kravet på att vara ett lågenergihus. <table><tr><td>Luftkvalitet</td><td></td></tr><tr><td>Ljus</td><td></td></tr><tr><td>Termisk komfort</td><td></td></tr><tr><td>Fukt</td><td></td></tr><tr><td>Ljud</td><td></td></tr></table>	Luftkvalitet		Ljus		Termisk komfort		Fukt		Ljud		De boende klagat på både alltför kallt och alltför varmt i huset. Normalisering av energianvändningen, särskilt med hänsyn till innetemperaturen, ger en betydligt lägre specifik energianvändning än den uppmätta. Värdet efter normalisering kan ses till vänster. Orsaken är troligen dålig injustering och kan inte hänföras till byggnadskonstruktionen utifrån de tillgängliga uppgifterna. Inledningsvis fanns problem med spridning av matos mellan lägenheter pga roterande värmeväxlare, men detta har korrigerats. Inga tecken på ljudproblem finns dokumenterat men mätningarna uppges vara indikativa
Luftkvalitet												
Ljus												
Termisk komfort												
Fukt												
Ljud												

Byggnad	Enkät svar och mätning	Kommentar										
F9	F9 beskrivs som ett specialutformat flerbostadshus med två huskroppar och $A_{\text{temp}} = 3140 \text{ m}^2$ och 2574 m^2. $U_m = 0,21 \text{ W/m}^2$ och K respektive $U_m = 0,22 \text{ W/m}^2$ och K. Byggnaderna värms med fjärrvärme och har FTX. Uppmätt specifik energianvändning är 40 kWh/m^2 och år i klimatzon III. Byggnaden klarar kravet på att vara ett lågenergihus. <table><tr><td>Luftkvalitet</td><td></td></tr><tr><td>Ljus</td><td></td></tr><tr><td>Termisk komfort</td><td></td></tr><tr><td>Fukt</td><td></td></tr><tr><td>Ljud</td><td></td></tr></table>	Luftkvalitet		Ljus		Termisk komfort		Fukt		Ljud		Den låga golvtemperaturen i badrummet bedöms inte ha någon signifikant inverkan på byggnadens energiprestanda. Bristerna i dagsljus i sovrum bedöms inte heller påverka energiprestanda på ett avgörande sätt. Dock betyder det att en mindre andel solinstrålning erhålls. Sammantaget tycks det inte finnas några problem med övriga egenskapskrav som kan relateras till byggnadens klimatskärm och installationer.
Luftkvalitet												
Ljus												
Termisk komfort												
Fukt												
Ljud												
F10	Flerbostadshuset F10 är uppfört som ett passivhus och har $A_{\text{temp}} = 781 \text{ m}^2$. $U_m = 0,17 \text{ W/m}^2$ och K. F10 värms med el och har även solfångare. Huset har ett FTX-system. Uppmätt specifik energianvändning är 35 kWh/m^2 och år i klimatzon III. Byggnaden klarar kravet på att vara ett lågenergihus. <table><tr><td>Luftkvalitet</td><td></td></tr><tr><td>Ljus</td><td></td></tr><tr><td>Termisk komfort</td><td></td></tr><tr><td>Fukt</td><td></td></tr><tr><td>Ljud</td><td></td></tr></table>	Luftkvalitet		Ljus		Termisk komfort		Fukt		Ljud		Lägenheterna har separata ventilations-system. Uteluftsflöden är strax under $0,35 \text{ l/s}$ och m^2. Det finns brister i den termiska komforten. Båda för höga och för låga temperaturer har kommenterats av de boende. Det är oklart om bristerna i ventilationsflöde och termisk komfort kan åtgärdas genom injustering eller är en konstruktionseffekt. Dagsljuset i några sovrum bedöms som för litet och fönsterarean i dessa rum är också liten. Sammantaget ger mätningarna och enkätsvaren en bild av en byggnad där låg energianvändning delvis kan förklaras genom byggnadens konstruktion och att detta innebär att termisk komfort och ventilation inte lever upp till kraven. Det går inte att kvantifiera hur mycket energianvändningen skulle öka om bristerna åtgärdas.
Luftkvalitet												
Ljus												
Termisk komfort												
Fukt												
Ljud												
F11	F11 är ett passivhus med $A_{\text{temp}} = 938 \text{ m}^2$. $U_m = 0,21 \text{ W/m}^2$ och K. Byggnaden värms med fjärrvärme och el, och klassas inte som elvärmad. F11 har ett FTX-system. Uppmätt specifik energianvändning är 99 kWh/m^2 och år i klimatzon I och 85 kWh/m^2 och år efter korrigering. Byggnaden klarar kravet på att vara ett lågenergihus. <table><tr><td>Luftkvalitet</td><td></td></tr><tr><td>Ljus</td><td></td></tr><tr><td>Termisk komfort</td><td></td></tr><tr><td>Fukt</td><td></td></tr><tr><td>Ljud</td><td></td></tr></table>	Luftkvalitet		Ljus		Termisk komfort		Fukt		Ljud		Ventilationsflödet uppfyller kravet på $0,35 \text{ l/s m}^2$ och det sker en omfattande vädring. Lufttätheten anges till $0,6 \text{ l/s m}^2$. Det tycks finnas uppenbara brister i ventilation och värmesystem. Det innebär med största säkerhet en förhöjd energianvändning som kan undvikas genom injustering
Luftkvalitet												
Ljus												
Termisk komfort												
Fukt												
Ljud												

Kravet på U_m för flerbostadshus i BBR är 0,40 W/m² och K i både BBR 19 och BBR 22. Alla byggnaderna uppfyller kravet med god marginal, i många fall med mycket god marginal. Det högsta värdet är $U_m = 0,32$ W/m² och K.

Lokaler

I fallstudien har tio lokalbyggnader ingått från alla olika klimatzoner. Fyra av lokalbyggnaderna är förskolor/skola alla byggda enligt passivhusstandard. I en av byggnaderna bedrivs vårdomsorg. Resterande fem är kontorsbyggnader. Lokalerna är byggda mellan 2011–2015.

Det har genomförts en fördjupad analys av mätningarna för sex av byggnaderna, tre förskolor och tre kontor. Det har också tagits fram alternativa utformningar för dessa. Kravet för de alternativa utformningarna är att de ska leva upp till kraven i BBR 19 och BBR 22. Konstruktionerna för de alternativa utformningarna som valts är framtagna för att vara realistiska och spegla verkliga standardhus som byggs enligt BBR 19 eller BBR 22.

I tabell 9 nedan presenteras byggnadernas projekterade och uppmätta energianvändning samt de alternativa utformningarnas energianvändning. I tabell 10 presenteras beräknade skillnader i kostnader och nyttor.

Byggnadernas uppmätta energianvändning

Tabell 10. Resultat från mätningarna av byggnadernas energianvändning och uppfyllelse av kravet för lågenergibyggnad.

Byggnad (klimatzon), uppvärmningssätt, byggår	Projekterad energi- användning, (kWh/ m ² , år)	Uppmätt energi- användning (kWh/ m ² , år)	Uppmätt korrigerad energianvändning, (kWh/m ² , år)	Energiprestanda krav för lågenergibyggnad, nådd, kWh/m ² , år BBR 19, (BBR 22)	Klarar kravet för lågenergibyggnad	Energianvändning modell enligt BBR 19 (kWh/m ² , år) (krav enligt BBR 19)	Energianvändning modell enligt BBR 22 (kWh/m ² , år) (krav enligt BBR 22)
L1 (III), Fjv, 2011	29	23	23	83 (75)	Ja	90 (110)	77 (100)
L2 (III), Ei, 2013	34	18	19	47 (43)	Ja	30 (55)	25 (50)
L3 (III/IV), Fjv + vp, 2010	20	45	45	60 (48,75)	Ja	65 (80)	64 (70)
L4 (I), Fjv +vp, 2012	54	80	79	143,6 (132,4)	Ja	150 (120)	128 (105)
L7 (II), Ei, 2013	12	18	17	83,25 (75,75)	Ja	69 (75)	60 (90)
L8 (III), Fjv, 2011	68	59	58	69,75 (62,25)	Ja	79 (80)	77 (70)
Byggnader med endast projekterad och uppmätt energianvändning							
L9 (III/IV), Fjv							
L101 (I), Fjv, 2014	92		175	120 (105)	Nej	-	-
L103 (II), Fjv, 2015	75		50	75(67,5)	Ja	-	-
L104 (III), Fjv, 2015	65		93	60 (52,5)	Nej	-	-
L105 (III), Fjv, 2015	13		25	60 (52,5)	Ja	-	-

Resultat av den fördjupade analysen av lokaler

Alla förskolor är byggda med passivhusteknik. Förutom att de har klimatskärmar med god isolerförmåga verkar de som byggt lokalerna ha god kunskap om passivhustekniken. De har bra ventilationsaggregat och två av tre tar aktivt hand om spillvärmen som uppkommer från köket. Vid tidpunkten för deras uppförande (2011–2013) var det fortfarande ovanligt att förskolor byggdes i enlighet med passivhusteknik. De är ändå byggda på ett korrekt sätt. En av tre förskolor har lägre uppmätt energianvändning än projekterad, en av tre ligger nära projekterad energianvändning och en av tre ligger över projekterad energianvändning. En orsak till varför en förskola har högre energianvändning än projekterad är att ventilationsdriften är högre än förväntat.

På grund av att de är utformade som passivhus är det svårt att försämra dem så pass mycket att de uppfyller kraven i BBR 19 och BBR 22. Vilket är en begränsning i vår använda metod, speciellt när det kommer till byggnader byggda med passivhusteknik. När det kommer till kontorslokalerna är alla konventionellt utformade lågenergibygnader. Alla lokalbyggnader i utredningen klarar kravet för att klassas som en lågenergibygnad. Flera av dem kan klassas som A enligt energideklaration hus i relation till BBR 19 och BBR 22. Även om de flesta lokalbyggnaderna har en medelbra till mycket bra klimatskärm har ändå de tekniska installationerna en stor betydelse för byggnadens energiprestanda. Också brukarnas behov har en påverkan på energiprestandan. I ett av fallen (L3) ökade energiprestandan med cirka 18 procent efter att brukarna klagat på låga inomhustemperaturer. När energiprestandan från början är låg har det stor betydelse för slutresultatet.

Mätningarna har också visat att det krävs mycket god kunskap om att sköta lokalbyggnadernas tekniska system för att bibehålla den initiala prestandan. I några av fallen finns tendenser som visar att kunskapsnivån önskvärt skulle vara högre. Det kan vara en förklaring till varför uppmätt energianvändning skiljer sig från projekterad energianvändning i ett av fallen för kontorsbyggnaderna.

Är det mer lönsamt att bygga energieffektivare byggnader än att bygga enligt BBR-reglerna?

Kostnadsberäkningar har genomförts av de byggnader som klarat utredningens krav på lågenergibygnad. Tabellen ska läsas som en jämförelse mellan att bygga huset som lågenergibygnad relativt enligt BBR-regler. Ett positivt värde för investering innebär att det är en merkostnad att bygga som lågenergibygnad. Medan ett positivt nettoinvärde visar att det som helhet är mer lönsamt att bygga som lågenergibygnad.

Tabell 11. Skillnad i kostnadsberäkningar mellan befintliga lågenergibyggnader och teoretiska BBR-byggnader.

BBR 19 utföranden							
Byggnad	Merkostnad för investering i lågenergibyggnad, kr**	Skillnad i total energikostnad, kr/år	Skillnad i nettonuvärde (NNV)*	Mer lönsam som lågenergibyggnad	NNV Diskonterings-ränta 3–6 %	NNV Enerprisökning 1–2 %	NNV inkl. mervärden
L1	1 178 800	87 250	277 160	Ja	445 100 till 5 500	289 331 till 302 530	500 000 till 601 000
L2	1 178 800	44 400	–348 800	Nej	(–244 500) till 516 500	(–342 200) till (–329 000)	(–616 000) till (–553 000)
L3	2 045 500	103 000	–343 000	Nej	(–148 100) till (–658 400)	(–328 800) till (–313 700)	(–77 000) till (–229 000)
L4	972 800	102 850	3 088 800	Ja	3 703 670 till 1 980 130	3 069 260 till 3 102 600	3 953 500 till 4 090 500
L7	1 520 100	80 400	–211 600	Nej	–63 500 till (–451 400)	(–201 200) till (180 400)	(–436 000) till (–552 000)
L8	967 800	212 200	2 260 200	Ja	2 604 500 till 1 699 900	2 290 400 till 2 314 100	3 073 500 till 3 306 000
BBR 22 utföranden							
Byggnad	Merkostnad för investering, kr	Skillnad i total energikostnad, kr/år	Skillnad i nettonu-värde*	Mer lönsam som lågenergibyggnad	NNV Diskonterings-ränta 3–6 %	NNV Enerprisökning 1–2 %	NNV inkl. mervärden
L1	945 500	69 430	157 630	Ja	279 900 till 85 100	166 840 till 177 070	311 000 till 390 000
L2	121 500	24 220	311 760	Ja		315 100 till 322 026	296 000 till 331 000
L3	1 945 500	95 960	(–384 600)	Nej	–208 200 till (–670 400)	(–370 100) till (–356 400)	(–145 000) till (–287 500)
L4	656 400	79 500	2 337 980	Ja	2 833 090 till 1 555 520	2 363 160 till 2 388 000	3 050 000 till 3 156 500
L7	1 133 300	66 290	(–99 900)	Nej	12 700 till (–283 000)	(–91 700) till (–75 300)	(–256 500) till (–352 000)
L8	491 500	172 800	1 896 050	Ja	2 126 940 till 1 517 090	1 910 840 till 1 925 630	2 464 000 till 2 629 000

* Ett positivt värde innebär att lågenergibyggnaden är mer lönsam medan ett negativt värde innebär att BBR-byggnaden är mer lönsam.

** Ett positivt värde innebär att lågenergibyggnaden är dyrare medan ett negativt värde innebär att BBR-utförandet är dyrare än den befintliga lågenergibyggnaden.

Resultatet från kostnadsberäkningarna för lokaler visar att tre av sex lokalbyggnader är mer lönsamma som lågenergibygnader än som BBR 19-byggnader. Medan fyra av sex lågenergibygnader är mer lönsamma än BBR 22-byggnaderna.

I flertalet fall överstiger de diskonterade energibesparingarna investeringskostnaderna. De som är mer lönsamma som BBR-byggnader har mycket höga investeringskostnader i lågenergiutförandet. Flera av byggnaderna har god marginal upp till kravnivån för att klassas som lågenergibygnad vilket tyder på att de hade kunnat välja mindre energieffektiva och därmed billigare komponenter, och ändå levt upp till kravet för lågenergibygnad. Investeringskostnaden hade minskat och byggnadens livscykelkostnad hade påverkats positivt. Tydligt för lokalbyggnader är att det oftast är marknaden som styr utformningen av byggnaden än kravet på lönsamhet kopplat till energianvändningen. Det tyder på att fastighetsägare inkluderar andra aspekter i sin lönsamhetskalkylering än att energibesparingen ska bekosta merkostnaden för det energieffektivare alternativet.

Känslighetsanalysens påverkan på skillnaden mellan nyttor och kostnader En lägre diskonteringsränta (2 procent) leder till att två av byggnaderna i BBR 22 utförande går från att vara mindre lönsamma som lågenergibygnader till marginellt mer lönsamma. Det beror på att en låg diskonteringsränta värderar framtida energibesparing högre än en högre ränta. En låg diskonteringsränta är därmed en fördel för lågenergibygnaderna. Förändrade energipriser ger inga betydande effekter på resultatet.

Att diskonteringsräntan har en större påverkan än priset kan härledas till vårt sätt att beräkna åtgärdernas restvärde. För vidare information se *Restvärde*.

När vi beräknade restvärdet i enlighet med EU:s riktlinjer påverkades nettonuvärdet endast marginellt. Beräkningsmetod av restvärde får därmed ingen betydande effekt på resultatet. Och när vi förlängde kalkylperioden till 40 år istället för 30 år fick vi i stort sett samma resultat som vid beräkning av restvärdet på den framtida energibesparingen.

Efter genomförd beräkning enligt EUs rekommendationer av restvärdet har ingen ny känslighetsanalys av diskonteringsräntan och energiprisökningen genomförts eftersom ingen av parametrarna har en avgörande påverkan på resultatet.

Nettonuvärdet inklusive de identifierade och kvantifierade mervärdena skiljer sig aningen från vårt gällande nettonuvärde. Generellt är att mervärdena tillfaller lågenergibygnaderna till följd av lägre energianvändning.

Uppföljning av övriga tekniska egenskaper i lokalerna

Byggnad	Enkät svar och mätning	Kommentar								
L1	Byggnad L1 är konstruerat som ett passivhus. $A_{temp} = 1068\text{ m}^2$ och $U_m = 0,13\text{ W/m}^2$ och K. Byggnaden värms med fjärrvärme och återvunnen värme. Uppmätt specifik energianvändning är 23 kWh/m^2 och år i klimatzon III. Byggnaden klarar kravet på att vara ett lågenergihus. <table><tr><td>Luftkvalitet</td><td></td></tr><tr><td>Ljus</td><td></td></tr><tr><td>Termisk komfort</td><td></td></tr><tr><td>Ljud</td><td></td></tr></table>	Luftkvalitet		Ljus		Termisk komfort		Ljud		I intervjuerna anges alltför höga upplevda temperaturer men detta kan inte bekräftas av mätningarna. Dock har ljudnivåer upp till 40 dB uppmätts men intervjuerna gav inga klagomål på hög ljudnivå. De uppmätta temperaturerna är oftast inom intervallet för "godkänd" temperatur men både låga och höga temperaturer förekommer, vilket pekar på ett behov av tidvis högre energibehov samt bättre solavskärmning eller komfortkyla. Båda åtgärderna innebär en högre specifik energianvändning som dock inte kan kvantifieras utifrån givna data. Sannolikt är den ökade energianvändningen i så fall begränsad. Det finns inga uppgifter om källan till de 40 dB som uppmätts och det går därför inte att relatera detta till energirelaterade aspekter i byggnaden. Dock anges inga upplevda bullerproblem av användarna.
Luftkvalitet										
Ljus										
Termisk komfort										
Ljud										
L2	Byggnad L2 är ett hus med bergvärmepump och FTX. $A_{temp} = 3015\text{ m}^2$. Byggnaden anges som en standardbyggnad med $U_m = 0,291\text{ W/m}^2$ och K. Uppmätt specifik energianvändning på 18 kWh/m^2 och år i klimatzon III. Antal personer som anges finnas i byggnaden är 110 vilket ger en stor andel personvärme som förklaring till god energiprestanda. Byggnaden klarar kravet på att vara ett lågenergihus. <table><tr><td>Luftkvalitet</td><td></td></tr><tr><td>Ljus</td><td></td></tr><tr><td>Termisk komfort</td><td></td></tr><tr><td>Ljud</td><td></td></tr></table>	Luftkvalitet		Ljus		Termisk komfort		Ljud		Mätningar av koldioxidhalten inomhus visar att ventilationen inte är i drift under så lång tid att halten reduceras till omgivningsnivån under natten. Innetemperaturen är normalt inom intervallet $20\text{--}24^\circ\text{C}$, men kan vintertid sjunka till 17°C i vissa delar av byggnaden. Sommartid kan temperaturen överstiga 25°C under kortare perioder. Ventilationen behöver troligen vara i drift under längre tid efter arbetstid för att koldioxidhalten ska sjunka till nästa arbetsdags början. Temperaturmätningarna pekar på ett möjligt behov av injustering för att erhålla en acceptabel temperatur där de lägsta nivåerna uppmätts. Sammantaget så innebär detta att den uppmätta specifika energianvändningen kommer att stiga när luftkvaliteten och innetemperaturen ändrats till önskade värden.
Luftkvalitet										
Ljus										
Termisk komfort										
Ljud										

910

L3	Byggnadens A_{temp} är 4089 m² och den anges som konventionellt utformad. $U_n = 0,42$ W/m² och K. Byggnaden har fjärrvärme och värmepump för uppvärmning och värmepump och FLK (?) för komfortkyla. Det finns solceller installerade. Uppmätt specifik energianvändning är 45 kWh/m² och år i klimatzon IV. Byggnaden klarar kravet på att vara ett lågenergihus.	Intervjuerna ger en bild av att många upplever att det är kallt under vintern. Mätperioden inleddes i oktober 2015 och injustering kan ha gjorts innan dess. Uppmätt energianvändning bör därför helt eller delvis inkludera effekterna av injustering för att möta åsikterna om låg innetemperatur. Det finns inga indikationer att andra egenskapskrav med koppling till energianvändningen inte är uppfyllda.
L4	Byggnaden har $A_{\text{temp}} = 902$ m² och byggt som ett passivhus. $U_n = 0,12$ W/m² och K. Uppvärmning sker med fjärrvärme och värmepump. Det finns ett FTX-system. Den uppmätta specifika energianvändningen är 80 kWh/m² och år i klimatzon I, vilket justerats till 54 kWh/m² och år med hänsyn till ventilationsflöden.	Det tycks finnas mycket problem med inneklimatet. Uppmätt innetemperatur är i intervallet 20 – 24 °C, men användarna säger att det behöver vädras för att det inte ska bli för varmt. Det finns även klagomål på torr luft och dålig lukt. Byggnaden har en hög specifik energianvändning med tanke på att det anges vara konstruerat som ett passivhus. I vilken mån de upplevda problemen med inneklimatet förklarar den höga energianvändningen är oklart.

L7

Byggnaden är konstruerad som ett passivhus med $A_{\text{temp}} = 1234 \text{ m}^2$. $U_m = 0,13 \text{ W/m}^2$ och K. Bergvärmepump och spetsel används för uppvärmning och frikyla för komfortkyla. Solceller finns installerade.

Uppmätt specifik energianvändning är 25 kWh/m^2 och år i klimatzon II. Med använd egengenererad el från solceller blir den specifika energianvändningen 18 kWh/m^2 och år.

Luftkvalitet	
Ljus	
Termisk komfort	
Ljud	

Uppmätta ventilationsflöden överensstämmer väl med projekterade flöden och uppfyller Arbetsmiljöverkets regler. Den termiska komforten är god enligt mätprotokoll men vissa klagomål om hög temperatur har förekommit. Kommentarer om torr luft har även förekommit och har bekräftats med mätningar.

Hög temperatur kan vara en följd av hög golvtemperatur och kan vara en injusteringsfråga.

L8

Byggnaden har $A_{\text{temp}} = 11870 \text{ m}^2$ och anges som konventionellt utformad. $U_m = 0,51 \text{ W/m}^2$ och K. Den är anslutet till fjärrvärme och fjärrkyla. Även frikyla används.

Uppmätt energianvändning är 59 kWh/m^2 och år i klimatzon III.

Byggnaden klarar kravet på att vara ett lågenergihus.

Luftkvalitet	
Ljus	
Termisk komfort	
Ljud	

Inga generella problem kan urskiljas från mätningar och enkätsvar. Dock finns anteckningar om undertryck men inget mer detaljerat.

Byggnaden tycks inte visa på några problem gällande andra tekniska egenskapskrav för att uppfylla projektets definition på lågenergihus.

Fyra av sex byggnader har U_m som är betydligt (0,13–0,29 W/m² och K) under kravet i BBR. Kravet i BBR är 0,60 W/m² och K i både BBR 19 och BBR 22. Husen där U_m har ett värde nära det maximalt tillåtna anges som konventionellt utformade och är de byggnader som har högst specifik energianvändning av lokalerna. Lokalbyggnader kan ha höga internlaster som bidrar till byggnadens uppvärmning. Tack vare detta kan den köpta levererade energin vara låg utan att särskilt avancerade tekniker behöver användas för klimatskärm och installationer för att uppfylla energikraven.

Normalt brukande

De uppmätta värden som redovisas i föregående avsnitt är inte justerade till normalt brukande utöver normalårskorrigerering eftersom normal energianvändning inte var definierad i BBR 19 och BBR 22. För att visa på skillnaden mellan uppmätt energianvändning och en motsvarande beräkning men med schablonvärden enligt BEN visas resultaten från sex räkneexempel, nedan. Utfallet presenteras i figur 5. Den första stapeln i diagrammet visar uppmätt använd energi för posterna uppvärmning, tappvarmvatten och fastighetsenergi. Den andra stapeln visar energianvändning med normaliserade värden. Tillförd energi och energikravet (svart fyrkant) som gällde vid uppförandet visas i den tredje stapeln för varje byggnad. Bidrag från solceller eller solfångare, som tillgodogörs direkt i byggnadens energianvändning, anges med negativa värden. Det framgår att normalisering både kan innebära en ökning respektive en minskning av den specifika energianvändningen.

Figur 5. Uppmätt, normaliserad och tillförd energi till några av de analyserade byggnaderna

Normalisering har gjorts enligt metodik och värden i BEN 2⁷⁴ avseende tappvarmvatten, innetemperatur, hushållsenergi och avvikelse från normalår. Ett beräkningsprogram för byggnaders energianvändning som finns fritt tillgängligt⁷⁵ har använts. Övergripande indata som A_{temp} , omslutningsarea A_{om} , genomsnittlig värmegenomgångskoefficient U_m , geografiskt läge och uppvärmningssystem har använts tillsammans med verkliga brukarrelaterade data om tappvarmvatten, innetemperatur, hushållsenergi etc. Kontroll har gjorts av att detta ger energiprestanda nära uppmätta värden. Därefter har standardiserade värden enligt BEN ersatt uppmätta värden och ny normaliserad energiprestanda beräknats. På detta sätt har även spillvärme från hushållsel och tappvarmvatten kunnat inkluderas i normaliserad energiprestanda.

Byggnader med enbart mätningar

För några byggnader redovisas enbart mätningar men inga ekonomiska beräkningar. Det finns osäkerheter i mätdata för några av dessa byggnader. Det gäller framför allt byggnaderna med högre energianvändning och dessa mätningar får tolkas med viss försiktighet. Det krävs en djupare analys av dessa mätningar. Resultatet av mätningar för tolv byggnader redovisas i figur 6. Staplarna visar fördelningen av levererad köpt energi till byggnaden för uppvärmning, tappvarmvatten och fastighetsenergi. Punkterna

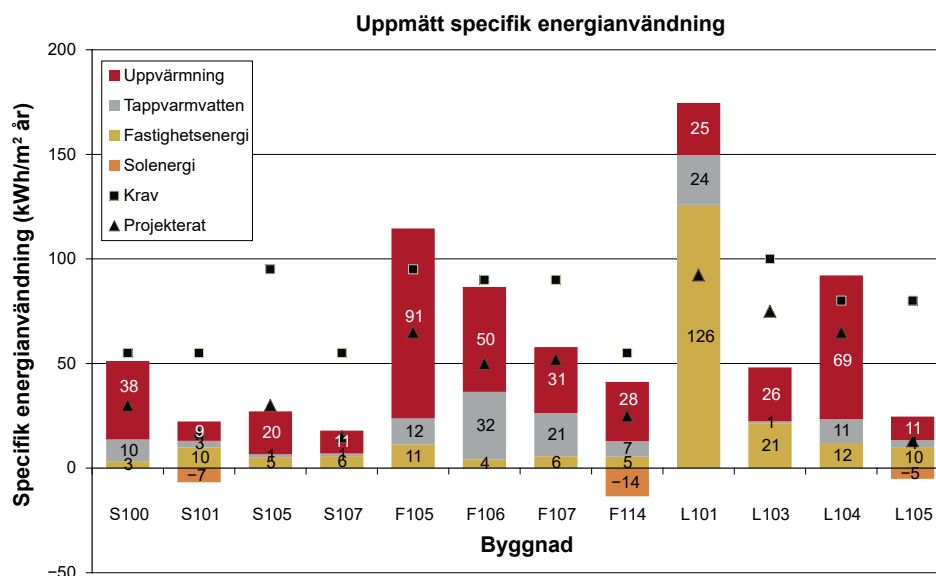
⁷⁴ Boverkets föreskrifter (2017:6) om ändring av verkets föreskrifter och allmänna råd (2016:21) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår.

⁷⁵ www.energiiberakning.se

i diagrammet anger energikravet vid byggandet (med värde) och den angivna projekterade specifika energianvändningen.

Uppmätta data har enbart normalårskorrigerats. Flertalet byggnader klarar energikravet i BBR 19 och BBR 22, ofta med stor marginal. Projekterad energianvändning är lägre än den uppmätta i nästan alla byggnaderna. Dock kan korrigering till normalt brukande förändra denna bild i framför allt i de byggnader där skillnaden mellan projekterad och uppmätt energianvändning är liten.

Figur 6. Uppmätt specifik energianvändning



Småhus

Tre av fyra småhus lever upp till utredningens krav för att klassas som lågenergibyggnad. De tre husen har en specifik energianvändning långt under gränsen för lågenergibyggnader och är uppförda enligt passivhusstandard. Gemensamt för dem är att de använder bergvärmepump eller markvärmepump för uppvärmning och att uppvärmningen sker via ett FTX-aggregat som också har förvärmning/förkylning från borrhålet. Två av fyra byggnaders uppmätta energianvändning ligger under projekterad energianvändning, medan två ligger över.

Vad det gäller byggnaden (S100) som inte uppfyller kravet för lågenergibyggnad indikerar mätningarna på att elanvändningen för uppvärmning och varmvatten är hög. Byggnaden värms med direktverkande el. Det finns också en viss osäkerhet kring mätdata. Byggnad S107 har solceller men bidraget från dessa är svårt att bedöma utifrån givna uppgifter och är inte inräknat. Det påverkar dock inte den generella bilden av en byggnad med mycket hög energiprestanda.

Flerbostadshus

Två av fyra flerbostadshus kan utifrån uppmätta värden klassas som lågenergibyggnader. Det ena flerbostadshuset (F114) är utformat som ett radhus och är en plusenergibyggnad med hjälp av solceller, varför vi valt att skilja på energibehov och

energianvändning. Byggnadens specifika energianvändning enligt BBR är projekterad till 25 kWh/m² och år. Projekterad energianvändning som plusenergihus är -4 kWh/m² och år, dvs solcellerna levererar el som kan säljas. Det sker alltså en nettoexport av energi på årsbasis. Uppmätt energianvändning visade sig vara 28 kWh/m² och år. Utan solceller skulle använd energi uppgå till 41 kWh/m² och år. Det andra flerbostadshuset (F107) är en konventionellt utformad byggnad. Uppmätt och projekterad specifik energianvändning skiljer sig marginellt åt.

De flerbostadshus som inte kan definieras som lågenergibyggnader har framför allt ett högt uppvärmningsbehov. Det finns osäkerheter i mätningarna för byggnad F105, till exempel en differens på 15 kWh/m² och år för värme och tappvarmvatten beroende på vilka mät- eller debiteringsdata som används. Uppgifterna från byggnad F106 har stora osäkerheter och årsenergin och fördelning har beräknats från bland annat månadsvis energianvändning och vattenförbrukning.

Lokaler

Två av fyra lokaler kan utifrån mätningarna definieras som lågenergibyggnader. Den ena lokalen (L105) är en passivhuscertifierad skola som främst värms upp med spillvärme från borrhål, kroppsvärme och kökets kylar. Den har också solceller och fjärrvärme som spetsvärme. Den andra lokalen (L103) är ett kontor som värms med fjärrvärme. Dessa två byggnader visade sig ha en lägre uppmätt energianvändning än projekterad. Den ena lokalbyggnaden ligger relativt långt under projekterat värde. Fjärrkyla finns dock inte med i mätningarna vilket skapar en viss osäkerhet kring resultatet.

Två av de byggnader som inte kan definieras som lågenergibyggnader har högre uppmätt energianvändning än projekterad. Den ena lokalen (L104) är en vårdinrättning med dygnet-runt verksamhet. Den har ett högt ventilationsflöde och högre innetemperatur än brukligt vilket kan vara en del av förklaringen till varför uppmätt energianvändning avviker från projekterad. Om ett ventilationstillägg adderas till energikravet kommer byggnad L104 att få energiprestanda nära definitionen för en lågenergibyggnad. Den andra lokalen (L101) är ett kontor som värms upp med fjärrvärme. Den uppmätta fastighetsenergin är orimligt hög i byggnaden och en möjlig förklaring är att energi till en intilliggande byggnad ingår i denna uppmätta energi. Om man betraktar uppvärmningsenergin som trovärdig och normaliserar tappvarmvattenenergin till 2 kWh/m² och år kan verklig energiprestanda för byggnaden vara omkring 50 kWh/m² och år.

Diskussion

Byggnader i fallstudien

Inom ramen för fallstudien har mätningar av 45 lågenergibygnaders energianvändning och energibehov genomförts. För 31 av byggnaderna har mätresultaten vidare kunnat analyseras. Fördjupade analyser har skett för 19 av dessa. För 16 byggnader har alternativa utformningar med 25 procent lägre energianvändning än vad som anges i BBR 19 och BBR 22 tagits fram. Våra resultat grundas framförallt på de 16 fördjupade analyser där alternativa utformningar finns som jämförelsealternativ till de befintliga lågenergibygnaderna.

Ekonomisk lönsamhet

Resultatet av våra mätningar och beräkningar visar att, utifrån byggnaderna i fallstudien, det i många fall går att uppföra byggnader med 25 procent lägre energianvändning än vad som anges i BBR 19 och BBR 22 med bättre ekonomisk lönsamhet⁷⁶.

Klimatskärmen avgörande?

Utredningen visar också att det för alla byggnader först och främst har satsats på en klimatskärm med god isoleringsförmåga. Majoriteten av byggnader har U_m värden som är betydligt under kravnivåerna i BBR 19 och BBR 22. De byggnader som ligger nära kravnivåerna kan anses som konventionellt utformade. Därefter har energieffektiva tekniska installationer satts in.

Konventionellt eller specialiserat byggnadsutförande

För att uppnå en riktigt bra energiprestanda krävs en välfungerande helhet. Stegen innan en välfungerande helhet består bland annat av demonstrerande av nya tekniker, metoder och lösningar. Även om fallstudien visar på att de konventionella byggnadsutförandena är mer fördelaktigt ur ett lågenergibygnadsperspektiv är det ändå viktigt att specialutformade byggnader fortsättningsvis uppförs, eftersom det kan leda till ytterligare framgångsrika standardutföranden.

Ett annat intressant resultat är att konstruktionen i kombination med välisolerad klimatskärm å ena sidan och tekniska installationer å andra sidan har till viss del olika stor påverkan på byggnadernas energiprestanda beroende på byggnadstyp. De tekniska installationerna i småhusen visade sig kunna kompensera för en mindre bra klimatskärm. Det är inte fallet för flerbostadshusen och lokalerna. I dessa, som i de flesta fall har en låg formfaktor (klimatskärm/golvarea), visade sig byggnadskonstruktionen i kombination med en välisolerad klimatskärm ha mest betydande inverkan på byggnadernas energiprestanda.

⁷⁶ Viktigt att påpeka är att vi endast har tagit hänsyn till skillnaden i kostnaderna för energianvändning och antagit övriga kostnader som allt annat lika.

Beteende hos brukaren

Som tidigare känt får brukarnas beteende ökad påverkan med lägre energianvändning eftersom brukarnas beteende inte aktivt styrs av byggreglerna. När tekniska installationer och klimatskärm förbättras så att de kräver mindre energi, får brukarnas beteende större relativ påverkan på den totala energianvändningen. I fallstudiens byggnader hittades inget fall där brukarnas beteende spelade en avgörande roll för byggnadernas energianvändning även om tappvarmvattenanvändningen i småhusen generellt var låg. Vid justering till vad vi idag anser som normalt brukande enligt BEN av varmvatten påverkades inte utfallet något nämnvärt. Energihushållningskraven i Boverkets byggregler kommer fortsättningsvis skärpas utifrån kostnadsoptimala nivåer. Mest troligt kommer brukarnas beteende därmed få ökad inverkan på byggnaders energiprestanda i och med lägre energianvändning. För att uppnå effektivare energianvändning är det därför viktigt att aktivt arbeta med brukarnas beteende kopplat till energianvändning.

Skötsel av tekniska installationer

Den främsta anledningen till varför några av byggnaderna inte levde upp till fallstudiens krav för att kunna definieras som lågenergibygnader, var att de tekniska installationerna felade. Kunskapsbrist om hur komplicerade tekniska system bör skötas är också en bidragande orsak till att kravnivåerna inte uppnåddes.

En del i uppdraget var att utreda om övriga tekniska egenskapskrav påverkas av byggnadernas låga energianvändning. Utifrån fallstudiens genomförda enkätundersökning riktad till brukarna och mätningarna, går det inte givet att knyta de upplevda problemen till byggnadernas energiprestanda. Upplevda problem så som hög inomhustemperatur sommartid och kallras vintertid kan förklaras med underdimensionerade uppvärmningssystem och obalans i ventilationsflödet. Dessa problem hade även kunnat uppstå i byggnader som precis uppfyller energihushållningskraven i BBR.

Utöver att utvärdera befintliga lågenergibygnader utifrån ett fastighetsekonomiskt perspektiv har vi även belyst relevanta samhällsekonomiska mervärden kopplat till lågenergibygnaderna i fallstudien. Det vill säga mervärdena som uppstår till följd av lägre energianvändning. Dessa är lokalt minskade luftföroreningar, hälsoeffekter av ett bättre inomhusklimat och minskade koldioxidutsläpp från driftfasen. Viktigt att poängtera är att minskade koldioxidutsläpp för en specifik byggnad grundar sig på att minskad energianvändning från en byggnad leder till en minskad efterfrågan på energi på totalen och därmed minskade koldioxidutsläpp. Det är sällan fallet eftersom energi kan exporteras och anläggningar som tillför energi (el och fjärrvärme) för uppvärmning och varmvatten omfattas av utsläppshandelssystemet EU-ETS. Minskade nationella utsläpp kan därmed istället bli utsläpp någon annanstans. Värdet av minskade koldioxidutsläpp från byggnaderna i fallstudien är försvinnande liten och får ingen global effekt. Sammanfattningsvis visar beräkningarna ändå att mervärdena tillfaller det byggnadsutförande med lägre energianvändning. I de flesta fall kan därmed mervärdena tillräknas lågenergibygnaderna.

Erfarenheter vi tar med oss

Fallstudien är unik i sitt slag på så sätt att byggnaders energianvändning och energibehov inte tidigare har mätts på ett likartat detaljerat sätt i Sverige. Mätningarna har varit en utmaning och en erfarenhet vi tar med oss är att det finns ett stort behov av enkla mätsystem för mätning av energin i byggnader.

Trots hög komplexitet visar fallstudien på vikten av att verifiera den projekterade (beräknade) energianvändningen med mätningar. Mätningarna visar att för 75 procent av byggnaderna överstiger den uppmätta energianvändning den projekterade energianvändningen. Genom mätning av byggnaders energianvändning finns det god chans att den beräknade energianvändningen också blir den verkliga energianvändningen eftersom det ger möjlighet till korrigering. Detta är av betydelse för den totala svenska energianvändningen.

En av huvudfrågorna fallstudien haft för avsikt att svara på är om det är mer ekonomiskt lönsamt att bygga lågenergibygnader än byggnader som precis uppfyller BBR 19 och BBR 22. För att få fram jämförelsealternativ till befintliga lågenergibygnader valde vi att behålla byggnadens konstruktion och teoretiskt försämrade byggnadens energiprestanda genom olika åtgärder. Byggnadernas energiprestanda försämrades till att uppnå energihushållningskraven i BBR 19 och BBR 22. Under projektets gång har det framgått att metoden begränsat möjligheten att få fram ett korrekt och därmed exakt jämförelsealternativ för samtliga byggnader. Till följd av kravet på bibehållen byggkonstruktion har det i ett fåtal fall inte gått att försämrade energiprestandan så pass mycket att BBR-nivåerna uppnåtts. Vi har i dessa fall ändå valt att ta med byggnaderna i resultatet eftersom det ur ett kostnadsperspektiv inte visat sig vara en fördel att jämföra befintlig lågenergibygnad med en byggnad med bättre energiprestanda än BBR-nivåerna. Med andra ord har skillnaden mellan nyttor och kostnader för de olika byggnadsutförandena blivit mindre i och med bättre energiprestanda. Nackdelen är att vi i dessa fall jämför en mycket bra lågenergibygnad med en mindre bra lågenergibygnad. Istället för att jämföra med en BBR-byggnad.

Kravet på bibehållen konstruktion har också varit begränsande på så sätt att det i vissa fall visat sig vara en byggnadsteknisk betydande skillnad mellan de specialutformade lågenergibygnaderna och de mer konventionellt utformade teoretiska BBR-byggnaderna. Vilket betyder att om syftet var att bygga en BBR-byggnad redan från början, hade andra val gjorts. Detta får en påverkan på skillnaden i nyttor och kostnader, där kostnaderna för BBR-byggnaderna kan antas vara överskattade.

Erfarenheten vi tar med oss vid en eventuell upprepning av fallstudien är därmed att ta med verkliga byggnader som uppfyller gällande energikrav som jämförelsealternativ.

Referenser

Andersson, S., Ekberg, O., (2017) *Kostnadsbesparing vid energieffektivisering i förhållande till differentierade el- och fjärrvärmepriser – Förstudie*. Studien har gjorts på beställning av Energimyndighetens beställarnätverk för energieffektiva flerbostadshus, BeBo.

Arbetsmiljöverket (2009) Arbetsplatsens utformning. AFS 2009:2

Boverket (2007) Indata för energiberäkningar i kontor och småhus, Boverket rapport, oktober 2007

Boverket (2009) Statistiska urval och metoder i Boverkets projekt BETSI, Dnr: 10124-5246/2006

Boverket (2011) Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd

Boverket (2011) Boverkets föreskrifter (2011:26) om ändring i verkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd

Boverket (2013) Optimala kostnader för energieffektivisering, Boverket rapport 2013:2

Boverket (2014) Svenska byggkostnader i en internationell jämförelse, Rapport 2014:14

Boverket (2015a) Boverkets föreskrifter (2015:3) om ändring i verkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd

Boverket (2015b) Förslag till svensk tillämpning av nära-nollenergibyggnader. Definition av energiprestanda och kvantitativ riktlinje, Boverket rapport 2015:26, juni 2015

Boverket (2016a) Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår, BFS 2016:12 – BEN 1

Boverket (2016b) Boverkets föreskrifter (2016:13) om ändring i verkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd

Boverket (2017a) Föreskriftsförslag BBR(B). Boverkets föreskrifter om ändring i verkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd, januari 2017

Boverket (2017b) Boverkets föreskrifter om ändring av verkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår, BFS 2017:6 – BEN 2

Boverket och Energimyndigheten (2015) *Utvärdering av lågenergibyggnader – en fallstudie*. Boverket rapport 2015:25

BPIE (2015) Nearly Zero Energy Buildings Definitions Across Europe http://bpie.eu/wp-content/uploads/2015/09/BPIE_factsheet_nZEB_definitions_across_Europe.pdf

COMMISSION RECOMMENDATION (EU) 2016/1318 of 29 July 2016 on guidelines for the promotion of nearly zero-energy buildings and best practices to ensure that, by 2020, all new buildings are nearly zero-energy buildings

Concerted Action (2016) Implementing the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) featuring country reports, september 2015, www.epbd-ca.eu

Copenhagen Economics (2016) Multiple benefits of energy renovations of the Swedish building stock, Report commissioned by the Swedish Energy Agency and the National Board of Housing, Building and Planning

Energimyndigheten (2017) Scenarier över Sveriges energisystem 2016, *ER 2017:06*

Europaparlamentets och rådets direktiv 2010/31/EU av den 19 maj 2010 om byggnaders energiprestanda

Europeiska kommissionen (2012a) Kommissionens delegerade förordning (EU) nr 244/2012 av den 16 januari 2012 om komplettering av Europaparlamentets och rådets direktiv 2010/31/EU om byggnaders energiprestanda genom fastställande av en ram för jämförelsemetod för beräkning av kostnadsoptimala nivåer för minimikrav avseende energiprestanda för byggnader och byggnadselement

Europeiska kommissionen (2012b) Riktlinjer till kommissionens delegerade förordning 244/2012, 2012/C 115/01 <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=OJ:C:2012:115:FULL&from=SV>

Europeiska kommissionen (2016) COMMISSION RECOMMENDATION (EU) 2016/1318 of 29 July 2016 on guidelines for the promotion of nearly zero-energy buildings and best practices to ensure that, by 2020, all new buildings are nearly zero-energy buildings

Folkhälsomyndigheten (2014a) Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus, FoHMFS 2014:17

Folkhälsomyndigheten (2014b) Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation, FoHMFS 2014:18

IEA (2000) Experience curves for energy technology policy, <http://www.wenergy.se/pdf/curve2000.pdf>

IEA (2014) Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency

Miljö- och energidepartementet (2011) Vägen till nära-nollenergibygnader, skr. 2011/12:131

Naturvårdsverkets hemsida: <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Luft-och-klimat/Berakna-dina-utslapp-av-luftfororeningar/> 2017-12-13 kl. 08:58

Plan- och bygglagen (2010:900)

Plan- och byggförordningen (2011:338)

Riktlinjer till kommissionens delegerade förordning 244/2012, 2012/C 115/01

Rydén, B., Sköldberg, H., Stridsman, D. et.al. (2013) *Slutrapport för Fjärrsynsprojektet FJÄRRVÄRMENS AFFÄRSMODELLER*

Statens offentliga utredningar (2003) Innovativa processer, Utbildningsdepartementet, 2003:90 Statens offentliga utredningar (2012) Ökat bostadsbyggande och samordnade miljökrav, 2012:86

Trafikverket (2016) Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 6. Version 2016-04-01

Hemsidor:

Energiföretagen: <https://www.energiforetagen.se/sa-fungerar-det/fjarrvarme/produktion/>

Lågan: <http://salis.laganbygg.se/diagram3.html>

Naturvårdsverkets hemsida <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Luft-och-klimat/Berakna-dina-utslapp-av-luftforeningar/>

Passivehaus Institut: <http://www.passiv.de>

FEBY Forum för energieffektivt byggande: <http://www.nollhus.se>

Bilagor – Innehåll

Bilaga 1 – Metodbeskrivning	71
Inledning	71
Beskrivning av metod och genomförande	72
Mätdata samlas in och analyseras	72
Uppmätt energianvändning normalårskorrigeras	73
Byggnadens normalårskorrigerade energianvändning redovisas	73
Energiberäkning – ta fram en energibalansmodell av lågenergibyggnaden	73
Resultat från energibalansberäkning jämförs med normalårskorrigerad energianvändning	74
Energibalansmodellen kalibreras	74
Möjliga förändringar för att försämma byggnadens energiprestanda identifieras	75
Nettonuvärdet för identifierade förändringar beräknas	76
Identifierade förändringar rangordnas efter lönsamhet	76
Förändringen till en mindre energieffektivbyggnad beräknas	76
Kostnader till följd av brister i övriga tekniska egenskapskrav förs in i kalkylen	77
Resultat från analys av övriga tekniska egenskapskrav redovisas	77
Skillnad i lönsamhet redovisas	77
Redovisning och dokumentation	78
Avgränsningar	79
Bilaga 2 – Byggnader med specificeringar	80
Beskrivning av byggnad S2	80
Beskrivning av byggnad L1	83
Beskrivning av byggnad L2	86
Beskrivning av byggnad L4	89
Beskrivning av byggnad	92
Beskrivning av byggnad F1	95
Beskrivning av byggnad F4	98
Beskrivning av byggnad F9	101
Alternativt byggnadsutförande och energianvändning	101
Beskrivning av byggnad F10	104
Beskrivning av byggnad F11	107

Bilaga 1 – Metodbeskrivning

Inledning

Energimyndigheten och Boverket har i uppdrag att ta fram och tillämpa en generell metod för att utvärdera befintliga och nybyggda lågenergibyggnader i olika delar av landet. En lågenergibyggnad definieras som en byggnad som har minst 25 procent bättre energiprestanda i jämförelse med BBR19. I utvärderingen ingår även renoverade byggnader där minst en halvering av energianvändningen planeras/nås till följd av renoveringen.

Syftet är att ta reda på hur en förändring av lågenergibyggnaden till en teoretisk byggnad som uppnår energikraven enligt BBR19 respektive BBR 22 (allt annan lika) påverkar:

- Byggekostnader (investeringskostnader).
- Övriga tekniska egenskaper för byggnader enligt kraven i PBL 8 kap. 4§.
- Drift och underhållskostnader.

I myndigheternas slutrapport ska även påverkan på följande variabler omfattas (omfattas inte i denna metodbeskrivning):

- Olika miljöaspekter bland annat växthusgaser.
- Försörjningstrygghet för energi.
- Andra energisystemfrågor.

Energimyndigheten och Boverket har tidigare i detta uppdrag tagit fram och rapporterat en metod för utvärdering av lågenergibyggnader⁷⁷.

Tidigare erfarenheter påvisar vikten av spårbarhet och dokumentation vid mätningar, beräkningar, analyser och bedömningar. Det ska vara möjligt att i efterhand förstå vilken indata som använts hur beräkningar genomförts, vilka antaganden som gjorts på vägen och varför dessa har gjorts. Det är viktigt att arbetssättet är lika för alla byggnader och att det tydligt framgår vilka beräkningar och överväganden som gjorts för varje byggnad.

Denna rapport beskriver den metod som ska användas vid beräkningar och analyser och hur dessa kommer genomföras och dokumenteras.

⁷⁷ Boverket och Energimyndigheten, Utvärdering av lågenergibyggnader – en fallstudie (2015:25).

Beskrivning av metod och genomförande

Utgångspunkten i utvärderingen är en lågenergibygnads uppmätta värden och insamlade data.

Här beskrivs de olika stegen i metoden för att förändra lågenergibygnaden till en byggnad med sämre energiprestanda:

1. Mätdata samlas in och analyseras.
2. Uppmätt energianvändning normalårskorrigeras.
3. Byggnadens normalårskorrigerade energianvändning redovisas.
4. Energiberäkning – ta fram en energibalansmodell av lågenergibygnaden.
5. Resultat från energibalansberäkning jämförs med normalårskorrigerad energianvändning.
6. Energibalansmodellen kalibreras
7. Möjliga förändringar för att försämrade byggnadens energiprestanda identifieras.
8. Nettonuvärdet för identifierade förändringar beräknas
9. Identifierade förändringar rangordnas efter lönsamhet.
10. Förändringen till en mindre energieffektivbyggnad beräknas.
11. Kostnader till följd av brister i övriga tekniska egenskapskrav förs in i kalkylen.
12. Skillnad i lönsamhet redovisas.

Mätdata samlas in och analyseras

Insamling av lågenergibygnadens mätdata sker under en period på 12 månader.

Uppmätt data utgör utgångspunkt i beräkningar och analyser. I detta steg analyseras insamlad mätdata för att säkerställa att data som finns tillgängligt är tillräckligt för kommande steg.

Följande data mäts (momentant eller loggas)

- Byggnadens energianvändning enligt BBR
 - Energi till uppvärmning.
 - Energi till tappvarmvatten.
 - Kylenergi.
 - Fastighetsenergi.
- Hushållsel, verksamhetsel.
- Egen energitillförsel, (solel, solvärme).
- Inomhustemperatur.
- Ventilationsflöden.

- Temperaturer i till- från- avluft.
- Relativ fuktighet i till- och frånluft.
- Luftläckage (momentant).
- VVC förluster (fram- och returledningstemperaturer, flöden).

För varje byggnad redovisas vilka mätpunkter som mäts momentant eller loggats i byggnaden. Om uppmätta värden saknas ska de beräknade/uppskattade värden som används redovisas. Även eventuella driftavbrott eller liknande skador i mätdata ska redovisas.

Uppmätt energianvändning normalårskorrigeras

För att uppmätt energianvändning ska representera byggnadens behov av energi (specifik energianvändning enligt BBR19 och BBR22) korrigeras den del av energianvändningen som är beroende av utetemperaturen utifrån mätårets avvikelse från ett normalår för representativ ort med hjälp av gradtimmemetoden, enligt flik i Excelark för indata.

Byggnadens uppmätta energianvändning för 12 månader normalårskorrigeras i följande steg:

1. Urskilj uppmätta förbrukningsvärden (tappvarmvatten, fastighetsenergi, kyla, värme, hushålls/verksamhetsenergi mm.).
2. Använd representativ klimatfil från SMHI/Sveby för att fastställa skillnaden mellan aktuellt år och normalåret.
3. Korrigera klimatberoende energianvändning (transmission, ventilation, infiltration, vädring) för uppvärmningsperioden enligt gradtimmemetoden.
4. Fastställ byggnadens energianvändning för ett normalår.

Byggnadens normalårskorrigerade energianvändning redovisas

Byggnadens energianvändning redovisas enligt definition i BBR19 avsnitt 9:12. Denna energianvändning är *nollalternativet* och används som utgångspunkt i följande beräkningar av ekonomi och energi.

Energiberäkning – ta fram en energibalansmodell av lågenergibygnaden

Energiberäkning sker genom att en modell av lågenergibygnaden byggs upp i ett beräkningsprogram (BV2). Modellen tas fram baserat på kända indata, (mätdata, bygghandlingar mm). Dessa indata används för att bygga upp en energibalansmodell som är så lik den verkliga lågenergibygnaden som möjligt. Om indata saknas behöver antaganden göras utifrån egna beräkningar eller exempelvis vedertagna referensvärden.

Det är viktigt med spårbarhet och därför ska all indata dokumenteras i framtiden i mall för indata (Excelark).

Data om byggnadens fysiska egenskaper samlas in (från ritningar, tekniskbeskrivning, mätdata och besiktning).

Exempel på indata som samlas in:

- Atemp.
- Klimatskalets olika delar (areor, isoleringsdata för skikt, tjocklek och lambda).
- Fönster, fönsterdörrar, glaspartier (riktning, g-värde, skuggning, U-värde).
- Användning (personer, drifttider, vädring etc).
- Energiförsörjning (el, vp, fjärrvärme, annat).
- Ventilationssystem.
- Uppvärmningssystem (radiatorer, luftvärme, golvvärme).
- Övriga installationssystem (belysning och styrsystem, klimatkyla, mm).
- Solpåverkan (soligt – skuggigt läge).
- Indata till beräkningsprogrammet kan även vara beräknade värde exempelvis:
 - Ventilationsvärmeväxlares verkningsgrad.
 - Beräkning av COP för värmepump.

Resultat från energibalansberäkning jämförs med normalårskorrigerad energianvändning

Energibalansmodellens resultat jämförs med redovisad normalårskorrigerad energianvändning (nollalternativet). Skillnaden redovisas. Då en skillnad finns görs en kalibrering av modellen steg 2.6.

Energibalansmodellen kalibreras

Resultatet från energibalansberäkningen kalibreras så att det överensstämmer med byggnadens normalårskorrigerade energianvändning. (nollalternativ)

Kalibrering av det beräknade resultatet enligt energibalansmodellen sker genom att:

- Öka eller minska de temperaturberoende förlusterna proportionellt tills överensstämmelse med byggnadens redovisade normalårskorrigerade energianvändning uppnås.
- Förlusterna i beräkningsprogrammet ökas om energiberäkningen (steg 2.4) visar för låg energianvändning.
- Förlusterna i beräkningsprogrammet minskas om energiberäkningen (steg 2.4) visar för hög energianvändning.
- Ökningen eller minskningen i energiberäkningen ska göras genom proportionell fördelning på temperaturberoende parametrarna: Transmission, ventilation, infiltration.
- Ökningen eller minskningen åstadkoms genom att utgå från klimatfilen för ett normalår. Förändringens storlek beräknas som ett procentuellt påslag/avdrag på differensen mellan klimatfilens utomhustemperatur och inomhustemperaturen.

När modellens beräknade energianvändning överensstämmer med den normalårskorrigerade energianvändningen, är kalibreringen klar. Nu finns även en energibalansmodell av nollalternativet.

Möjliga förändringar för att försämra byggnadens energiprestanda identifieras

Med lågenergibygnaden som utgångspunkt ska möjliga förändringar i byggnadens utförande för att *öka byggnadens energianvändning tas fram*.

För dessa förändringar ska byggkostnader (investeringskostnader) och energipåverkan beräknas. Investeringen beräknas som mellanskillnaden mellan att uppföra byggnaden enligt det ursprungliga energieffektiva utförandet och det identifierade förändrade utförandet.

Hur förändringen påverkar energianvändning beräknas genom att simulera/beräkna skillnaden i energianvändning mellan verklig lågenergibygnad med och utan varje förändring.

Exempel på möjliga förändringar som kan användas i beräkningarna beskrivs i Tabell 1.

Tabell 1 Möjliga förändringar i syfte att öka energianvändningen

Beskrivning av förslag på förändring	
Klimatskal	
Tak	Möjlig förändring av isolering (tjocklek, kvalitet)
Golv/Grund	Möjlig förändring av isolering (tjocklek, kvalitet)
Vägg	Möjlig förändring av isolering (tjocklek, kvalitet)
Fönster	Möjlig förändring av egenskaper (U-, G-värde) för fönster/fönsterpartier. Funktionen bibehålls, ex. öppningsbart fönster byts till ett öppningsbart fönster med sämre U-värde.
Köldbryggor	Möjlig förändring av köldbryggor som direkt har en koppling till väggens isolering ändras procentuellt. Förändring av köldbryggor för fönster studeras ej.
Täthet	Studeras i de fall det är möjligt.
Tekniska installationer	
Ventilationssystem	Möjlig förändring av ventilationsaggregat/system utan att ändra funktion. Hänsyn tas till platsutrymme, särskilda behov av ventilation i byggnaden.
Varmvattencirkulation – VVC	Förändrad isolering av varmvattenledningar.
Varmvattenarmaturer	Möjlig förändring där energieffektiva varmvattenarmaturer finns installerade.
Värmesystem	Systembyte studeras inte. En komplettering med annan värmekälla eller uppdimensionering av befintligt värmesystem kan dock bli en konsekvens när förändringarna adderas, för att möta ökat energibehov. Exempelvis kan golvvärme behöva kompletteras med radiatorer. Uppdimensionering eller komplettering ska ske utifrån förutsättningar i respektive byggnad.
Fastighetsel	
Hissar	Möjlig förändring av energieffektiva hissar.
Belysning i trapphus mm.	Möjlig förändring av energieffektiva belysningslösningar.
Annan fastighetsel	Möjliga förändringar studeras där energieffektiva teknik/systemval har gjorts.
Energiproduktion	
Solvärme	Förändras genom att solvärmeanläggning tas bort/minskas.
Solel	Förändras genom att solcellsanläggning tas bort/minskas.

För identifierade förändringar av byggnaden ska byggkostnader och påverkan på energianvändning redovisas. Om en förändring medför att andra byggnadsdelar ändras ska även dessa kostnader inkluderas. Exempelvis kan en minskad isolering i yttervägg medföra att även tak och grund minskas något.

Nettonuvärdet för identifierade förändringar beräknas

Nettonuvärdet mellan lågenergibyggnadens utförande och den förändring som identifierats beräknas med hänsyn tagen till investeringen och skillnaden mellan framtida drift- och underhållskostnader, se Ekvation 1. Eftersom utgångspunkten är en lågenergibyggning som försämrats till byggnad som uppnår BBR-krav, innebär förändringen att investeringen blir lägre och energianvändningen och därmed energikostnaden ökar⁷⁸.

Ekvation 1 beskriver hur nettonuvärdet för förändringen beräknas med hänsyn till den minskade investeringen och framtida drift- och underhållskostnader.

$$NPV = I - NV_{\text{Energi kostnader}} - NV_{\text{Restvärde}}$$

Identifierade förändringar rangordnas efter lönsamhet

De förändringar som identifierats som möjliga rangordnas utifrån nettonuvärdet för respektive förändring, efter lägst lönsamhet.

Förändringen till en mindre energieffektivbyggnad beräknas

I detta steg beräknas förändringen från lågenergibyggning till en byggnad som precis uppnår energikraven enligt BBR19 och BBR22. Det blir således tvåberäkningar för byggnaden.

Utgångspunkten är den modellerade byggnaden som motsvaras av nollalternativet. I en energiberäkning försämrats byggnaden genom att först genomföra den förändring som har lägst lönsamhet, därefter det näst minst lönsamma osv. tills energihushållningskrav enligt BBR19 respektive BBR 22 uppnås.

För varje steg beräknas byggnadens energianvändning och skillnad i investering. För varje steg kontrolleras även att U-värdeskravet eller effektkravet enligt BBR inte överskrids. Om U-värdes- eller effektkravet uppnås innan kravet på specifik energianvändning uppnås så ska istället nästa förändring enligt rangordningen prövas.

De olika energislagen redovisas var för sig. Om elkyla används ska den räknas upp med faktor 3 om byggnaden har annat uppvärmningssätt än elvärme (BBR 9:2 och 9:3). Den uppräknade elkylan ska rymmas i resultatet som beräknas enligt denna punkt.

När byggnadens energiprestanda försämrats och värmeförlusterna ökar kan det få konsekvenser för värmedistributionssystemets kapacitet. Detta ska i sådana fall ingå i analysen och ev. ökade kostnader som det medför ska tas med i beräkning av investeringskostnad.

⁷⁸ Det innebär också att variablerna i den traditionella nettonuvärdesberäkningen ändrar tecken, så den negativa investeringen blir positiv medan energikostnader och restvärde får ett negativt tecken.

När den på detta sätt beräknade energianvändningen överensstämmer med BBR19/22-kravnivån, är beräkningen klar. Energianvändningen (kWh/år) i lågenergihuset och i energiberäkningen (kWh/år) som stämmer med BBR19/22:s kravnivå redovisas.

Kostnader till följd av brister i övriga tekniska egenskapskrav förs in i kalkylen

Om det finns brister i lågenergibyggnadens uppfyllande av övriga egenskapskrav som beror på att byggnaden är lågenergibyggnad ska dessa noteras och värderas ur energi- och ekonomisk påverkan. De eventuella bristerna ska inte justeras i beräkningen utan ska noteras.

De brister som ska noteras är de som kan härröra till att byggnaden har utförts som en lågenergibyggnad. Att rätta till brister kan medföra ökade byggkostnader och ökad energianvändning, detta kostnadsberäknas enligt förutsättningar givna i avsnitt 5.

Resultat från analys av övriga tekniska egenskapskrav redovisas.

Eventuella kostnader till följd av brister i tekniska egenskapskrav enligt BBR19 förs in i kalkylen.

Skillnad i lönsamhet redovisas

Kalkylens resultat redovisas. Dels i siffror och dels som sammanfattande kommentar av typen: ”Det var mer lönsamt att bygga lågenergihuset än motsvarande BBR19-hus.” alternativt ”Det skulle varit mer lönsamt att bygga ett hus enligt BBR19-kravnivån än att bygga det aktuella lågenergihuset”. Och ett tredje alternativ skulle kunna vara: ”Det var ingen betydande ekonomisk skillnad mellan lågenergihuset och motsvarande BBR-hus.”

Redovisning och dokumentation

Indata till beräkningar av energianvändning, kostnadsberäkningar samt underlag för antaganden ska redovisas på ett transparent och strukturerat sätt. Det ska i efterhand vara möjligt att genomföra samma beräkning och komma till samma resultat.

För varje byggnad finns:

- Redovisning av indata och beräkningar (Excel).
- Beskrivning av beräkningar och identifierade förändringar (Word).
- Beräkningsfil från energiberäkningsprogram (BV2). Både lågenergi(nollalternativet) och slutliga BBR-versionen.
- Mätdata och protokoll i Energimyndighetens databas.

Utöver detta avses ytterligare dokumentation kopplade till analyserna att sparas hos Energimyndigheten, exempelvis protokoll, bygghandlingar, etc.

Avgränsningar

Projektet är en fallstudie, därmed kommer inte generella slutsatser för samtliga lågenergi-byggnader kunna dras.

Ytterligare förtydliganden och avgränsningar

För de byggnader som är nybyggda och där mätperioden är för första året sedan drifttagning, kan faktorer som uttorkning, intrimning av system påverka resultatet. Detta tas med i övergripande känslighetsanalys men ska i förekommande fall noteras för aktuella byggnader.

Ekonomiska analyser och kalkyler inkluderar inte extra byggherrekostnader (exempelvis projekt- och byggledningskostnader) för lågenergiutförandet.

Förutsättningar för ekonomiska beräkningar

Förutsättningar för lönsamhet och nettonuvärdesberäkningarna är följande:

Kalkylränta: 4 %

Kalkylperiod⁷⁹:

- Flerbostadshus: 30 år.
- Småhus: 30 år.
- Lokaler: 20 år.

Energipriser, genomsnittlig nationell prisnivå:

Priser räknas exklusive moms.

- El, exkl. moms: 1,25kr/kWh.
- Fjärrvärme, exkl. moms: 0,92 kr/kWh.
- Fjärrkyla, exkl. moms: 0,63 kr/kWh.

Energiprisutveckling: 0 %

Antagande att inga energiprisvariationer sker under kalkylperioden på 30år

Livslängder⁸⁰:

Fasta konstruktioner: 40 år.

Installationer: 20 år.

Solfångare: 20 år.

Om det alternativa byggnadsutförandet har kortare livslängd än kalkylperioden genomförs reinvesteringar, och om livslängden är längre beräknas dess restvärde, som också omfattas i nettonuvärdesberäkningen.

⁷⁹ Boverket, 2013, *Optimala kostnader för energieffektivisering – underlag enligt Europaparlamentets och rådets direktiv 2010/31/EU om byggnaders energiprestanda*, Rapport 2013:2.

⁸⁰ Ibid

Bilaga 2 – Byggnader med specificeringar

Sammanfattande beskrivningar av tekniska och ekonomiska förutsättningar för de byggnader som bedömts mer ekonomiskt lönsamma som lågenergibygnader än hus byggda enligt krav i BBR 19 och 22.

Analysen har sin utgångspunkt i uppmätt energi för en verklig lågenergibygnad. För varje verklig byggnad skapas en modell som motsvarar byggnaden i BBR-utförande. Det görs med hjälp av ett datorprogram, som kalibreras mot uppmätta värden. Utifrån byggnaden i lågenergiutförandet skalas sedan olika typer av byggnadsåtgärder och tekniska åtgärder av tills man når ett hus byggt i enlighet med energiprestanda kraven i BBR 22 samt BBR 19.

S står för småhus.

F står för flerbostadshus.

L står för lokaler.

Beskrivning av byggnad S2

Byggnad S2 presenteras i *tabell I*, nedan.

Tabell I: Kort beskrivning av byggnad S2

Byggnad	S2
Typ av byggnad	Småhus
Byggnadens utformning	Standardsmåhus
Byggår	2012
Klimatzon BBR 19/BBR 22	III/IV
Tempererad area, A_{temp}	140 m ²
Antal våningsplan inkl. under mark	2
Energikälla för uppvärmning och varmvatten	Fjärrvärme
Ventilationssystem	FTX
Byggnaden klassas som eluppvärmd?	Nej
Kylsystem	Byggnaden saknar kyla
Har byggnaden solenergi?	Nej
Uppmätt normalårskorrigerad specifik energianvändning	47 kWh/m ² år

Alternativt byggnadsutförande och energianvändning

Analysen har resulterat i följande förändringar för att göra om byggnaden till en BBR-byggnad, det vill säga försämra energiprestandan så att byggnadens specifika energianvändning hamnar i nivå med kravet i BBR 19 respektive BBR 22.

Åtgärd 1–3) Ändrat U-värde för klimatskalet

U-värdena för klimatskalet har ändrats genom att minska mängden isolering.

Tabell II: Alternativ utformning av klimatskalet

Åtgärd för byggnad S2	Lågenergibygnaden	BBR 22	BBR 19
1: Ändrat U-värde för fasad [W/m²K]	0,12	0,17	0,17
2: Ändrat U-värde för tak [W/m²K]	0,07	0,10	0,12
3: Ändrat U-värde för bottenplatta [W/m²K]	0,11	0,14	0,16

Åtgärd 4) Ändrat U-värde och g-värde för fönster och dörrar

Följande ändringar har gjorts för fönster och dörrar.

Tabell III: Alternativ utformning av fönstren

Åtgärd för byggnad s2	Lågenergibygnaden	BBR 22	BBR 19
<i>Fönster & Fönsterdörrar</i>			
U-värde [W/m²K]	0,7 till 1,2	1,1	1,5
G-värde	0,5	0,6	0,6
<i>Dörrar</i>			
U-värde [W/m²K]	1,0	1,1	1,1

Påverkan på U_m (U-medelvärde) om åtgärd 1–4 genomförs

Om åtgärd 1–4 genomförs ändras byggnadens genomsnittliga värmegenomgångs-koefficient U_m enligt tabellen nedan:

	Lågenergibygnaden	BBR 22-byggnaden	BBR 19-byggnaden
U_m	0,15	0,22	0,25

Åtgärd 5) Ändrad lufttätethet

Huset är tätt med ett uppmätt luftläckage på 0,2 l/s m² (vid 50 Pa).

- För BBR 22 minskas lufttätetheten vilket gör att läckaget ökar till 0,40 l/s m² (vid 50 Pa).
- För BBR 19 minskas lufttätetheten vilket gör att läckaget ökar till 0,45 l/s m² (vid 50 Pa).

Åtgärd 6) Byte av ventilationsaggregatet

Byte till ett ventilationsaggregat med lägre temperaturverkningsgrad, vid balanserat flöde, samt ett högre SFP. Följande värden används:

Tabell IV: Alternativ utformning av ventilationsaggregatet

	Lågenergibygnaden	BBR 22-byggnaden	BBR 19-byggnaden
Temperaturverkningsgrad [%]	85	70	70
SFP Värdet [kW/(m³/s)]	1,2	2	2

Även typ av värmeväxlare ändras från roterande till plattvärmväxlare för att bättre passa den lägre temperaturverkningsgraden.

Åtgärd 7) Ändring i värmesystemet: Varmvatten

Byggnaden har en lösning där varmvattnet leverans från en värmeväxlare som är gemensam för flera hus. I ett standardhus hade byggnaden haft ett klassiskt system med egna värmeväxlare för tappvarmvatten

I de beräknade BBR-alternativen har en sådan lokal värmeväxlare för tappvarmvattnet satts in. Det medför att energiförlusterna för BBR-byggnaderna ökar samt att effekten för VVC pumpen tillkommer.

Åtgärd 8) Ändring i värmesystemet: Värmedistribution

Byte av värmedistribution från luftvärme till golvvärme då luftvärme har svårt att klara komfortkraven i ett hus med sämre klimatskal. Byggnaden får ett ökat effektbehov för fjärrvärmen på grund av ändringar i klimatskalet. Värmesystemet måste dimensioneras upp för att klara det högre effektbehovet, se åtgärd 9.

Åtgärd 9) Ändringar av utrustning för värmeproduktion

Förändringarna av klimatskalet ger ett ökat värmebehov. På grund av ökat effektbehov för uppvärmning behövs ett byte av värmeväxlaren för fjärrvärmen till en värmeväxlare med högre kapacitet och även cirkulationspumpen behöver en högre kapacitet. Åtgärden påverkar inte energianvändningen utan innebär enbart en påverkan på investeringskostnaden för byggnaden.

Sammanfattat resultat från analysen

Resultatet i specifik energianvändning för lågenergihuset och huset modellerat i två olika BBR-utföranden återfinns i tabellen nedan. Utgångspunkten i analysen är att en byggnad klassas som lågenergihus om den har 25 % lägre specifik energianvändning än kravet i BBR. Modellerna som tas fram för byggnaden enligt BBR 22 och BBR 19 motsvarar standardkonstruktioner. När datormodellen skapas behålls grundkonstruktion för byggnaden. Exempel på sådant är mått på fasadens insida, storlek på fönster och typ av tak.

I tabell V nedan presenteras den specifika energianvändningen enligt BBR för modellen för lågenergibygnaden samt respektive BBR-byggnad.

Tabell V: Specifik energianvändning för datormodellerna av byggnad S2

	Specifik energianvändning, [kWh/m ² år]		U _m (U-medelvärde) [W/m ² K]	
	Resultat	KRAV BBR 22	Resultat	KRAV BBR 19
Projekterad energianvändning	61	–	–	–
Uppmätt normalårskorrigerad lågenergibygnaden	47	–	0,15	–
Modell enligt BBR 22	79	80	0,22	0,4
Modell enligt BBR 19	90	90	0,25	0,4

Utifrån uppmätt energianvändning kan byggnaden med marginal klassas som ett lågenergihus, vilket för S2 motsvarar en specifik energianvändning på 60 kWh/m² och år för BBR 22 och 67,5 kWh/m² och år för BBR 19.

Ekonomisk analys: Är lågenergiutförandet mer lönsamt?

Skillnaden i kostnad mellan byggnaden i lågenergiutförandet respektive utförande enligt BBR 19 och BBR 22 visas i tabellen nedan.

Tabell VI: Skillnad i lönsamhet för byggnad S2

	Resultat BBR 22	Resultat BBR 19
Merkostnad i investering för lågenergihuset	56 500 kr	93 600 kr
Kostnad för ökad energianvändning i BBR utförandet	5 640 kr/år	7 473 kr/år
Nettonuvärde (NPV)	-105 530 kr	-106 330 kr
Mer lönsamt i BBR-utförande	Nej	Nej

För byggnad S2 får vi ett negativt nuvärde⁸¹ för byggnaden i både BBR 19 och BBR 22 utförande jämfört med i lågenergiutförandet. Det ger att huset, med nuvarande energianvändning, är mer lönsamt att bygga som ett lågenergihus.

Beskrivning av byggnad L1

Byggnad L1 presenteras i *tabell I*, nedan.

Tabell I: Kort beskrivning av byggnad L1

Byggnad	L1
Typ av byggnad	Lokaler
Byggnadens utformning	Passivhus
Byggår	2011
Klimatzon BBR 19/BBR 22	III
Tempererad area, A_{temp}	1 068 m ²
Antal våningsplan inkl. under mark	2
Energikälla för uppvärmning och varmvatten	Fjärrvärme och återvunnen värme
Ventilationssystem	FTX med VAV
Byggnaden klassas som eluppvärmd?	Nej
Kylsystem	Frikyla från borrhål
Har byggnaden solenergi?	Nej
Uppmätt normalårskorrigerad specifik energianvändning	23 kWh/m ² år

Alternativt byggnadsutförande och energianvändning

Analysen har resulterat i följande förändringar för att göra om byggnaden till en BBR-byggnad, det vill säga försämma energiprestandan så att byggnadens specifika energianvändning hamnar i nivå med kravet i BBR 19 respektive BBR 22.

⁸¹ I projektet går vi från en byggnad med bra energiprestanda till en byggnad med sämre. När man normalt räknar på energiåtgärder går man från något sämre till något bättre. Då betyder ett positivt nuvärde att förändringen var lönsam. I vårt fall betyder ett negativt nuvärde att det var mer lönsamt att behålla original utförande vilket i analysen betyder byggnaden i sitt lågenergiutförande.

Åtgärd 1–3) Ändrat U-värde för klimatskalet

U-värdena för klimatskalet har ändrats genom att minska mängden isolering.

Tabell II: Alternativ utformning av klimatskalet

Åtgärd för byggnad L1	Lågenergibygnaden	BBR 22	BBR 19
1: Ändrat u-värde för fasad [W/m ² K]	0,13	0,16	0,23
2: Ändrat u-värde för tak [W/m ² K]	0,06	0,09	0,13
3: Ändrat u-värde för bottenplatta [W/m ² K]	0,12	0,18	0,23

Åtgärd 4) Ändrat U-värde och g-värde för fönster och dörrar

Följande ändringar har gjorts för fönster och dörrar.

Tabell III: Alternativ utformning av fönstren

Åtgärd för byggnad L1	Lågenergibygnaden	BBR 22	BBR 19
<i>Fönster & Fönsterdörrar</i>			
U-värde [W/m ² K]	0,70 till 0,75	1,1	1,5
G-värde	0,46	0,6	0,6
<i>Dörrar</i>			
U-värde [W/m ² K]	0,75	1,2	1,2

Påverkan på U_m (U-medelvärde) om åtgärd 1–4 genomförs

Om åtgärd 1–4 genomförs ändras byggnadens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient U_m enligt tabellen nedan:

Tabell IV: Påverkan på genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, U_m

	Lågenergibygnaden	BBR 22-byggnaden	BBR 19-byggnaden
U_m	0,13	0,19	0,25

Åtgärd 5) Ändrad lufttäthet

Huset är mycket tätt med ett uppmätt luftläckage på 0,04 l/s m² (vid 50 Pa).

- För BBR 22 minskas lufttätheten vilket gör att läckaget ökar till 0,5 l/s m² (vid 50 Pa).
- För BBR 19 minskas lufttätheten vilket gör att läckaget ökar till 0,6 l/s m² (vid 50 Pa).

Åtgärd 6) Byte av ventilationsaggregatet

Byte av ventilationsaggregat för verksamheten till ett med lägre temperaturverkningsgrad. Följande värden används:

Tabell V: Alternativ utformning av ventilationsaggregatet

	Lågenergibyggnaden	BBR 22-byggnaden	BBR 19-byggnaden
Temperaturverkningsgrad [%]	80	70	70
SFP Värdet [kW/(m³/s)]	2	2	2

Samtidigt tas möjligheten till variabelt ventilationsflöde bort för avdelningarna och värmeväxlare ändras från roterande till en plattvärmväxlare för att bättre passa den lägre temperaturverkningsgraden

Åtgärd 7) Ändring i värmeproduktionen: Ta bort värmepumpsystem för återvinning av kondensorvärme

I byggnaden återvinns idag spillvärmen från kylmaskinerna i köket. Återvinningen tas bort och värme till köks kyla dumpas till uteluften. Värmesystemet måste dimensioneras upp för att klara det högre effektbehovet, se åtgärd 9.

Åtgärd 8) Ändring i värmeproduktionen: Ta bort frikyla/förvärmning från borrhålen
Ta bort den frikyla samt förvärmning av tilluft som idag fås från borrhålen. Ger en ökad energianvändning för uppvärmning under vintern och en högre inomhustemperatur under sommaren.

Åtgärd 9) Ändringar av utrustning för värmeproduktion

Förändringarna av klimatskalet och borttagningen av värmeåtervinning av spillvärme ger ett ökat värmebehov. På grund av ökat effektbehov för uppvärmning behövs ett byte av värmeväxlaren för fjärrvärmen till en värmväxlare med högre kapacitet och även cirkulationspumpen behöver en högre kapacitet. Åtgärden påverkar inte energianvändningen.

Sammanfattat resultat från analysen

Resultatet i specifik energianvändning för lågenergihuset och huset modellerat i två olika BBR-utförande återfinns i tabellen nedan. Utgångspunkten i analysen är att en byggnad klassas som lågenergihus om den har 25 % lägre specifik energianvändning än kravet i BBR. Modellerna som tas fram för byggnaden enligt BBR 22 och BBR 19 motsvarar standardkonstruktioner. När datormodellen skapas behålls grundkonstruktion för byggnaden. Exempel på sådant är mått på fasadens insida, storlek på fönster och typ av tak.

I *tabell VI* nedan presenteras den specifika energianvändningen enligt BBR för modellen för lågenergibyggnaden samt respektive BBR-byggnad.

Tabell VI: Specifik energianvändning för datormodellerna av byggnad L1

	Specifik energianvändning, [kWh/m² år]		U _m (U-medelvärde) [W/m²K]	
	Resultat	Krav BBR	Resultat	Krav BBR
Projekterad	29	–		–
Uppmätt normalårskorrigerad lågenergibyggnaden	23	–	0,11	–
Modell enligt BBR 22	77	100	0,19	0,6
Modell enligt BBR 19	91	110	0,25	0,6

Utifrån uppmätt energianvändning kan byggnaden klassas som ett lågenergihus, vilket för L1 motsvarar en specifik energianvändning på 75 kWh/m² och år för BBR 22 och 82,5 kWh/m² och år för BBR 19.

Efter utförda åtgärder i modellen för byggnad L1 är energianvändningen fortfarande lägre än respektive BBR-krav. För att komma närmre BBR-kravet på specifik energianvändning, kan ett sämre klimatskal väljas men då behövs konstruktionen för huset ändras totalt då mer isolering inte kan tas bort i nuvarande utförande

Ekonomisk analys: Är lågenergiutförandet mer lönsamt?

Skillnaden i kostnad mellan byggnaden i lågenergiutförandet respektive utförande enligt BBR 19 och BBR 22 visas i tabellen nedan.

Tabell VII: Skillnad i lönsamhet för byggnad L1

	Resultat BBR 22	Resultat BBR 19
Merkostnad i investering för lågenergihuset	+945 500 kr	+1 178 800 kr
Kostnad för ökad energianvändning i BBR utförandet	+69 430 kr/år	+87 250 kr/år
Nettonuvärde (NPV)	-157 630kr	-277 160kr
Mer lönsamt i BBR-utförande	Nej	Nej

För byggnad L1 får vi ett negativt nuvärde⁸² för byggnaden i både BBR 19 och BBR 22 utförande jämfört med i lågenergiutförandet. Det ger att huset, med nuvarande energianvändning, är mer lönsamt att bygga som ett lågenergihus.

Beskrivning av byggnad L2

Byggnad L2 presenteras i *tabell I*, nedan.

Tabell I: Kort beskrivning av byggnad L2

Byggnad	L2
Typ av byggnad	Lokaler
Byggnadens utformning	Standardbyggnad
Byggår	2013
Klimatzon BBR 19/BBR 22	III
Tempererad area, A _{temp}	3 015 m ²
Antal våningsplan inkl. under mark	4
Energikälla för uppvärmning och varmvatten	EI (Bergvärmepump + elpanna + spets – el)
Ventilationssystem	FTX med VAV
Byggnaden klassas som eluppvärmd?	Ja
Kylsystem	Frikyla från borrhål
Har byggnaden solenergi?	Nej
Uppmätt normalårskorrigerad specifik energianvändning	18 kWh/m ² år

⁸² I projektet går vi från en byggnad med bra energiprestanda till en byggnad med sämre. När man normalt räknar på energiåtgärder går man från något sämre till något bättre. Då betyder ett positivt nuvärde att förändringen var lönsam. I vårt fall betyder ett negativt nuvärde att det var mer lönsamt att behålla original utförande vilket i analysen betyder byggnaden i sitt lågenergiutförande.

Alternativt byggnadsutförande och energianvändning

Analysen har resulterat i följande förändringar för att göra om byggnaden till en BBR-byggnad, det vill säga försämrade energiprestanda så att byggnadens specifika energianvändning hamnar i nivå med kravet i BBR 19 respektive BBR 22.

Åtgärd 1–3) Ändrat U-värde för klimatskalet

U-värdena för klimatskalet har ändrats genom att minska mängden isolering.

Bygganden har två typer av fasader och två typer av tak.

Tabell II: Alternativ utformning av klimatskalet

Åtgärd för byggnad L2	Lågenergibygnaden	BBR 22	BBR 19
1: Ändrat U-värde för fasad [W/m ² K], fasad 1	0,21	0,28	0,41
Ändrat U-värde för fasad [W/m ² K], fasad 2	0,16	0,21	0,27
2: Ändrat U-värde för tak [W/m ² K], tak 1	0,14	0,17	0,17
Ändrat U-värde för tak [W/m ² K], tak 2	0,15	0,16	0,16
3: Ändrat U-värde för bottenplatta [W/m ² K]	0,25	0,26	0,36

Följande ändringar har gjorts för fönster och dörrar.

Tabell III: Alternativ utformning av fönstren

Åtgärd för byggnad L2	Lågenergibygnaden	BBR 22	BBR 19
<i>Fönster & Fönsterdörrar</i>			
U-värde [W/m ² K]	0,9	1,2	1,5
G-värde	Medel 0,35	0,6	0,6
<i>Dörrar</i>			
U-värde [W/m ² K]	1,3	1,3	1,3

Påverkan på U_m (U-medelvärde) om åtgärd 1–4 genomförs

Om åtgärd 1–4 genomförs ändras byggnadens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient U_m enligt tabellen nedan:

Tabell IV: Påverkan på genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, U_m

	Lågenergibygnaden	BBR 22-byggnaden	BBR 19-byggnaden
U_m	0,29	0,36	0,45

Åtgärd 5) Ändrad lufttätethet

Huset har ett uppmätt luftläckage på 0,3 l/s m² (vid 50 Pa).

- För BBR 22 minskas lufttätetheten vilket gör att läckaget ökar till 0,5 l/s m² (vid 50 Pa).
- För BBR 19 minskas lufttätetheten vilket gör att läckaget ökar till 0,6 l/s m² (vid 50 Pa).

Åtgärd 6) Byte av kylsystem: Kylmaskin istället för frikyla

Frikylan tas bort och ersätts med en kylmaskin. Följande värden används:

Tabell V: Specifikationer för kylmaskinen

	Lågenergibyggnaden	BBR 22-byggnaden	BBR 19-byggnaden
Eleffekt [kW]	–	30	30
Kyleffekt [kW]	–	78	78
COP	–	2,5	2,5

Åtgärd 7) Byte av ventilationsaggregatet

Byte till ett ventilationsaggregat med lägre temperaturverkningsgrad, vid balanserat flöde, samt ett högre SFP. Följande värden används:

Tabell VI: Alternativ utformning av ventilationsaggregatet

	Lågenergibyggnaden	BBR 22-byggnaden	BBR 19-byggnaden
Temperaturverkningsgrad [%]	85	70	70
SFP Värde [kW/(m³/s)]	1,5–1,8	2	2

Även typ av värmeväxlare ändras från roterande till plattvärmeväxlare för att bättre passa den lägre temperaturverkningsgraden.

Åtgärd 8) Ökad användning av värmepumpen till följd av ändring av värmebehovet

Förändringarna av klimatskalet ger ett ökat el-effektbehov för värmepumpen. En större värmepump på 29 kW installeras.

Sammanfattat resultat från analysen

Resultatet i specifik energianvändning för lågenergihuset och huset modellerat i två olika BBR-utförande återfinns i tabellen nedan. Modellerna som tas fram för byggnaden enligt BBR 22 och BBR 19 motsvarar standardkonstruktioner. När datormodellen skapas behålls grundkonstruktion för byggnaden. Exempel på sådant är mått på fasadens insida, storlek på fönster och typ av tak.

I *tabell VII* nedan presenteras den specifika energianvändningen enligt BBR för modellen för lågenergibyggnaden samt respektive BBR-byggnad.

Tabell VII: Specifik energianvändning för datormodellerna av byggnad L2

	Specifik energianvändning, [kWh/m² år]		U _m (U-medelvärde) [W/m²K]	
	Resultat	Krav BBR	Resultat	Krav BBR
Projekterad	34	–	–	–
Uppmätt normalårskorrigerad lågenergibyggnaden	18	–	0,29	–
Modell enligt BBR 22	25	50	0,36	0,6
Modell enligt BBR 19	30	55	0,45	0,6

Utifrån uppmätt korrigerad energianvändning kan byggnaden klassas som ett lågenergihus, vilket för L2 motsvarar en specifik energianvändning på 43,1 kWh/m² och år för BBR 22 och 46,9 kWh/m² och år för BBR 19.

Efter utförda åtgärder i modellen för byggnad L2 är energianvändningen fortfarande lägre än respektive BBR-krav. För att nå längre bör en annan värmekälla än värmepump övervägas samt att det variabla ventilationsflödet ersätts med konstantflöde. Även ett sämre klimatskal är möjligt men då behöver konstruktionen för huset ändras totalt då mer isolering inte kan tas bort i nuvarande utförande.

Ekonomisk analys: Är lågenergiutförandet mer lönsamt?

Skillnaden i kostnad mellan byggnaden i lågenergiutförandet respektive utförande enligt BBR 19 och BBR 22 visas i tabellen nedan.

Tabell VIII: Skillnad i lönsamhet för byggnad L2

	Resultat BBR 22	Resultat BBR 19
Merkostnad i investering för lågenergihuset	+121 500 kr	+1 178 800 kr
Kostnad för ökad energianvändning i BBR utförandet	+24 320 kr/år	+44 010 kr/år
Nettonuvärde (NPV)	-311 760kr	+348 790kr
Mer lönsamt i BBR-utförande	Nej	Ja

För byggnad L2 får vi ett negativt nuvärde⁸³ för byggnaden i BBR 22 utförande och ett positivt nuvärde i BBR 19 utförande jämfört med i lågenergiutförandet. Det ger att huset, med nuvarande energianvändning, är mer lönsamt att bygga som ett lågenergihus om det jämförs med BBR 22 men inte med BBR 19.

Beskrivning av byggnad L4

Byggnad L4 presenteras i *tabell I*, nedan. Då ventilationen i köket under början av modelleringsperioden hade dygnet runt drift istället för enbart drift under verksamhetstiden justeras modellen för att enbart ha ventilation när verksamhet finns i byggnaden.

Tabell I: Kort beskrivning av byggnad L4

Byggnad	L4
Typ av byggnad	Lokaler
Byggnadens utformning	Passivhus
Byggår	2012
Klimatzon BBR 19/BBR 22	I
Tempererad area, A_{temp}	902 m ²
Antal våningsplan inkl. under mark	2
Energikälla för uppvärmning och varmvatten	Fjärrvärme och Värmepump
Ventilationssystem	FTX med VAV
Byggnaden klassas som eluppvärmd?	Nej
Kylsystem	Byggnaden saknar kyla
Har byggnaden solenergi?	Nej
Uppmått normalårskorrigerad specifik energianvändning	80 kWh/m ² år
Justerad specifik energianvändning enligt modellen	54 kWh/m ² år

⁸³ I projektet går vi från en byggnad med bra energiprestanda till en byggnad med sämre. När man normalt räknar på energiåtgärder går man från något sämre till något bättre. Då betyder ett positivt nuvärde att förändringen var lönsam. I vårt fall betyder ett negativt nuvärde att det var mer lönsamt att behålla original utförande vilket i analysen betyder byggnaden i sitt lågenergiutförande.

Alternativt byggnadsutförande och energianvändning

Analysen har resulterat i följande förändringar för att göra om byggnaden till en BBR-byggnad, det vill säga försäkra energiprestandan så att byggnadens specifika energianvändning hamnar i nivå med kravet i BBR 19 respektive BBR 22.

Åtgärd 1–3) Ändrat U-värde för klimatskalet

U-värdena för klimatskalet har ändrats genom att minska mängden isolering.

Tabell II: Alternativ utformning av klimatskalet

Åtgärd för byggnad L4	Lågenergibygnaden	BBR 22	BBR 19
1: Ändrat U-värde för fasad [W/m ² K]	0,10	0,21	0,26
2: Ändrat U-värde för tak [W/m ² K]	0,08	0,13	0,19
3: Ändrat U-värde för bottenplatta [W/m ² K]	0,09	0,12	0,18

Åtgärd 4) Ändrat U-värde och g-värde för fönster och dörrar

Följande ändringar har gjorts för fönster och dörrar.

Tabell III: Alternativ utformning av fönstren

Åtgärd för byggnad L4	Lågenergibygnaden	BBR 22	BBR 19
<i>Fönster & Fönsterdörrar</i>			
U-värde [W/m ² K]	0,66 till 0,8	1,1	1,5
G-värde	Medel 0,56	0,6	0,6
<i>Dörrar</i>			
U-värde [W/m ² K]	0,66	1,2	1,2

Påverkan på U_m (U-medelvärde) om åtgärd 1–4 genomförs

Om åtgärd 1–4 genomförs ändras byggnadens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient U_m enligt tabellen nedan:

Tabell IV: Påverkan på genomsnittliga värmegenomgångskoefficient, U_m

	Lågenergibygnaden	BBR 22-byggnaden	BBR 19-byggnaden
U_m	0,12	0,19	0,25

Åtgärd 5) Ändrad lufttäthet

Huset är tätt med ett uppmätt luftläckage på 0,05 l/s m² (vid 50 Pa).

- För BBR 22 minskas lufttätheten vilket gör att läckaget ökar till 0,6 l/s m² (vid 50 Pa).
- För BBR 19 minskas lufttätheten vilket gör att läckaget ökar till 0,6 l/s m² (vid 50 Pa).

Åtgärd 6) Byte av ventilationsaggregatet

Byte av huvudventilationsaggregatet, aggregat LA1, till ett ventilationsaggregat med lägre temperaturverkningsgrad, Följande värden används:

Tabell V: Alternativ utformning av ventilationsaggregatet

	Lågenergibyggnaden	BBR 22-byggnaden	BBR 19-byggnaden
Temperaturverkningsgrad [%]	81	70	70
SFP Värdet [kW/(m³/s)]	2	2	2

Även typ av värmeväxlare ändras från roterande till plattvärmeväxlare för att bättre passa den lägre temperaturverkningsgraden.

Åtgärd 7) Ändring i värmesystemet: Ta bort värmepumpsystem för återvinning av kondensorvärme

I byggnaden återvinns idag spillvärmen från kylmaskinerna i köket. Återvinningen tas bort vilket gör att värmesystemet måste dimensioneras upp för att klara det högre effektbehovet, se åtgärd 8.

Åtgärd 8) Ändringar i utrustningen för värmeproduktionen

Med förändringarna av klimatskalet, minskad återvinning i ventilationssystemet och borttagningen av återvinningen från kökskylan, fås ett ökat värmebehov. På grund av ökat effektbehov för uppvärmning behövs ett byte av värmeväxlaren för fjärrvärmen till en värmeväxlare med högre kapacitet och även cirkulationspumpen behöver en högre kapacitet. Åtgärden påverkar inte energianvändningen utan innebär enbart en påverkan på investeringskostnaden för byggnaden.

Sammanfattat resultat från analysen

Resultatet i specifik energianvändning för lågenergihuset och huset modellerat i två olika BBR-utförande återfinns i tabellen nedan. Utgångspunkten i analysen är att en byggnad klassas som lågenergihus om den har 25 % lägre specifik energianvändning än kravet i BBR. Modellerna som tas fram för byggnaden enligt BBR 22 och BBR 19 motsvarar standardkonstruktioner. När datormodellen skapas behålls grundkonstruktion för byggnaden. Exempel på sådant är mått på fasadens insida, storlek på fönster och typ av tak.

I *tabell VI* nedan presenteras den specifika energianvändningen enligt BBR för modellen för lågenergibyggnaden samt respektive BBR-byggnad.

Tabell VI: Specifik energianvändning för datormodellerna av byggnad L4

	Specifik energianvändning, [kWh/m² år]		U _m (U-medelvärde) [W/m²K]	
	Resultat	Krav BBR	Resultat	Krav BBR
Projekterad	55	–	–	–
Justerad modell lågenergibyggnaden	54	–	0,12	–
Modell enligt BBR 22	128	176,5	0,19	0,6
Modell enligt BBR 19	150	191,5	0,25	0,6

Utifrån uppmätt energianvändning kan byggnaden klassas som ett lågenergihus, vilket för L4 motsvarar en specifik energianvändning på 132,4 kWh/m² och år för BBR 22 och 143,6 kWh/m² och år för BBR 19.

Efter utförda åtgärder i modellen för byggnad L4 är energianvändningen fortfarande lägre än respektive BBR-krav. För att komma närmre BBR-kravet på specifik energianvändning, kan variabelflödessystemet för ventilationen bytas ut mot ett konstantflödessystem. Även ett sämre klimatskal är möjligt men då behövs konstruktionen för huset ändras totalt då mer isolering inte kan tas bort i nuvarande utförande.

Ekonomisk analys: Är lågenergiutförandet mer lönsamt?

Skillnaden i kostnad mellan byggnaden i lågenergiutförandet respektive utförande enligt BBR 19 och BBR 22 visas i tabellen nedan.

Tabell VII: Skillnad i lönsamhet för byggnad L4

	Resultat BBR 22	Resultat BBR 19
Merkostnad i investering för lågenergihuset	656 400 kr	972 800 kr
Kostnad för ökad energianvändning i BBR utförandet	79 500 kr/år	102 850 kr/år
Nettonuvärde (NPV)	-2 337 980 kr	-3 035 550 kr
Mer lönsamt i BBR-utförande	Nej	Nej

För byggnad L4 får vi ett negativt nuvärde⁸⁴ för byggnaden i både BBR 19 och BBR 22 utförande jämfört med lågenergiutförandet. Det ger att huset, med nuvarande energianvändning, är mer lönsamt att bygga som ett lågenergihus.

Beskrivning av byggnad

Byggnad L8 presenteras i *tabell I*, nedan.

Tabell I: Kort beskrivning av byggnad L8

Byggnad	L8
Typ av byggnad	Lokaler
Byggnadens utformning	Specialutformat
Byggår	2011
Klimatzon BBR 19/BBR 22	III
Tempererad area, A_{temp}	11 870 m ²
Antal våningsplan inkl. under mark	10
Energikälla för uppvärmning och varmvatten	Fjärrvärme
Ventilationssystem	FTX
Byggnaden klassas som eluppvärmd?	Nej
Kylsystem	Fjärrkyla & frikyla
Har byggnaden solenergi?	Nej
Uppmätt normalårskorrigerad specifik energianvändning	59 kWh/m ² år

⁸⁴ I projektet går vi från en byggnad med bra energiprestanda till en byggnad med sämre. När man normalt räknar på energiåtgärder går man från något sämre till något bättre. Då betyder ett positivt nuvärde att förändringen var lönsam. I vårt fall betyder ett negativt nuvärde att det var mer lönsamt att behålla original utförande vilket i analysen betyder byggnaden i sitt lågenergiutförande.

Alternativt byggnadsutförande och energianvändning

Analysen har resulterat i följande förändringar för att göra om byggnaden till en BBR-byggnad, det vill säga försämla energiprestandan så att byggnadens specifika energianvändning hamnar i nivå med kravet i BBR 19 respektive BBR 22.

Åtgärd 1–3) Ändrat U-värde för klimatskalet

U-värdena för klimatskalet har ändrats genom att minska mängden isolering. Isoleringen minskas för tre av sex fasadkonstruktioner. För bottenplattan är det endast storleken som ändras.

Tabell II: Alternativ utformning av klimatskalet

Åtgärd för byggnad L8	Lågenergibygnaden	BBR 22	BBR 19
1: Ändrat U-värde för fasad [W/m ² K] , typ 2	0,18	0,22	0,22
Ändrat U-värde för fasad [W/m ² K] , typ 3	0,28	0,28	0,40
Ändrat U-värde för fasad [W/m ² K] , typ 4	0,22	0,28	0,28
2: Ändrat U-värde för tak [W/m ² K]]	0,14	0,16	0,19

Åtgärd 4) Ändrat U-värde och g-värde för fönster och dörrar

Följande ändringar har gjorts för fönster och dörrar.

Tabell III: Alternativ utformning av fönstren

Åtgärd för byggnad L8	Lågenergibygnaden	BBR 22	BBR 19
<i>Fönster & Fönsterdörrar</i>			
U-värde [W/m ² K]	1,1	1,1	1,3
G-värde	Medel 0,38	0,5	0,5

Påverkan på U_m (U-medelvärde) om åtgärd 1–4 genomförs

Om åtgärd 1–4 genomförs ändras byggnadens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient U_m enligt tabellen nedan:

Tabell IV: Påverkan på genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, U_m

	Lågenergibygnaden	BBR 22-byggnaden	BBR 19-byggnaden
U_m	0,51	0,5	0,59

Åtgärd 5) Byte av värmeåtervinning i ventilationssystemet

Byte till ett sämre återvinningssystem med endast ett vätskekopplat återvinningsbatteri.

Tabell V: Alternativ utformning av ventilationsaggregatet

	Lågenergibygnaden	BBR 22-byggnaden	BBR 19-byggnaden
Temperaturverkningsgrad [%]	75	60	60

Ändringar av utrustning för värmeproduktion

Förändringarna av klimatskalet ger ett ökat värmebehov. Dock behövs ingen ny värmeväxlare för fjärrvärmens utan den ökade effekten ryms inom nuvarande dimensionering.

Sammanfattat resultat från analysen

Resultatet i specifik energianvändning för lågenergihuset och huset modellerat i två olika BBR-utförande återfinns i tabellen nedan. Utgångspunkten i analysen är att en byggnad klassas som lågenergihus om den har 25 % lägre specifik energianvändning än kravet i BBR. Modellerna som tas fram för byggnaden enligt BBR 22 och BBR 19 motsvarar standardkonstruktioner. När datormodellen skapas behålls grundkonstruktion för byggnaden. Exempel på sådant är mått på fasadens insida, storlek på fönster och typ av tak.

I *tabell VI* nedan presenteras den specifika energianvändningen enligt BBR för modellen för lågenergibyggnaden samt respektive BBR-byggnad.

Tabell VI: Specifik energianvändning för datormodellerna av byggnad L8

	Specifik energianvändning, [kWh/m ² , år]		U _m (U-medelvärde) [W/m ² K]	
	Resultat	Krav BBR	Resultat	Krav BBR
Projekterad	68	–	–	–
Uppmätt normalårskorrigerad lågenergibyggnaden	59	–	0,51	–
Modell enligt BBR 22	74	83	0,53	0,6
Modell enligt BBR 19	76	93	0,59	0,6

Utifrån uppmätt energianvändning kan byggnaden klassas som ett lågenergihus, vilket för L8 motsvarar en specifik energianvändning på 69,75 kWh/m²och år för BBR 22 och 62,25 kWh/m²och år för BBR 19.

Efter utförda åtgärder i modellen för byggnad L8 är energianvändningen fortfarande lägre än respektive BBR-krav. För att komma närmre BBR-kravet på specifik energianvändning, kan variabelflödessystemet för ventilationen bytas ut mot ett konstantflödessystem.

Ekonomisk analys: Är lågenergiutförandet mer lönsamt?

Skillnaden i kostnad mellan byggnaden i lågenergiutförandet respektive utförande enligt BBR 19 och BBR 22 visas i tabellen nedan.

Tabell VII: Skillnad i lönsamhet för byggnad L8

	Resultat BBR 22	Resultat BBR 19
Merkostnad i investering för lågenergihuset	+491 500 kr	+967 800 kr
Kostnad för ökad energianvändning i BBR utförandet	+172 800 kr/år	+212 190 kr/år
Nettonuvärde (NPV)	–1 896 050 kr	–2 260 220 kr
Mer lönsamt i BBR-utförande	Nej	Nej

För byggnad L8 får vi ett negativt nuvärde⁸⁵ för byggnaden i både BBR 19 och BBR 22 utförande jämfört med i lågenergiutförandet. Det ger att huset, med nuvarande energi-användning, är mer lönsamt att bygga som ett lågenergihus.

Beskrivning av byggnad F1

Byggnad F1 presenteras i *tabell I*, nedan.

Tabell I: Kort beskrivning av byggnad F1

Byggnad	F1
Typ av byggnad	Flerbostadshus
Byggnadens utformning	Specialutformat
Byggår	2010
Klimatzon BBR 19/BBR 22	III/IV
Tempererad area, A_{temp}	2 758 m ²
Antal våningsplan inkl. under mark	2
Energikälla för uppvärmning	Fjärrvärme Luftsolfångare
Ventilationssystem	FTX F i trapphuset
Byggnaden klassas som eluppvärmd?	Nej
Kylsystem	Byggnaden saknar kyla
Har byggnaden solenergi?	Ja, luftsolfångare
Uppmätt normalårskorrigerad specifik energianvändning	44 kWh/m ² år

Alternativt byggnadsutförande och energianvändning

Analysen har resulterat i följande förändringar för att göra om byggnaden till en BBR-byggnad, det vill säga försämra energiprestandan så att byggnadens specifika energianvändning hamnar i nivå med kravet i BBR 19 respektive BBR 22.

Åtgärd 1–3) Ändrat U-värde för klimatskalet

U-värdena för klimatskalet har ändrats genom att minska mängden isolering.

Tabell II: Alternativ utformning av klimatskalet

Åtgärd för byggnad F1	Lågenergibyggnaden	BBR 22	BBR 19
1: Ändrat U-värde för fasad [W/m ² K], typ 1	0,09	0,20	0,26
Ändrat U-värde för fasad [W/m ² K], typ 2	0,09	0,20	0,25
Ändrat U-värde för fasad [W/m ² K], typ 3	0,12	0,20	0,26
2: Ändrat U-värde för tak [W/m ² K]	0,07	0,11	0,14
3: Ändrat U-värde för bottenplatta [W/m ² K]	0,19	0,37	0,37

⁸⁵ I projektet går vi från en byggnad med bra energiprestanda till en byggnad med sämre. När man normalt räknar på energiåtgärder går man från något sämre till något bättre. Då betyder ett positivt nuvärde att förändringen var lönsam. I vårt fall betyder ett negativt nuvärde att det var mer lönsamt att behålla original utförande vilket i analysen betyder byggnaden i sitt lågenergiutförande.

Åtgärd 4) Ändrat U-värde och g-värde för fönster och dörrar
Följande ändringar har gjorts för fönster och dörrar.

Tabell III: Alternativ utformning av fönstren

Åtgärd för byggnad F1	Lågenergibyggnaden	BBR 22	BBR 19
Fönster & Fönsterdörrar	0,9	1,1	1,1
U-värde [W/m²K]	0,38	0,6	0,6
G-värde			
Dörrar	1,3	1,3	1,3
U-värde [W/m²K]			

Påverkan på U_m (U-medelvärde) om åtgärd 1–4 genomförs

Om åtgärd 1–4 genomförs ändras byggnadens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient U_m enligt tabellen nedan:

Tabell IV: Påverkan på genomsnittliga värmegenomgångskoefficient, U_m

	Lågenergibyggnaden	BBR 22-byggnaden	BBR 19-byggnaden
U_m	0,24	0,35	0,39

Åtgärd 5) Ändrad lufttätethet

Huset är tätt med ett uppmätt luftläckage på 0,16 l/s m² (vid 50 Pa).

- För BBR 22 minskas lufttätetheten vilket gör att läckaget ökar till 0,6 l/s m² (vid 50 Pa).
- För BBR 19 minskas lufttätetheten vilket gör att läckaget ökar till 0,6 l/s m² (vid 50 Pa).

Åtgärd 6) Byte av ventilationsaggregatet

Byte till två ventilationsaggregat för LA01 och LA02 med lägre temperaturverkningsgrad, vid balanserat flöde, samt ett högre SFP. Följande värden används:

Tabell V: Alternativ utformning av ventilationsaggregatet

	Lågenergibyggnaden	BBR 22-byggnaden	BBR 19-byggnaden
Temperaturverkningsgrad [%]	81 %	70 %	70 %
SFP [kW/(m³/s)]	1,31	1,67	1,67

Åtgärd 7) Ändring i värmesystemet: Värmedistribution

Byte av värmedistribution från luftvärme till radiatorer då luftvärme har svårt att klara komfortkraven i ett hus med sämre klimatskal. Byggnaden får ett ökat effektbehov för fjärrvärmen på grund av ändringar i klimatskalet. Värmesystemet måste dimensioneras upp för att klara det högre effektbehovet, se åtgärd 8.

Åtgärd 8) Ängar av utrustning för värmeproduktion

Förändringarna av klimatskalet ger ett ökat värmebehov och även solfångaren tas bort. Dock behövs ingen ny värmeväxlare för fjärrvärmens utan den ökade effekten ryms inom nuvarande dimensionering. Endast de ökade värmebehovet för den borttagna solfångaren kommer belasta åtgärden.

Sammanfattat resultat från analysen

Resultatet i specifik energianvändning för lågenergihuset och huset modellerat i två olika BBR-utförande återfinns i tabellen nedan. Utgångspunkten i analysen är att en byggnad klassas som lågenergihus om den har 25 % lägre specifik energianvändning än kravet i BBR. Modellerna som tas fram för byggnaden enligt BBR 22 och BBR 19 motsvarar standardkonstruktioner. När datormodellen skapas behålls grundkonstruktion för byggnaden. Exempel på sådant är mått på fasadens insida, storlek på fönster och typ av tak.

I tabell VI nedan presenteras den specifika energianvändningen enligt BBR för modellen för lågenergibyggnaden samt respektive BBR-byggnad.

Tabell VI: Specifik energianvändning för datormodellerna av byggnad F1

	Specifik energianvändning, [kWh/m ² , år]		U _m (U-medelvärde) [W/m ² K]	
	Resultat	Krav BBR	Resultat	Krav BBR
Projekterad	50	–	–	–
Uppmätt normalårskorrigerat lågenergibyggnaden	44	–	0,24	–
Modell enligt BBR 22	70	75	0,35	0,4
Modell enligt BBR 19	75	90	0,42	0,4

Utifrån uppmätt energianvändning kan byggnaden klassas som ett lågenergihus, vilket för F1 motsvarar en specifik energianvändning på 56,25 kWh/m²och år för BBR 22 och 67,5 kWh/m²och år för BBR 19.

Efter utförda åtgärder i modellen för byggnad F1 är energianvändningen fortfarande lägre än respektive BBR-krav. Det gäller speciellt för BBR 19-utförandet, trots att klimatskalet nästan når ett U_m på 0,4.

Ekonomisk analys: Är lågenergiutförandet mer lönsamt?

Skillnaden i kostnad mellan byggnaden i lågenergiutförandet respektive utförande enligt BBR 19 och BBR 22 visas i tabellen nedan.

Tabell VII: Skillnad i lönsamhet för byggnad F1

	Resultat BBR 22	Resultat BBR 19
Merkostnad i investering för lågenergihuset	723 300 kr	856 100 kr
Kostnad för ökad energianvändning i BBR utförandet	84 245 kr/år	101 274 kr/år
Nettonuvärde (NPV)	–1 196 076 kr	–1 399 644 kr
Mer lönsamt i BBR-utförande	Nej	Nej

För byggnad F1 får vi ett negativt nuvärde⁸⁶ för byggnaden i både BBR 19 och BBR 22 utförande jämfört med i lågenergiutförandet. Det ger att huset, med nuvarande energi-användning, är mer lönsamt att bygga som ett lågenergihus.

Beskrivning av byggnad F4

Byggnad F4 presenteras i *tabell I*, nedan.

Tabell I: Kort beskrivning av byggnad F4

Byggnad	F4
Typ av byggnad	Flerbostadshus
Byggnadens utformning	Specialutformat
Byggår	2007
Klimatzon BBR 19/BBR 22	II
Tempererad area, A_{temp}	3 430 m ²
Antal våningsplan inkl. under mark	12
Energikälla för uppvärmning och varmvatten	Fjärrvärme, Värmepump
Ventilationssystem	Frånluft, med återvinning
Byggnaden klassas som eluppvärmd?	Nej
Kylsystem	Byggnaden saknar kyla
Har byggnaden solenergi?	Nej
Uppmätt normalårskorrigerad specifik energianvändning	60 kWh/m ² år

Alternativt byggnadsutförande och energianvändning

Analysen har resulterat i följande förändringar för att göra om byggnaden till en BBR-byggnad, det vill säga försämla energiprestandan så att byggnadens specifika energianvändning hamnar i nivå med kravet i BBR 19 respektive BBR 22.

Åtgärd 1–3) Ändrat U-värde för klimatskalet

U-värdena för klimatskalet har ändrats genom att minska mängden isolering.

Byggnaden har två olika fasadkonstruktioner och det är endast huvudfasaden som ändras.

Tabell II: Alternativ utformning av klimatskalet

Åtgärd för byggnad F4	Lågenergibyggnaden	BBR 22	BBR 19
1: Ändrat U-värde [W/m ² K]	0,11	0,16	0,23
2: Ändrat U-värde för tak [W/m ² K]	0,05	0,14	0,21
3: Ändrat U-värde för bottenplatta [W/m ² K]	0,12	0,18	0,23

⁸⁶ I projektet går vi från en byggnad med bra energiprestanda till en byggnad med sämre. När man normalt räknar på energiåtgärder går man från något sämre till något bättre. Då betyder ett positivt nuvärde att förändringen var lönsam. I vårt fall betyder ett negativt nuvärde att det var mer lönsamt att behålla original utförande vilket i analysen betyder byggnaden i sitt lågenergiutförande.

Åtgärd 4) Ändrat U-värde och g-värde för fönster och dörrar
Följande ändringar har gjorts för fönster och dörrar.

Tabell III: Alternativ utformning av fönstren

Åtgärd för byggnad F4	Lågenergibygnaden	BBR 22-byggnaden	BBR 19-byggnaden
<i>Fönster & Fönsterdörrar</i>			
U-värde [W/m ² K]	0,96 till 1,13	1,1	1,5
G-värde	Medel 0,56	0,6	0,6
<i>Glasdörrar</i>			
U-värde [W/m ² K]	1,13	1,1	1,5

Då den verkliga byggnaden har en majoritet av dåliga fönster kommer byggnaden i BBR 22-utförande ha bättre fönster med ett lägre U-värde.

Påverkan på U_m (U-medelvärde) om åtgärd 1–4 genomförs

Om åtgärd 1–4 genomförs ändras byggnadens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient U_m enligt tabellen nedan:

Tabell IV: Påverkan på genomsnittliga värmegenomgångskoefficient, U_m

	Lågenergibygnaden	BBR 22-byggnaden	BBR 19-byggnaden
U_m	0,24	0,29	0,39

Åtgärd 5) Ändrad lufttätethet

Huset är relativt tätt med ett uppmätt luftläckage på 0,13 l/s m² (vid 50 Pa).

- För BBR 22 minskas lufttätetheten vilket gör att läckaget ökar till 0,6 l/s m² (vid 50 Pa).
- För BBR 19 minskas lufttätetheten vilket gör att läckaget ökar till 0,6 l/s m² (vid 50 Pa).

Åtgärd 6) Byte av ventilationsaggregatet

Byte från det specialdesignade FX-systemet till ett traditionellt FTX ventilationsaggregat med plattvärmväxlare. Följande värden används:

Tabell V: Alternativ utformning av ventilationsaggregatet

	Lågenergibygnaden	BBR 22-byggnaden	BBR 19-byggnaden
Temperaturverkningsgrad [%]	50	70	70
SFP [kW/(m ³ /s)]	1,5	2	2

Åtgärd 7) Ändring i värmesystemet: Värmedistribution

Byte av värmedistribution från luftvärme med golvvärme till ett traditionellt radiatorsystem, då dagens system har svårt att klara komfortkraven i ett hus med sämre klimatskal. Byggnaden får ett ökat effektbehov för fjärrvärmen på grund av ändringar i klimatskalet. Värmesystemet måste dimensioneras upp för att klara det högre effektbehovet, se nedan.

Åtgärd 8) Ändringar av utrustning för varmvattenproduktion

Värmepumpen för produktion av varmvatten tas bort och ersätts med en ny värmeväxlare kopplad till fjärrvärmesystemet. Verkningsgraden för varmvatten sätts till 0,98.

Ändringar av utrustning för värmeproduktion

Förändringarna av klimatskalet ger ett ökat värmebehov. Dock behövs ingen ny värmeväxlare för fjärrvärmesystemet utan den ökade effekten ryms inom nuvarande dimensionering.

Sammanfattat resultat från analysen

Resultatet i specifik energianvändning för lågenergihuset och huset modellerat i två olika BBR-utförande återfinns i tabellen nedan. Utgångspunkten i analysen är att en byggnad klassas som lågenergihus om den har 25 % lägre specifik energianvändning än kravet i BBR. Modellerna som tas fram för byggnaden enligt BBR 22 och BBR 19 motsvarar standardkonstruktioner. När datormodellen skapas behålls grundkonstruktion för byggnaden. Exempel på sådant är mått på fasadens insida, storlek på fönster och typ av tak.

I *tabell VI* nedan presenteras den specifika energianvändningen enligt BBR för modellen för lågenergibyggnaden samt respektive BBR-byggnad.

Tabell VI: Specifik energianvändning för datormodellerna av byggnad F4

	Specifik energianvändning [kWh/m ² , år]		U _m (U-medelvärde) [W/m ² K]	
	Resultat	Krav BBR	Resultat	Krav BBR
Projekterad	52	–	–	–
Uppmätt normalårskorrigerad lågenergibyggnaden	60	–	0,24	–
Modell enligt BBR 22	78	100	0,29	0,4
Modell enligt BBR 19	87	110	0,39	0,4

Utifrån uppmätt energianvändning kan byggnaden klassas som ett lågenergihus, vilket för F4 motsvarar en specifik energianvändning på 75 kWh/m²och år för BBR 22 och 82,5 kWh/m²och år för BBR 19.

Efter utförda åtgärder i modellen för byggnad F4 är energianvändningen fortfarande lägre än respektive BBR-krav. Ventilationen skulle kunna ersättas med ett F-system med frånluftsvärmepump för att komma närmare BBR-kraven.

Ekonomisk analys: Är lågenergiutförandet mer lönsamt?

Skillnaden i kostnad mellan byggnaden i lågenergiutförandet respektive utförande enligt BBR 19 och BBR 22 visas i tabellen nedan.

Tabell VII: Skillnad i lönsamhet för byggnad F4

	Resultat BBR 22	Resultat BBR 19
Merkostnad i investering för lågenergihuset	189 800 kr	751 100 kr
Kostnad för ökad energianvändning i BBR-utförandet	75 400 kr/år	109 748 kr/år
Nettonuvärde (NPV)	–1 598 040 kr	–1478 230 kr
Mer lönsamt i BBR-utförande	Nej	Nej

För byggnad F4 får vi ett negativt nuvärde⁸⁷ för byggnaden i både BBR 19 och BBR 22 utförande jämfört med lågenergiutförandet. Det ger att huset, med nuvarande energi-användning, är mer lönsamt att bygga som ett lågenergihus.

Beskrivning av byggnad F9

Byggnad F9 är ett flerbostadshus bestående av två huskroppar, benämns nedan som Hus A och Hus B. Byggnaden presenteras i *tabell I*, nedan.

Tabell I: Kort beskrivning av byggnad F9

Byggnad	F9
Typ av byggnad	Flerbostadshus
Byggnadens utformning	Specialutformat
Byggår	2009
Klimatzon BBR 19/BBR 22	III
Tempererad area, A_{temp}	Hus A: 3140 m ² Hus B: 2574 m ²
Antal våningsplan inkl. under mark	8
Energikälla för uppvärmning och varmvatten	Fjärrvärme
Ventilationssystem	FTX
Byggnaden klassas som eluppvärmd?	Nej
Kylsystem	Byggnaden saknar kyla
Har byggnaden solenergi?	Nej
Uppmätt normalårskorrigerad specifik energianvändning	40 kWh/m ² år

Alternativt byggnadsutförande och energianvändning

Analysen har resulterat i följande förändringar för att göra om byggnaden till en BBR-byggnad, det vill säga försämra energiprestandan så att byggnadens specifika energi-användning hamnar i nivå med kravet i BBR 19 respektive BBR 22.

Åtgärd 1–3) Ändrat U-värde för klimatskalet

U-värdena för klimatskalet har ändrats genom att minska mängden isolering. Byggnaden har två olika fasadkonstruktioner.

Tabell II: Alternativ utformning av klimatskalet

Åtgärd för byggnad F9	Lågenergibyggnaden	BBR 22	BBR 19
1: Ändrat U-värde för fasad 1 [W/m ² K]	0,11	0,18	0,21
Ändrat U-värde för fasad 2 [W/m ² K]	0,11	0,23	0,25
2: Ändrat U-värde för tak [W/m ² K]	0,10	0,16	0,18
3: Ändrat U-värde för bottenplatta [W/m ² K]	0,12	0,14	0,17

⁸⁷ I projektet går vi från en byggnad med bra energiprestanda till en byggnad med sämre. När man normalt räknar på energiåtgärder går man från något sämre till något bättre. Då betyder ett positivt nuvärde att förändringen var lönsam. I vårt fall betyder ett negativt nuvärde att det var mer lönsamt att behålla original utförande vilket i analysen betyder byggnaden i sitt lågenergiutförande.

Åtgärd 4) Ändrat U-värde och g-värde för fönster och dörrar
Följande ändringar har gjorts för fönster och dörrar.

Tabell III: Alternativ utformning av fönstren

Åtgärd för byggnad F9	Lågenergibygnaden	BBR 22	BBR 19
<i>Fönster & Fönsterdörrar</i>			
U-värde [W/m ² K]	1	1,1	1,5
G-värde	0,31	0,6	0,6
<i>Dörrar</i>			
U-värde [W/m ² K]	1	1,1	1,5

Påverkan på U_m (U-medelvärde) om åtgärd 1–4 genomförs

Om åtgärd 1–4 genomförs ändras byggnadens genomsnittliga värmegenomgångs-koefficient U_m enligt tabellen nedan:

Tabell IV: Påverkan på genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, U_m

	Lågenergibygnaden	BBR 22-byggnaden	BBR 19-byggnaden
U_m , Hus A	0,21	0,29	0,36
U_m , Hus B	0,22	0,30	0,36

Åtgärd 5) Ändrad lufttätethet

Båda husen är relativt täta med ett uppmätt luftläckage på 0,15 l/s m² (vid 50 Pa).

- För BBR 22 minskas lufttätetheten vilket gör att läckaget ökar till 0,5 l/s m² (vid 50 Pa).
- För BBR 19 minskas lufttätetheten vilket gör att läckaget ökar till 0,6 l/s m² (vid 50 Pa).

Åtgärd 6) Byte av ventilationsaggregatet

Byte till ett ventilationsaggregat med lägre temperaturverkningsgrad, vid balanserat flöde, samt ett högre SFP. Följande värden används:

Tabell V: Alternativ utformning av ventilationsaggregatet

	Lågenergibygnaden	BBR 22-byggnaden	BBR 19-byggnaden
Temperaturverkningsgrad [%]	83	70	70
SFP [kW/(m ³ /s)]	Hus A: 1,86 kW/(m ³ /s) Hus B: 1,7 kW/(m ³ /s)	2	2

Även typ av värmeväxlare ändras från roterande till plattvärmväxlare för att bättre passa den lägre temperaturverkningsgraden.

Åtgärd 7) Ändring i värmesystemet: Varmvatten

Den individuella mätningen på tappvarmvattnet tas bort. Varmvattenanvändningen ökas upp till schablonvärdet på 25 kWh/m², år.

Åtgärd 8) Ändring i värmesystemet: Värmedistribution

Byte av värmedistribution från luftvärme till radiatorer då luftvärme har svårt att klara komfortkraven i ett hus med sämre klimatskal. Byggnaden får ett ökat effektbehov för fjärrvärmen på grund av ändringar i klimatskalet. Värmesystemet måste dimensioneras upp för att klara det högre effektbehovet, se nedan.

Åtgärd 9) Ändring i värmesystemet: Ingen avloppsvärmeväxlare

Lågenergibygnaden har en värmeväxlare för att återvinna värme ur avloppsvattnet. Åtgärden innebär ingen energipåverkan då värmeväxlare inte är i drift.

Ändringar av utrustning för värmeproduktion

Förändringarna av klimatskalet ger ett ökat värmebehov. Dock behövs ingen ny värmeväxlare för fjärrvärmen utan den ökade effekten ryms inom nuvarande dimensionering.

Sammanfattat resultat från analysen

Resultatet i specifik energianvändning för lågenergihuset och huset modellerat i två olika BBR-utförande återfinns i tabellen nedan. Utgångspunkten i analysen är att en byggnad klassas som lågenergihus om den har 25 % lägre specifik energianvändning än kravet i BBR. Modellerna som tas fram för byggnaden enligt BBR 22 och BBR 19 motsvarar standardkonstruktioner. När datormodellen skapas behålls grundkonstruktion för byggnaden. Exempel på sådant är mått på fasadens insida, storlek på fönster och typ av tak.

I tabell VI nedan presenteras den specifika energianvändningen enligt BBR för modellen för lågenergibygnaden samt respektive BBR-byggnad.

Tabell VI: Specifik energianvändning för datormodellerna av byggnad F9

	Specifik energianvändning, [kWh/m ² år]		U _m (U-medelvärde) [W/m ² K]		
	Resultat	Krav BBR	Resultat Hus A	Resultat Hus B	Krav BBR
Projekterad	41	–	–	–	–
Uppmätt normalårskorrigerad lågenergibygnaden	40	–	0,21	0,22	–
Modell enligt BBR 22	61	80	0,29	0,30	0,4
Modell enligt BBR 19	70	90	0,36	0,36	0,4

Utifrån uppmätt energianvändning kan byggnaden klassas som ett lågenergihus, vilket för F9 motsvarar en specifik energianvändning på 60 kWh/m²och år för BBR 22 och 60,7 kWh/m²och år för BBR 19.

Efter utförda åtgärder i modellen för byggnad F9 är energianvändningen fortfarande lägre än respektive BBR-krav. Ventilationen skulle kunna ersättas med ett F-system med frånluftsvärmepump för att nå lite längre.

Ekonomisk analys: Är lågenergiutförandet mer lönsamt?

Skillnaden i kostnad mellan byggnaden i lågenergiutförandet respektive utförande enligt BBR 19 och BBR 22 visas i tabellen nedan.

Tabell VII: Skillnad i lönsamhet för byggnad F9

	Resultat BBR 22	Resultat BBR 19
Merkostnad i investering för lågenergihuset	161 800 kr	1 100 500 kr
Kostnad för ökad energianvändning i BBR utförandet	143 220 kr/år	207 090 kr/år
Nettonuvärde (NPV)	-3 736 220 kr	-4 062 500 kr
Mer lönsamt i BBR-utförande	Nej	Nej

För byggnad F9 får vi ett negativt nuvärde⁸⁸ för byggnaden i både BBR 19 och BBR 22 utförande jämfört med lågenergiutförandet. Det ger att huset, med nuvarande energi-användning, är mer lönsamt att bygga som ett lågenergihus.

Beskrivning av byggnad F10

Byggnad F10 presenteras i *tabell I*, nedan.

Tabell I: Kort beskrivning av byggnad F10

Byggnad	F10
Typ av byggnad	Flerbostadshus
Byggnadens utformning	Passivhus
Byggår	2006
Klimatzon BBR 19/BBR 22	III
Tempererad area, A_{temp}	781 m ²
Antal våningsplan inkl. under mark	3
Energikälla för uppvärmning och varmvatten	El-batteri
Ventilationssystem	FTX
Byggnaden klassas som eluppvärmd?	Ja
Kylsystem	Byggnaden saknar kyla
Har byggnaden solenergi?	Ja, solfångare
Uppmätt normalårskorrigerad specifik energianvändning	35 kWh/m ² år

Alternativt byggnadsutförande och energianvändning

Analysen har resulterat i följande förändringar för att göra om byggnaden till en BBR-byggnad, det vill säga försäkra energiprestandan så att byggnadens specifika energi-användning hamnar i nivå med kravet i BBR 19 respektive BBR 22.

⁸⁸ I projektet går vi från en byggnad med bra energiprestanda till en byggnad med sämre. När man normalt räknar på energiåtgärder går man från något sämre till något bättre. Då betyder ett positivt nuvärde att förändringen var lönsam. I vårt fall betyder ett negativt nuvärde att det var mer lönsamt att behålla original utförande vilket i analysen betyder byggnaden i sitt lågenergiutförande.

Åtgärd 1–3) Ändrat U-värde för klimatskalet

U-värdena för klimatskalet har ändrats genom att minska mängden isolering. Byggnaden har två olika fasadtyper.

Tabell II: Alternativ utformning av klimatskalet

Åtgärd för byggnad F10	Lågenergibygnaden	BBR 22	BBR 19
1: Ändrat U-värde [W/m ² K] träfasad	0,11	0,22	0,27
Ändrat U-värde [W/m ² K] fibercement fasad	0,11	0,22	0,27
2: Ändrat U-värde för tak [W/m ² K]	0,08	0,16	0,20
3: Ändrat U-värde för bottenplatta [W/m ² K]	0,09	0,13	0,20

Åtgärd 4) Ändrat U-värde och g-värde för fönster och dörrar

Följande ändringar har gjorts för fönster och dörrar.

Tabell III: Alternativ utformning av fönstren

Åtgärd för byggnad F10	Lågenergibygnaden	BBR 22	BBR 19
<i>Fönster & Fönsterdörrar</i>			
U-värde [W/m ² K]	0,9 till 1,0	1,1	1,5
G-värde	0,55	0,6	0,6
<i>Dörrar</i>			
U-värde [W/m ² K]	0,6	1,1	1,1

Påverkan på U_m (U-medelvärde) om åtgärd 1–4 genomförs

Om åtgärd 1–4 genomförs ändras byggnadens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient U_m enligt tabellen nedan:

Tabell IV: Påverkan på genomsnittliga värmegenomgångskoefficient, U_m

	Lågenergibygnaden	BBR 22-byggnaden	BBR 19-byggnaden
U_m	0,17	0,21	0,32

Åtgärd 5) Ändrad lufttätethet

Huset är tätt med ett uppmätt luftläckage på 0,2 l/s m² (vid 50 Pa).

- För BBR 22 minskas lufttätetheten vilket gör att läckaget ökar till 0,5 l/s m² (vid 50 Pa).
- För BBR 19 minskas lufttätetheten vilket gör att läckaget ökar till 0,6 l/s m² (vid 50 Pa).

Åtgärd 6) Byte av ventilationsaggregatet

Byte till ett frånluftsaggregat. SFP ändras till 1 och ett luftflöde på 280 l/s behålls.

Åtgärd 7) Ändring i värmesystemet: Värmedistribution

Byte av värmedistribution från luftvärme till vattenburet system med radiatorer, då luftvärme har svårt att klara komfortkraven i ett hus med sämre klimatskal. Byggnaden får ett ökat effektbehov för värmen på grund av ändringar i klimatskalet. Värmesystemet måste dimensioneras upp för att klara det högre effektbehovet, se åtgärd 8.

Åtgärd 8) Ändringar av värmeproduktionen

Förändringarna av klimatskalet ger ett ökat värmebehov. Nuvarande system kommer inte längre kunna producera tillräckligt med värme för att klara komfortkraven. Även solfångaren tas bort. För att producera tillräckligt med värme och varmvatten installeras en bergvärmepump med följande specifikationer:

Tabell V: Specifikationer för vald värmepump

	Lågenergibyggnaden	BBR 22-byggnaden	BBR 19-byggnaden
COP	–	3	3
Värmeeffekt [kW]	–	12	13,5
Täckning av energibehovet [%]	–	85	85

Sammanfattat resultat från analysen

Resultatet i specifik energianvändning för lågenergihuset och huset modellerat i två olika BBR-utförande återfinns i tabellen nedan. Utgångspunkten i analysen är att en byggnad klassas som lågenergihus om den har 25 % lägre specifik energianvändning än kravet i BBR. Modellerna som tas fram för byggnaden enligt BBR 22 och BBR 19 motsvarar standardkonstruktioner. När datormodellen skapas behålls grundkonstruktion för byggnaden. Exempel på sådant är mått på fasadens insida, storlek på fönster och typ av tak.

I *tabell VI* nedan presenteras den specifika energianvändningen enligt BBR för modellen för lågenergibyggnaden samt respektive BBR-byggnad.

Tabell VI: Specifik energianvändning för datormodellerna av byggnad F10

	Specifik energianvändning, [kWh/m ² år]		U _m (U-medelvärde) [W/m ² K]	
	Resultat	Krav BBR	Resultat	Krav BBR
Projekterad	28	–	–	–
Uppmätt normalårskorrigerad lågenergibyggnaden	35	–	0,17	–
Modell enligt BBR 22	49	50	0,21	0,4
Modell enligt BBR 19	55	55	0,32	0,4

Utifrån uppmätt energianvändning kan byggnaden klassas som ett lågenergihus, vilket för F10 motsvarar en specifik energianvändning på 37,5 kWh/m²och år för BBR 22 och 41,25 kWh/m²och år för BBR 19.

Ekonomisk analys: Är lågenergiutförandet mer lönsamt?

Skillnaden i kostnad mellan byggnaden i lågenergiutförandet respektive utförande enligt BBR 19 och BBR 22 visas i tabellen nedan.

Tabell VII: Skillnad i lönsamhet för byggnad F10

	Resultat BBR 22	Resultat BBR 19
Merkostnad i investering för lågenergihuset	153 350 kr	289 250 kr
Kostnad för ökad energianvändning i BBR utförandet	14 210 kr/år	19 830 kr/år
Nettonuvärde (NPV)	-246 130 kr	-221 540 kr
Mer lönsamt i BBR-utförande	Nej	Nej

För byggnad F10 får vi ett negativt nuvärde⁸⁹ för byggnaden i både BBR 19 och BBR 22 utförande jämfört med i lågenergiutförandet. Det ger att huset, med nuvarande energianvändning, är mer lönsamt att bygga som ett lågenergihus.

Beskrivning av byggnad F11

Byggnad F11 presenteras i *tabell I*, nedan. Golvvärmen på plan 1 har på grund av ett fel inte kunnat regleras. Innan analysen utförs justeras grundmodellen med en lägre inomhustemperatur.

Tabell I: Kort beskrivning av byggnad F11

Byggnad	F11
Typ av byggnad	Flerbostadshus
Byggnadens utformning	Passivhus
Byggår	2010
Klimatzon BBR 19/BBR 22	I
Tempererad area, A_{temp}	938 m ²
Antal våningsplan inkl. under mark	2
Energikälla för uppvärmning	Fjärrvärme och el
Ventilationssystem	FTX
Byggnaden klassas som eluppvärmd?	Nej
Kylsystem	Byggnaden saknar kyla
Har byggnaden solenergi?	Nej
Uppmätt normalårskorrigerad specifik energianvändning	99 kWh/m ² år
Justerad specifik energianvändning för modellen	85 kWh/m ² år

⁸⁹ I projektet går vi från en byggnad med bra energiprestanda till en byggnad med sämre. När man normalt räknar på energiåtgärder går man från något sämre till något bättre. Då betyder ett positivt nuvärde att förändringen var lönsam. I vårt fall betyder ett negativt nuvärde att det var mer lönsamt att behålla original utförande vilket i analysen betyder byggnaden i sitt lågenergiutförande.

Alternativt byggnadsutförande och energianvändning

Analysen har resulterat i följande förändringar för att göra om byggnaden till en BBR-byggnad, det vill säga försäkra energiprestandan så att byggnadens specifika energianvändning hamnar i nivå med kravet i BBR 19 respektive BBR 22.

Åtgärd 1–3) Ändrat U-värde för klimatskalet

U-värdena för klimatskalet har ändrats genom att minska mängden isolering.

Tabell II: Alternativ utformning av klimatskalet

Åtgärd för byggnad F11	Lågenergibygnaden	BBR 22	BBR 19
1: Ändrat U-värde för fasad [W/m ² K]	0,13	0,22	0,27
2: Ändrat U-värde för tak [W/m ² K]	0,08	0,13	0,19
3: Ändrat U-värde för bottenplatta [W/m ² K]	0,13	0,17	0,23

Åtgärd 4) Ändrat U-värde och g-värde för fönster och dörrar

Följande ändringar har gjorts för fönster och dörrar.

Tabell III: Alternativ utformning av fönstren

Åtgärd för byggnad F11	Lågenergibygnaden	BBR 22	BBR 19
<i>Fönster & Fönsterdörrar</i>			
U-värde [W/m ² K]	1,2 till 1,6	1,1	1,5
G-värde	0,65	0,6	0,6
<i>Dörrar</i>			
U-värde [W/m ² K]	1,3 till 1,4	1,1	1,5

Då den verkliga byggnaden har dåliga fönster kommer byggnaden i BBR 22-utförande ha bättre fönster med ett lägre U-värde.

Påverkan på U_m (U-medelvärde) om åtgärd 1–4 genomförs

Om åtgärd 1–4 genomförs ändras byggnadens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient, U_m enligt tabellen nedan:

Tabell IV: Påverkan på genomsnittliga värmegenomgångskoefficient, U_m

	Lågenergibygnaden	BBR 22-byggnaden	BBR 19-byggnaden
U_m	0,21	0,24	0,31

Åtgärd 5) Byte av ventilationsaggregatet

Byte till ett ventilationsaggregat med lägre temperaturverkningsgrad, vid balanserat flöde, samt ett högre SFP. Följande värden används:

Tabell V: Alternativ utformning av ventilationsaggregatet

	Lågenergibygnaden	BBR 22-byggnaden	BBR 19-byggnaden
Temperaturverkningsgrad [%]	80	70	70
SFP Värde [kW/(m³/s)]	1	2	2

Även typ av värmeväxlare ändras från roterande till plattvärmeväxlare för att bättre passa den lägre temperaturverkningsgraden.

Åtgärd 6) Ändring i värmesystemet: Värmedistribution

Byte av värmedistribution från golvvärme till radiatorer på plan 1. Åtgärden får ingen energipåverkan.

Ändringar av värmeproduktion

Förändringarna av klimatskalet ger ett ökat värmebehov. Dock behövs ingen ny värmewäxlare för fjärrvärmen utan den ökade effekten ryms inom nuvarande dimensionering.

Sammanfattat resultat från analysen

Resultatet i specifik energianvändning för lågenergihuset och huset modellerat i två olika BBR-utföranden återfinns i tabellen nedan. Utgångspunkten i analysen är att en byggnad klassas som lågenergihus om den har 25 % lägre specifik energianvändning än kravet i BBR. Modellerna som tas fram för byggnaden enligt BBR 22 och BBR 19 motsvarar standardkonstruktioner. När datormodellen skapas behålls grundkonstruktion för byggnaden. Exempel på sådant är mått på fasadens insida, storlek på fönster och typ av tak.

I *tabell VI* nedan presenteras den specifika energianvändningen enligt BBR för modellen för lågenergibygnaden samt respektive BBR-byggnad.

Tabell VI: Specifik energianvändning för datormodellerna av byggnad F11

	Specifik energianvändning, [kWh/m², år]		U _m (U-medelvärde) [W/m²K]	
	Resultat	Krav BBR	Resultat	Krav BBR
Projekterad energianvändning	68,5	–	–	–
Justerad modell lågenergibygnaden	85	–	0,21	–
Modell enligt BBR 22	101	115	0,24	0,4
Modell enligt BBR 19	118	130	0,31	0,4

Utifrån uppmätt energianvändning är byggnaden på gränsen att klassas som ett lågenergihus, enligt BBR 22 vilket för F11 motsvarar en specifik energianvändning på 86,25 kWh/m² och år, men klarar kraven enligt BBR 19 på 97,5 kWh/m² och år.

Efter utförda åtgärder i modellen för byggnad F11 är energianvändningen fortfarande lägre än respektive BBR-krav. Ventilationen skulle kunna ersättas med ett F-system för att nå lite längre.

Ekonomisk analys: Är lågenergiutförandet mer lönsamt?

Skillnaden i kostnad mellan byggnaden i lågenergiutförandet respektive utförande enligt BBR 19 och BBR 22 visas i tabellen nedan.

Tabell VII: Skillnad i lönsamhet för byggnad F11

	Resultat BBR 22	Resultat BBR 19
Merkostnad i investering för lågenergihuset	335 700 kr	661 000 kr
Kostnad för ökad energianvändning i BBR utförandet	18 700 kr/år	37 040 kr/år
Nettonuvärde (NPV)	-23 737 kr	-61 662 kr
Mer lönsamt i BBR-utförande	Nej	Nej

För byggnad F11 får vi ett negativt nuvärde⁹⁰ för byggnaden i både BBR 19 och BBR 22 utförande jämfört med i lågenergiutförandet. Det ger att huset, med nuvarande energianvändning, är mer lönsamt att bygga som ett lågenergihus.

⁹⁰ I projektet går vi från en byggnad med bra energiprestanda till en byggnad med sämre. När man normalt räknar på energiåtgärder går man från något sämre till något bättre. Då betyder ett positivt nuvärde att förändringen var lönsam. I vårt fall betyder ett negativt nuvärde att det var mer lönsamt att behålla originalutförande vilket i analysen betyder byggnaden i sitt lågenergiutförande.



Energimyndigheten, Box 310, 631 04 Eskilstuna

Telefon 016-544 20 00, Fax 016-544 20 99

E-post registrator@energimyndigheten.se

www.energimyndigheten.se