Beställt av
Energimyndigheten

Utfört av
Åsa Wahlström och Mari-Liis Maripuu

Datum
2020-12-30

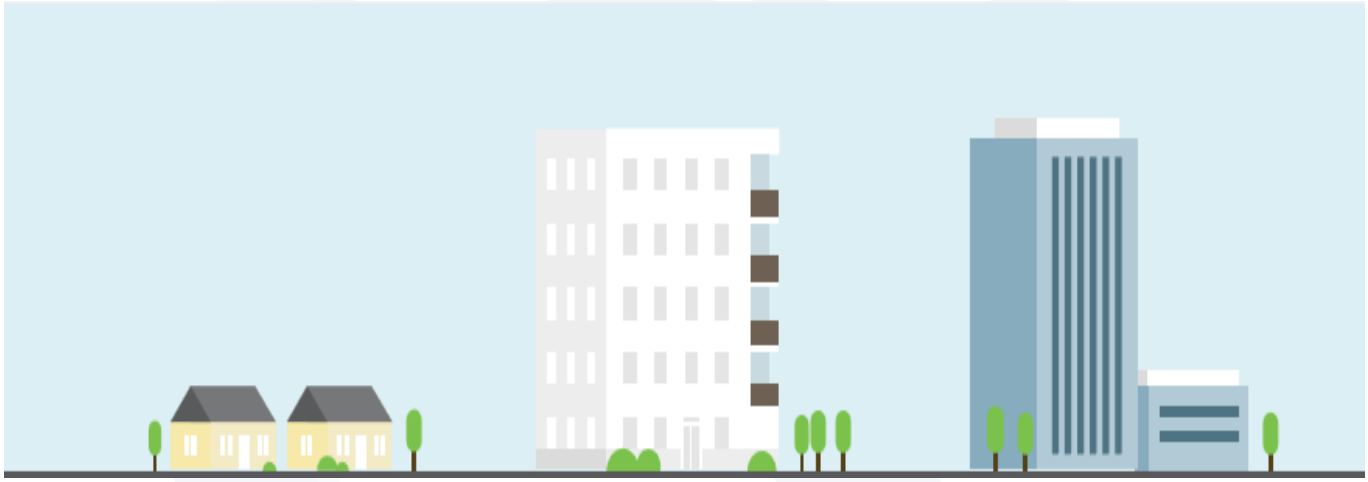


Illustration: Energilyftet

Kompletterande energikrav i byggregler

Förord

I det här projektet har beräkningar genomförts för typbyggnader av småhus, flerbostadshus, kontor och skolor för att analysera vilka alternativ som skulle vara lämpliga att använda som kompletterande krav till huvudkravet på primärenergital i BBR29. Utgångspunkten är att säkerställa att byggnader uppförs med goda egenskapskrav när det gäller byggnadens klimatskärm. Utredningen avser att undersöka möjligheter med, och identifiera konsekvenser av, de olika förslagen på kompletterande krav.

Projektet har genomförts under hösten 2019 fram tills hösten 2020. Planering och analys av beräkningar har genomförts av Åsa Wahlström och Mari-Liis Maripuu på CIT Energy Management. Beräkningar har genomförts av Mari-Liis Maripuu, CIT Energy Management.

Arbetet har diskuterats löpnade med Tomas Berggren och Sara Akkurt hos beställaren Energimyndigheten och Lin Liljefors och Emma Svensson från Boverket. Utöver det har synpunkter inhämtats från branschen genom intervjuer och arbetsseminarier.

Åsa Wahlström
Göteborgden 30 december 2020

Sammanfattning

Den 11 juni 2020 fick Boverket ett regeringsuppdrag att i samverkan med Energimyndigheten ta fram förslag om hur ett kompletterande krav som utgår ifrån byggnadens energibehov, dvs. använd energi, ska utformas med beaktande av samhällsekonomiska konsekvenser. Vidare ska eventuellt behov av att komplettera byggreglerna med ett krav på solvärmlast utredas. Föreliggande utredning avser att ge ett underlag till ovanstående regeringsuppdrag.

Det finns flera sätt att ställa kompletterande krav. Föreliggande utredning har analyserat vilka alternativ som skulle vara lämpliga att använda som kompletterande krav till huvudkravet på primärenergital i BBR29. Utgångspunkten är att säkerställa att byggnader uppförs med goda egenskapskrav när det gäller byggnadens klimatskärm så att en god energihushållning kan upprätthållas under byggnadens hela livslängd trots ändring av installationssystem eller verksamhet. De kompletterande kraven behöver säkerställa att klimatskärmen har en god isoleringsförmåga, minimalt med köldbryggor, en god lufttäthet och att fönster är orienterade för att kunna nyttja passiv solvärme samtidigt som de är avskärmade så att inte övertemperaturer eller ett högt kylbehov uppstår sommartid. Syftet är att minimera energiförluster, dvs. att byggnadens energibehov blir låg. Därav är det också av vikt att minimera ventilationsförluster.

Som alternativ till genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, U_m, har följande kompletterande krav identifierats och analyserats:

- nettoenergi (använd energi),
- nettovärme för uppvärmning,
- värmeförlusttal och
- värmeeffektbehov.

Vidare har ett komplement med krav på solvärmelast analyserats. Föreliggande utredning har enbart analyserat lämplighet av de olika alternativen och ger inga förslag på gränsvärden eller nivåer som kan vara lämpliga i förhållande till kravnivåer på primärenergital.

För att säkerställa att de kompletterande kraven kommer att fungera på önskat sätt och för att undersöka möjligheter med, och identifiera konsekvenser av, de olika förslagen har beräkningar genomförts för fyra olika byggnadskategorier: småhus, flerbostadshus, skola och kontor.

Typbyggnader i originalfallet utformades utifrån vanligt förekommande konstruktioner, geometrier och planlösningar så att BBR29 krav på primärenergitalet och genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U_m) precis uppfylls. Från typbyggnaden (dvs. originalfallet) i varje byggnadskategori har två ytterligare varianter utformats. En så

kallad lågenergibyggnad med bättre U-värde på byggdelar, bättre täthet och bättre värmeåtervinning jämfört med originalfallet. Den andra varianten är en förändring av byggnadens formfaktor men med samma tempererade area (A_{temp}) och samma U-värden på byggnadsdelar. Därmed har totalt 12 typbyggnader analyserats för fyra olika orter: Linköping, Malmö, Östersund och Gällivare.

Nettoenergi

Nettoenergi är den energi som direkt avges från de tekniska systemen i byggnaden för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och apparater utöver det energitillskott som sker med passiv solinstrålning och interna värmetillskott från personer.

Fördelen med nettoenergi är att den tar hänsyn till alla egenskaper i byggnadens som påverkar energianvändningen oavsett vilket tekniskt system som tillgodoser behovet. Nettoenergi tar hänsyn till både värme- och kylbehov i byggnaden.

Beräkningar med olika typbyggnader visar att minskade värmeförluster genom klimatskärm, infiltration och ventilation kan spara upp till ca 32 % av den totala nettoenergin beroende på byggnadstyp och ort. Styrning mot minskade energiförluster med hjälp av nettoenergi ger större påverkan i bostäder och skolbyggnader jämfört med exempelvis i kontorslokaler. Kontorslokaler har ofta ett betydande kylbehov på grund av höga interna laster vilket innebär att klimatskärmsåtgärder minskar värmebehovet samtidigt som kylbehovet ökar och balanserar ut den totala nettoenergibesparingen.

En nackdel med nettoenergi är att den kräver extra mätare vid verifiering. Jämförelse med primärenergitalet för typbyggnader visar att åtgärder som minskar värmeförluster genom klimatskärmen, infiltration och ventilation ändrar primärenergitalet procentuellt nästan lika mycket som nettoenergin. Ett kompletterande krav uttryckt i nettoenergi kommer därmed inte att bidra till någon extra nytta jämfört med primärenergitalet.

Nettovärme

Byggnadens nettovärme är den energi som direkt avges av byggnadens uppvärmningssystem för att täcka upp för värmeförluster genom byggnadens klimatskärm, luftläckage genom fasad och ventilationsförluster via frånluft.

Fördelen med nettovärme är att den tar hänsyn till alla egenskaper i byggnadens som påverkar byggnadens värmebehov oavsett vilket tekniskt system som tillgodoser behovet. Olika åtgärder har större procentuell påverkan på indikatorn nettovärme jämfört med nettoenergi, vilket gör att även små åtgärder får ett tydligt utslag. Beräkningar med olika typbyggnader visar att bättre klimatskärm, täthet och värmeåtervinning minskar nettovärme för uppvärmning med upp till 63 % beroende på byggnadstyp och ort. Nettovärme tar också hänsyn till byggnadens orientering och

form. Särskilt i småhus har byggnadens form en betydande påverkan på nettovärmebehov.

Nackdelen är att krav på nettovärme inte beaktar att byggnader kan få ett ökat behov av komfortkyla. Till exempel leder bättre klimatskärm och täthet i typkontoret till en minskad nettovärme på upp till 40 %. Samtidigt ökar kylbehovet. Verifieringen kan också bli mer komplicerad eftersom det är distribuerad värme behöver mätas utöver levererad energi.

Värmeeffektbehov och värmeförlusttal

Både värmeeffektbehov (Miljöbyggnad) och värmeförlusttal (Feby) baseras på samma grundförutsättning, det totala värmeeffektbehovet som byggnaden har under årets kallaste dag under ett normalår. Den största skillnaden mellan de två metoderna är att värmeeffektbehovet anges per omslutande area, A_{om} och värmeförlusttalet per tempererade area, A_{temp}.

Fördelen med värmeeffektbehov och värmeförlusttal är dess direkta koppling till byggnadens värmeförluster med isolering, köldbryggor, täthet och ventilationsförluster. Låga värmeförluster innebär låg energianvändning oavsett typ av uppvärmningssystem. Beräkningar med olika typbyggnader visar att lågenergibyggnader, med förbättrad konstruktion, täthet och temperaturverkningsgrad för värmeåtervinning minskar värmeeffektbehovet och värmeförlusttalet med ca 31 – 37 % beroende av byggnadskategori. Värmeeffektbehov fungerar bra för större byggnader medan värmeförlusttalet fungerar bra för små byggnader och det är därmed svårt att uttrycka kraven på samma sätt för alla byggnadskategorier.

En annan fördel är att betygskriterier för nyproducerade hus är väl utvecklade både för värmeeffektbehov enligt Miljöbyggnad och för värmeförlusttal enligt Feby. En nackdel med båda metoderna är att de inte tar hänsyn till kylbehovet som förekommer i lokalfastigheter. Ett lågt värmeeffektbehov i byggnaden kan innebära ett ökat kylbehov. Även fönsterorientering påverkar byggnadens värme- och kylbehov som inte reflekteras med de två metoderna. En annan nackdel är båda metodernas har förenklade metoder för att beräkna infiltration vilket gör att skillnaden är liten i jämförelse med att bara ställa krav på U_m.

Både värmeförlusttal och värmeeffektbehov kan verifieras till exempel med hjälp av en effektsignatur.

Flera aktörer vid branschdialogerna föredrar värmeeffektbehov eller värmeförlusttal eftersom de ger en styrning till lågt effektbehov kalla vinterdagar. Detta eftersom effektkostnader för energi sannolikt kommer att öka framöver och att ett effekttal beskriver hur bra fastigheten är. Ett kompletterande krav på nettovärme eller U_m

kommer också indirekt att begränsa byggnadens effektbehov eftersom talets inverkan på energibehovet är korrelerad med utomhustemperaturen.

Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient U_m

I Boverkets byggregler finns krav på klimatskärmens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient (U_m). Kravet på U_m avser att säkerställa att byggnaden har en viss isolerande förmåga och därmed begränsa byggnadens värmeförluster.

Klimatskärmens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient (U_m) reflekterar inte alltid hur byggnadens energianvändning kommer att bli. U_m tar inte heller hänsyn till värmeförluster via infiltration eller ventilation, som kan minska värmeförluster totalt sätt lika mycket som förbättrade U-värden (exempelvis i lågenergifallet). Ändringar i byggnadens form kan påverka U_m-värdet. I flera fall ger en ökad formfaktor att U_m-värdet minskas samtidigt som värmeenergianvändningen och primärenergitalet ökar. U_m-värdet är med andra ord inte en direkt indikator för lägre värmeförluster och ett lägre primärenergital. U_m är svårt att mäta i färdig byggnad.

Solvärmelasttal

Solvärmelasttalet leder till en god solavskärmning för att minska övertemperaturer och ett ökat kylbehov. Utifrån definition och kravnivåer på solvärmelasttal enligt Miljöbyggnad 3.1 och Feby18 har beräkningar genomförts för ett antal kritiska rum i typbyggnaderna.

I byggnader med kylsystem kan lägre solvärmelasttal minska kyleffekten betydligt oavsett styrparametrar för komfortkylsystemet. Minskning av solvärmelasttal leder till ett minskat kylbehov samtidigt som nettovärme för uppvärmning ökar. Eftersom minskning av kylbehovet är något större kommer den totala nettoenergin minska.

I byggnader utan kyla leder ett minskat solvärmelasttal till marginella ändringar i byggnadens energianvändning. Låga solvärmelasttal leder inte garanterat till att problem med övertemperaturer kan undvikas sommartid. Förutom solavskärmning, har fönstrens orientering och möjlighet för vädring stor påverkan på operativa temperatur inomhus.

Nackdelen är den beräkningsmetoden där beräkning av sammanvägda solfaktorer för fönsterglas och solskydd är ganska komplicerad och är beroende på beräkningsverktyget. Verifiering är relativt enkelt.

Fortsatt arbete

Resultatet visar att ingen av de analyserade alternativen för kompletterande krav är entydiga för att användas som kompletterande krav till primärenergitalet för att säkerställa att byggnadens energibehov blir lågt. Samtliga har för- och nackdelar och det

är svårt att hitta ett kompletterande krav som har en betydande påverkan på egenskaper som minskar byggandens energibehov, är uttryckt som funktionskrav, kan verifieras med mätning och passar för alla byggnadskategorier.

Analysen av nettoenergi visar att åtgärder som minskar värmeförluster genom transmission, infiltration och ventilation ger ungefär samma påverkan som på huvudkravet primärenergital. Ett kompletterande krav uttryckt i nettoenergi kommer därmed inte att bidra till någon extra nytta och därmed återstår nettovärme, värmeeffektbehov, värmeförlutstal eller U_m som mer lämpliga alternativ. Till dessa kompletterande krav behövs någon form av styrning för minskat kylbehov vilket gör det lämpligt att addera även solvärmelasttal som ett kompletterande krav.

Analysen visar att användning av nettovärme som kompletterande krav kan premiera åtgärder som minskar värmeförluster genom transmission, infiltration och ventilation och byggnadens utformning med avseende på form och orientering. I det fortsatt arbetet rekommenderas att främst analysera om nettovärme ger tillräckligt många fördelar för att ersätta krav på U_m.

Om värmeeffektbehov eller värmeförlusttal ska användas behövs bättre beräkningsmodeller för infiltration för att de ska ge övervägande fördelar gentemot att använda det enklare kravet på U_m.

Definitionen av nettovärme, värmeeffektbehov eller värmeförlusttal bör också ses över för att ta ställning till hur värme i frånluft som tas tillvara via en frånluftsvärmepump bör hanteras i förhållande till hur återvinning får tillgodoräknas vid användning av ett FTX-system.

För en fullständig analys där det kan konstateras att det kompletterande kravet har en styrande effekt till en byggnadsutformning som minskar byggnadens energibehov behöver även nivåer på de kompletterande kraven analyseras i förhållande till kraven på primärenergital.

Nivåer på solvärmlasttal behöver utredas tillsammans med beaktande av att det kan behöva kompletteras med krav på vädringsmöjlighet i byggnader utan kylsystem.

Innehållsförteckning

Förord 2
Sammanfattning 3
Innehållsförteckning 8
1 Introduktion 11
1.1 Utgångspunkt 11
1.2 Syfte och avgränsningar 12
1.2.1 Mål 12
1.3 Genomförande och förutsättningar 13
1.3.1 Energiberäkningar och analys 13
1.3.2 Webbinarier 14
1.3.3 Intervjuer med marknadsaktörer 15
2 Identifiering av kompletterande krav 16
2.1 Huvudkrav för en byggnads energianvändning 16
2.2 Kompletterande krav 17
2.2.1 Nettoenergi (använd energi) 19
2.2.2 Nettovärme 19
2.2.3 Värmeförlusttal (VFT) 20
2.2.4 Värmeeffektbehov 23
2.2.5 Solvärmelasttal 24
3 Branschdialoger om kompletterande krav 29
3.1 Behov av kompletterande krav 29
3.2 Egenskaper som kompletterande krav ska säkerställa 30
3.3 Vilket av de kompletterande kraven föredrar branschen? 31
3.4 Kompletterande krav som branschen använder idag 32
4 Analys av kompletterande krav genom energiberäkningar 34
4.1 Tillvägagångsätt och avgränsningar vid beräkningarna 34
4.2 Beskrivning av typbyggnader 35
4.2.1 Typsmåhus 35
4.2.2 Lågenergismåhus 37
4.2.3 Typsmåhus med en annan formfaktor 38
4.2.4 Typflerbostadshus 39
4.2.5 Lågenergiflerbostadshus 41
4.2.6 Typflerbostadshus med en annan formfaktor 42
4.2.7 Typskola 43
4.2.8 Lågenergiskola 45
4.2.9 Typskola med en annan formfaktor 46

4.2.10 Typkontor 47
4.2.11 Lågenergikontor 48
4.2.12 Typkontor med en annan formfaktor 49
5 Resultat 52
5.1 Småhus 52
5.1.1 Kravet på primärenergital och U_m 52
5.1.2 Nettoenergi (använd energi) 53
5.1.3 Nettovärme 54
5.1.4 Värmeeffektbehov och värmeförlusttal 54
5.1.5 Solvärmelasttal 56
5.2 Flerbostadshus 57
5.2.1 Krav på primärenergital och U_m 57
5.2.2 Nettoenergi (använd energi) 58
5.2.3 Nettovärme 58
5.2.4 Värmeeffektbehov och värmeförlusttal 59
5.2.5 Solvärmelasttal 60
5.3 Skola 62
5.3.1 Krav på primärenergital och U_m 62
5.3.2 Nettoenergi (använd energi) 63
5.3.3 Nettovärme 64
5.3.4 Värmeeffektbehov och värmeförlusttal 65
5.3.5 Solvärmelasttal 66
5.4 Kontor 67
5.4.1 Kravet på primärenergital och U_m 67
5.4.2 Nettoenergi (använd energi) 68
5.4.3 Nettovärme 70
5.4.4 Värmeeffektbehov och värmeförlusttal 70
5.4.5 Solvärmelast 71
5.5 Analys av solvärmelasttal och övertemperaturer på rumsnivå 73
5.5.1 Flerbostadshus 73
5.5.2 Skola 78
5.5.3 Kontor 82
5.6 Sammanfattande resultat 85
6 Diskussion och slutsatser 91
6.1 Nettoenergi 92
6.2 Nettovärme 94
6.3 Värmeeffektbehov (Miljöbyggnad) och värmeförlusttal (Feby) 94
6.4 Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U_m) 97
6.5 Solvärmelast 98
6.6 Fortsatt arbete 100

Bilaga 1. Indata för beräkningar 102
B1.1 Småhus 102
B1.2 Flerbostadshus 104
B1.3 Skola 107
B1.4 Kontor 111
Bilaga 2. Simuleringsresultat 115
B2.1 Småhus 115
B2.1.1 Primärenergital 115
B2.1.2 Nettoenergi och nettovärme 116
B2.1.3 Värmeeffektbehov 117
B2.1.4 Värmeförslusttal 118
B2.2 Flerbostadhus 119
B2.2.1 Primärenergital 119
B2.2.2 Nettoenergi och nettovärme 120
B2.2.3 Värmeeffektbehov 121
B2.2.4 Värmeförslusttal 122
B2.3 Skola 123
B2.3.1 Primärenergital 123
B2.3.2 Nettoenergi och nettovärme 124
B2.3.3 Värmeeffektbehov 125
B2.3.4 Värmeförslusttal 126
B2.4 Kontor 127
B2.4.1 Primärenergital 127
B2.4.2 Nettoenergi och nettovärme 128
B2.4.3 Värmeeffektbehov 129
B2.4.4 Värmeförslusttal 130

1 Introduktion

1.1 Utgångspunkt

I direktivet om byggnaders energiprestanda (2010/31/EU) finns krav på att ”nära nollenergibyggnader” ska vara nybyggnadskrav för alla offentliga byggnader 1 januari 2019 och för alla byggnader 1 januari 2021. Den 9 juni 2018 trädde en revidering av direktivet om byggnaders energiprestanda (2018/844/EU) i full kraft. Revideringen innebar nya möjligheter att formulera energikrav i byggregler.

I mars 2015 beslutade regeringen att tillsätta en kommitté i form av en parlamentariskt sammansatt kommission för översyn av energipolitiken. Kommittén antog namnet Energikommissionen och fick uppdrag att bl.a. ta fram underlag för en bred överenskommelse om energipolitiken. Enligt Energikommissionens bedömning bör systemgränsen för byggnadens energiprestanda i Boverkets byggregler och definitionen av nära-nollenergibyggnad fokusera på använd energi i stället för, som idag, levererad energi. Motiveringen för att fokusera på använd energi var att energikraven ska vara teknikneutrala och inte gynna individuella uppvärmningslösningar (t.ex. värmepumpar) framför gemensamma energisystem (t.ex. fjärrvärme).

Regeringen har sett över val av systemgräns för byggregler vilket presenterades i Regeringens skrivelse (2018/19:152, Byggnaders energiprestanda) som publicerades den 13 juni 2019. I denna skrivelse fastslår regeringen att systemgränsen för byggnaders energiprestandakrav även i fortsättningen ska utgå från levererad energi uttryckt i primärenergital. Skrivelsen noterar att Energikommissionen har i sitt betänkande gjort bedömningen att systemgränsen bör fokusera på använd energi i stället för, som i dag, levererad energi. Den 11 juni 2020 uppdrar regeringen åt Boverket att i samverkan med Energimyndigheten ta fram förslag om hur ett kompletterande krav som utgår ifrån byggnadens energibehov, dvs. använd energi, ska utformas med beaktande av samhällsekonomiska konsekvenser. Vidare ska eventuellt behov av att komplettera byggreglerna med ett krav på solvärmlast utredas. Vid behov ska författningsförslag lämnas.

Svenska byggreglerna har sedan 2006 utgått från systemgränsen levererad energi och omfattar byggnadens energianvändning för uppvärmning, varmvatten och fastighetsel. Krav på byggnadens energiprestanda har utryckts som kWh/m^2 A_{temp} och år levererad energi. Sedan juli 2017 anges prestandan med ett primärenergital som beräknas utifrån den levererade energin och primärenergifaktorer och utrycks med samma enhet, kWh/m^2 A_{temp} och år. Den 1 september 2020 trädde Boverkets nya föreskrifter i kraft och kallas fortsättningsvis för BBR29. Energiprestanda uttrycks fortsatt med ett

primärenergital som beräknas utifrån den levererade energin och viktningsfaktorer och utrycks med samma enhet, kWh/m^2 A_{temp} och år.

Till kravet på energiprestanda finns idag två kompletterande krav. Det ena är ett krav på klimatskärmens värmeisoleringsförmåga i form a en maximal genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U_m), som avser att säkerställa att byggnaden har en viss bestämd isolerande förmåga. Det andra kompletterande kravet är krav på maximal tillåten installerad eleffekten för uppvärmning.

Målsättningen med byggregler är att de ska säkerställa en god bebyggd miljö med hållbara byggnader som har god energihushållning och låg miljöpåverkan under hela dess livslängd. Hur hållbara byggnader som kommer att uppföras från 2021 är, förutom själva kravnivån, till stor del beroende av byggreglernas utformning och hur samhälle, bygg- och fastighetsbransch tolkar dessa.

Huvudkravet som ställs på primärenergital beräknad från levererad energi säkerställer en god energihushållning av den byggnad som uppförs, dvs byggnadens klimatskärm tillsammans med dess installationer. Syftet med de kompletterande kraven är att säkerställa att byggnader har goda egenskapskrav när det gäller byggnadens klimatskärm så att en god energihushållning kan upprätthållas under byggnadens hela livslängd trots ändring av installationssystem eller verksamhet.

Det finns flera sätt att ställa kompletterande krav. En mer djupgående analys behövs för att tydligt fastställa vilket eller vilka av kraven som bäst skulle kunna ingå i de svenska byggreglerna som komplement till huvudkravet.

1.2 Syfte och avgränsningar

Föreliggande utredning avser att analysera vilka alternativ som skulle vara lämpliga att använda som kompletterande krav till huvudkravet på primärenergital i BBR29. Utgångspunkten är att säkerställa att byggnader uppförs med goda egenskapskrav när det gäller byggnadens klimatskärm. Utredningen avser inte att sätta några förslag på gränsvärden eller nivåer som kan vara lämpliga i förhållande till nivåkrav på primärenergital utan avser enbart att undersöka möjligheter med, och identifiera konsekvenser av, de olika förslagen på kompletterande krav.

1.2.1 Mål

För att ett kompletterande krav ska vara lämpligt att tillämpa behöver de ha följande egenskaper:

- premiera en byggnadsutformning som minskar byggnadens energibehov,
- vara uttryckt som funktionskrav,

- vara möjliga att verifieras med mätning,
- gå att uttrycka på samma sätt för olika byggnadskategorier.

Med den första punkten avses att det kompletterande kravet bör har en betydande påverkan på byggnadens egenskaper i avseende att minska energiförluster genom transmission, infiltration och ventilation. Målet med föreliggande utredning är att i första hand analysera om de olika alternativa kompletterande kraven kan säkerställa att byggnaden har en klimatskärm med god isoleringsförmåga, minimalt med köldbryggor, en god lufttäthet och att fönster är orienterade eller avskärmade så att inte övertemperaturer eller ett högt kylbehov uppstår sommartid.

Övriga punkter besvaras från erfarenheter och svar från branschdialoger. Någon särskild utredning om hur de olika kompletterande kraven ska verifieras med mätplan har inte genomförts.

1.3 Genomförande och förutsättningar

Föreliggande utredning har genomförts genom att först identifiera möjliga kompletterande krav. Utgångspunkten har varit en tidigare genomförd analys som genomfördes i augusti 2018[1], men som kompletterats med nyare material och intervjuer med branschaktörer om erfarenheter och behov av kompletterande krav. Utifrån resultatet har lämpliga krav valts ut för fortsatt analys.

Som underlag för analysen har först beräkningar genomförts som presenterades i en preliminär rapport i maj 2020. Baserat på rapporten hölls under juni 2020 tre webbinarier med branschaktörer och i samband med det genomfördes ytterligare branschintervjuer för att få in reflektioner på den preliminära rapporten.

1.3.1 Energiberäkningar och analys

Bräkningar har genomförts för fyra olika byggnadskategorier: småhus, flerbostadshus, skolor och kontor. Energiberäkningar gjordes för de olika typbyggnaderna enligt följande steg:

1. Definition av typbyggnader inom var byggnadskategori. Analys och beräkning av hur olika typhus tekniskt kan utformas för att precis klara de krav som ställs i Boverkets byggregler BBR29. Det vill säga för att återspegla hur en byggherre sannolikt, med dagens förutsättningar, skulle uppföra en byggnad om denna inte har några ytterligare ambitioner än att uppfylla gällande lagkrav.

[1] Åsa Wahlström,"Analys av nära-nollenergikraven i byggregler. Kompletterande krav", augusti 2018

2. Utformning av en variant av typbyggnaderna uppförda som lågenergibyggnader, dvs med betydligt bättre energiprestanda än krav i BBR29. Syftet är att se hur stora energibesparingar är möjliga genom förbättrad konstruktion och täthet och vad det ger för resultat för de olika kompletterande kraven.

3. Utformning av en variant av typbyggnaderna uppförda med en annan formfaktor: Syftet är att studera hur byggnadens form kan påverka resultatet.

4. Energiprestanda och specifik energianvändning har beräknats för de olika typbyggnaderna tillsammans med utfall för olika kompletterande krav. En känslighetsanalys har genomförts för att se hur olika parametrar påverkar resultatet.

5. Analysera vad olika kravnivåer på de kompletterande kraven ger för konsekvenser på energiprestanda och att kravnivåer i största möjliga mån kompletterar varandra för att premiera byggnadsutformning i enighet med prioritetsordning enligt energitriangeln.

6. Analys av fördelar och nackdelar med de kompletterande kraven med avseende på
   - om de går att ställas som funktionskrav och hur komplexa de är att beräkna;
   - hur de olika kraven kan verifieras;
   - hur de kan påverka exempelvis inomhusklimatet;
   - hur det på bästa sätt går att uttrycka kompletterande krav på samma sätt för olika byggnadskategorier;
   - hur de kompletterande kraven kan begränsa förluster via transmission, infiltration och ventilation.
7. Att ställa kompletterande krav på Solvärmelast har även analyserats på rumsnivå.

1.3.2 Webbinarier

Under juni 2020 genomfördes tre webbinarier med branschaktörer för att presentera de olika förslagen på kompletterande krav och att diskutera hur framtida kompletterande krav på byggnadens energiprestanda skulle kunna utformas för att säkerställa att byggnadens energibehov blir lågt. Totalt var det ca 50 personer som deltog, som representerade fastighetsägare, branschorganisationer, konsulter, entreprenörer och energibolag.

1.3.3 Intervjuer med marknadsaktörer

Intervjuer har genomförts med aktörer på marknaden. Några intervjuer genomfördes hösten 2019 och några under hösten 2020. Syftet med intervjuerna var att först ta reda på om marknadsaktörer använder några kompletterande krav utöver Boverkets krav vid nyproduktion, och i så fall vilka. Intervjuerna genomfördes genom telefonintervjuer. Följande frågor ställdes på telefonintervjuer:

- Behöver byggregler med krav på primärenergital ett kompletterande krav för att upprätthålla god energihushållning under byggnadens hela livslängd? Idag finns ett kompletterande krav i form av U_m. Behövs U_m eller behövs andra kompletterande krav?
- Vilka egenskaper behöver ett eventuellt kompletterande krav ha?
- Vilka kompletterande krav är att föredra?
- Använder ni några kompletterande energikrav i projekteringen eller byggprocessen som ska säkerställa att en byggnad uppförs med bra energiprestanda och inneklimat?

Aktörer som har intervjuats representerar fastighetsägare, entreprenörer, konsulter och energibolag och visas i tabell 3.1. Alla intervjuade personer arbetade med energifrågor i företaget och hade roller och ansvar exempelvis som energikonsult, energistrateg, teamleader energi, affärsområdeschef för energi, gruppchef för hållbarhet, energispecialist, marknadsutvecklare och projektansvarig.

Tabell 3.1 De intervjuade personerna kommer från följande företag och organisationer:

Företag / organisation	Bransch
EON	Energibolag
Riksbyggen	Fastighetsutvecklare bostäder
Akademiska Hus	Fastighetsägare lokaler
NCC	Byggbolag, Fastighetsutvecklare
JM	Byggbolag, Fastighetsutvecklare
Aton Teknikkonsult/FEBY	Konsultbolag/ branschorganisation
Prime Project	Konsultbolag
Upphandlingsmyndigheten	Myndighet

2 Identifiering av kompletterande krav

2.1 Huvudkrav för en byggnads energianvändning

Det är levererad (köpt) energi som är utgångspunkten för byggnadens energianvändning i Boverkets byggregler. Den köpta energin innefattar årlig levererad energi till en byggnad för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och byggnadens fastighetsenergi. Hushållsel i bostäder eller verksamhetsel i lokaler ingår inte. Byggreglerna tillåter att energianvändning får reduceras med energi från sol, vind, mark, luft eller vatten som alstras i byggnaden eller på dess tomt och används till byggnadens uppvärmning, komfortkyla, varmvatten och fastighetsenergi.

Sedan juli 2017 beskrivs byggnadens energiprestanda uttryckt som ett primärenergital med enhet kWh/m^2 och år. Enligt BBR29 som trädde i kraft 1 september 2020 ska byggnadens primärenergital beräknas genom att den köpta energin delas upp för olika energibärare och multiplicerats med en viktningsfaktor per energibäraren. Energi till uppvärmning korrigeras med en geografisk justeringsfaktor (F_{geo}).

För varje typbyggnad beräknas primärenergital enligt följande ekvation:

$$EP_{\mathrm{pet}} = \frac{\sum_{i=1}^{6}\left(\frac{E_{\mathrm{uppv,i}}}{F_{\mathrm{geo}}} + E_{\mathrm{kyl,i}} + E_{\mathrm{tvv,i}} + E_{\mathrm{f,i}}\right) \times VF_i}{A_{\mathrm{temp}}}$$

Där,

EP_{pet} är byggnadens primärenergital (kWh/m^2 och år)
E_{uppv} är energi för uppvärmning, (kWh/år)
F_{geo} är geografisk justeringsfaktor
E_{kyl} är energi till komfortkyla, (kWh/år)
E_{tvv} är energi till tappvarmvatten, (kWh/år)
E_f är energi till fastighetsel, (kWh/år)
VF_i är viktningsfaktor per energibärare (se tabell 2.1)
A_{temp} är byggnadens tempererade area, (m^2)

Tabell 2.1 Viktningsfaktorer, (VF_i), använda för beräkning av primärenergital enligt BBR29.

Energibärare	Viktningsfaktor (VFi) BBR29
El (VF_{el})	1,8
Fjärrvärme (VF_{fjv})	0,7
Fjärrkyla (VF_{kyl})	0,6
Biobränsle (VF_{bio})	0,6

I tabell 2.2 redovisas energiprestandakrav i Boverkets byggregler BBR29. För lokaler får ett tillägg göras på energiprestandakravet för att uppnå god luftkvalitet då uteluftsflödet i temperaturreglerade utrymmen av utökade hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m^2. Tillägget får göras med 40 ·(q_{medel}-0,35) där q_{medel} är det genomsnittliga specifika uteluftsflödet under uppvärmningssäsongen och får högst tillgodoräknas upp till 1,0 l/s per m^2.

Tabell 2.2 Energiprestandakrav enligt BBR29.

Byggnadskategori	Primärenergital (EP_{pet}) enligt BBR29 (kWh/m^2 A_{temp} och år)
Småhus > 130 m^2	90
Flerbostadshus	75
Lokaler	70
Lokaler med max luftflödestillägg	96

2.2 Kompletterande krav

Huvudkravet som ställs på primärenergital beräknad från levererad energi säkerställer en god energihushållning av den byggnad som uppförs, dvs byggnadens klimatskärm tillsammans med dess installationer. Syftet med de kompletterande kraven är att säkerställa att byggnader också har så goda egenskapskrav när det gäller byggnadens klimatskärm att en god energihushållning kan upprätthållas under byggnadens hela livslängd trots ändring av installationssystem eller verksamhet. Därav kan de kompletterande kraven behöva säkerställa att byggnaden har en klimatskärm med god isoleringsförmåga, minimalt med köldbryggor, en god lufttäthet och att fönster är orienterade eller avskärmade så att gratisenergi från solen kan tillgodogöras vid uppvärmningsbehov och att inte övertemperaturer eller ett onödigt högt kylbehov

uppstår. Syftet är att minimera energiförluster via transmission, infiltration och ventilation, dvs. att byggnadens energibehov blir låg.

Till Boverkets krav på byggnadens energiprestanda finns redan idag två kompletterande krav. Det ena är ett krav på maximalt tillåten installerad eleffekt för uppvärmning, vilken säkerställer att uppvärmningsinstallationer som förses med el måste ha en bra verkningsgrad (energieffektivitet) då det är som kallast ute. Det kravet behandlas inte i föreliggande utredning. Det andra kompletterande kravet är krav på klimatskärmens värmeisoleringsförmåga i form av en maximalt genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U_m) för byggnadsdelar och köldbryggor. Högsta tillåtna genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U_m) enligt BBR29 visas i tabell 2.3 nedan.

Tabell 2.3 Krav på genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U_m) för BBR29 för olika byggnadskategorier. Kraven är inklusive inverkan från köldbryggor.

Byggnadskategori	U_m enligt BBR29 (W/m^2 K)
Småhus	0,3
Flerbostadshus	0,4
Lokaler	0,5

Kravet på klimatskärmens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient (U_m) avser att säkerställa att byggnaden har en viss bestämd isolerande förmåga och därmed begränsas byggnadens värmeförluster. Dock säkerställer inte U_m alla värmeförluster i byggnaden som exempelvis värmeförluster via infiltration och ventilation.

Det finns några andra alternativa krav som kan eventuellt säkerställa att byggnadens energibehov blir lågt. En litteraturstudie och intervjuer har identifierat följande kompletterande krav för fortsatt analys:

1) nettoenergi (använd energi),
2) nettovärme för uppvärmning
3) värmeförlusttal (VFT)
4) värmeeffektbehov (enligt Miljöbyggnad)
5) genomsnittlig värmegenomgångskoefficient U_m och
6) solvärmelast.

En viktig utgångspunkt för valet av kompletterande krav är att det ska vara ett funktionskrav och inte leda till detaljstyrning. Det är också viktigt att kraven är enkla att förstå och relatera till praktisk tillämpning och lätt att verifiera. Kraven ska fungera både vid nyproduktion och vid större ändring.

2.2.1 Nettoenergi (använd energi)

Nettoenergi är ett mått på det energibehov en byggnad har för värme, kyla, tappvarmvatten och apparater. Det vill säga den energi som direkt avges från de tekniska system i byggnaden för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och apparater utöver det energitillskott som sker med passiv solinstrålning och interna värmetillskott från personer. Denna utredning utgår från systemgränsen för nettoenergi där energi som återvinns inom byggnaden får tillgodoräknas, till exempel värmeåtervinning av ventilationsluft eller avloppsvatten. Därmed får värmeåtervinning av ventilationsluft tillgodoräknas då FTX-system används. Användning av frånluftsvärmepump betraktas här som frånluftsventilation men det finns metoder för att även beakta värmeåtervinning som sker via en frånluftsvärmepump.

Systemgränsen har i föreliggande utredning valts att vara inom byggnaden och i definitionen ingår hushållsel eller verksamhetsel. Motiveringen är att elanvändning inomhus påverkar interna värmetillskott och därmed energi som behövs tillföras med värmesystemet eller bortföras med kylsystemet.

I Energikommissionens rapport definieras använd energi som byggnadens nettoenergi och motsvarar byggnadens slutliga energibehov för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och fastighetsel[2].

Med nettoenergi beaktas köldbryggor, isolering, lufttäthet, fönsterorientering eller solavskärmning för energihushållning av både värme och kyla. Nackdelen är att det är komplicerat att verifiera nettoenergi med mätning. Mätningen behövs på hur mycket energi som värmesystemet avger eller som kyls bort med kylsystem. Krav på nettoenergi innebär att fastighetsägaren eller förvaltaren behöver ha kontroll på både nettoenergi och primärenergital utöver levererad energi som är vanligt för ekonomisk driftsuppföljning.

2.2.2 Nettovärme

Byggnadens nettovärme definieras här som den energi som behövs för uppvärmning för att kunna upprätthålla avsett inomhusklimat. Byggnadens nettovärme är den energi som direkt avges av byggnadens uppvärmningssystem för att täcka upp för värmeförluster genom byggnadens klimatskärm (transmissionsförluster), luftläckage genom fasad (infiltrationsförluster) och ventilationsförluster utöver det energitillskott som sker med passiv solinstrålning och interna värmetillskott från personer och apparater för hushållsbruk eller verksamhet.

Denna utredning utgår från systemgränsen för nettovärme där energi som återvinns inom byggnaden får tillgodoräknas, till exempel värmeåtervinning ur ventilationsluft.

[2] Regeringens skrivelse 2018/19:52. Byggnadens energiprestanda.

Därmed får värmeåtervinning av ventilationsluft tillgodoräknas då FTX-system används. Användning av frånluftsvärmepump betraktas här som frånluftsventilation men det finns metoder för att även beakta värmeåtervinning som sker via en frånluftsvärmepump. Uppvärmning av tappvarmvatten räknas inte in, men VVC förluster som bidrar till uppvärmning i byggnaden ingår.

Upphandlingsmyndigheten har tagit fram ett förslag på frivilliga krav på byggnadens energiprestanda med syfte att nya byggnader ska uppföras med en mer ambitiös nivå än vad lagen (BBR) kräver. Upphandlingsmyndighetens förslag på kriterier består av två krav, byggnadens nettovärme och byggnadens levererade energi (köpt energi)[3]. De två kraven avser att tillsammans säkerställa att värmeförluster genom byggnadens klimatskärm och konstruktion minimeras och att energianvändning för installationer och tappvarmvatten sker effektivt. Definitionen på nettovärme stämmer i stort sett överens med det förslag som behandlas här förutom att i Upphandlingsmyndighetens definition ingår tappvarmvatten.

Genom att ställa ett krav specifikt på byggnadens nettovärme sätts större fokus på byggnadens klimatskärm med dess täthet och isolerande egenskaper. En nackdel är att verifiering blir mer komplicerad eftersom det är distribuerad värme som behöver mätas. Lågt nettovärme i lokalfastigheter betyder inte att byggnaden har låg nettoenergi. Minskade transmissions- och infiltrationsförluster via klimatskärmen kan leda till ökat kylbehov och kylenergianvändning, vilket inte beaktas.

2.2.3 Värmeförlusttal (VFT)

Värmeförlusttal (VFT) är den värmeeffekt per tempererad kvadratmeter som byggnaden avger under årets kallaste dag och är direkt kopplat till byggnadens isolering, täthet, samt ventilation. För beräkningar finns europeiska standarder. I föreliggande utredning har förenklade beräkningsekvationer enligt FEBY18 (Forum för Energieffektivt Byggande) använts[4].

I den förenklade beräkningsmetoden antas förlust mot mark, som inte är utetemperaturberoende, vara försumbart. Värmeförlusttalet (VFT) beräknas som summan av byggnadens värmeförluster via transmission, ventilation och infiltration (luftläckning via klimatskärm) enligt följande ekvation:

$$VFT_{DVUT} = H_T \cdot (21 - DVUT)/A_{temp} \text{ [W/m}^2 \text{ A}_{temp}\text{]},$$

där

[3] Upphandlingsmyndigheten, 2019- Tillämpningsstöd om hållbarhetskriterium: Byggnadens energianvändning. Arbetsmaterial.
[4] Feby18, Kravspecifikation för energieffektiva byggnader. Bostäder och lokaler. Jan 2018

H_T är byggnadens värmeförlustkoefficient [W/K] och beräknas enligt EN ISO13789:2007, eller enligt följande ekvation:

$$H_T = U_m \cdot A_{om} + \rho \cdot c \cdot q_{läck} + \rho \cdot c \cdot d \cdot q_{vent} \cdot (1 - v) \text{ [W/K]}$$

U_m klimatskärmens genomsnittliga U-värde;

A_{om} klimatskärmens omslutande area;

$\rho \cdot c \cdot q_{läck}$ värmeeffektförluster p.g.a. luftläckage $q_{läck}$ [l/s], luftens densitet ρ [kg/m^3], och värmekapacitet c [kJ/kg,K];

$\rho \cdot c \cdot d \cdot q_{vent} \cdot (1 - v)$ värmeeffektförluster pga. ventilation med hänsyn till systemets verkningsgrad v, densitet ρ, värmekapacitet c, och relativ driftstid, d. Frånluftsvärmepumpar utgör ett system för värmeproduktion och utgör inte värmeåtervinning i denna kalkyl.

Luftläckage, $q_{läck}$, för en byggnad med FTX-system beräknas med hänsyn till byggnadens läge och ventilationens balansering enligt EN ISO 13789:2007:

$$q_{läck} = q_{50} \cdot A_{omsl} \cdot e / (1 + f/e\ ((q_{sup} - q_{ex}) / (q_{50} \cdot A_{omsl}))^2) \text{ [l/s]}$$

där

$q_{sup} - q_{ex}$ är luftöverskottet mellan tilluft, q_{sup}, och frånluft, q_{ex}, [l/s];
q_{50} är specifikt läckflöde vid 50 Pa tryckskillnad inne och ute [l/s, m^2 A_{om}];
e och f är vindskyddskoefficienter enligt tabell 2.4 nedan.

Tabell 2.4. Vindskyddskoefficienter enligt EN ISO 13789:2007.

Vindskyddskoefficienter e och f	Flera sidor exponerade	En sida exponerad
Koefficient e för avskärmningsklass		
Ingen avskärmning. Öppet landskap eller höga byggnader i staden	0,10	0,03
Måttlig avskärmning. Förortsmiljö, landskap med träd och andra byggnader	0,07	0,02
Kraftig avskärmning. Byggnad i skog eller med genomsnittshöjd i city	0,04	0,01
Koefficient f	15	20

DVUT för 310 orter finns framtaget av SMHI på uppdrag av Boverket 2016 baserat på temperatur 1981-2010, värden finns i tabell på Boverkets hemsida. DVUT för en tidskonstant på 3 dygn eller lägre ska användas. Tidskonstanten är ett mått på den tid det tar för byggnadens innetemperatur att svara på en hastig temperaturförändring utomhus

eller vid avbrott i värmetillförseln och påverkas av byggnadsdelarnas värmekapacitet för alla skikt som ligger innanför isoleringsskiktet.

Fördelen med ett värmeförlusttal som ett kompletterande krav är dess direkta koppling till att säkerställa byggnadens värmeförluster med god isolering, god täthet, få köldbryggor och låga ventilationsförluster. Låga värmeförluster innebär låg energianvändning oavsett typ av uppvärmningssystem. Värmeförlusttal kan verifieras till exempel med en effektsignatur. I FEBY18 rekommenderas en förenklad metod för verifiering som baseras på en granskad energiberäkning, lufttäthetsmätning och ventilationsprotokoll, där uppmätt luftflöde och verkningsgrad framgår[5]. En nackdel med värmeförlusttal för lokalbyggnader är att ett minskat värmebehov kan innebära ett ökat kylbehov, vilket inte beaktas.

Kravnivåer för VFT

FEBY (Forum för Energieffektivt Byggande) har tagit fram kravspecifikationer för energieffektiva byggnader[6] som baseras på värmeförlusttal (VFT). I tabell 2.5 finns krav på VFT vid DVUT för byggnader större än 600 m^2. VFT beräknas med en innetemperatur på 21 grader oavsett byggnadstyp och verksamhet och samma krav gäller för alla byggnadskategorier.

Tabell 2.5 Krav på värmeförlusttal för byggnader större än 600 m^2 A_{temp} enligt FEBY18

Betygskriterier	VFT_{DVUT} (W/m^2 A_{temp})
FEBY Guld	14
FEBY Silver	19
FEBY Brons	22

Tillägg får göras för byggnader mindre än 600 $m^2 A_{temp}$ enligt följande ekvation:

VFT_{DVUT}: + (600 - A_{temp})/110 (W/m2 A_{temp})

För byggnad med större genomsnittligt luftflöde q_{medel} än 0,45 l/s, m^2 medges tillägg (inom intervallet 0,45 – 1,0 l/s, m2) enligt:

VFT_{DVUT}: + (q_{medel}-0,35) x 0,18 x (21-DVUT) (W/m^2A_{temp})

Tillägg för kallare klimat medges med:

VFT: + 1 W/m^2A_{temp} för orter där DVUT3 är lägre än -17,0 grader

[5] Sandberg, E, Energi på byggnadsnivå och kriterier för låga värmeförluster- värmeförlusttal. Svergies Centrum för Nollenergihus, 2017
[6] Feby18, Kravspecifikation för energieffektiva byggnader. Bostäder och lokaler. Jan 2018

VFT: + 2 W/m^{2}A$_{temp}$ för orter där DVUT3 är lägre än -22,1 grader.

DVUT3 avser DVUT för en tidskonstant på tre dygn.

2.2.4 Värmeeffektbehov

I föreliggande utredning definieras värmeeffektbehov enligt Miljöbyggnad 3.1, dvs. värmeförluster på grund av värmetransmission, luftläckage och ventilation för de delar av byggnaden som är värmda till 10 grader eller mer[7]. Värmeeffektbehovet beräknas den kallaste dagen under ett normalår, dvs vid dimensionerande vinterutetemperatur DVUT.

Värmetillskott från sol och internlaster (belysning, elutrustning, personer mm) får inte inkluderas och värmeeffekt för tappvarmvattenberedning ingår inte.

Värmeeffektbehovet beräknas enligt följande ekvation:

$$\frac{P_{transmission} + P_{ventilation} + P_{luftläckage}}{A_{om}} \quad (\frac{W}{m^2}, A_{om})$$

Observera att det totala värmeeffektbehovet ska fördelas på byggnadens omslutningsarea, A_{om}. Enligt Boverkets definition är A_{om} sammanlagd area för omslutande byggnadsdelars ytor mot uppvärmda delar av byggnaden mot det fria, mot mark eller mot delvis uppvärmda utrymmen.

I övrigt behövs följande uppgifter för att beräkna värmeeffektbehovet:

- Lufttemperatur inne och ortens DVUT vid aktuell tidskonstant. Lufttemperatur vid beräkningen ska vara den som är avsedd vid drift.
- U-värden, klimatskärmens delareor och köldbryggor.
- Ventilationsflöde och värmeåtervinningens verkningsgrad. Ventilationsluftflöde beräknas som byggnadens medelventilationsflöde under drifttid en typisk vintervecka.
- Luftläckageflöde vid normal tryckskillnad över klimatskärmen.
- Om en frånluftvärmepump används som värmeåtervinnare beräknas värmeeffektbehovet utifrån frånluftens temperaturfall över förångaren. Kompressoreffekt ska adderas till det beräknade värmeeffektbehovet. Högst en värmeeffekt motsvarande värmeåtervinning med temperaturverkningsgraden 80 % får tillgodoräknas.

[7] SGBC 2020, Miljöbyggnad 3.1. Bedömningskriterier för nyproduktion.

Kravnivåer för värmeeffektbehov

Betygskriterier för nyproducerade bostadshus och lokalbyggnader enligt Miljöbyggnad 3.1. visas i tabell 2.6. F_{geo} är en geografisk justeringsfaktor enligt Boverket.

Tabell 2.6 Krav på värmeeffektbehov enligt Miljöbyggnad

Betygskriterier	Bostäder (W/m² A_{om})	Lokaler (W/m² A_{om})
Miljöbyggnad Guld	≤ 15 * F_{geo}	≤ 18 * F_{geo}
Miljöbyggnad Silver	≤ 20 * F_{geo}	≤ 24 * F_{geo}
Miljöbyggnad Brons	≤ 25 * F_{geo}	≤ 30 * F_{geo}

Fördelar och nackdelar med värmeeffektbehov som ett kompletterande krav är samma som med värmeförlusttal. Fördelen är att det finns en direkt koppling till att säkerställa byggnadens värmeförluster med god isolering, god täthet, få köldbryggor och låga ventilationsförluster. Nackdelen med värmeeffektbehov för lokalbyggnader är att ett minskat värmebehov kan innebära ett ökat kylbehov.

2.2.5 Solvärmelasttal

Med solvärmelast menas den solvärme som passerar fönster och bidrar till att värma rummet. Med ökat energitillskott från solinstrålning minskas den energin som måste tillföras via uppvärmningssystemet. Samtidigt finns risker för ett försämrat termiskt klimat med övertemperaturer, särskilt sommartid. I lokalbyggnader medför ökade solvärmelaster också ett ökat kylbehov med ökad energianvändning.

Det är viktigt att begränsa övertemperaturer och begränsa effektbehovet för komfortkyla under sommarhalvåret. Solvärmelasten kan begränsas genom krav på ett solvärmelasttal som leder till en god solavskärmning för att minska övertemperaturer och ett ökat kylbehov. Alternativt kan krav ställas enbart på maximalt antal timmar med övertemperaturer under verksamhetstider som indirekt leder till en god solavskärmning i byggnader ytan kyla. I byggnader med kylsystem kan det också indirekt leda till en god solavskärmning eftersom energi för kyla ska rymmas inom huvudkravet på energiprestanda.

Miljöbyggnad 3.1 och FEBY18 har krav på solvärmelasttal i bedömningskriterier för nyproducerade byggnader. Solvärmelasttalet definieras som den solvärme som tillförs rummet per kvadratmeter golvarea. Endast fönster som vetter mellan 90 och 270°, dvs öster till väster via söder ingår i bedömningen. Även om fönster mot andra väderstreck släpper in solvärme så är varaktigheten begränsad[8].

[8] SGBC 2017, Miljöbyggnad 3.0. Bedömningskriterier för nyproduktion.

Beräkningen av solvärmelasttal kan ske med en förenklad metod som utgår från den högsta solstrålningen under ett normalår mellan vår- och höstdagjämning. Högsta solstrålning på utsidan av ett vertikalt fönster är cirka 800 W/m^2 under ett normalår oavsett ort i Sverige. För rum med fönster åt ett väderstreck gäller:

$$SVL = 800 \times g_{syst} \times \frac{A_{glas}}{A_{rum}} \text{ (W/m}^2\text{ golvarea)}$$

där

g_{syst} är sammanvägt g-värde för fönsterglas och solskydd. Inkluderar g-värden för glas och yttre, inre eller mellanliggande solskydd. Även utskjutande byggnadsdelar som balkonger, takfot eller liknande kan tillgodogöras. Ett g-värde är ett uttryck för hur stor andel solvärme (infraröd strålning) som släpp in genom fönstret och bidrar till passiv solvärme.

A_{glas} är glasarea i fönster, dörrar och glaspartier (ej karm, båge och profil) (m^2)

A_{rum} är rummets golvarea, inklusive area under köksinredning, garderober och motsvarande (m^2).

Rum med fönster åt två väderstreck är solbelysta längre tid vilket kan påverka storleken på solvärmelasttal. För dessa rum används det största av solvärmelasttalen beräknat av sambandet ovan och nedan. Endast solvärmebidrag från fönster mellan 90 och 270° ingår.

$$SVL = 560 \times g_{syst} \times \frac{A_{glas\ S\ el\ Ö\ el\ V}}{A_{rum}} + 560 \times g_{syst} \times \frac{A_{glas\ S\ el\ Ö\ el\ V}}{A_{rum}} \text{ (W/m}^2\text{ golvarea)}$$

Endast beräkning och resultat hos byggnadens kritiska rum ska redovisas. Med kritiska rum menas de rum som har sämsta förutsättningar. I bostäder väljs kritiska rum bland vardagsrum, kök, sovrum, dvs. där man vistas mer än tillfälligt. I lokalbyggnader ska kritiska rum prioriteras för bedömning i första hand väljas bland rum eller platser för stadigvarande arbete, andra rum väljs i den mån det behövs så att 20 % av ett våningsplan blir bedömt.

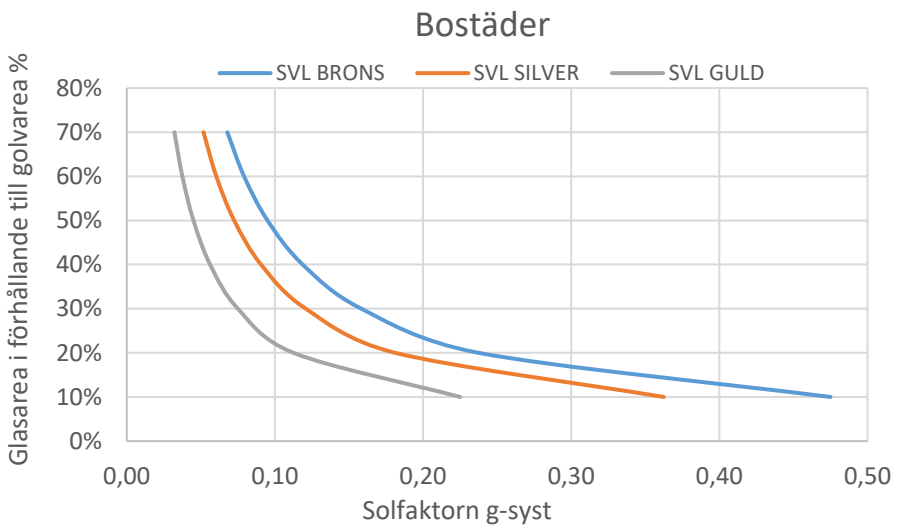
Kravnivåer för solvärmelasttal

Betygskriterier för nyproducerade bostadshus och lokalbyggnader enligt Miljöbyggnad 3.1 visas i tabell 2.7.

Tabell 2.7 Krav på solvärmelasttal vid nyproduktion enligt Miljöbyggnad 3.1

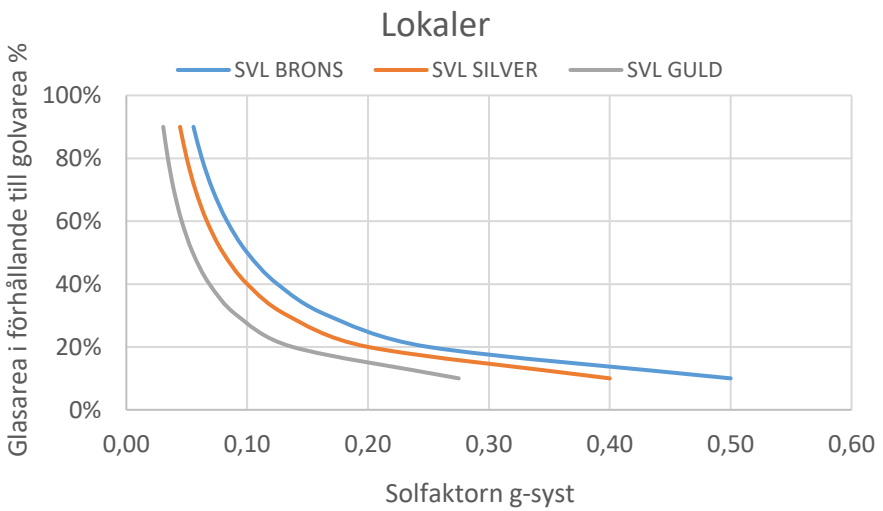
Betygskriterier	Bostäder (W/m^2 golvarea)	Lokaler (W/m^2 golvarea)
Miljöbyggnad Guld	≤ 18	≤ 22
Miljöbyggnad Silver	≤ 29	≤ 32
Miljöbyggnad Brons	≤ 38	≤ 40

Förutsättningarna för att uppfylla de olika kravnivåerna visas i figur 2.1 och 2.2. Exempelvis, för att uppnå nivån *brons* i bostäder ska den sammanvägda solfaktorn för fönsterglas och solskydd (g-syst) inte överskrider 0,32 om rummets glasandel i förhållande till golvarean är 15 %. Detta kan uppfyllas med fönsterglas som har solfaktor 0,5 och om rummet har invändiga persienner. För nivå *Guld* ska solfaktorn inte överskrida 0,15, vilket kräver mycket bättre solavskärmning både internt och externt.



Figur 2.1 Krav på glasarea i förhållande till golvarea och solfaktorn för fönsterglas och solskydd (g-syst) i bostäder för att uppfylla kravnivåer för solvärmelasttal enligt Miljöbyggnad 3.1.

I lokalbyggnader ska exempelvis solfaktorn för fönsterglas och solskydd inte överskrida 0,2 för nivå *brons* och 0,11 för nivå *Guld* i rum med 25 % glasandel av golvarean. Detta kräver vanligtvis ett fönsterglas med solskyddsbeläggning förutom extern och intern solvaskärmning.



Figur 2.2 Krav på glasarea i förhållande till golvarea och solfaktorn för fönsterglas och solskydd (g-syst) i lokaler för att uppfylla kravnivåer för solvärmelasttal enligt Miljöbyggnad 3.1.

Verifiering enligt Miljöbyggnad 3.1 sker genom kontroll av att beräkningsförutsättningar överensstämmer med färdig byggnad.

Enligt Feby ska solvärmelasttalet uppfölja följande krav[9]:

SVL ≤ 29 W/m^2 golvarea för bostadsbyggnader

SVL ≤ 32 W/m^2 golvarea för lokalbyggnad utan komfortkyla.

Bakgrund till kravnivåer i Miljöbyggnad

Solvärmelasttalet beror dels på förhållandet av glasarea till golvarea, dels på solavskärmningen, som utrycks genom solfaktorn *g-syst* och som visar andel solvärme som tillförs ett rum genom glaset. Eftersom solvärme som tillförs ett rum ger upphov till en ökad innetemperatur eller ett ökat kylbehov, så finns en koppling mellan solvärmelasttal och termiskt klimat sommartid.

I Miljöbyggnad 2.0 användes solvärmefaktor SVF som indikator för termiskt klimat sommartid. Solvärmefaktor indikerar solvärmebelastningen från fönster sommartid och baseras på fönsters storlek och soltransmission.

$$SVF = g_{syst} \times \frac{A_{glas}}{A_{rum}} \text{ (W/m}^2\text{ golvarea)}$$

där

g_{syst} är sammanvägt g-värde för fönsterglas och solskydd (-).

A_{glas} är glasarea i fönster, dörrar och glaspartier (ej karm, båge och profil) (m^2)

A_{rum} är rummets golvarea, inklusive area under köksinredning, garderober och motsvarande (m^2)

Att bedöma termiskt klimat sommartid genom att beräkna solvärmefaktor är en förenklad metod jämfört med temperatursimuleringar av sannolikheten för överskridande av viss operativ temperatur sommartid. Klassningskriterierna för solvärmefaktor bygger på de referensvärden som anges i boken ”Bygga med glas” (Carlson P-O et al. 2005). I boken beskrivs beräknade riktvärden för hur mycket solenergi som kan tillföras ett rum för att säkerställa termisk komfort sommartid. Referensvärdena i boken är relaterade till fasadarea istället för rummets golvarea och i Miljöbyggnad 2.0. har omräkningen gjorts för ett rum med relationen A_{fasad} / A_{rum} = 0,6.

Genom att multiplicera solvärmefaktorn med det schablonmässigt ansatta högsta värdet på infallande solinstrålning mot fönster, 800 W/m^2, så får man klassningskriterier för solvärmelasttal. I Miljöbyggnad 3.0 har kravnivåerna för solvärmelasstal skärpts för

[9] Feby18, Kravspecifikation för energieffektiva byggnader. Bostäder och lokaler. Jan 2018

lokalbyggnader jämfört med Miljöbyggnad 2.0 för att bidra till ett minskat kyleffektbehov.

Koppling till krav på dagsljus

Enligt gällande krav i Boverkets byggregler ska rum där människor vistas mer än tillfälligt ha god tillgång till direkt dagsljus. Hur mycket dagsljus som tillgodoses rummet påverkas av fönstrens storlek och ljusgenomsläpplighet. För att bedöma om rummet får tillräckligt dagsljus kan dagljusfaktorn DF beräknas, som ska vara minst 1 %. Beroende av rumsstorlek, fönstermått, fönsterglasets egenskaper och avskärmningsvinklar kan en förenklad beräkningsmetod användas. I den förenklade metoden beräknas fönsterglasarea i förhållande till golvarea och ska vara minst 10 % för att uppnå god dagljusbelysning.

Ljusgenomsläpplighet för ett fönsterglas beskrivs med dagljustransmittans, ett LT-värde. Det är ett mått på den mängd av dagsljus som kommer in genom fönstret. Ett LT-värde omkring 60 procent eller högre ger bra dagljusinsläpp. Fönsterglas med hög dagljustransmittans har ofta också högre solfaktor, som i sin tur påverkar solvärmelasttalet. Men det finns också solskyddsglas som både har lågt g-värde och bra LT-värde.

Vid begränsning av solvärmelasttalet via minskad fönsterstorlek eller användning av solskyddsglas är det viktigt att säkerställa att dagljuskravet uppfylls. Idag finns det tekniska möjligheter att välja fönsterglas som har bra LT-värde samtidigt som det har en låg solfaktor. Därför är det möjligt att uppfylla kraven på dagsljus samtidigt som man väljer fönster med solskyddsglas, så länge man säkerställer att LT- värdet är tillräckligt och att fönsterglasarean genom golvarea är minst 10 %. Vid andra förutsättningar behövs mer detaljerad beräkning för dagljusfaktorn, DF, för att säkerställa att kravnivåer uppfylls.

3 Branschdialoger om kompletterande krav

På webbinarierna och i intervjuerna diskuterades frågorna beskrivna i kapitel 1.3.3 med resultat enligt nedan.

3.1 Behov av kompletterande krav

Branschaktörerna anser att det finns ett behov av kompletterande krav som kvalitetssäkrar beständiga delar av byggnaden som är svåra att göra om under byggnadens livslängd. Det vore bra att ha ett begränsande effekttal för värme och kyla som kompletterar dagens krav. Idag kan en byggnad med sämre klimatskärm få bättre betyg än en byggnad med bra klimatskärm om man har valt specifika tekniska lösningar för energiproduktion, exempelvis en värmepump och solceller.

Dock framkom att innan nya kompletterande krav införs borde man ställa den grundläggande frågan, varför behövs nya krav? Vilket mervärde ger de jämfört med dagens krav? Är dagens krav otillräckliga? Ett sätt att utreda behovet är att granska redan byggda byggnader och kontrollera om de hade blivit annorlunda eller bättre om man hade ställt krav på använd energi eller något annat förslag på kompletterande krav.

När det gäller otillräcklighet påpekade branschaktörerna att utformningen av dagens krav leder till bristande verifiering med mätning, vilket i sin tur leder till att kraven inte alltid uppfylls i praktiken. Innan nya krav införs behöver det säkerställas att de befintliga kraven följas upp på ett bättre sätt. Det är viktigt att få bättre kontroll på mätning och verifiering av byggnadens värme- och kylanvändning. Krav på verifiering behövs skärpas i BBR och det borde finnas bättre incitament för att verifiera kraven.

En annan problematik med dagens krav är att kraven ändras för ofta. Det tar flera år från bygglov tills det att byggnadens energiprestanda kan verifieras med en energideklaration, vilket kan innebära att nybyggnadskrav har ändats så att byggnaden inte längre uppfyller nybyggnadskrav.

Även krav på byggprocessen är viktig. Med fler krav kan energianvändningen påverkas upp till en viss nivå vid projektering men samtidigt kan felprojektering och fel i byggprocessen leda till mycket större påverkan. Bland annat nämndes bristande kunskaper om köldbryggor och hur dessa beräknas vid projektering, vilket sedan inte stämmer överens med vilken noggrannhet som behövs vid utförandet. Beräkningsmetoder för köldbryggor behöver förtydligas, det förekommer oftast felaktiga antaganden och beräkningar. Kvalitetssäkring i byggprocessen skulle i sig kunna vara ett kompletterande krav.

3.2 Egenskaper som kompletterande krav ska säkerställa

Kompletterande krav bör beakta byggnadens klimatskärm, hantera effektproblematiken som förekommer på vinter och sommartid, men också säkerställa komfortkraven. Kompletterande krav ska säkerställa att byggnadens effektbehov blir lågt oavsett om det är kyla, värme eller el. Effektkostnader kommer troligtvis att öka framöver. Ett effekttal kommer att beskriva hur bra fastigheten är.

Förutom maximal belastning på energisystem är det också viktigt att beakta varaktigheten för belastningen. I vissa fall tycks den sistnämnda vara ännu viktigare, eftersom de kallaste temperaturerna sällan förekommer. Även krav på maximal eleffekt anses vara viktig för att minska effekttoppar i byggnader. Med ökat antal elbilar behövs flera åtgärder för att ta ner effektbelastningen.

Det är viktigt att ett kompletterande krav säkerställer egenskaper på klimatskärmen så att alla värmeförluster som förekommer kan begränsas. Samtidigt måste det vara lättförståeliga för fastighetsägare att tillämpa, dvs. behöver vara tydligt och ge värden som alla kan förstå. Om det är svårt att förstå det kompletterande kravet finns risk att det inte tillämpas på rätt sätt. Vissa tycker att dagens krav är redan för komplexa, många fastighetsägare vet inte vad de innebär och följer dem inte. Samtidigt påpekar andra aktörer att det inte borde vara något problem för branschen att förstå de olika kompletterande kraven som diskuteras här. Om intern kompetens saknas borde extern kunna anlitas.

Det är viktigt att det kompletterande kravet är teknikneutralt och att det inte hindrar innovation. En aktör betonar att det viktigaste med kravet är att det ska kunna uppfyllas oavsett installationssystem. Det ska också kunna uppfyllas vid ett byte av installationssystem efter till exempel 20 år.

Flera branschaktörer nämnde att verifiering är viktig och att inte ställa krav som inte går att mäta. Det ska ingå i kontraktsvillkoret hur det ska mätas. Att följa upp kraven med mätning är viktigt för rättvis konkurrens och här behövs tydligare byggregler för att mätning ska genomföras. Genom ordentlig uppföljning kan man också se vad som inte fungerar och hitta åtgärder för att rätta till det både i den aktuella byggnaden och i kommande byggprojekt.

En aktör tycker också att kompletterande krav ska finnas med i energideklarationen så att energideklarationen blir användbar i verkligheten för att jämföra hur bra byggnaden är och inte hur bra energisystem byggnaden har.

3.3 Vilket av de kompletterande kraven föredrar branschen?

Värmeförlusttal eller värmeeffektbehov är ett återkommande förslag på krav för att säkerställa en viss begränsning på värmeeffektbelastning och förluster. Att båda kraven kan verifieras via mätning med effektsignatur är också en fördel. Något fler föredrar värmeförlusttal över värmeeffektbehov, eftersom den visas per tempererad area.

Det finns också åsikter om att man inte borde blanda in installationer och kvalitén på värmeåtervinningen i kompletterande kravet, som görs exempelvis med värmeförlusttal och värmeeffektbov. Det påpekas också att värmeåtervinning med frånluftsvärmepumpen inte borde få tillgodoräknas, för att inte främja teknik för nya hus som inte är så energieffektiv jämfört med andra värmepumpar. Ett förslag från en aktör var att om värmeåtervinning med frånluftsvärmepump ska ingår ska bara den del av återvunnen energi ingå som kan erhållas från förångningstemperatur till ortens medeltemperatur. Då kan det räknas som energiåtervinning istället för energiutvinning.

En annan nackdel som lyftes fram för värmeförlusttal är att i beräkningen används samma temperatur i olika lokaler, som inte motsvarar verkligheten. I verkligheten har man oftast flera olika fall av innetemperaturer.

Som ett alternativ föreslås att ställa krav på lufttäthet som tillägg till U_m- kravet. En nackdel med U_m-krav är att det inte går att mäta. Även krav på täthet kan vara svårt att följa upp. Verifiering av täthet kan vara dyr och tekniskt komplicerad i verkligheten. Vissa entreprenörer gör oftast täthetsprover, dock sällan för hela huset utan bara delar av huset.

Nettoenergi som kompletterande krav föredras bara av några av branschaktörer. De som föredrar nettoenergi argumenterar att det inte är lika abstract som primärenergital och är därmed lättare att förstå för fastighetsägaren. De tycker att använd energi visar bättre hur bra en byggnad är jämfört med andra byggnader och inte hur mycket energi man köper och vilka energiförsörjningssystem man har. Andra tycker att nettoenergi och nettovärme inte är så bra kompletterande krav eftersom de inte tar hänsyn till maximala effektbehovet. Dessutom borde nettoenergin inte inkludera verksamhetsenergi eftersom Boverket och fastighetsägare inte kan styra detta. En annan utmaning med använd energi anses vara uppföljningen. Krav på använd energi sätter krav på driftorganisationen och ansvarsfördelning för energiuppföljning. Det kanske passar bättre för lokaler men i bostäder och småhus kan det vara svårare att säkerställa hantering av mätdata.

En branschaktör påpekar att man inte borde lyfta fram mätproblemen med använd energi för mycket. Förekommande problem med mätning är inte unikt för nettoenergi, det gäller för alla krav. Om man vet hur man ska mäta så ska det inte vara något mer komplex än andra mätningar.

Solvärmelasttal anses vara ett bra kompletterande krav eftersom den har egenskaper som andra förslag på kompletterande krav inte har. Solvärmelast borde dock betraktas som ett komfortkrav snarare än ett energikrav.

Det bör beaktas att olika energibehov förekommer på olika tidpunkter för värme, kyla och fastighetsel. För att bestämma krav behöver man börja med det viktiga vinterhalvåret först och lösa det effektproblemet. Ur energiperspektiv ska man inte byta 1kWh på bekostnad på andra byggkrav. Solvärmelasttalet kan innebära en risk att ett minskat kylbehov sommartid kan leda till ett ökat värmebehov vintertid. Man ska gärna ha solskydd men inte på vintertid.

Det finns åsikter att det kan vara svårt att uppfylla krav på solvärmlasttal. Att uppfylla kravet på solvärmelast kan oftast säkerställas med balkonger och persienner men att installera utvändig solavskärmning är inte så enkelt och det är för dyrt att underhålla. Solavskärmning ska också ställas i relation till dagsljuskravet. Enligt en av de intervjuade branschaktörerna borde BBR kravet på ljusinsläpp ses över. Enligt deras erfarenhet kräver dagens krav ganska stora fönster som påverkar både komfort och energianvändning.

Diskussionen visade sig att det finns också branschaktörer som inte föredrar något av förslagen på kompletterande krav. Motiveringen är att det redan är problematiskt med dagens krav på grund av bristande mätning och verifiering. Dock behövs krav som säkerställer bra inneklimat.

3.4 Kompletterande krav som branschen använder idag

Flera fastighetsutvecklare och fastighetsägare ställer idag egna krav, eller har krav på sig vid markanvisning, utöver boverkets byggregler när de bygger nytt eller gör större ombyggnader. Flera aktörer nämnde att de överhuvudtaget inte uppför byggnader som ska uppfylla bara krav enligt BBR. De ställer högre krav och det är vanligt att krav ställs enligt Miljöbyggnad (*guld* eller *silver*) eller Svanen, dvs. en viss procentandel bättre än BBRs primärenergital.

Akademiska Hus använder också BELOKs energikrav och de använder särskilt BELOKs täthetskrav, vilka saknas i BBR. De har också tuffare krav på genomsnittlig värmegenomgångkoefficient (U_m) jämfört med BBR krav. Täthetskrav ställs också ofta på småhus där infiltrationen har större betydelse än för större byggnader, behöver vara betydligt tuffare än 0,3 l/s, m^2 A_{om} vid 50 Pa.

Flera aktörer nämnde egna krav som ställs på konstruktionsdelar, exempelvis maximala U-värden, tjocklek på isolering, osv. Några ställer krav på U_m som ligger betydligt lägre än kraven i till exempel småhus och förskolor, och är ofta mellan 0,14 -

0,2 W/m^2, K. Samtidigt anses det att vara svårt att klara BBR kraven på U_m för flerbostadshus. Detta gäller särskilt flerbostadshus med butiker i bottenvåningen, som ofta ska vara helglasade för trivsel. Det är också svårt att klara U_m med takterrasser. Även när de projekterar med små fönster så blir U-värdet per fönster högre vilket motverkar det. Detaljplanen och U_m-kravet ger stor påverkan på husets utformning. Att uppfylla U_m-kravet för höga byggnader kan också vara en utmaning.

Vissa ställer egna krav på glasad yta, som ska vara max 25 % av fasadytan, annars klarar de inte U_m kravet. Då räknas yttre fasaden, dvs. mellanbjälklag ingår, och gavelspets får inte inräknas. Minimikrav på glasandel bestäms av dagljuskraven och operativ temperatur beräknas för kontroll av övertemperaturen.

Krav ställs också på entreprenörer och byggprocessen.

4 Analys av kompletterande krav genom energiberäkningar

4.1 Tillvägagångsätt och avgränsningar vid beräkningarna

För att säkerställa att de kompletterande kraven kommer att fungera på önskat sätt har beräkningar genomförts för fyra olika byggnadskategorier: småhus, flerbostadshus, skola och kontor. Typbyggnaderna i varje byggnadskategori utformades utifrån vanligt förekommande konstruktioner, geometrier och planlösningar. Utgångspunkten har varit att återspegla hur en byggherre sannolikt, med dagens förutsättningar, skulle uppföra en byggnad om denna inte har några ytterligare ambitioner än att uppfylla gällande lagkrav. Byggnadsdelar har i första hand valts så att byggreglernas krav på genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U_m) för byggnadsskalet inklusive inverkan av köldbryggor precis uppfylls. En begränsning har dock gjorts att inte använda sämre byggnadsdelar än vad som förekommer på marknaden. Prestanda på installationer (värmepumpar, värmeåtervinningsaggregat etc.) är typiska eller något sämre än dagens standardprodukter.

Byggnadens primärenergital enligt definition i BBR29 har beräknats för typbyggnader och för olika uppvärmningsalternativ och jämförts med kraven i BBR29. I de fall som det inte var möjligt att klara kraven i BBR29 för en fjärrvärmeuppvärmd byggnad förbättrades egenskaper på olika byggnadsdelar och byggnadens U_m till dess att energikraven kunde uppfyllas.

Från typbyggnaden (dvs. originalfallet) i varje byggnadskategori har två varianter utformats. En så kallad lågenergibyggnad med bättre U-värde på byggdelar men fortfarande vanligt förekommande på marknaden idag. Lågenergibyggnaden har också bättre värmeåtervinning jämfört med originalfallet. Den andra varianten är en förändring av formfaktor men med samma tempererade area (A_{temp}) och samma U-värden på byggnadsdelar. Därmed har totalt 12 typbyggnader analyserats.

För alla typbyggnader beräknades primärenergital och köpt energi för olika kombinationer av värme- och kylsystem. Dessutom beräknades nettoenergi, nettovärme, värmeeffektbehov, värmeförlusttal och solvärmlasttal för varje typbyggnad.

De energisystem som undersöktes för de olika byggnadskategorierna redovisas i tabell 4.1. Frånluftsvärmepump ansågs inte vara ett alternativ för lokaler som behöver uppvärmd tilluft och har därför inte undersökts vare sig för kontoret eller skolan.

Tabell 4.1 Undersökta energisystem för de olika byggnadskategorierna.

Byggnadskategori/ energisystem	Småhus	Flerbostadshus	Kontor	Skola
Fjärrvärme	x	x	x	x
Bergvärmepump	x	x	x	x
Frånluftsvärmepump	x	x		
Pelletspanna	x	x		x
Kompressorkyla			x	

I samtliga beräkningar har till en början brukarrelaterade data för beräkningarna så långt som möjligt hämtats från BEN3. Dessutom har kontroll gjorts att installerad eleffekt inte överstiger krav i BBR29. Beräkningarna har gjorts för fyra olika orter: Linköping, Malmö, Östersund och Gällivare.

Känslighetsanalyser har genomförts med avseende påverkan av ventilationens värmeåtervinningsgrad, täthet, solavskärmning, ändrad verksamhetsenergi och vilken påverkan solvärmelasttalet har på termiskt klimat sommartid.

Beräkningar har genomförts med programmet BV2.Beräkningar för solvärmelasttal på rumsnivå har gjorts med IDA ICE.

4.2 Beskrivning av typbyggnader

4.2.1 Typsmåhus

Beräkningarna för småhus utgår från ett typiskt småhus i 1,5 plan och på 144 m^2 boarea (se figur 4.1). Den tempererade arean är 165 m^2 pga. varm vind.

Figur 4.1 Illustration av typsmåhus i 1,5-plan

Typbyggnaden har platta på mark med underliggande isolering och träregelstomme med mellanliggande isolering och träfasad. Taket har lättkonstruktion och består av två olika konstruktionstyper. Värden för klimatskärm som har använts i beräkningarna redovisas i tabeller 4.2 och 4.3. Övriga indata finns i bilaga 1. För BBR29 är kravet på U_m 0,3 W/m^2,K.

Tabell 4.2 Sammanfattning av konstruktionsparametrar för typsmåhuset i 1,5 plan.

Parameter	Värde
A_{temp}	165 m^2
A_{om}	328 m^2
Formfaktor	2,0
Fasad andel i A_{om}	36 %
Fönsterandel	22 %
Täthet vid 50 Pa	0,5 l/s, m^2 A_{om}

Tabell 4.3 U-värden för olika byggnadsdelar för typsmåhuset i 1,5 plan.

Byggnadsdel	Total area (m^2)	U-värde (W/m^2,K)
Ytterväggar	91	0,16
Vindsbjälklag	128	0,15
Golv mot mark	83	0,15[1)]
Fönster och dörrar	26	1,18
U_m		0,28

1) U-värde med mark

Typbyggnaden har mekanisk från- och tilluft med värmeåtervinning för uppvärmningssystemen fjärrvärme, bergvärmepump och biobränslepanna. Temperaturverkningsgrad för värmeåtervinningen i originalfallet är 75 %. Bergvärmepumpens årsvärmefaktor, SCOP, är mellan 3,1 - 3,3 beroende på ort. Energitäckningsgraden för bergvärmepumpen är 100 %. Vid uppvärmning med frånluftsvärmepump har byggnaden ett frånluftssystem. Frånluftsvärmepumpens årsvärmefaktor, SCOP, är mellan 2,5 - 3,2 beroende på ort och energitäckningsgraden varierar för olika utformningar av typbyggnaden och utomhusklimat. Energitäckningsgraden begränsas av frånluftsvärmepumpens maximala effektuttag. För beräkning av maximala effektuttag har en avluftstemperatur på -15°C antagits.

Indata som har använts i beräkningarna redovisas i bilaga 1.

4.2.2 Lågenergismåhus

För lågenergismåhus har typhusets konstruktionsdelar förbättrats genom ökning av isolering i fasad, golv och tak, samt förbättring av U-värden för fönster och dörrar och täthet. Värden för klimatskärmens egenskaper och sammanfattning av konstruktionsparametrar för lågenergismåhuset visas i tabell 4.4 och 4.5. Lågenergibyggnaden har mekanisk från- och tilluft med värmeåtervinning, 85 % temperaturverkningsgrad, för uppvärmning med fjärrvärme, bergvärmepump och biobränslepanna. Vid frånluftsvärmepump har byggnaden ett frånluftssystem. Frånluftsvärmepumpens årsvärmefaktor, SCOP, är mellan 2,7 - 3,1 beroende på ort och energitäckningsgraden varierar för olika utformningar av typbyggnaden och utomhusklimat. Bergvärmepumpens årsvärmefaktor, SCOP, är mellan 3,0 - 3,2 beroende på ort. Energitäckningsgraden för bergvärmepumpen är 100 %. Övriga indata som har använts i beräkningarna är samma som i typsmåhusfallet och redovisas i bilaga 1.

Tabell 4.4 Sammanfattning av konstruktionsparametrar för lågenergismåhuset i 1,5 plan.

Parameter	Värde
A_{temp}	165 m^2
A_{om}	328 m^2
Formfaktor	2,0
Fasad andel i A_{om}	36 %
Fönsterandel	22 %
Täthet vid 50 Pa	0,3 l/s, m^2 A_{om}

Tabell 4.5 U-värden för olika byggnadsdelar för lågenergismåhuset i 1,5 plan.

Byggnadsdel	Total area (m^2)	U-värde (W/m^2, K)
Ytterväggar	91	0,12
Vindsbjälklag	128	0,11
Golv mot mark	83	0,12[1)]
Fönster och dörrar	26	0,82
U_m		0,20

1) U-värde med mark

4.2.3 Typsmåhus med en annan formfaktor

Som ett alternativ for typsmåhuset i 1,5-plan har ett småhus i 1- plan analyserats. Byggnaden illustreras i figur 4.2. Huset har samma tempererad area, 165 m^2, och samma konstruktion som i originalfallet.

Figur 4.2 Illustration av typsmåhuset med en annan formfaktor.

Värden för klimatskärmens egenskaper och sammanfattning av konstruktionsparametrar visas i tabell 4.6 och 4.7. Bergvärmepumpens årsvärmefaktor, SCOP, är mellan 3,3 - 3,4 beroende på ort. Energitäckningsgraden för bergvärmepumpen är 100 %. Frånluftsvärmepumpens årsvärmefaktor, SCOP, är mellan 2,2- 2,9 beroende på ort och energitäckningsgraden varierar för olika utformningar av typbyggnaden och utomhusklimat. Övriga indata är samma som i originalfallet.

Tabell 4.6 Sammanfattning av konstruktionsparametrar för typsmåhuset med en annan formfaktor

Parameter	Värde
A_{temp}	165 m^2
A_{om}	515 m^2
Formfaktor	3,1
Fasad andel i A_{om}	32 %
Fönsterandel	20 %
Täthet vid 50 Pa	0,5 l/s, m^2 A_{om}

Tabell 4.7 U-värden för olika byggnadsdelar för typsmåhuset med en annan formfaktor.

Byggnadsdel	Total area (m^2)	U-värde ($W/m^2,K$)
Ytterväggar	131	0,16
Vindsbjälklag	186	0,15
Golv mot mark	165	0,14[1)]
Fönster och dörrar	33	1,13
U_m		0,25

1) U-värde med mark

4.2.4 Typflerbostadshus

Beräkningarna för ett typflerbostadshus utgår från ett flerbostadshus med 4 till 5 våningsplan ovan mark samt källare som används som förråd. Byggnadens uppvärmda area A_{temp} är 3 856 m^2. Det finns totalt 42 lägenheter i byggnaden. Byggnadens utseende, form, planlösningen och mått på konstruktionsdelar baseras på ett flerbostadshus som byggdes 2012. Byggnaden illustreras i figur 4.3. Byggnaden har en L-form (se figur 4.3).

Flerbostadshuset har balkonger i alla väderstreck. Balkongerna skärmar av cirka 70 % av den totala fönsterytan. Det finns också behovsstyrd solavskärmning med hjälp av persienner och gardiner.

Figur 4.3 Illustration av typbyggnad för flerbostadshus. Bilden på höger visar orientering och form.

Typbyggnaden har platta på mark med underliggande isolering och träregelstomme med mellanliggande isolering och putsad fasad. Gavelfasaden är av betong och isolerad med mineralull. Vindbjälklagget är av betong och isolerad med lösull. Egenskaper för klimatskärmen redovisas i tabeller 4.8 och 4.9 medan beskrivning av konstruktionen finns i bilaga 1. För BBR29 är kravet på U_m 0,4 W/m^2, K.

Tabell 4.8 Sammanfattning av konstruktionsparametrar för typflerbostadshuset.

Parameter	Värde
A_{temp}	3856 m^2
A_{om}	3910 m^2
Formfaktor	1,01
Fasad andel i A_{om}	61 %
Fönsterandel	24 %
Täthet vid 50 Pa	0,5 l/s, m^2 A_{om}

Tabell 4.9 U-värden för olika byggnadsdelar för typflerbostadshuset

Byggnadsdel	Total area (m^2)	U-värde ($W/m^2,K$)
Ytterväggar	1700	0,17
Källarväggar ovan mark	99	0,23
Källarväggar under mark	180	0,14[1)]
Vindsbjälklag	676	0,14
Golv mot mark	676	0,19[1)]
Fönster och dörrar	579	1,2
U_m		0,38

1) U-värde med mark

Typbyggnaden har mekanisk från- och tilluft med värmeåtervinning för uppvärmning med fjärrvärme, bergvärmepump och biobränslepanna. Temperaturverkningsgrad för värmeåtervinningen i originalfallet är 75 %. Fjärrvärmesystemets verkningsgrad är antaget att vara 0,98 och för pelletspanna 0,85. Bergvärmepumpens årsvärmefaktor, SCOP, är mellan 2,9 - 3,1 beroende på ort. Energitäckningsgraden för bergvärmepumpen är 100 %.

Vid frånluftsvärmepump har byggnaden ett frånluftssystem. Frånluftsvärmepumpens årsvärmefaktor är 3,1 - 3,2 beroende på ort (exkl. fjärrvärmespets). Energitäckningsgrad varierar mellan olika utformningar av typbyggnaden och klimat och är begränsade med frånluftsvärmepumpens maximala effektuttag. För beräkning av maximala effektuttag har avluftstemperatur +4°C antagits.

Vid modelleringen av byggnaden delas den upp i två zoner: en för våningsplanen och en för källaren.

För innetemperaturer, tappvarmvattenanvändning och övriga brukarindata har värden från BEN3 använts. Övriga indata baseras på projektdokumentation eller antaganden. Indata som har använts i beräkningarna redovisas i bilaga 1.

4.2.5 Lågenergiflerbostadshus

För lågenergiflerbostadhuset har typhusets konstruktionsdelar förbättrats genom ökad isolering i fasad, golv och tak, samt förbättring av U-värden för fönster och dörrar och täthet. Värden för klimatskärmens egenskaper och sammanfattning av konstruktionsparametrar för lågenergiflerbostadshuset visas i tabell 4.10 och 4.11.

Lågenergibyggnaden har mekanisk från- och tilluft med värmeåtervinning, 85 % temperaturverkningsgrad, för uppvärmning med fjärrvärme, bergvärmepump och biobränslepanna. Vid uppvärmning med frånluftsvärmepump har byggnaden ett frånluftssystem. Bergvärmepumpens årsvärmefaktor, SCOP, är mellan 2,8 - 3,0 beroende på ort. Energitäckningsgraden för bergvärmepumpen är 100 %. Övriga indata som har använts i beräkningarna är samma som i typsflerbostadshus och redovisas i bilaga 1.

Tabell 4.10. Sammanfattning av konstruktionsparametrar för lågenergiflerbostadshuset

Parameter	Värde
A_{temp}	3856 m^2
A_{om}	3910 m^2
Formfaktor	1,01
Fasad andel i A_{om}	61 %
Fönsterandel	24 %
Täthet vid 50 Pa	0,3 l/s, m^2 A_{om}

Tabell 4.11. U-värden för olika byggnadsdelar för lågenergiflerbostadshuset

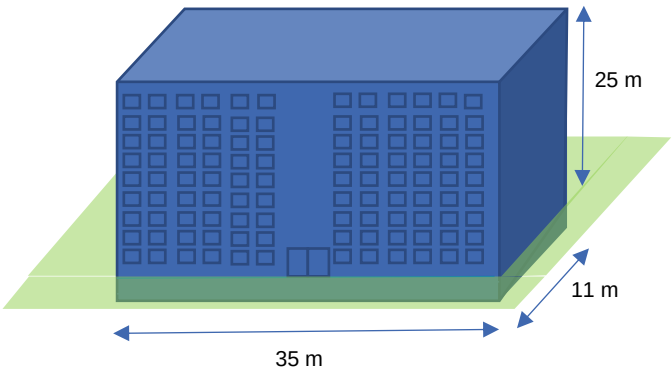
Byggnadsdel	Total area (m^2)	U-värde ($W/m^2,K$)
Ytterväggar	1700	0,12
Källarväggar ovan mark	99	0,18
Källarväggar under mark	180	0,14[1)]
Vindsbjälklag	676	0,09
Golv mot mark	676	0,13[1)]
Fönster och dörrar	579	0,9
U_m		0,27

1) U-värde med mark

4.2.6 Typflerbostadshus med en annan formfaktor

Som ett alternativ till typflerbostadhuset har ett flerbostadshus med en enklare rektangulär form simulerats. Byggnaden har 9 våningsplan ovan mark samt källare. Huset har samma tempererade area, 3856 m^2, och samma konstruktion som i originalfallet. Byggnadens mått illustreras i figur 4.4 och värden för klimatskärm och sammanfattning av konstruktionsparametrar visas i tabell 4.12 och 4.13.

Med en annan form för byggnaden jämfört med originalfallet minskas formfaktor från 1,0 till 0,86. Arean för vindsbjälklag och bottenplatta minskar, fönsterarea ökar marginellt, samtidigt som fasadandel i hela den omslutande arean blir större jämfört med originalfallet. Detta leder till ett U_m-värde på 0,43 W/m^2,K, vilket överskrider krav i BBR29. För BBR29 är kravet på U_m 0,4 W/m^2, K.



Figur 4.4 Illustration av formen till typlerbostadshuset med en annan formfaktor

Tabell 4.12 Sammanfattning av konstruktionsparametrar för typflerbostadshuset med en annan formfaktor

Parameter	Värde
A_{temp}	3856 m^2
A_{om}	3326 m^2
Formfaktor	0,86
Fasad andel i A_{om}	72 %
Fönsterandel	25 %
Täthet vid 50 Pa	0,5 l/s, m^2 A_{om}

Tabell 4.13 U-värden för olika byggnadsdelar för typflerbostadshuset med en annan formfaktor

Byggnadsdel	Total area (m^2)	U-värde ($W/m^2,K$)
Ytterväggar	1719	0,17
Källarväggar ovan mark	64	0,23
Källarväggar under mark	166	0,14[1)]
Vindsbjälklag	386	0,14
Golv mot mark	386	0,18[1)]
Fönster och dörrar	606	1,2
U_m		0,43

1) U-värde med mark

Vid frånluftsvärmepump har byggnaden ett frånluftssystem. Bergvärmepumpens årsvärmefaktor, SCOP, är mellan 2,9 - 3,1 beroende på ort. Energitäckningsgraden för bergvärmepumpen är 100 %. Övriga indata är samma som i originalfallet.

4.2.7 Typskola

Beräkningarna för skolan utgår från en typisk mellan- och högstadieskola. Skolan har en tempererad area på 6139 m^2. Byggnadens utseende, form, planlösningen och mått på konstruktionsdelar är från en skola som byggdes 2015. En del av byggnaden består av 2 våningsplan och en del av 4 våningsplan. Byggnaden är ett suterränghus där plan 1 är delvis under marken. Byggnaden illustreras i figur 4.5.

Typbyggnaden har platta på mark med underliggande isolering. Byggnaden har flera olika fasadkonstruktioner. Huvudfasadkonstruktionen består av väggelement av betong, isolering och träpaneler eller fasadskivor av fibercement. Fasadkonstruktionen på den översta våningen är lättkonstruktion med träregel och mellanliggande isolering. Källarväggar är av betong med cellplastisolering. Takkonstruktionen är lättkonstruktion med träregel och mellanliggande isolering. Värden för klimatskärm som har använts i beräkningarna redovisas i tabeller 4.14 och 4.15. Beskrivning av konstruktion och egenskaper för klimatskärmen ges i bilaga 1.

Figur 4.5 Illustration av typskolan.

Byggnaden har byggnadsdelar med U-värden för fönster, vägg, tak och bottenplatta som kan förekomma idag men som har sämre prestanda än vanligen använda komponenter. Trots det blev U_m bara 0,29 W/m^2,K, dvs betydligt bättre än det krav som finns i BBR29 på 0,5 W/m^2,K. Att använda ännu sämre byggnadsdelar ansågs inte vara rimligt med avseende på dagens byggteknik varför beräkningarna har utförts för dessa.

Tabell 4.14 Sammanfattning av konstruktionsparametrar för typskolan

Parameter	Värde
A_{temp}	6139 m^2
A_{om}	7503 m^2
Formfaktor	1,22
Fasad andel i A_{om}	36 %
Fönsterandel	28 %
Täthet vid 50 Pa	0,5 l/s, m^2 A_{om}

Tabell 4.15 U-värden för olika byggnadsdelar för typskolan

Byggnadsdel	Total area (m^2)	U-värde (W/m^2,K)
Ytterväggar	1934	0,22
Källarväggar under mark	367	0,17[1)]
Vindsbjälklag	2240	0,15
Golv mot mark	2226	0,13[1)]
Fönster och dörrar	737	1,2
U_m		0,29

1) U-värde med mark

Typbyggnaden har mekanisk från- och tilluft med värmeåtervinning med 75 % temperaturverkningsgrad. Verkningsgrad för fjärrvärmesystemet är 0,98 och för

pelletspanna 0,85. Bergvärmepumpens årsvärmefaktor, SCOP, är ca 3,4. Energitäckningsgraden för bergvärmepumpen är 100 %.

För innetemperaturer, tappvarmvattenanvändning och övriga brukarindata har värden från BEN3 använts. Övriga indata baseras på projektdokumentation eller antaganden. Indata som har använts i beräkningarna redovisas i bilaga 1.

4.2.8 Lågenergiskola

För lågenergiskola har typbyggnadens konstruktionsdelar förbättrats genom ökning av isoleringsskikten i fasad, golv och tak, förbättrad täthet och förbättring av U-värden för fönster och dörrar. Värden för klimatskärmens egenskaper och konstruktionsparametrar för lågenergiskolan visas i tabell 4.16 och 4.17. Lågenergibyggnaden har mekanisk från- och tilluft med värmeåtervinning med 85 % temperaturverkningsgrad. Övriga indata som har använts i beräkningarna är samma som i typsflerbostadshus och redovisas i bilaga 1.

Tabell 4.16. Sammanfattning av konstruktionsparametrar för lågenergiskolan

Parameter	Värde
A_{temp}	6139 m^2
A_{om}	7503 m^2
Formfaktor	1,22
Fasad andel i A_{om}	36 %
Fönsterandel	28 %
Täthet vid 50 Pa	0,3 l/s, m^2 A_{om}

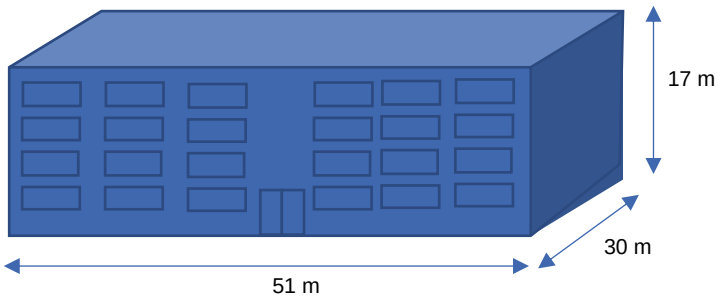
Tabell 4.17 U-värden för olika byggnadsdelar för lågenergiskolan

Byggnadsdel	Total area (m^2)	U-värde ($W/m^2,K$)
Ytterväggar	1934	0,13
Källarväggar under mark	367	0,12[1)]
Vindsbjälklag	2240	0,10
Golv mot mark	2226	0,10[1)]
Fönster och dörrar	737	0,8
U_m		0,19

1) U-värde med mark

4.2.9 Typskola med en annan formfaktor

Som ett alternativ form till typskolan som är delvis 2 och delvis 4 våningsplan har en skola med en enklare rektangulär form och med 4 våningsplan simulerats. Huset har samma tempererade area 6139 m^2 och samma konstruktion som i originalfallet. Byggnadens mått illustreras i figur 4.6 och värden för klimatskärmens egenskaper och sammanfattning av konstruktionsparametrar visas i tabell 4.18 och 4.19. Övriga indata är samma som i originalfallet.



Figur 4.6 Illustration av formen till typskolan med en annan formfaktor

Tabell 4.18 Sammanfattning av konstruktionsparametrar för typskolan med en annan formfaktor

Parameter	Värde
A_{temp}	6139 m^2
A_{om}	5781 m^2
Formfaktor	0,94
Fasad andel i A_{om}	47 %
Fönsterandel	28 %
Täthet vid 50 Pa	0,5 l/s, m^2 A_{om}

Tabell 4.19. U-värden för olika byggnadsdelar för typskolan med en annan formfaktor

Byggnadsdel	Total area (m^2)	U-värde ($W/m^2,K$)
Ytterväggar	1964	0,22
Källarväggar under mark	-	-
Vindsbjälklag	1535	0,15
Golv mot mark	1535	0,12[1)]
Fönster och dörrar	747	1,2
U_m		0,32

1) U-värde med mark

Med den nya byggnadsformen minskar byggnadens formfaktor till 0,9 jämfört med 1,2 i originalfallet. Arean för vindsbjälklag och bottenplatta blir mindre jämfört med originalfallet. Fönsterandelen i fasadarean är densamma medan fasadandelen av hela den omslutande arean blir större. Detta leder till ett ökat U_m-värde, 0,32 W/m^2,K, vilket fortfarande är långt under kravet 0,5 W/m^2,K i BBR29.

4.2.10 Typkontor

Beräkningarna för kontorsbyggnaden utgår från ett typiskt kontor med kontorslandskap som byggdes 2011. Alla fasader har stora glaspartier, ca 50 % av fasadarean är fönster. Den simulerade byggnaden har totalt 9 våningsplan, varav två av dem är källarplan med garage och tekniska utrymmen. Den tempererade arean är 12320 m^2. Byggnaden illustreras i figur 4.7.

Figur 4.7 Illustration av fasad med 50 % glasad area, vilken har använts för att representera typkontoret.

För att göra beräkningar så att byggnaden precis klarar krav i BBR har byggnaden utrustats med byggnadsdelar med U-värden för fönster, vägg, tak och bottenplatta som kan förekomma idag. Den verkliga kontorsbyggnaden har en dubbel glasfasad på södersida för solavskärmning, vilken i typbyggnaden har tagits bort och ersatts av en extra beläggning på glaset för solavskärmning.

Typbyggnadens konstruktion är huvudsakligen betong. I beräkningar har tre olika konstruktionstyper för fasad antagits. Konstruktionstyp F1 används på bottenplan, konstruktionstyp F2 på plan 1 till 11 och konstruktionstyp F3 på plan 12. Beskrivning av konstruktion och egenskaper för klimatskärm ges i bilaga 1. Värden för klimatskärm som har använts i beräkningarna redovisas i tabeller 4.20 och 4.21.

Tabell 4.20 Sammanfattning av konstruktionsparametrar för typkontoret

Parameter	Värde
A_{temp}	12320m^2
A_{om}	8906 m^2
Formfaktor	0,72
Fasad andel i A_{om}	53 %
Fönsterandel	51 %
Täthet vid 50 Pa	0,5 l/s, m^2 A_{om}

Tabell 4.21 U-värden för olika byggnadsdelar för typkontoret

Byggnadsdel	Total area (m^2)	U-värde (W/m^2,K)
Ytterväggar	2339	0,24
Källarväggar ovan mark	87	0,33
Källarväggar under mark	543	0,33
Vindsbjälklag	1700	0,16
Golv mot mark	1814	0,39
Fönster och dörrar	2424	1,0
U_m		0,49

1) U-värde med mark

Byggnaden ventileras via ett FTX-system. Temperaturverkningsgrad för värmeåtervinningen i originalfallet är 75 %. Byggnaden har vattenburen komfortkyla, som distribueras via kylbafflar. Kyla produceras med kylmaskiner (kompressorkyla), med COP 2,5. Verkningsgrad för fjärrvärmesystemet är 0,98 och för pelletspanna 0,85. Bergvärmepumpens årsvärmefaktor, SCOP, är mellan 3,3 - 3,4 beroende på ort. Energitäckningsgraden för bergvärmepumpen är 100 %.

För innetemperaturer och, tappvarmvattenanvändning har värden från BEN3 använts. Övriga indata baseras på projektdokumentation eller antaganden. Indata som har använts i beräkningarna redovisas i bilaga 1.

4.2.11 Lågenergikontor

För lågenergikontor har typbyggnadens konstruktionsdelar förbättrats genom ökning av isoleringsskikten i fasad, golv och tak, förbättrad täthet och förbättring av U-värden för

fönster och dörrar. Värden för klimatskärmens egenskaper och konstruktionsparametrar för lågenergikontoret visas i tabell 4.23 och 4.24.

Tabell 4.23 Sammanfattning av konstruktionsparametrar för lågenergikontoret

Parameter	Värde
A_{temp}	12320m^2
A_{om}	8906 m^2
Formfaktor	0,72
Fasad andel i A_{om}	53 %
Fönsterandel	51 %
Täthet vid 50 Pa	0,3 l/s, m^2 A_{om}

Tabell 4.24 U-värden för olika byggnadsdelar för lågenergikontoret

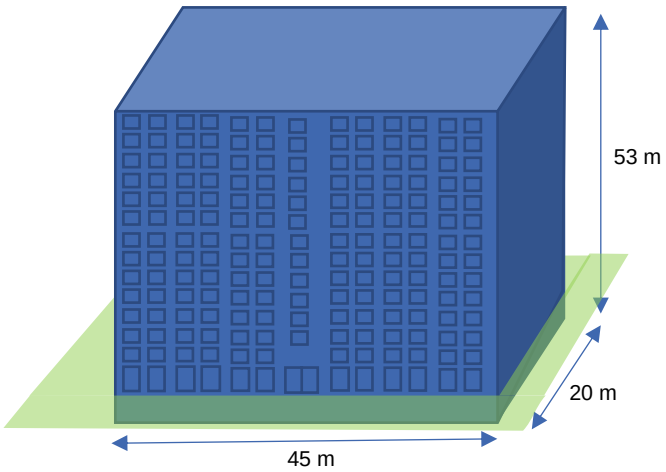
Byggnadsdel	Total area (m^2)	U-värde (W/m^2,K)
Ytterväggar	2339	0,12
Källarväggar ovan mark	87	0,23
Källarväggar under mark	543	0,23
Vindsbjälklag	1700	0,11
Golv mot mark	1814	0,27
Fönster och dörrar	2424	0,8
U_m		0,36

1) U-värde med mark

Lågenergibyggnaden har mekanisk från- och tilluft med värmeåtervinning med 85 % temperaturverkningsgrad. Bergvärmepumpens årsvärmefaktor, SCOP, är mellan 3,0 - 3,3 beroende på ort. Energitäckningsgraden för bergvärmepumpen är 100 %. Övriga indata som har använts i beräkningarna är samma som i typkontor och redovisas i bilaga 1.

4.2.12 Typkontor med en annan formfaktor

Typkontoret har 7 våningsplan ovan marken och i stort sett kvadratisk form. Alternativ till typbyggnaden är en 14 våningar hög byggnad med samma tempererade area 12320 m^2 och samma konstruktion som i originalfallet. Byggnadens mått illustreras i figur 4.8 och värden för klimatskärmens egenskaper och sammanfattning av konstruktionsparametrar visas i tabell 4.25 och 4.26.



Figur 4.8 Illustration av formen till typkontoret med en annan formfaktor

Tabell 4.25. Sammanfattning av konstruktionsparametrar för typkontoret med en annan formfaktor

Parameter	Värde
A_{temp}	12320 m^2
A_{om}	9279 m^2
Formfaktor	0,75
Fasad andel i A_{om}	74 %
Fönsterandel	52 %
Täthet vid 50 Pa	0,5 l/s, m^2 A_{om}

Tabell 4.26 U-värden för olika byggnadsdelar för typkontoret med en annan formfaktor

Byggnadsdel	Total area (m^2)	U-värde ($W/m^2,K$)
Ytterväggar	3338	0,24
Källarväggar ovan mark	87	0,33
Källarväggar under mark	543	0,33
Vindsbjälklag	850	0,16
Golv mot mark	907	0,39
Fönster och dörrar	3555	1,0
U_m		0,57

1) U-värde med mark

Bergvärmepumpens årsvärmefaktor, SCOP, är mellan 3,3 - 3,4 beroende på ort. Energitäckningsgraden för bergvärmepumpen är 100 %. Övriga indata är samma som i originalfallet.

Med den nya byggnadsformen ökar byggnadens formfaktor marginellt till 0,75, jämfört med 0,72 i originalfallet. Fönsterarean ökar marginellt medan fasadandelen i hela den omslutande arean blir större jämfört med originalfallet. Detta leder till ett ökat U_m-värde, 0,57 W/m^2,K, vilket överskrider BBR29 krav på U_m-värde 0,5 W/m^2,K.

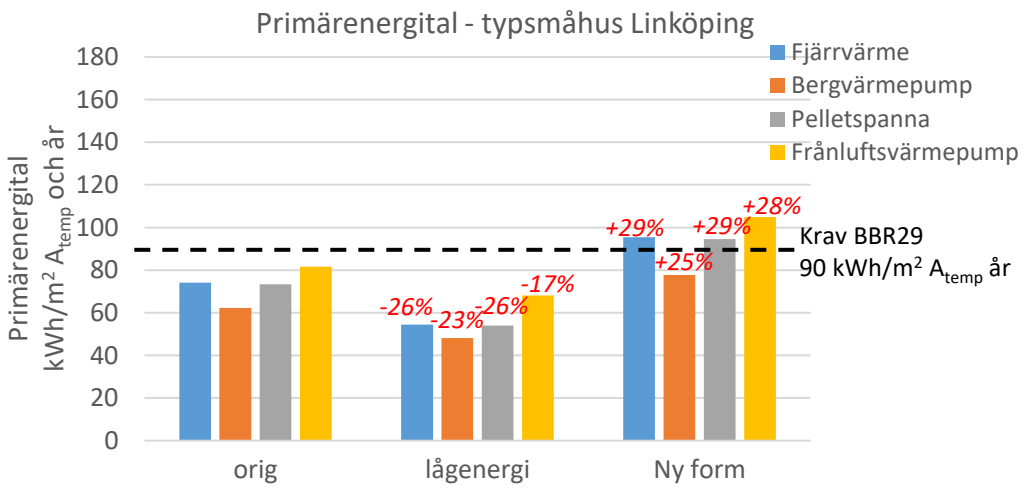
5 Resultat

5.1 Småhus

5.1.1 Kravet på primärenergital och U_m

Figur 5.1 visar beräknat primärenergital för olika typsmåhus och uppvärmningssystem i Linköping. Resultat för övriga orter visas i bilaga 2. Ändring av primärenergital i jämförelse med originalfallet (1,5- plan) visas i procent.

För småhus är krav på primärenergital 90 kWh/m^2 A_{temp} enligt BBR29. Typsmåhuset i originalfallet uppfyller krav enligt BBR29 med god marginal för uppvärmning med samtliga uppvärmningssystem.



Figur 5.1 Primärenergital för olika energisystem i typsmåhus i Linköping jämfört med krav i BBR29. Ändring av primärenergitalet i jämförelse med originalfallet (1,5- plan) visas i procent.

Resultatet visar att förbättrad konstruktion och täthet tillsammans med bättre värmeåtervinning (lågenergihus med FTX) kan minska primärenergitalet ca 16-28 % jämfört med originalfallet, beroende på ort och uppvärmningssystem. Krav på primärenergital enligt BBR29 uppfylls med god marginal.

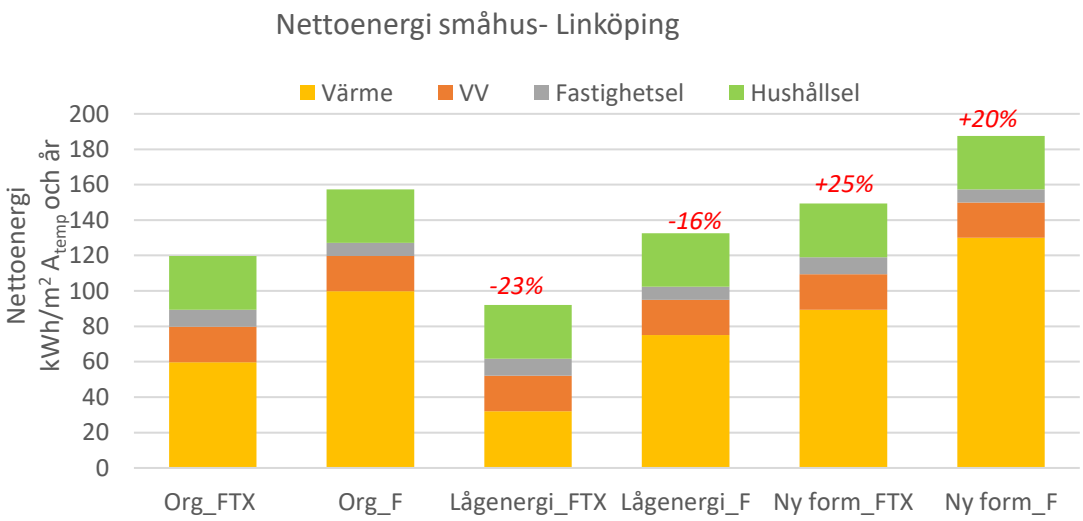
Ökad formfaktor leder till ökning av primärenergitalet med ca 22-37% jämfört med typsmåhuset i originalfallet, beroende på ort och uppvärmningssystem. För typsmåhus i 1-plan uppfylls kravet på primärenergital bara med bergvärmepump i samtliga beräknade orter. I Gällivare klaras primärenergitalet i BBR29 även för uppvärmning med pelletspanna, dock finns ingen marginal till kravet. För övriga orter kommer 1-plansbyggnaden inte att uppfylla energikrav enligt BBR29, trots att U_m är betydligt lägre än kravet 0,3 W/m^2,K.

Typsmåhusets (1,5 plan) konstruktion har valts så att byggnaden klarar krav på U_m 0,3 W/m^2,K i BBR29 och är 0,28 W/m^2,K. Förbättring av byggnadens konstruktion till

lågenergistandard minskar U_m-värdet till 0,20 W/m^2,K. En ändring av typsmåhuset till 1-planshus ger en ökad formfaktor och förbättrar U_m-värdet till 0,25 W/m^2,K. Byggnadens energianvändning ökar dock jämfört med originalfallet.

5.1.2 Nettoenergi (använd energi)

Figur 5.2 visar den totala nettoenergin (inkl. hushållsel) för olika typsmåhus i Linköping. Resultat för övriga orter visas i bilaga 2. Ändring av nettoenergi i jämförelse med originalfallet (1,5- plan) visas i procent. Typsmåhus med frånluftsystem (F-system) gäller bara då uppvärmning sker med frånluftsvärmepump.



Figur 5.2 Nettoenergi för olika typsmåhus i Linköping. Ändringar i nettoenergi jämförs med originalfallet (1,5-plan).

Resultatet visar att värmeåtervinning av ventilationsluft har stor påverkan på nettoenergin (FTX system jämfört med F-system). Förbättrad konstruktion och täthet tillsammans med bättre värmeåtervinning (lågenergihus med FTX) kan spara mellan 21 till 27 % av den totala nettoenergin jämfört med typsmåhuset i originalfallet. Den större besparingsnivån gäller för byggnader i kallare orter. Konstruktionsåtgärder så som förbättrade U-värden och ökad täthet motsvarar ca 15-20 % av hela nettoenergibesparingen i lågenergismåhuset.

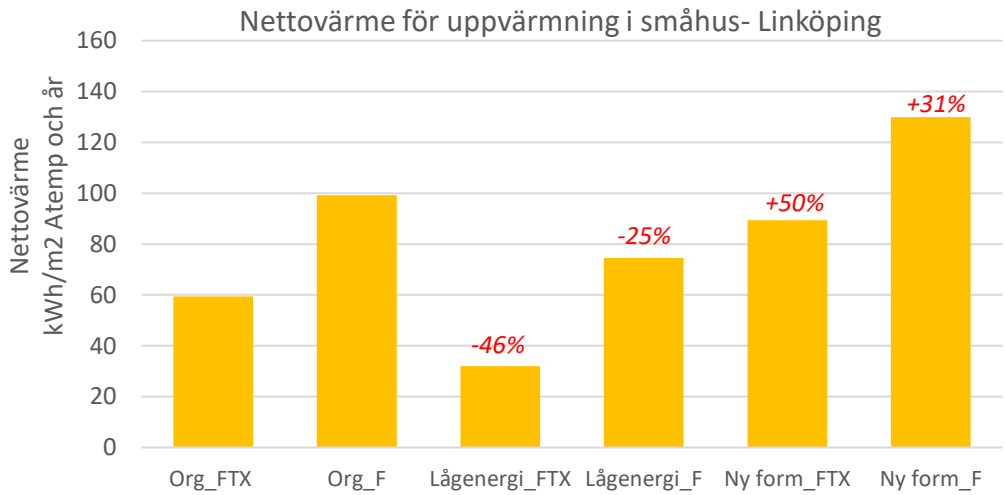
Ändrad formfaktor (typsmåhus i 1-plan) leder till ökad nettoenergi, i fallet med FTX system, med upp till ca 29 % (beroende av ort). Detta trots att typsmåhuset i 1-plan har samma konstruktion och lägre U_m-värde jämfört med originalfallet (1,5-plans småhus).

Jämfört med primärenergitalet påverkar åtgärder som förbättrade U-värden och ökad täthet (lågenergihusfallet) resultatet procentuellt nästan lika mycket som nettoenergi. Att styra valet av konstruktionen och byggnadens klimatskärm med kravet på nettoenergi kommer därmed inte att bidra till något extra nytta. Dessutom påverkas byggnadens

nettoenergi också av andra energiposter så som tappvarmvattenanvändning, fastighetsel och hushållsel, som totalt kan motsvara hälften av den totala nettoenergin i ett småhus.

5.1.3 Nettovärme

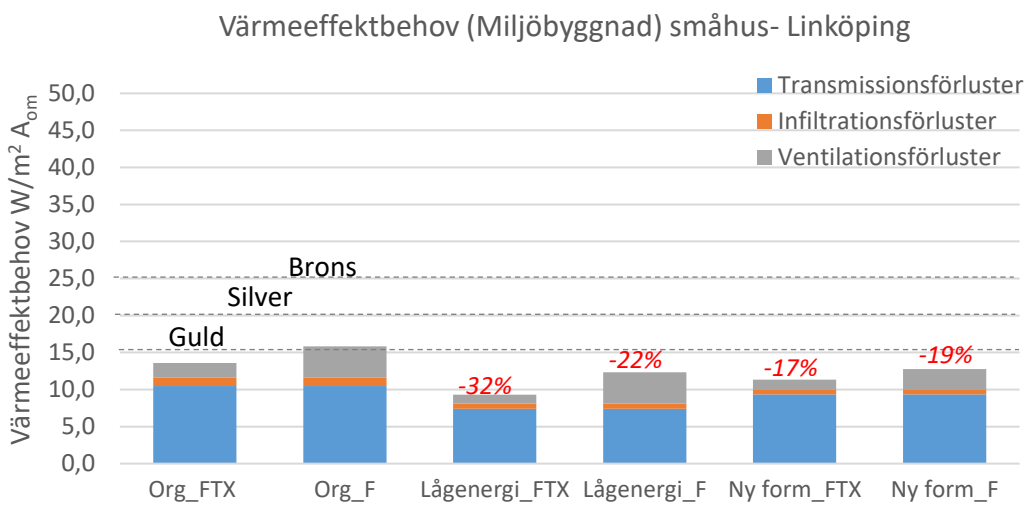
Figur 5.3 nedan visar nettovärme för uppvärmning för olika typsmåhus i Linköping. Ändring av nettovärme i jämförelse med originalfallet (1,5 plan) visas i procent. Bättre U-värden, ökad täthet och bättre värmeåtervinning (lågenergihus) kan minska nettovärme för uppvärmning med upp till 48 % i typsmåhus, beroende på ort. Om man bortser från åtgärder i ventilationssystemet kommer minskningen att vara upp till 40 %. Ett kompletterande krav specifikt på nettovärme för uppvärmning kommer därmed att ha större påverkan på byggnadens klimatskärm i småhus än ett krav på nettoenergi.



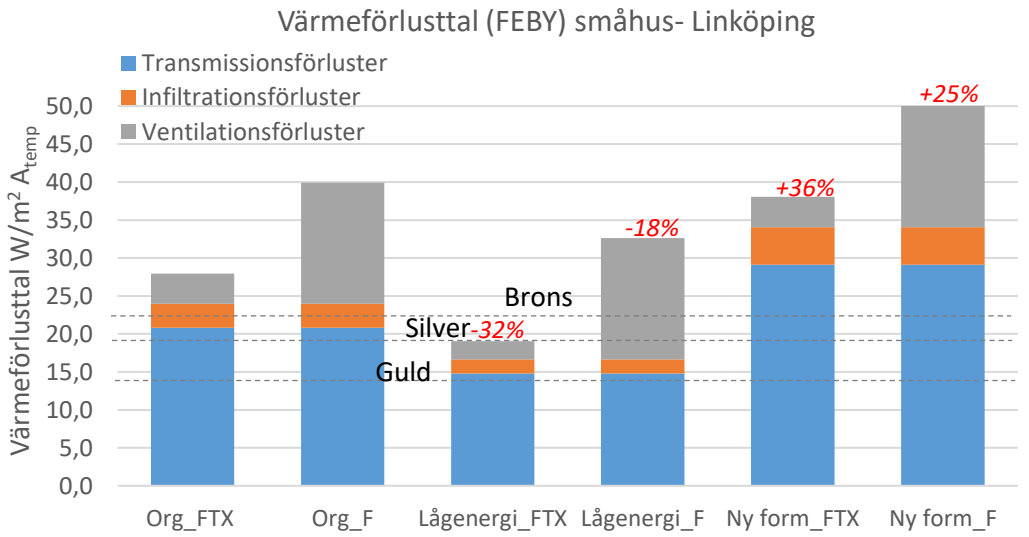
Figur 5.3 Nettovärme för uppvärmning för olika typsmåhus i Linköping. Ändringar i nettovärme jämförs med originalfallet (1,5- plan).

5.1.4 Värmeeffektbehov och värmeförlusttal

Beräknat värmeeffektbehov enligt Miljöbyggnad och värmeförlusttal enligt Feby visas i figur 5.4 och 5.5. Resultatet visas för orten Linköping medan resultat för övriga orter visas i bilaga 2.



Figur 5.4: Beräknad värmeeffektbehov för olika typsmåhus i Linköping. Ändringar i värmeeffektbehov jämförs med originalfallet (1,5 plan).



Figur 5.5: Beräknad värmeförlusttal för olika typsmåhus i Linköping. Ändringar i värmeförlusttal jämförs med originalfallet (1,5 plan).

Förbättrad konstruktion, täthet och temperaturverkningsgrad för värmeåtervinning minskar värmeeffektbehovet och värmeförlusttalet med ca 32 % i byggnaden med FTX system. Ökad formfaktor med 50 % leder till 17 % lägre värmeeffektbehov samtidigt som värmeförlusttalet ökar med 36 %.

Resultatet visar att beräknat värmeeffektbehov skiljer sig avsevärt från beräknat värmeförlusttal för samtliga typsmåhus och orter. Värmeförlusttalet är minst två gånger högre jämfört med värmeeffektbehovet. Detta kan förklaras med skillnader i beräkningsmetoden. Värmeeffektbehov beräknas per omslutande area A_{om} och värmeeffektbehov per tempererad area A_{temp}. Eftersom byggnadens omslutande area i originalfallet är två gånger högre än tempererad area, är beräknat värmeeffektbehov

också två gånger lägre än beräknat värmeförlusttal. En stor skillnad mellan Miljöbyggnad och Feby är att frånluftsystem där frånluftsvärmepump används bedöms olika. I Miljöbyggnad beräknas värmepumpen som värmeåtervinning. Detta görs inte i beräkning av värmeförlusttalet enligt Feby där frånluftsvärmepumpen ligger utanför systemgränsen och ventilationsförluster beräknas utan värmeåtervinning. Därmed blir värmeförlusttalet med F-system betydligt högre jämfört med FTX system.

Marginella skillnader finns också i beräkningsmetodiken för infiltrationsförluster. Ändringar i byggnadens täthet har marginell påverkan på värmeeffektbehovet medan påverkan är något större vid beräkning av värmeförlusttal.

Typsmåhuset har svårt att uppfylla nivån *brons* på värmeförlusttal enligt Feby. Lågenergismåhus uppfyller krav på *silver* i alla orter förutom Gällivare där värmeförlusttalet hamnar under minimikravet *brons*. Enligt Miljöbyggnad uppfyller alla simuleringsalternativ nivå *guld* i samtliga orter, förutom originalfallet med F-system i Linköping och Malmö.

5.1.5 Solvärmelasttal

Typsmåhuset har fönster med standard g-värde 0,55. Det finns också brukarstyrd solavskärmning genom invändiga persienner med g-värde 0,71. Solvärmelasttalet har beräknats i ett antal kritiska rum. Totalt har 3 rum utvärderats och resultatet visas i tabell 5.1.

Tabell 5.1 Beräknat solvärmelasttal i kritiska rum i typflerbostadshuset.

Parameter	Rum 1 (vardagsrum plan 1)	Rum 2 (sovrum plan 1)	Rum 3 (allrum plan 2)
Area rum A_{rum}	21	14	12
Area glas A_{glas}	4	2	2
A_{glas}/A_{rum}	20%	15%	17%
g-värde fönster	0,55	0,55	0,55
g-värde invändig solvaskärmning	0,71	0,71	0,71
g-värde utvändig solvaskärmning	1,0	1,0	1,0
g-system	0,39	0,39	0,39
Solvärmelasttal W/m²	63	48	54
Bedömning Miljöbyggnad 3.1	Ej brons	Ej brons	Ej brons
Bedömning Feby	Ej klassad	Ej klassad	Ej klassad

Beräknat solvärmelasttal överskrider rekommenderade nivåer enligt Miljöbyggnad och Feby. Enligt Miljöbyggnad 3.1 ska solvärmelasttalet vara under 38 W/m^2 golvarea och enligt Feby ska solvärmelasttalet vara under 29 W/m^2 i bostadsbyggnader.

För att minska solvärmelasttalet behövs någon typ av utvändig solavskärmning. Exempelvis med utvändiga markiser, som bara används sommartid, kan solvärmelasttalet minskas till 25 W/m^2 golvarea i vardagsrum på plan 1, till 19 W/m^2 golvarea i sovrum på plan 1 och till 21 W/m^2 golvarea i allrum på plan 2. Detta uppfyller rekommenderad miniminivå enligt Feby och nivå *silver* enligt Miljöbyggnad 3.1.

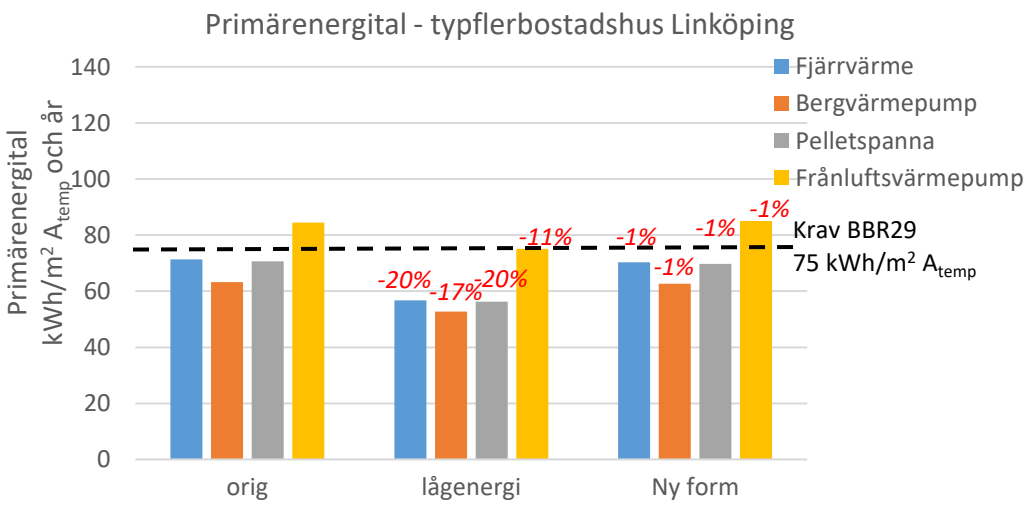
Ett förbättrat solvärmelasttal med utvändiga markiser sommartid förbättrar typsmåhusets inneklimat men påverkar inte nettoenergin eftersom småhuset inte har något kylsystem.

5.2 Flerbostadshus

5.2.1 Krav på primärenergital och U_m

Figur 5.6 visar beräknat primärenergital för olika typflerbostadshus och uppvärmningssystem i Linköping. Resultat för övriga orter visas i bilaga 2. Ändring av primärenergital i jämförelse med typflerbostadshuset i originalfallet visas i procent.

För flerbostadshuset är kravet på primärenergital i BBR29 75 kWh/m^{2,} A_{temp}. Typflerbostadshuset i originalfallet och vid ändrad formfaktor uppfyller krav enligt BBR29 för alla analyserade uppvärmningssystem, förutom för frånluftsvärmepump med fjärrvärme som spets. För lågenergiflerbostadshus klaras primärenergitalet i BBR29 även för uppvärmning med frånluftsvärmepump, dock finns ingen marginal till kravet.



Figur 5.6: Primärenergital för olika typflerbostadshus och uppvärmningssystem i Linköping jämfört med krav i BBR29. Ändring av primärenergitalet i jämförelse med originalfallet visas i procent.

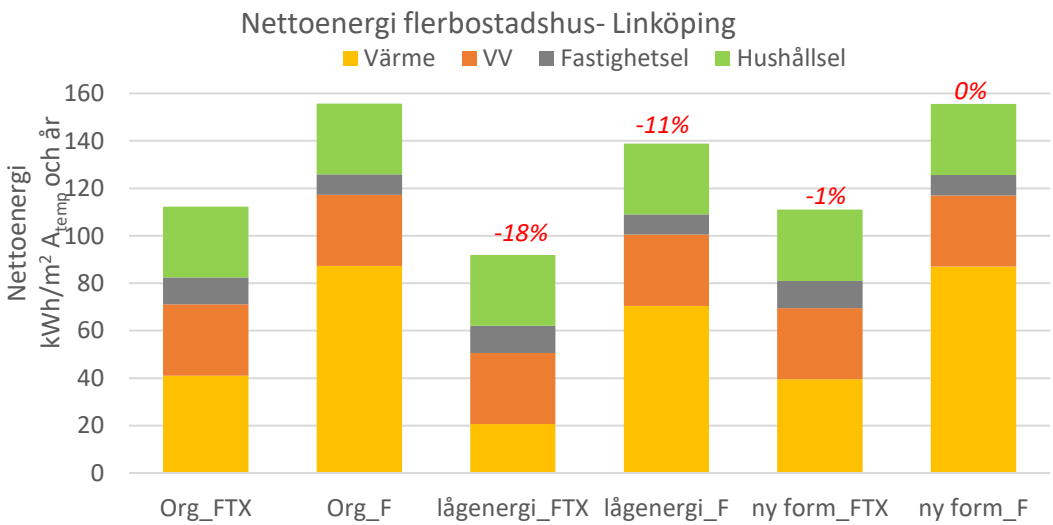
Förbättrat klimatskärm, täthet och förbättrad värmeåtervinningsgrad i ventilationssystemet minskar primärenergitalet med ca 11-21 % jämfört med originalfallet, beroende på ort och uppvärmningssystem. U_m minskas från 0,38 till 0,27 W/m^2,K.

Förändrad formfaktor för typbyggnaden, från 1,01 till 0,86 ökar U_m-värdet från 0,38 till 0,43 W/m^2,K, även fast konstruktionen har samma egenskaper (U-värden och täthet) som i originalfallet. Detta betyder att typflerbostadshuset med en ny formfaktor inte längre uppfyller krav på U_m enligt BBR29. Primärenergitalet är däremot nästan samma som i originalfallet.

5.2.2 Nettoenergi (använd energi)

Figur 5.7 visar nettoenergi för olika typflerbostadhus. Resultatet gäller för Linköping medan resultat för övriga orter visas i bilaga 2. Ändringar i nettoenergi jämfört med originalfallet med FTX visas i procent.

Ändringar till lågenergiflerbostadshus genom förbättrade U-värden, ökad täthet och bättre värmeåtervinningsgrad i FTX systemet minskar byggnadens nettoenergi med 16 till 23 %, beroende av ort. Minskningen är något större i kallare orter. Ungefär 5 % av besparingen kommer från förbättrad temperaturverkningsgrad i ventilationssystemet. Åtgärder i konstruktionen kan spara upp till 15 % av nettoenergin. Ändrad formfaktor från 1,0 till 0,9 leder till ingen eller marginell förbättring av nettoenergin.

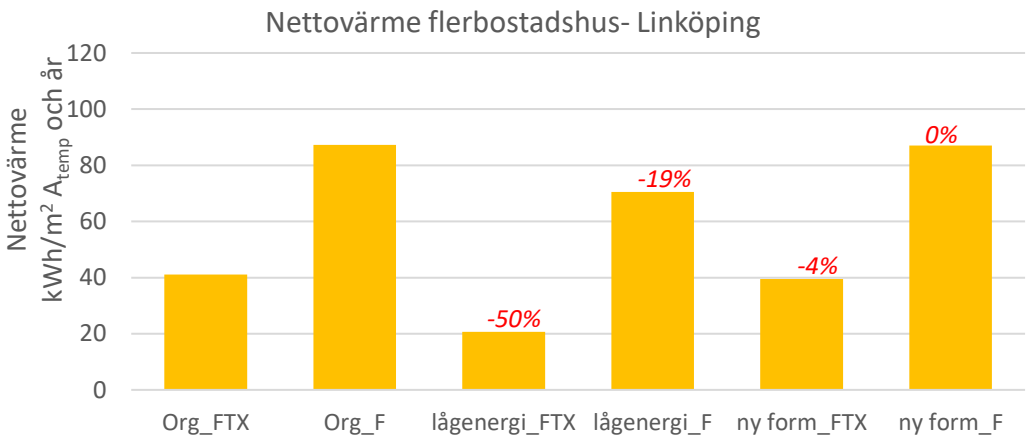


Figur 5.7: Nettoenergi för typflerbostadshus i Linköping. Ändringar i nettoenergi jämförs med originalfallet.

5.2.3 Nettovärme

Figur 5.8 visar ändringar i nettovärme för uppvärmning för olika typflerbostadshus i Linköping. Resultat för övriga orter visas i bilaga 2. Ändring av nettovärme i jämförelse

med originalfallet visas i procent. Lågenergibyggnaden med bättre klimatskärm, täthet och värmeåtervinning minskar nettovärme för uppvärmning med 45 - 51 %, beroende på ort. Om man bortser från åtgärder i ventilationssystemet kommer minskningen att vara upp till 40 %. Ändrad formfaktor från 1,0 till 0,9 leder till marginell minskning av nettovärme för uppvärmning.



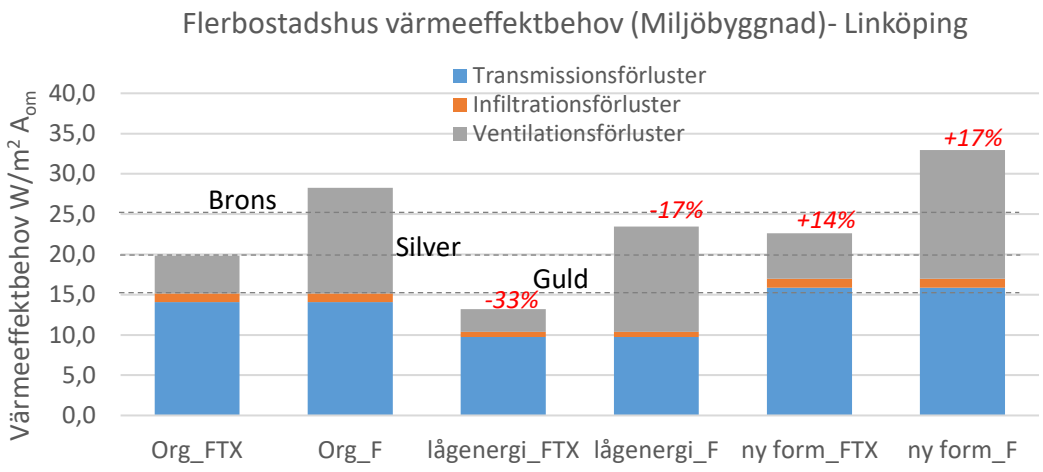
Figur 5.8: Nettovärme för uppvärmning för olika flerbostadsalternativ i Linköping.

5.2.4 Värmeeffektbehov och värmeförlusttal

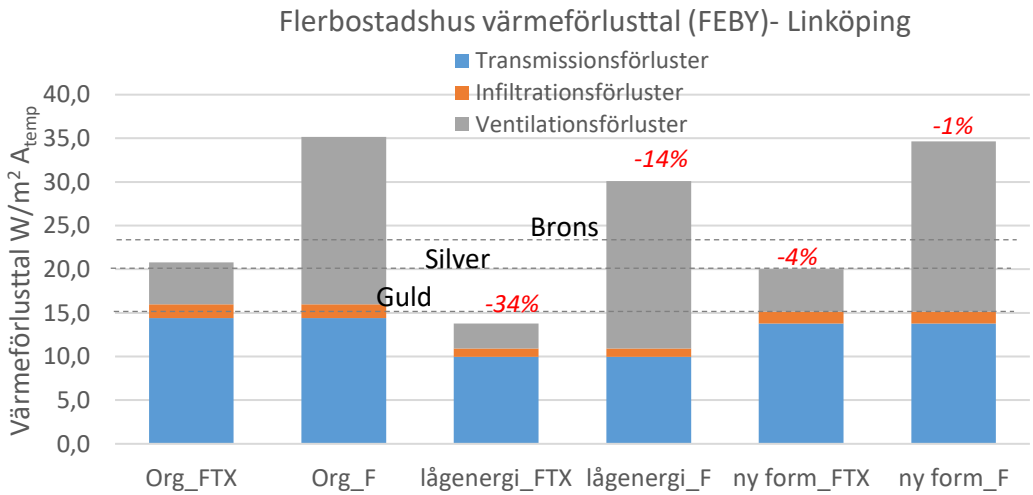
Beräknat värmeeffektbehov enligt Miljöbyggnad och värmeförlusttal enligt Feby olika typflerbostadshus visas i figurer 5.9 och 5.10. Resultatet gäller för orten Linköping medan resultat för övriga orter visas i bilaga 2.

Beräknade värmeeffektbehov och värmeförlusttal ger ganska jämförbara resultat i byggnader med FTX system och detta på grund av att byggnadens tempererade area och omslutande area är i storleksmässigt nästan lika stora, dvs. byggnadens formfaktor är 1,0. Med F-system blir skillnader större, vilket beror på att de två metoderna ha olika sätt att hantera frånluftsvärmepump.

Förbättrad konstruktion, täthet och temperaturverkningsgrad för värmeåtervinning minskar värmeeffektbehovet med ca 33 % och värmeförlusttalet med ca 34 % oavsett ort. Resultatet visar också att för typflerbostadshuset med 10 % bättre formfaktor ökar värmeeffektbehovet med ca 14 % i alla orter. Värmeförlusttalet minskas med 4 % med minskad formfaktor.



Figur 5.9 Beräknat värmeeffektbehov (Miljöbyggnad) för olika typflerbostadhus i Linköping. Ändringar i värmeeffektbehov jämförs med originalfallet.



Figur 5.10 Beräknad värmeförlusttal (Feby) för olika typflerbostadshus i Linköping. Ändringar i värmeförlusttal jämförs med originalfallet.

Vilken kravnivå olika typflerbostadshus uppfyller beror på ort. I varmare orter uppfyller typflerbostadshuset i originalfallet kravnivån *silver* eller *brons* både med värmeeffektbehov och värmeförlusttal. I kallare orter uppfyller typflerbostadshuset i originalfallet den högsta kravnivån för värmeeffektbehov samtidigt som byggnaden har svårare att uppfylla den lägsta kravnivån för värmeförlusttal enligt Feby. Feby-kraven förutsätter bättre konstruktion när byggnaden byggs i kallare orter jämfört med varmare orter. Lågenergibyggnaden uppfyller kravnivån Guld i båda metoderna.

5.2.5 Solvärmelasttal

Typflerbostadshuset i originalfallet har fönster med g-värde 0,55 och solavskärmning med balkonger i alla väderstreck. Det finns också brukarstyrd solavskärmning genom invändiga persienner med g-värde 0,71.

Solvärmelasttalet har beräknats i ett antal kritiska rum på de översta våningsplanen (plan 4 och 5). De utvalda rummens area är mer än 20 % av arean på ett våningsplan.

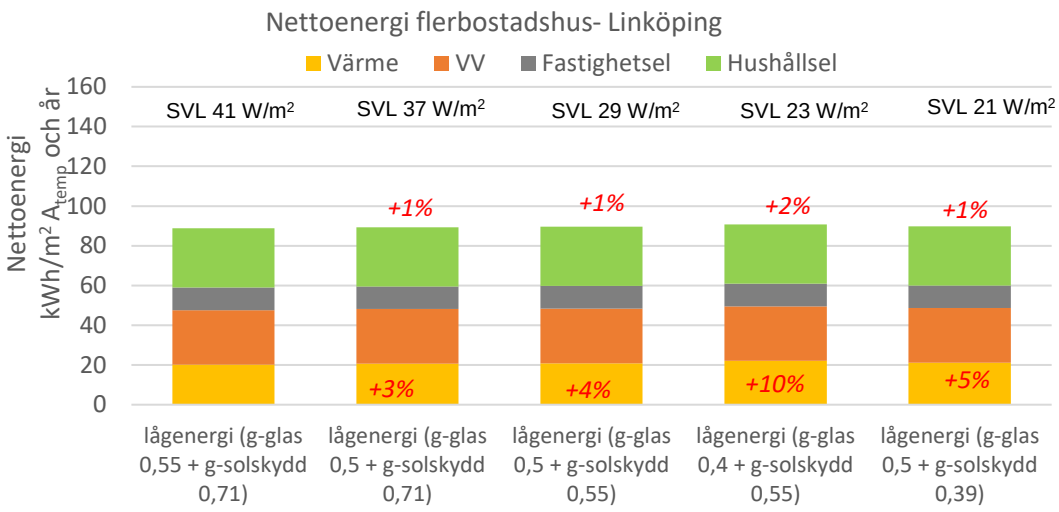
Totalt har solvärmelasttal för 8 rum beräknats, se tabell 5.2. De flesta av rummen uppfyller kravnivå *silver* enligt Miljöbyggnad förutom två rum, där beräknat solvärmelasttal är sämre än vad som behövs för kravnivå *brons.*

Tabell 5.2 Beräknat solvärmelasttal i kritiska rum i typflerbostadshuset.

Parameter	Rum 1	Rum 2	Rum 3	Rum 4	Rum 5	Rum 6	Rum 7	Rum 8
Area rum A_{rum}	33	34	34	33	16	25	24	16
Area glas A_{glas}	5	3	3	5	1	4	4	1
A_{glas}/A_{rum}	14%	10%	10%	14%	8%	14%	14%	8%
A_{glas}/A_{fasad}	27%	37%	37%	27%	14%	25%	25%	14%
g-värde fönster	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
g-värde invändig solvaskärmning	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
g-värde utvändig solvaskärmning	0,68	0,42	0,69	0,91	1,0	0,42	0,9	1,0
g-system	0,27	0,16	0,27	0,37	0,39	0,16	0,35	0,39
Solvärmelasttal W/m^2	30	13	21	41	26	19	40	26
Bedömning Miljöbyggnad 3.1	Brons	Guld	Silver	Ej brons	Silver	Silver	Ej brons	Silver
Bedömning FEBY	Ej klassad	Klassad	Klassad	Ej klassad	Klassad	Klassad	Ej klassad	Klassad

För att komma upp till nivå *brons* i de mest kritiska rummen (rum 4 och 7) behövs fönsterglas med lägre solfaktor. Om fönsterglasen istället har g-värde 0,5 kommer de sämsta rummen att uppfylla kravnivå *brons* och övriga rum *guld* eller *silver*. För att minska solvärmelasttalet kan man installera bättre solvaskärmning, exempelvis mellanliggande persienn med g-värde 0,55. För att minska solvärmelasttalet ytterligare kan man antigen byta till ett bättre fönsterglas med g-värde 0,4 eller alternativt installera både invändig och utvändig solavskärmning på fönster, vilket minskar solvärmelasttalet i kritiska rum till 21 W/m^2 golvarea. I båda fallen kommer solvärmelasttalet att uppfylla kravnivå *silver* i de mest kritiska rummen (rum 4 och 7) och nivå *guld* i de övriga rum.

Vilken inverkan de olika solvärmelasttalen har på byggnadens nettoenergi illustreras i figur 5.11. Resultatet visas för lågenergiflerbostadshus och gäller för Linköping med geografisk justeringsfaktor F_{geo}= 1,0.



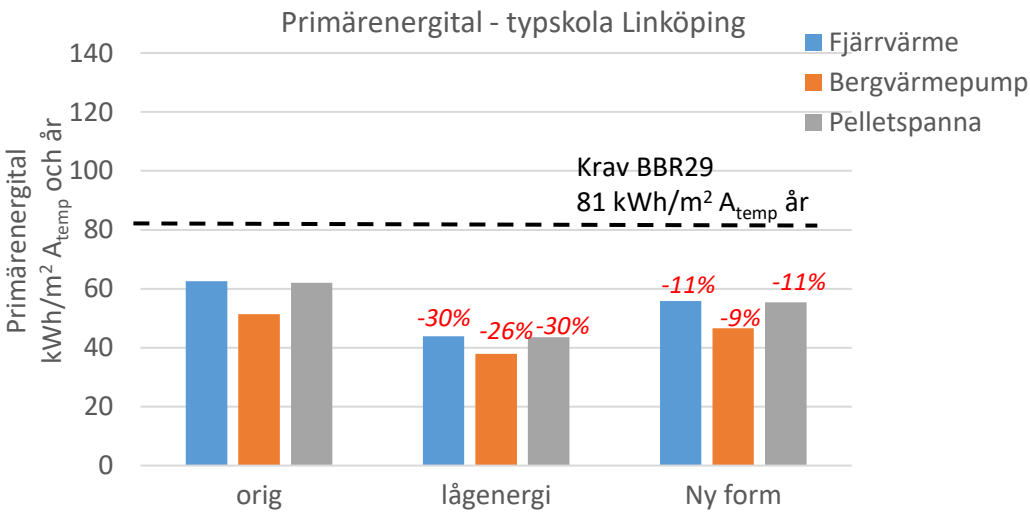
Figur 5.11 Inverkan av solvärmelasttal på nettoenergi i lågenergiflerbostadshusets i Linköping. Beräknat solvärmelasttal visas för det mest kritiska rummet (Rum 4).

Resultatet visar att minskat solvärmelasttal leder till marginella ändringar i byggnadens nettoenergi. Minskad solfaktor på fönsterglaset leder till ca 10% högre nettovärme för uppvärmning på grund av minskat värmetillskott via solinstrålning vintertid.

5.3 Skola

5.3.1 Krav på primärenergital och U_m

Figur 5.12 visar beräknat primärenergital för olika typskolor och uppvärmningssystem i Linköping. Resultat för övriga orter visas i bilaga 2. Ändring av primärenergital i jämförelse med typskolan i originalfallet visas i procent.



Figur 5.12: Primärenergital för olika typskolor och uppvärmningssystem i Linköping jämfört med krav i BBR29. Ändring av primärenergitalet i jämförelse med originalfallet visas i procent.

För lokaler är krav på primärenergital 70 kWh/m^{2,} A_{temp} enligt BBR29. Dock är ett tillägg tillåtet då uteluftsflödet i temperaturreglerande utrymmen av utökade hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m^2 A_{temp}. Utgångspunkten i beräkningen har varit en verklig skola som byggdes 2015. Baserat på projekterade luftflöden är genomsnittliga uteluftsflödet i byggnaden 0,64 l/s per m^2 A_{temp}. Med luftflödestillägget blir kravet på primärenergital 81 kWh/m^{2,} A_{temp}.

I beräkningarna har byggnadens utformats med byggnadsdelar med U-värden för fönster, vägg, tak och bottenplatta som kan förekomma idag men som har sämre prestanda än vanligen använda komponenter. Exempelvis har ytterväggar U-värde 0,22 W/m^2,K och fönster U-värde 1,2 W/m^2,K. Att använda ännu sämre byggnadsdelar ansågs inte vara rimligt med avseende av dagens byggteknik. Typbyggnadens U_m är 0,29 W/m^2,K, vilket är långt under BBR-kravet för lokaler, U_m 0,5 W/m^2,K. Figuren ovan visar att krav i BBR29 uppfylls för samtliga typskolor med god marginal.

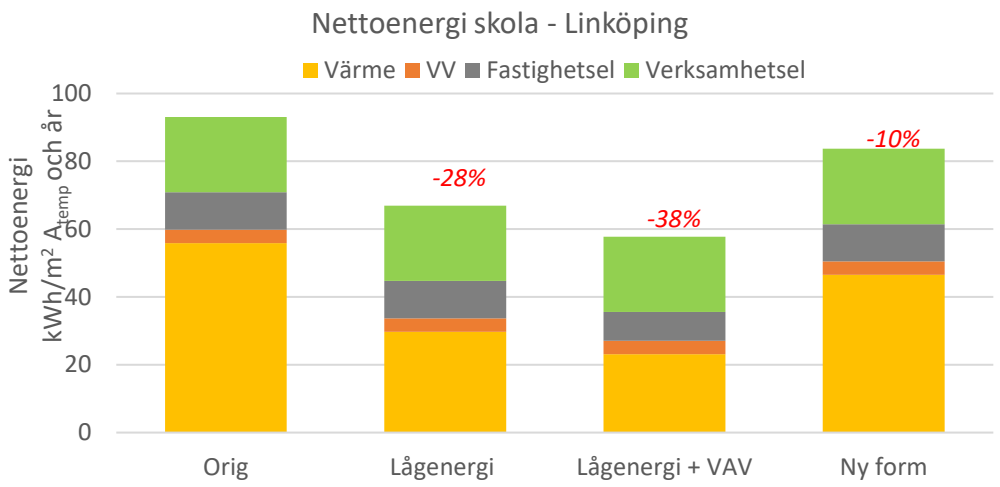
Förbättrad konstruktion, täthet och ventilationens värmeåtervinning minskar primärenergitalet med ca 24 - 30 % jämfört med typskolan i originalfallet och beroende på ort. I kallare orter är besparingen något mindre.

Minskad formfaktor från 1,2 till 0,9 ökar U_m-värdet till 0,32 W/m^2,K. Primärenergitalet däremot minskas ca 8-11 % och är bättre jämfört med originalfallet.

5.3.2 Nettoenergi (använd energi)

Nettoenergi för olika typskolor visas i figur 5.13. Resultatet gäller för orten Linköping medan resultat för övriga orter visas i bilaga 2. Ändringar i nettoenergi jämfört med typskolan i originalfallet visas i procent.

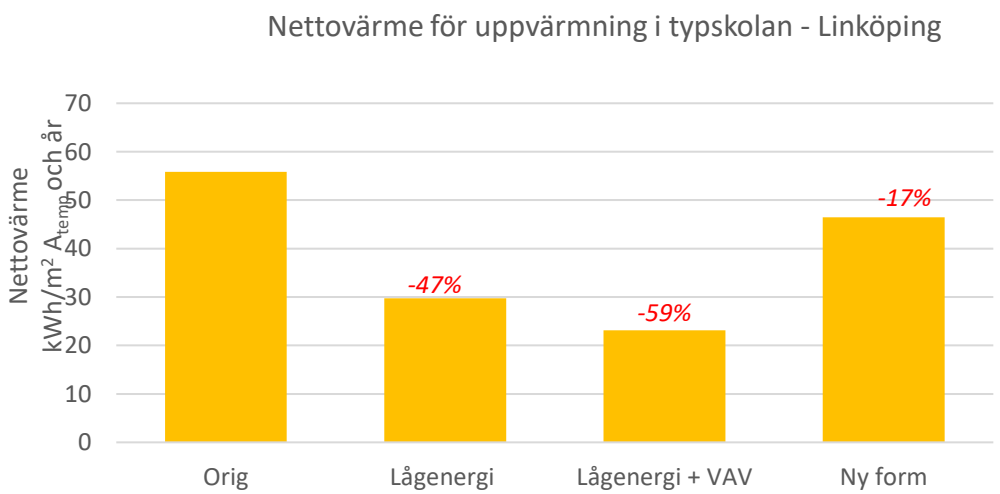
Lågenergiskolan med förbättrad klimatskärm, ökad täthet och förbättrad värmeåtervinning i ventilationssystemet minskar byggnadens nettoenergi med 26 till 32 %. Ändringarna är något större i kallare klimat jämfört med typskolan i varmare orter. Ventilationsåtgärden där konstantluftflödessystem (CAV) byts ut till variabelflödessystem (VAV) minskar nettoenergin ytterligare med ca 8-10 %. På grund av höga hygieniska luftflöden i skolor har åtgärder i ventilationssystemet stor påverkan på nettoenergi. Förbättrad formfaktor från 1,2 till 0,9 minskar byggnadens nettoenergi med ca 10 %.



Figur 5.13: Nettoenergi för olika typskolor i Linköping. Ändringar i nettoenergi jämförs med typskolan i originalfallet.

5.3.3 Nettovärme

Figur 5.14 visar ändringar i nettovärme för uppvärmning för olika typskolor i Linköping. Resultat för övriga orter visas i bilaga 2. Ändring av nettovärme i jämförelse med originalfallet visas i procent. Lågenergibyggnaden med bättre klimatskärm, täthet och värmeåtervinning minskar nettovärme för uppvärmning med ca 47 %. Byte från konstantluftflödessystem (CAV) till variabelflödessystem (VAV) minskar nettovärme för uppvärmning ytterligare med ca 12 %. Bättre formfaktor, minskning från 1,2 till 0,9, minskar byggnadens nettovärme med ca 17 % i Linköping.



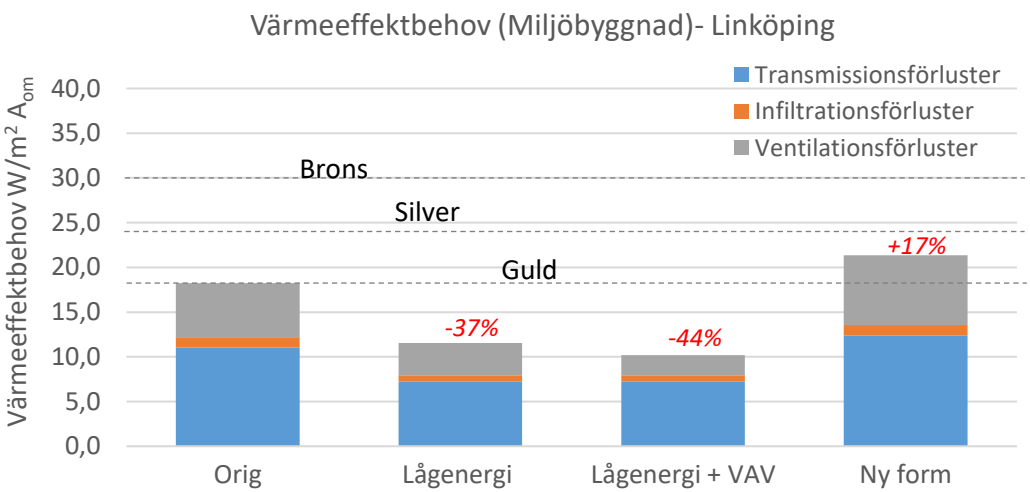
Figur 5.14: Nettovärme för uppvärmning för olika typskolor i Linköping.

5.3.4 Värmeeffektbehov och värmeförlusttal

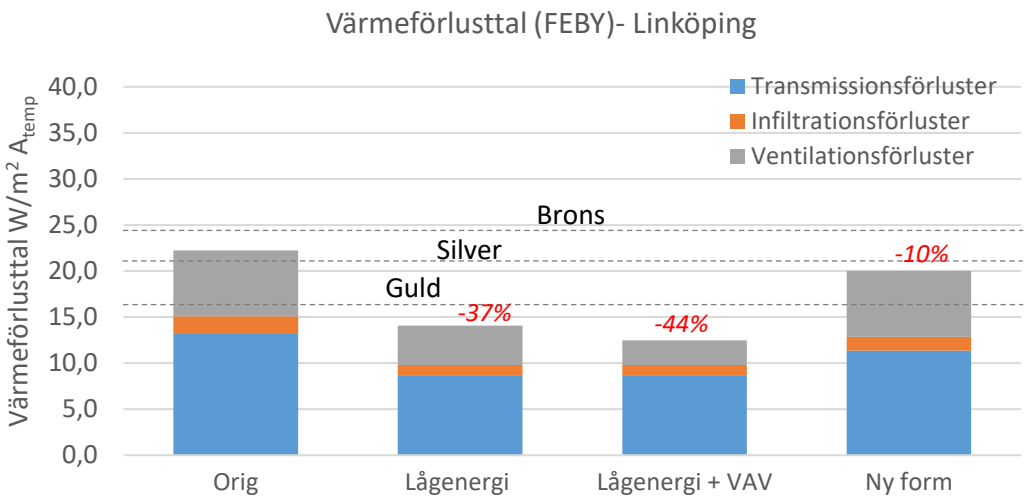
Beräknat värmeeffektbehov enligt Miljöbyggnad och värmeförlusttal enligt Feby för olika typskolor visas i figurer 5.15 och 5.16. Resultatet gäller för orten Linköping medan resultat för övriga orter visas i bilaga 2.

Förbättrad konstruktion, täthet och temperaturverkningsgrad för värmeåtervinning minskar värmeeffektbehovet och värmeförlusttalet med ca 37 % oavsett ort. Med byte till variabelflödessystem (VAV) i ventilationssystemet kan värmeeffektbehovet och värmeförlusttalet minskas ytterligare, till 44 %. Minskad formfaktor med 23 % leder till 17 % högre värmeeffektbehov samtidigt som värmeförlusttalet minskas med 10 %. Ventilationsförluster har större påverkan i värmeeffektbehovet och värmeförlusttalet jämfört med exempelvis småhus och flerbostadshus. Detta på grund av högre luftflöden.

Nivån *guld* uppnås på värmeeffektbehov för samtliga typskolor, förutom för typskolan i originalfallet i Malmö och typskolan med ändrad formfaktor i Malmö, Linköping och Östersund. Beräknat värmeeffektbehov är ca 20 % högre än värmeeffektbehov i originalfallet. Med minskad formfaktor minskas skillnaden. Originalbyggnaden och byggnaden med ändrad formfaktor når betyget *brons* eller *silver* för värmeförlusttal i varmare orter Malmö och Linköping, men det är svårare att uppfylla minimikravet för värmeförlusttalet i kallare klimat. Lågenergibyggnaden når betyget *guld* för värmeförlusttal i samtliga orter.



Figur 5.15: Beräknad värmeeffektbehov (Miljöbyggnad) för olika typskolor Linköping. Ändringar i värmeeffektbehov jämförs med typskolan i originalfallet.



Figur 5.16: Beräknad värmeförlusttal (Feby) för olika skolbyggnadsalternativ i Linköping. Ändringar i värmeförlusttal jämförs med typskolan i originalfallet.

5.3.5 Solvärmelasttal

Typskolan i originalfallet har fönster med g-värde 0,5 och brukarstyrd solavskärmning genom invändiga persienner med g-värde 0,65. De flesta klassrum i skolan vetter mot norr. Solvärmelasttalet har beräknats i ett antal kritiska rum med fönster mot sydost. Totalt har solvärmelasttal för 4 rum beräknats, se tabell 5.3. Två av dem används för undervisningsverksamhet och två rum används för administrativ verksamhet. De flesta rummen uppfyller inte minimikravet enligt Miljöbyggnad 3.1 eller krav enligt Feby.

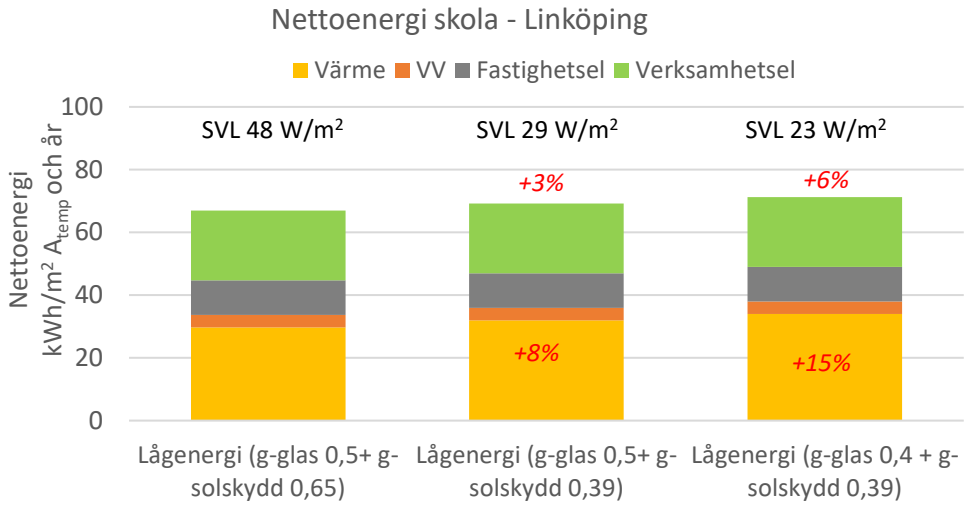
Tabell 5.3 Beräknat solvärmelasttal i kritiska rum i typskolan.

Parameter	Rum 1 (grupprum)	Rum 2 (musik)	Rum 3 (kontor)	Rum 4 (personalrum)
Area rum A_{rum}	37	70	18	46
Area glas A_{glas}	7	13	3	7
A_{glas}/A_{rum}	18 %	18 %	18 %	15 %
g-värde fönster	0,5	0,5	0,5	0,5
g-värde invändig solvaskärmning	0,65	0,65	0,65	0,65
g-värde utvändig solvaskärmning	1,0	1,0	1,0	1,0
g-system	0,33	0,33	0,33	0,33
Solvärmelasttal W/m²	48	47	47	40
Bedömning Miljöbyggnad 3.1	Ej brons	Ej brons	Ej brons	Brons
Bedömning FEBY	Ej klassad	Ej klassad	Ej klassad	Ej klassad

För att minska solvärmelasttalet i de mest kritiska rummen (rum 1, 2 och 3) behövs bättre solavskärmning. Exempelvis kan solvärmelasttalet minskas till nivå *silver* enligt

Miljöbyggnad 3.1 med utvändig solavskärmning. Med lägre solfaktor på fönsterglaset kan solvärmelasttalet minskas ytterligare.

Vilken inverkan de olika solvärmelasttalen har på byggnadens nettoenergi illustreras i figur 5.17. Resultatet visas för lågenergiskolan och gäller för orten Linköping med geografisk justeringsfaktor F_{geo}= 1,0. Resultatet visar att minskat solvärmelasttal leder till marginell ökning av byggnadens nettoenergi. Minskad solfaktor på fönsterglaset ökar nettovärme för uppvärmning med ca 15 % på grund av minskat värmetillskott via solinstrålning vintertid.



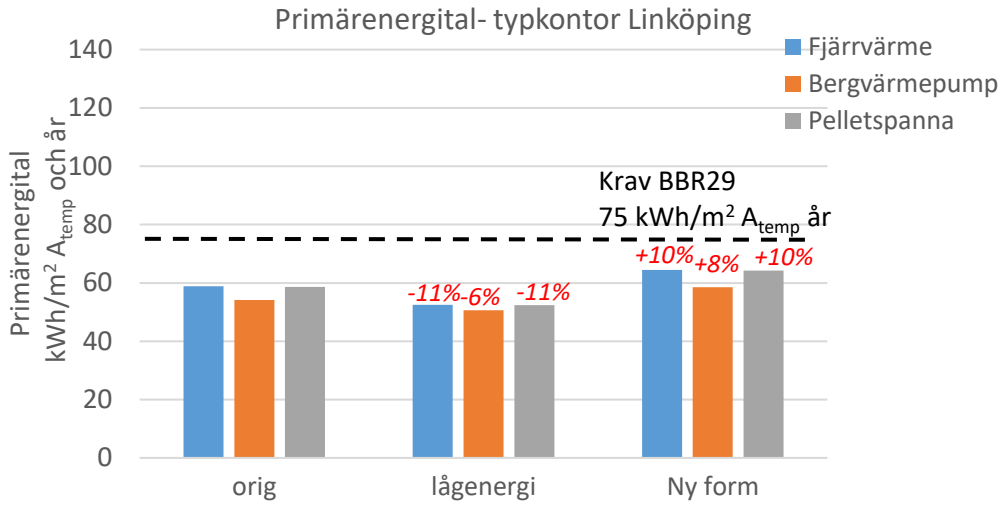
Figur 5.17 Inverkan av solvärmelasttal på nettoenergi i lågenergiskolan i Linköping. Beräknat solvärmelasttal visas för det mest kritiska rummet (Rum 1).

5.4 Kontor

5.4.1 Kravet på primärenergital och U_m

Figur 5.18 visar beräknat primärenergital för olika typkontor och uppvärmningssystem i Linköping. Resultat för övriga orter visas i bilaga 2. Ändring av primärenergital i jämförelse med typkontoret i originalfallet visas i procent.

Utgångspunkten i beräkningen har varit ett kontor som byggdes 2011. Baserat på projekterade luftflöden är genomsnittliga uteluftsflödet i byggnaden 0,49 l/s per m² A_{temp}. Med luftflödestillägget blir kravet på primärenergitalet 75 kWh/m²A_{temp} och år.



Figur 5.18: Primärenergital för olika typkontor och uppvärmningssystem i Linköping jämfört med krav i BBR29. Ändring av primärenergitalet i jämförelse med originalfallet visas i procent.

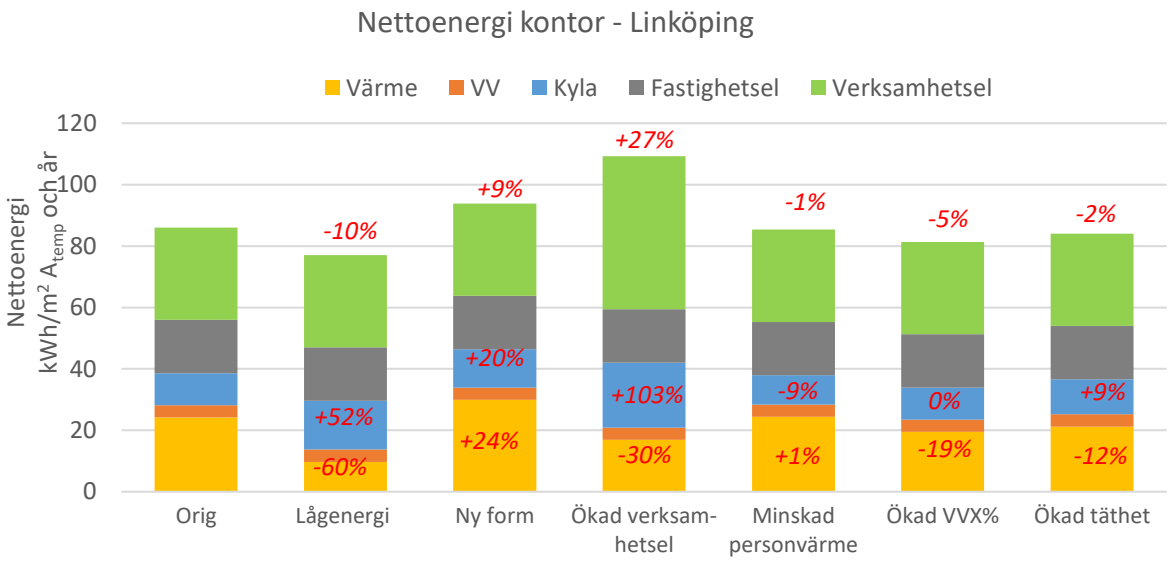
Typkontorets byggnadsdelar har utformats så att BBR29 kravet på U_m 0,5 W/m^2,K precis uppfylls. Typkontorets U_m är 0,49 W/m^2,K. Figurerna visar att krav på primärenergital uppfylls för samtliga typkontor med god marginal.

I lågenergikontoret minskas U_m-värdet till 0,36 W/m^2,K samtidigt som primärenergitalet minskar med ca 6-15 % jämfört med typkontor i originalfallet, beroende på ort och uppvärmningssystem.

Marginell ändring av formfaktor från 0,72 till 0,75 ökar U_m-värdet från 0,49 till 0,57 W/m^2,K, även om konstruktionsdelar har samma egenskaper som i originalfallet. Därmed uppfylls inte krav på U_m enligt BBR29. Primärenergitalet ökas med ca 7-10 % jämfört med originalfallet, men klarar fortfarande kravnivån på primärenergital i BBR29 med 12-28 % marginal beroende på ort och uppvärmningssystem.

5.4.2 Nettoenergi (använd energi)

Nettoenergi för olika typkontorvisas i figur 5.19. Resultatet gäller för orten Linköping medan resultat för övriga orter visas i bilaga 2. Ändringar i nettoenergi, nettovärme och nettokyla jämfört med typkontoret i originalfallet visas i procent.



Figur 5.19: Nettoenergi för olika typkontor i Linköping. Ändringar i nettoenergi, nettovärme och nettokyla jämförs med typkontoret i originalfallet.

Lågenergikontoret med förbättrad klimatskärm, ökad täthet och förbättrad värmeåtervinning i ventilationssystemet minskar byggnadens nettoenergi med ca 10 % i Linköping. I kallare orter är besparingspotentialen upp till 22 %. Konstruktionsåtgärder så som förbättrade U-värden och ökad täthet motsvarar ca 5 % av hela nettoenergibesparingen.

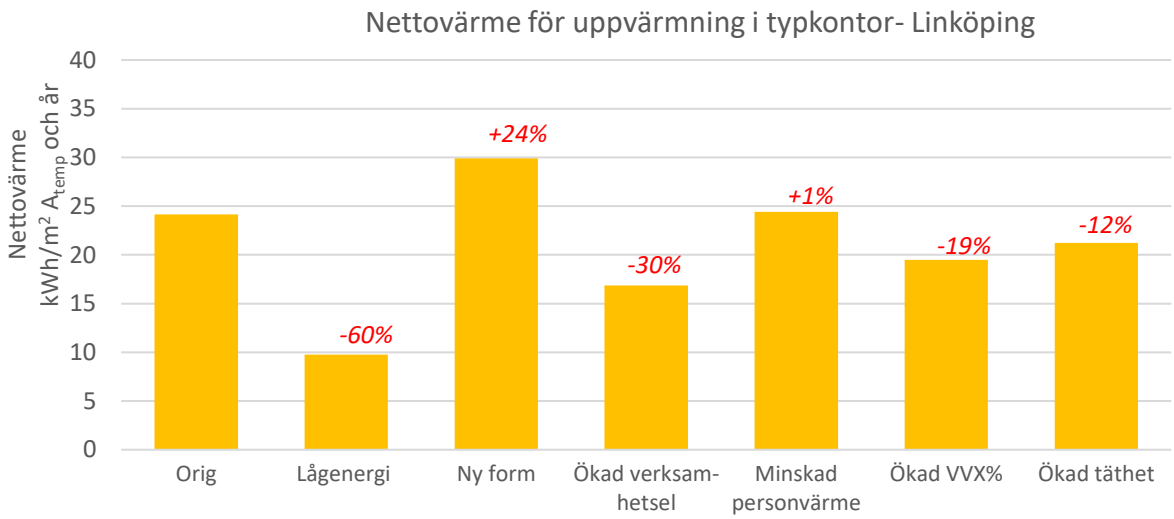
Den totala nettoenergibesparingen påverkas av byggnadens kylbehov. Åtgärder i klimatskärmen minkar värmeförluster och därmed nettoenergin för uppvärmning. Samtidigt ökar kylbehovet, vilket kan medföra att det inte blir någon nettoenergibesparing.

Även interna värmelaster har stor påverkan på byggnadens nettoenergi. Brukarrelaterade indata har betydelse för värme- och kylbehovet i byggnaden och har studerats vidare i en känslighetsanalys. I beräkningar för originalfallet har verksamhetsel antagits vara 30 kWh/m^2 år och baseras på antaganden av effekt och användningstider av utrustning och belysning som används i ett nybyggt kontor. En beräkning har genomförts med ökning av verksamhetsel till 50 kWh/m^2 (det värde som rekommenderas i BEN3). Figur 5.19 visar att den ökade verksamhetselen fördubblar energianvändning för kyla samtidigt som nettovärme för uppvärmning minskas med en tredjedel. Nettoenergin ökar med ca 27 %. Antaganden för värmeavgivning från personer däremot har inte så stor betydelse för varken nettoenergi eller värmeanvändning. I känslighetsanalysen har effektavgivningen från personer ändrats från 108W till 74W.

Marginell ändring i byggnadens formfaktor ökar byggnadens nettoenergi med drygt 9 % samtidigt som både nettovärme och nettokyla ökar ca 20-24 % i Linköping.

5.4.3 Nettovärme

Figur 5.20 visar ändringar i nettovärme för uppvärmning för olika typkontor i Linköping. Resultat för övriga orter visas i bilaga 2. Ändring av nettovärme i jämförelse med originalfallet visas i procent. Lågenergibyggnaden med bättre klimatskärm, täthet och värmeåtervinning minskar nettovärme för uppvärmning med upp till 60 % i Linköping. Om man bortser från åtgärder i ventilationssystemet är minskningen upp till 40 %. Samtidigt ökar kylbehovet nästan lika mycket vilket inte avspeglas i nettovärme för uppvärmning.

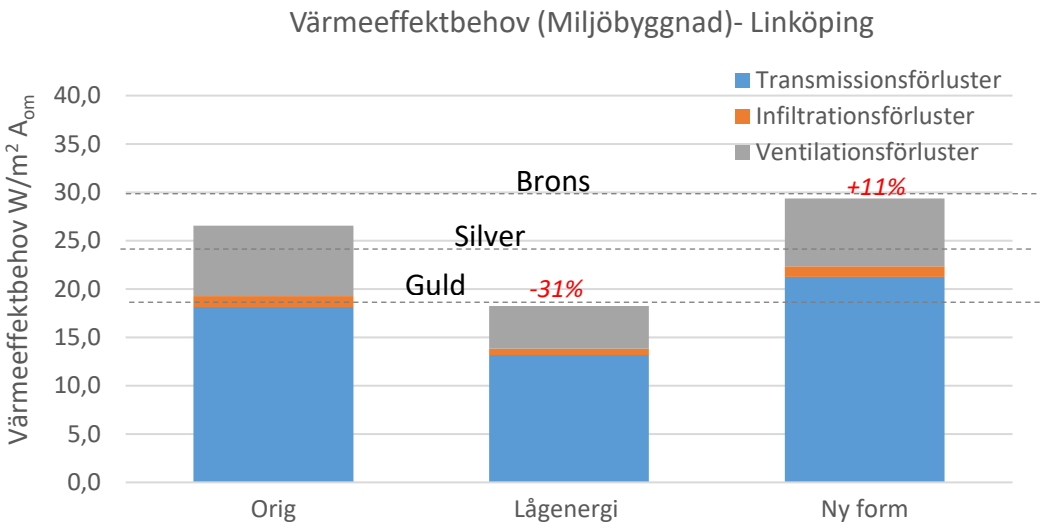


Figur 5.20: Nettovärme för uppvärmning för olika typkontor i Linköping.

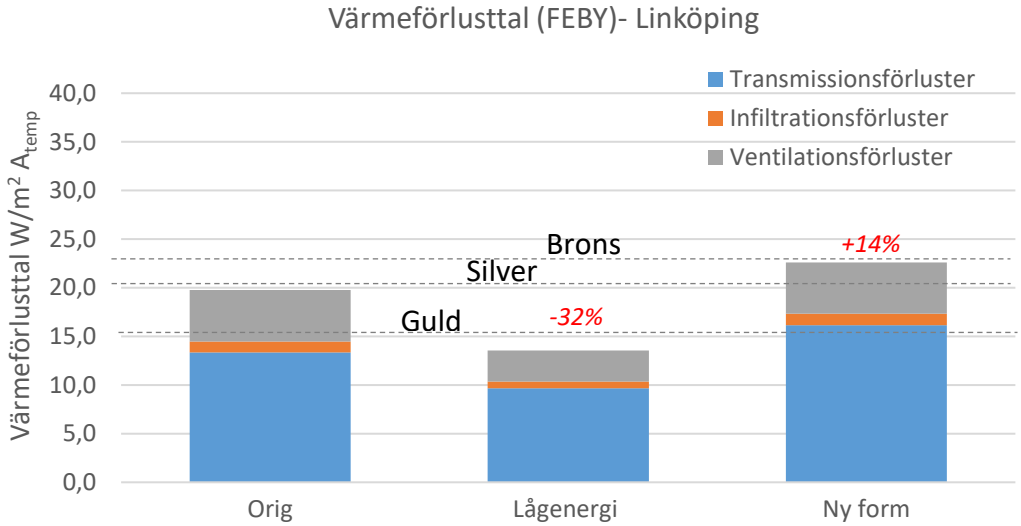
5.4.4 Värmeeffektbehov och värmeförlusttal

Beräknat värmeeffektbehov enligt Miljöbyggnad och värmeförlusttal enligt Feby för olika typkontor visas i figurer 5.21 och 5.22. Resultatet gäller för orten Linköping medan resultat för övriga orter visas i bilaga 2.

Förbättrad konstruktion, täthet och temperaturverkningsgrad för värmeåtervinning minskar värmeeffektbehovet med ca 31 % och värmeförlusttalet med ca 32 % oavsett ort. Resultatet visar också att marginella ändringar i formfaktor ökar värmeeffektbehovet med ca 10 % och värmeförlusttalet med 14 % i alla orter.



Figur 5.21: Beräknad värmeeffektbehov (Miljöbyggnad) för olika typkontor i Linköping. Ändringar i värmeeffektbehov jämförs med typkontoret i originalfallet.



Figur 5.22 Beräknad värmeförlusttal (Feby) för olika typkontor i Linköping. Ändringar i värmeförlusttal jämförs med typkontoret i originalfallet.

Nivån *brons* uppnås på värmeeffektbehov för både originalfallet och ändrad formfaktor i Linköping, medan nivå *silver* uppfylls i kallare orter. Lågenergikontoret uppfyller kravet för Miljöbyggnad *guld* i alla orter förutom Malmö.

Beräknat värmeförlusttal enligt Feby visar att de flesta alternativ uppfyller kravet för *brons* eller *silver*. Lågenergikontoret uppfyller kravet för *guld* i alla beräknade orter förutom Gällivare. Det är svårare att uppfylla minimikravet för värmeförlusttalet i kallare klimat. Kravet förutsätter bättre konstruktion när byggnaden byggs i kallare orter jämfört med varmare orter.

5.4.5 Solvärmelast

Typkontoret i originalfallet har fönster med g-värde 0,36, vilket innebär en speciell beläggning på glaset för att minska solinstrålningen genom fönstret.

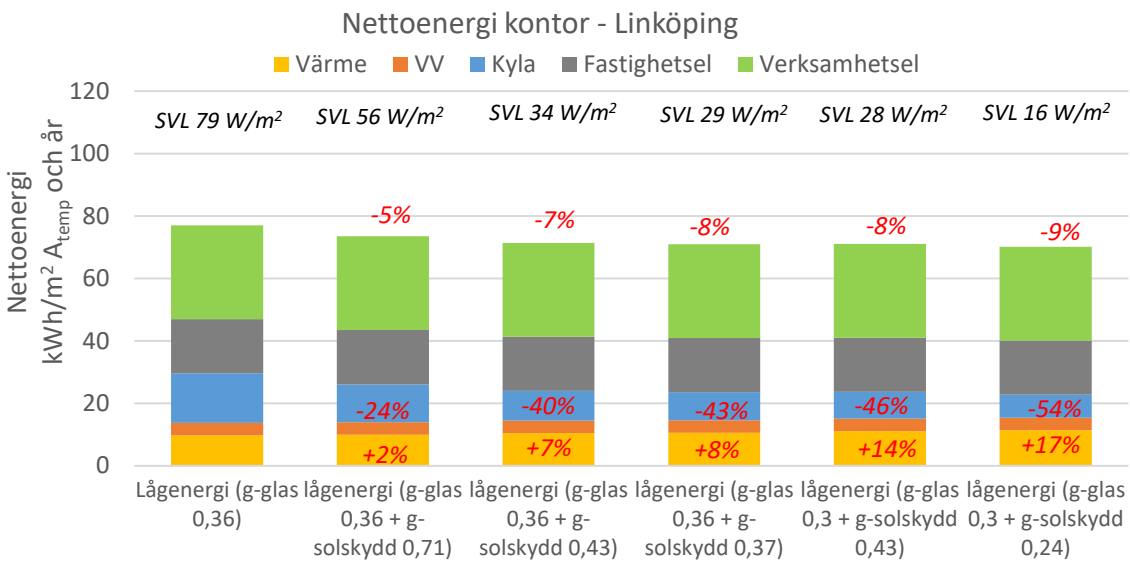
Kontoret har liknande planlösning från plan 2 upp till plan 6, med ett stort kontorslandskap och fönster runt hela våningsplanet. Öppet kontorslandskap på våningsplan 6 har valts ut som det mest kritiska rummet. Eftersom sidorna som vetter mot nordost och nordväst inte ska bedömas har hela kontorslandskapet per våningsplan delats till två och bara hälften av kontorslandskapet ingår i bedömningen. Rummets egenskaper och beräknat solvärmelasttal visas i tabell 5.4. Beräknat solvärmelasttal för rummet är 79 W/m^2 golvarea och uppfyller inte Miljöbyggnads minimikrav för nivå *brons.*

Tabell 5.4 Beräknat solvärmelasttal i kritiska rummet i typkontoret.

Parameter	Rum 1 (öppet kontorslandskap plan 6)
Area rum A_{rum}	416
Area glas A_{glas}	114
A_{glas}/A_{rum}	27 %
A_{glas}/A_{fasad}	40 %
g-värde fönster	0,36
g-värde invändig solvaskärmning	1,0
g-värde utvändig solvaskärmning	1,0
g-system	0,36
Solvärmelasttal W/m^2	79
Bedömning Miljöbyggnad 3.1	Ej brons
Bedömning FEBY	Ej klassad

Med invändig brukarstyrd solavskärmning (g-värde 0,71) kan solvärmelasttalet minskas till 56 W/m^2, men minimikrav enligt Miljöbyggnad eller Feby kommer fortfarande inte att uppfyllas. För att komma ner till nivå *brons* enligt Miljöbyggnad behövs både invändig och utvändig solavskärmning. Med bättre solavskärmning eller bättre solskyddsglas kan solvärmelasttalet minskas ytterligare.

Vilken inverkan de olika solvärmelasttalen har på byggnadens nettoenergi illustreras i figur 5.23. Resultatet visas för lågenergikontoret och gäller för orten Linköping med geografisk justeringsfaktor F_{geo}= 1,0. Resultatet visar att minskat solvärmelasttal leder till marginell minskning av byggnadens nettoenergi. Med lägre solvärmelasttal minskas kylenergibehovet men samtidigt ökar nettovärme för uppvärmning. Med bättre fönsterglas och solavskärmning kommer nettovärme för uppvärmning att öka med ca 14-17% jämfört med originalfallet. Eftersom minskning av kylenergibehov är större än ökning i nettovärme kommer byggnadens nettoenergi att minska.



Figur 5.23 Inverkan av solvärmelasttal på nettoenergi i lågenergikontoret i Linköping. Beräknat solvärmelasttal visas för det mest kritiska rummet (kontorslandskap).

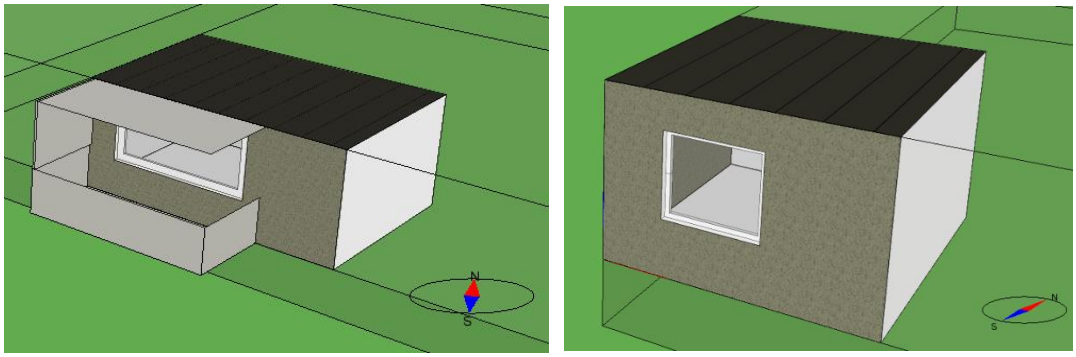
5.5 Analys av solvärmelasttal och övertemperaturer på rumsnivå

Syftet med solvärmelasttal som kompletterande krav är att säkerställa att övertemperaturer eller ett onödigt högt kylbehov inte uppstår under sommarhalvåret. Alternativt kan krav ställas enbart på maximalt antal timmar med övertemperaturer under verksamhetstider som indirekt leder till en god solavskärmning i byggnader som inte har kylsystem. I byggnader med kylsystem kan det också indirekt leda till en god solavskärmning eftersom energi för kyla ska rymmas inom huvudkravet på primärenergital.

Energiberäkningar i typbyggnader visar vilken påverkan olika solskyddslösningar och därmed solvärmelasttal har på byggnadernas energianvändning. För att analysera påverkan på termiskt klimat sommartid har beräkningar gjorts på rumsnivå med beräkningsprogrammet IDA ICE. Analyser har genomförts för två typrum i flerbostadshuset, två typrum i skolan och ett typrum i kontoret.

5.5.1 Flerbostadshus

Två typrum har analyserats för flerbostadshuset. Typrum 1 representerar ett vardagsrum och typrum 2 representerar ett sovrum. Båda rummen har fönster med g-värde 0,55 och brukarstyrd invändig solavskärmning med g-värde 0,71. I typrum 1 finns också utvändig solvaskärmning genom balkong. Figur 5.24 illustrerar rumsmodeller i IDA programmet.



Figur 5.24 Analyserade rum i typflerbostadshuset. Bilden till vänster visar typrum 1 (ett vardagsrum). Bilden till höger visar typrum 2 (ett sovrum).

Antagen persontäthet är 1,63 personer per rum, effektavgivning 80 W per person och internvärme från belysning och apparater antags vara 1,7 W/m^2 för typrum 1 och 2,4 W/m^2 för typrum 2.

I originalfallet är fönster i typrum 1riktade mot sydost och fönster i typrum 2 riktade mot söder. För rumsanalysen har en förenkling gjorts där fönster för båda typrummen är riktade mot syd. Hur fönstrets riktning påverkar den operativa temperaturen inomhus har studerats separat.

Tabell 5.5 visar indata för beräknat solvärmelasttal i de två typrummen. Båda typrummen uppfyller nivå *silver* enligt Miljöbyggnad 3.1.

Tabell 5.5. Beräknat solvärmelasttal i de två typrummen i flerbostadshuset

Parameter	Typrum 1- (vardagsrum)	Typrum 2 (sovrum)
Area rum A_{rum}	24	16
Area glas A_{glas}	4	1
A_{glas}/A_{rum}	14%	8%
A_{glas}/A_{fasad}	25%	14%
g-värde fönster	0,55	0,55
g-värde invändig solvaskärmning	0,71	0,71
g-värde utvändig solvaskärmning	0,42	1,0
g-system	0,16	0,39
Solvärmelasttal W/m^2	19	26
Bedömning Miljöbyggnad 3.1	Silver	Silver
Bedömning FEBY	Klassad	Klassad

Solvärmelasttalets inverkan på operativa temperatur

Tabell 5.6 visar inverkan på rummets operativa temperatur vid olika g-värden på glas och invändig solavskärmning i typrum 1 för orten Linköping. Resultatet visar ett samband mellan solvärmelasttal och operativa temperatur i typrum 1. Enligt Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus[10] ska rummets operativa temperatur inte överskrida +28°C under sommaren. För att uppfylla krav på rummets operativa temperatur ska solvärmelasttalet vara lägre än 13 W/m^2 golvarea. För detta krävs förutom bra utvändig eller invändig solavskärmning också ett fönsterglas med g-värde 0,5 eller lägre.

Tabell 5.6 Inverkan på rummets operativa temperatur vid olika g-värden på glas och invändig solavskärmning i typrum 1 (vardagsrum). Rummet har också utvändig solvaskärmning med balkong, som inte specificeras i tabellen, men har tagits hänsyn till vid beräkning av solvärmelasttal.

Simulerade fall	g-glas	g-sol-avskärm	g-syst	SVL W/m^2	Timmar med T_{op}>27°C	Timmar med T_{op}>28°C
Utan invändig solavskärmning	0,5	1,0	0,21	24	1308	561
Sämre g-värde glas	0,55	0,71	0,16	19	1002	323
Med invändig solavskärmning	0,5	0,71	0,15	17	729	162
Bättre g-värde glas	0,45	0,71	0,13	15	551	67
Bättre g-värde glas	0,4	0,71	0,12	14	347	10
Bättre invändig solavskärmning	0,5	0,55	0,12	13	456	30
Bättre g-värde glas	0,35	0,71	0,10	12	150	0
Bättre g-värde glas och invändig solavskärmning	0,4	0,55	0,09	11	132	0
Bättre invändig solavskärmning	0,5	0,39	0,08	9	160	0

Resultatet visar också vilken påverkan g-värde för glaset har på operativa temperatur inomhus. Glaset hindrar alltid solinstrålning medan solavskärmningen hindrar sol endast när den används, när till exempel persiennerna är neddragna. Därför kan det förekomma att något sämre solavskärmning (g-solskydd 0,71) och bättre solskydd på fönsterglaset (g-fönster 0,4) kan leda till mindre antar timmar av temperaturer över gränsnivåer jämfört med fallet med bättre solavskärmning (g-solskydd 0,55) och sämre fönsterglas (g-fönster 0,5). Detta trots att beräknat solvärmelasttal i det senare fallet är något lägre.

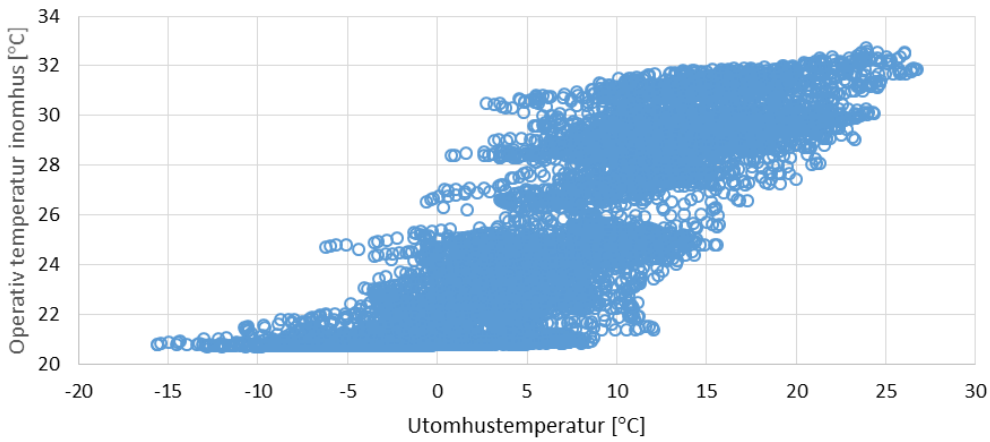
[10] FoHMFS 2014:17 Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus, Folkhälsomyndigheten 2014.

Resultat för typrum 2 (ett sovrum) visas i tabell 5.7. Resultatet gäller för orten Linköping.

Tabell 5.7 Inverkan på rummets operativa temperatur vid olika g-värden på glas och solavskärmning i typrum 2 (sovrum).

Simulerade fall	g-glas	g-solskydd	g-syst	SVL W/m²	Timmar med T_{op}>27°C	Timmar med T_{op}>28°C
Utan invändig solavskärmning	0,5	1,0	0,50	33	3760	3538
Originalfall (invändig solavskärmning)	0,5	0,71	0,36	23	3434	3029
Bättre invändig solavskärmning	0,5	0,39	0,20	13	2228	1632
Bättre g-värde glas	0,45	0,71	0,32	21	3072	2731
Bättre g-värde glas	0,4	0,71	0,28	19	2734	2275
Bättre g-värde glas	0,35	0,71	0,25	16	2228	1925
Bättre g-värde glas	0,3	0,71	0,21	14	2014	1448
Bättre g-värde glas	0,25	0,71	0,18	12	1670	986

Känslighetsanalyser visar att den operativa temperaturen kommer att vara högre än +28°C även vid låga solvärmelasttal. I figur 5.25 visas att den operativa temperaturen inomhus är ca +32-33°C under dagar med hög utomhustemperatur i Linköping.



Figur 5.25 Operativ temperatur inomhus i typrum 2 vid olika utomhustemperaturer. Resultatet gäller för orten Linköping.

För att klara inneklimatkraven utan fönstervädring i typrum 2 krävs till exempel mindre fönsterarea, högre ventilationsflöde eller lägre internvärmebelastning, som illustreras i tabell 5.8.

Tabell 5.8 Förutsättningar för att uppfylla baskrav T_{op} < 28°C i typrum 2 jämfört med originalfallet utan att ha möjlighet till fönstervädring.

Simulerade fall	Timmar med T_{op}>28°
Originalfall (ingen vädring)	3029
Halverad fönsterstorlek	1827
Fördubblat ventilationsflöde	143
Halverad internvärmebelastning	442
30 % mindre fönster, 30 % högre ventilationsluftflöde och 30 % lägre internvärmebelastning	18 (max T_{op} = 28,1°C)

I typrum 2 är fönsterarea i förhållande till golvarea ca 8 %, vilket är under kravnivån 10 %, som gäller för att använda den förenklade metoden för att kontrollera om dagljuskravet uppfylls. Därför har en mer detaljerad beräkning gjorts med IDA programmet för att beräkna dagljusfaktor DF. Dagljusfaktorn beräknades i en punkt 0,8 meter över golv och en meter från rummets mörkaste sidovägg och på halva rumsdjupet. Resultatet visar att dagljusfaktor är 1 % i beräknade punkter och uppfyller därmed minimikrav för dagsljus. Men det går inte att minska fönsterstorleken för att klara inneklimatkravet eftersom det kommer att leda till att minimikravet för dagsljus inte längre uppfylls.

Påverkan av fönstrens riktning

En känslighetsanalys av inverkan på operativ temperatur beroende av fönstrens riktning har också genomförts. Båda typrum har fönster som vetter mot syd. Hur fönstrets väderstreck påverkar operativa temperatur visas i tabeller 5.8 och 5.9. Resultatet för typrum 1 visar att antal timmar över +28°C ökar när fönstret vetter mot öst eller väst. I typrum 2 ökar antal timmar över +28°C marginellt när fönstret vetter mot sydost.

Tabell 5.8 Påverkan av fönstrets väderstreck på rummets operativa temperatur i typrum 1 (rum 7). Resultatet gäller för g-värde 0,5 för glas och g-värde 0,71 för invändig solavskärmning.

Fönstrets väderstreck	Timmar med T_{op}>27°C	Timmar med T_{op}>28°C
0°, syd (originalfall)	729	162
45° (sydost)	1134	513
90° (ost)	1260	549
180° (nord)	475	149
270° (väst)	1437	672
315° (sydväst)	923	300

I typrum 2 ökar antal timmar över +28°C lite grann när fönstret vetter mot sydost.

Tabell 5.9 Påverkan av fönstrets väderstreck på rummets operativa temperatur i typrum 2 (rum 4).

Fönstrets väderstreck	Timmar med T_{op}>27°C	Timmar med T_{op}>28°C
0° (syd)	3434	3029
30°	3334	3063
60°	3229	3071
90° (ost)	3136	2949
120°	2920	2534
150°	2505	1871
180° (nord)	2061	1762

Påverkan av vädring

Med hjälp av fönstervädring kan antal timmar, när rummets operativa temperatur överskrider gränsnivån +28°C betydligt minskas. Detta illustreras i tabell 5.10.

Tabell 5.10 Effekt på vädring på rummets operativa temperatur i typrum 1 och typrum 2.

	Typrum 1		Typrum 2	
Simulerade fall	Timmar med T_{op}>27°C	Timmar med T_{op}>28°C	Timmar med T_{op}>27°C	Timmar med T_{op}>28°C
Ingen vädring (g-fönster 0,5; g-solavskärmning 0,71)	729	162	3434	3029
Boende vädrar kl 12:00-14:00 varje dag med 5 % fönsteröppning	238	3	2887	2073
Boende vädrar när det är varmt inne (>25 °C) med max 5 % fönsteröppning	0	0	45	0

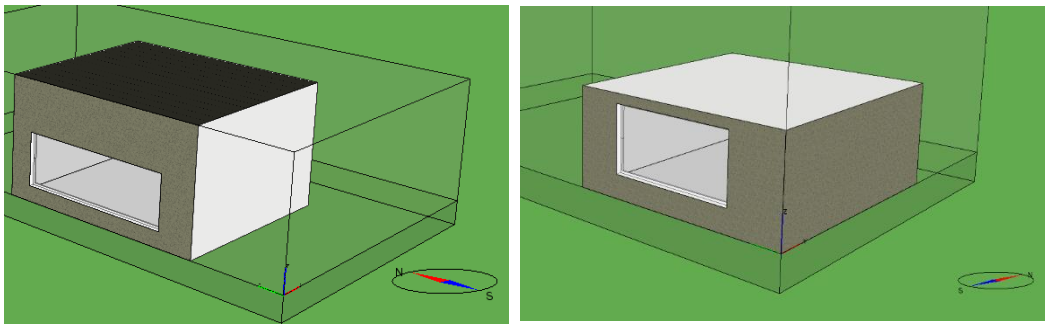
Utformning av krav på solvärmelasttal i flerbostadshus

Analysen visar att låga solvärmelasttal inte garanterar att problem med övertemperaturer kan undvikas sommartid. Utvändig solavskärmning, fönstrens orientering och möjlighet för vädring har stor påverkan på operativa temperatur inomhus. Utvändig avskärmning, exempelvis från balkongtaket, är viktig för att minska antalet timmar med övertemperaturer sommartid. Det är lika viktigt att möjligheten till vädring finns via öppningsbara fönster eller fönsterdörrar för att uppfylla krav på inneklimat sommartid, särskilt när balkong eller annat utvändig solavskärmning saknas och fönster vetter mot väst eller öst.

5.5.2 Skola

Två typrum har analyserats för skolan. Typrum 1 representerar ett musikrum och typrum 2 ett klassrum. Båda rummen har fönster med g-värde 0,55 och brukarstyrd

invändig solavskärmning med g-värde 0,65. Figur 5.26 illustrerar rumsmodeller i IDA programmet.



Figur 5.26 Analyserade rum i typskolan. Bilden till vänster visar typrum 1 (musikrum) och bilden till höger visar typrum 2 (klassrum).

För båda rummen är antagen persontäthet 28 personer med en effektavgivning på 80 W per person och internvärme från belysning och apparater är 10 W/m^2. Eftersom skolan inte är i drift under hela sommaren har 6 veckor exkluderats från inneklimatberäkningar (1 vecka i juni, 4 veckor i juli och 1 vecka i augusti).

Fönster i tyrpum 1 är riktade mot sydost och i typrum 2 mot syd. Hur fönstrets riktning påverkar operativa temperaturen inomhus har studerats separat.

Tabell 5.11 visar indata för beräknat solvärmelasttal i de två typrummen. I originalfallet har fönsterglaset ett g-värde på 0,5 och det finns invändig solavskärmning med g-värde 0,65. Beräknat solvärmelasttal för typrum 1 är 47 W/m^2 golvarea och uppfyller inte kravnivån *brons* enligt Miljöbyggnad 3.1. Beräknat solvärmelasttal för typrum 2 är 33 W/m^2 golvarea och uppfyller kravnivån *brons* enligt Miljöbyggnad 3.1.

Tabell 5.11 Beräknat solvärmelasttal i de två typrummen i skolan.

Parameter	Typrum 1- (rum 2- musik)	Typrum 2 (klassrum)
Area rum A_{rum}	70	60
Area glas A_{glas}	13	8
A_{glas}/A_{rum}	18 %	13 %
A_{glas}/A_{fasad}	25 %	26 %
g-värde fönster	0,5	0,5
g-värde invändig solvaskärmning	0,65	0,65
g-värde utvändig solvaskärmning	1,0	1,0
g-system	0,33	0,33
Solvärmelasttal W/m^2	47	33
Bedömning Miljöbyggnad 3.1	Ej brons	Brons

Inverkan på operativa temperatur av solavskärmning och fönsterriktning

Det finns inga särskilda allmänna krav på gränstemperaturer inomhus i skolor. Enligt Arbetsmiljöverkets riktlinjer ska inomhustemperaturen i normalfallet ligga inom +20°C och +26°C under sommartid och operativa temperatur ska inte överskrida +28°C. Enligt BELOKs (Beställargruppen för Lokaler) inneklimatkrav ska en lämplig temperaturnivå väljas med hänsyn till normal aktivitet och klädsel i den specifika byggnaden. Under arbetstid ska rumstemperaturer inte överstiga den valda övre gränsen mer än 80 arbetstimmar per år.

Upphandlingsmyndigheten har mer detaljerade inneklimatkrav för lokaler. För kravnivå *bas* för skolor kan den operativa temperaturen +24°C överskridas under max 20 % av verksamhetstiden och +26°C under max 5 % av verksamhetstiden. För nivå *avancerad* gäller gränstemperaturer +23°C och +25°C och för nivå *spjutspets* gäller gränstemperaturer +23°C och +24°C.

Tabell 5.12 visar inverkan på rummets operativa temperatur vid olika solvärmelasttal för typrum 1 i Linköping. Jämförelse görs med Upphandlingsmyndighetens inneklimatkrav. Antal verksamhetstimmar i skolan är 1320 timmar per år, dvs. 6 timmar per dag, 5 dagar i veckan och 44 veckor per år.

Tabell 5.12 Inverkan på rummets operativa temperatur vid olika g-värden på fönsterglas och solavskärmning i typrum 1. Jämförelse görs med Upphandlingsmyndighetens inneklimatkrav.

Simulerade fall	g-glas	g-solskydd	Sol-värmelast SVL W/m²	Timmar med T_{op}>23°C	Timmar med T_{op}>24°C	Timmar med T_{op}>25°C	Timmar med T_{op}>26°C	Bedöm-ning inneklimat
Originalfall	0,50	0,65	47	364	260	160	92	Ej bas
Minskad g-värde glas	0,45	0,65	42	331	215	125	66	Bas
Minskad g-värde glas	0,40	0,65	37	302	176	96	48	Bas
Minskad g-värde glas	0,35	0,65	33	260	136	71	30	Avancerad
Bättre solavskärmning	0,50	0,39	28	274	143	73	35	Bas
Bättre solavskärmning	0,40	0,39	22	195	98	38	14	Avancerad
Ändrad fönster-riktning mot SYD	0,50	0,65	47	644	411	217	129	Ej bas

Resultatet visar ett tydligt samband mellan solvärmelasttal och den operativa temperaturen inomhus. Vid minskat solvärmelasttal minskas också timmar där den operativa temperaturen överskrider gränsnivåer. Solvärmelasttal som motsvarar nivån *brons* enligt Miljöbyggnad 3.1 uppfyller Upphandlingsmyndighetens inneklimatkrav för

bas eller *avancerad.* Vid solvärmelasttal som motsvarar nivån *guld* uppfylls inneklimatkrav *avancerad.*

Resultatet visar också vilken påverkan g-värde för glaset har på operativa temperatur inomhus. Glaset hindrar alltid solinstrålning medan solavskärmningen hindrar sol endast när den används, när till exempel persiennerna är neddragna. Därför kan det förekomma att något sämre solavskärmning (g-solskydd 0,65) och bättre solskydd på fönsterglaset (g-fönster 0,35) kan leda till mindre antar timmar av temperaturer över gränsnivåer jämfört med fallet med bättre solavskärmning (g-solskydd 0,39) och sämre fönsterglas (g-fönster 0,5). Detta trots att beräknat solvärmelasttal i det senare fallet är något lägre.

En känslighetsanalys av inverkan på operativ temperatur beroende av fönstrens riktning har också genomförts. Typrum 1 har fönster som vetter mot sydost. Om samma rum hade fönster mot syd kommer antal timmar där operativ temperatur överskrider exempelvis +24°C vara ca 60 % högre jämfört med sydostsidan.

Resultat för typrum 2 visas i tabell 5.13. Typrum 2 har ett fönster som vetter mot syd. Antalet timmar där operativ temperatur överskrider gränsvärden är betydligt högre än vad som krävs enligt nivå *bas* för inneklimat även om solvärmelasttalet uppfyller nivå *brons* enligt Miljöbyggnad 3.1. För att uppfyll nivå *bas* behövs bättre solavskärmning eller fönsterglas med lägre solfaktor. Vid en annan riktning för fönster, exempelvis mot väst, kan krav på inneklimat uppfyllas med standardfönster och solavskärmning som gäller för originalfallet.

Tabell 5.13. Inverkan på rummets operativa temperatur vid olika g-värden på fönsterglas och solavskärmning i typrum 2. Jämförelse görs med Upphandlingsmyndighetens inneklimatkrav.

Simulerade fall	g-glas	g-solskydd	Sol-värmelast SVL W/m²	Timmar med T_{op}>23°C	Timmar med T_{op}>24°C	Timmar med T_{op}>25°C	Timmar med T_{op}>26°C	Bedöm-ning inneklimat
Originalfall (SYD)	0,50	0,65	33	728	393	167	90	Ej bas
Minskad g-värde glas (SYD)	0,50	0,39	20	498	131	71	36	Bas
Minskad g-värde glas (SYD)	0,40	0,39	16	379	100	42	22	Bas
Originalfall – inriktning mot VÄST	0,50	0,65	33	446	240	130	61	Bas

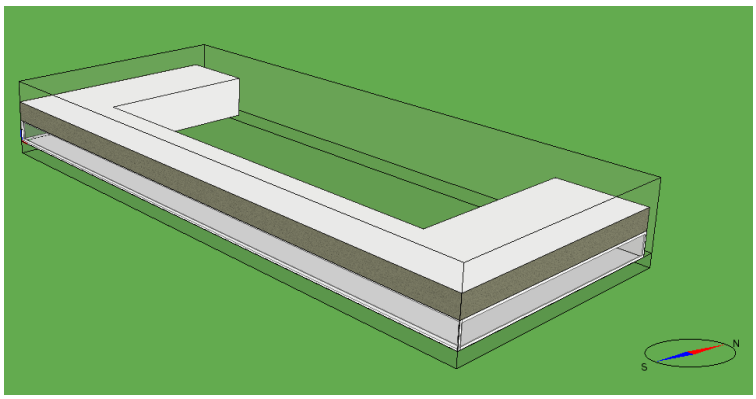
Utformning av krav på solvärmelasttal för skolor

För att uppfylla inneklimatkrav i skollokaler behövs antigen invändig och utvändig solavskärmning eller fönsterglas med lägre g-värde. Det finns ett tydligt samband mellan solvärmelasttal och den operativa temperaturen i rummet. Vid minskat solvärmelasttal minskas också timmar där den operativa temperaturen överskrider

rekommenderade gränsnivåer. Fönstrens orientering har stor påverkan på operativ temperatur som inte reflekteras i solvärmelasttalet.

5.5.3 Kontor

Ett typrum har analyserats för kontorsbyggnaden. Typrummet representerar ett öppet kontorslandskap. En förenklad rumsmodell har tagits fram där bara hälften av kontorslandskapet ingår i bedömningen, med fönster riktade mot syd, öst och väst. Figur 5.27 illustrerar rumsmodellen i IDA programmet.



Figur 5.27 Analyserat typrum i kontorsbyggnaden.

Antagen persontäthet är 44 personer, effektavgivning 108 W per person och internvärme för belysning och apparater 13,6 W/m^2. Typrummets fönster har ett g-värde på 0,36, vilket innebär att fönstren har en speciell beläggning på glaset för att minska solinstrålningen genom fönstret. Det finns ingen invändig solavskärmning i originalfallet. Tabell 5.14 visar indata för beräknat solvärmelasttal i typrummet. Beräknat solvärmelasttal för rummet är 79 W/m^2 golvarea och uppfyller inte Miljöbyggnads minimikrav för nivå *brons*.

Kylenergianvändningen i kontorsbyggnader beror inte bara på interna värmelaster och solinstrålning utan också på vilka börvärden som används för att styra inomhusklimatet med komfortkylsystemet. Exempelvis kommer kylanvändningen att bli högre om man strävar efter att hålla +23°C inomhus sommartid jämfört om man hade valt ett börvärde på +24°C. Även dimensionerande maximal innetemperatur påverkar kylenergianvändningen, dvs. maximal innetemperatur som inte ska överskridas.

Tabell 5.14 Beräknat solvärmelasttal i typrummet i kontoret.

Parameter	Typrum 1 (öppet kontorslandskap)
Area rum A_{rum}	416
Area glas A_{glas}	114
A_{glas}/A_{rum}	27 %
A_{glas}/A_{fasad}	40 %
g-värde fönster	0,36
g-värde invändig solvaskärmning	1,0
g-värde utvändig solvaskärmning	1,0
g-system	0,36
Solvärmelasttal W/m²	79
Bedömning Miljöbyggnad 3.1	Ej brons
Bedömning FEBY	Ej klassad

Påverkan av solavskärmning på erforderlig kyleffekt

Två olika styrfall för komfortkylsystemet har studerats i detalj. I det första alternativet är komfortkylsystemets börvärde för inomhustemperatur +23°C och dimensionerande maximala inomhustemperatur +25°C. Samma börvärden har använts i energiberäkningar som sammanställdes i tidigare kapitel. I det andra alternativet är komfortkylsystemets börvärde för inomhustemperatur +24°C och dimensionerande maximala inomhustemperatur +27°C.

Erforderlig kyleffekt vid olika solvärmelastatal visas i tabeller 5.15 respektive 5.16. Resultatet gäller för orten Linköping. Jämförelse görs med Upphandlingsmyndighetens inneklimatkrav.

Tabell 5.15 Påverkan på erforderlig kyleffekt i rummet vid olika g-värden på fönsterglas och solsavskärmning i typrummet. Komfortkylsystemet har börvärde för inomhustemperatur +23°C och dimensionerande maximala inomhustemperatur +25°C. Jämförelse görs med Upphandlingsmyndighetens inneklimatkrav.

Simulerade fall	g-glas	g-sol-skydd	Sol-värmelast SVL W/m²	Erforderlig kyleffekt [W/m²]	Timmar med T_{op}>23°C	Timmar med T_{op}>24°C	Timmar med T_{op}>25°C	Bedöm-ning inneklimat
Standard solavskärmning	0,36	0,71	56	24,9	1151	140	10	Bas
Bättre solavskärmning	0,36	0,50	36	14,0	1022	158	10	Bas
Bättre solavskärmning	0,36	0,39	31	9,1	941	180	10	Bas
Minskad g-värde glas och bättre solavskärmning	0,26	0,39	22	4,5	753	181	10	Bas

Enligt Upphandlingsmyndighetens inneklimatkrav nivå *bas* för kontorslokaler kan den operativa temperaturen +24°C överskridas under max 20 % av verksamhetstiden och +26°C under max 5 % av tiden. Antal verksamhetstimmar i kontoret är 2115 timmar per år, dvs. 9 timmar per dag, 5 dagar i veckan och 47 veckor per år.

Enligt resultat i tabell 5.15 uppfyller alla beräknade fall inneklimatkrav *bas,* oavsett om krav på solvärmelasttal uppfylls eller inte enligt Miljöbyggnad 3.1. Detta beror på börvärden i komfortkylsystemet, som eftersträvar att hålla innetemperaturen mellan +23°C och +25°C. Om börvärdena i komfortkylsystemet istället är +24°C och +27°C, kommer inneklimatkraven inte längre att uppfyllas, vilket visas i tabell 5.16. Samtidigt kommer erforderlig kyleffekt för komfortkylsystemet att vara betydligt lägre. ´

Resultatet visar också att solvärmelasttalet har en betydande påverkan på kylbehovet i rummet. Med bättre solavskärmning och fönsterglas med låg solfaktor kan kylbehovet och därmed kyleffekten för komfortkylsystemet minskas betydligt.

Tabell 5.16 Påverkan på erforderlig kyleffekt i rummet vid olika g-värden på fönsterglas och solsavskärmning i typrummet. Komfortkylsystemet har börvärde för inomhustemperatur +24°C och dimensionerande maximala inomhustemperatur +27°C. Jämförelse görs med Upphandlingsmyndighetens inneklimatkrav.

Simulerade fall	g-glas	g-sol-skydd	Sol-värmelast SVL W/m²	Erforderlig kyleffekt [W/m²]	Timmar med T_{op}>24°C	Timmar med T_{op}>25°C	Timmar med T_{op}>26°C	Bedöm-ning inneklimat
Originalfall	0,36	1,0	79	18,8	1143	349	94	Ej bas
Minskad g-värde glas	0,26	1,0	57	8,5	972	389	99	Ej bas
Originalfall med solavskärmning	0,36	0,50	39	4,4	906	430	111	Ej bas
Bättre solavskärmning	0,36	0,39	31	2,2	807	413	108	Ej bas
Minskad g-värde glas och bättre solavskärmning	0,26	0,39	22	0	646	335	108	Ej bas

Utformning av krav på solvärmelasttal i kontor

Kylenergianvändningen i kontorslokaler påverkas av vilka börvärden för innetemperatur komfortkylsystemet har i drift, dvs. vilka innetemperaturer komfortkylsystemet strävar efter att hålla. Vid lägre innetemperaturer sommartid och hårdare krav på temperaturvariationer kommer effektbehovet för komfortkylsystemet vara högre. Det är viktigt att ta hänsyn till detta när valet av inneklimatkrav görs av beställare och komfortkylsystemen projekteras. Detta görs vanligtvis redan vid projekteringen men kan också justeras när byggnaden är i drift.

Lägre solvärmelasttal kan minska kyleffekten betydligt oavsett styrparametrar för komfortkylsystemet. Beräkningar på rumsnivå visar att erforderlig kyleffekt för komfortkylsystemet kan minskas betydligt med solvärmelasttal som uppfyller kravnivå *brons* enligt Miljöbyggnad 3.1 jämfört med en byggnad som inte är klassad. Förbättring av solvärmelasttal från nivå *brons* till nivå *silver* kan nästan halvera den erforderliga kyleffekten.

5.6 Sammanfattande resultat

Typbyggnader i originalfallet utformades utifrån vanligt förekommande konstruktioner, geometrier och planlösningar så att krav på genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U_m) enligt BBR29 precis uppfylls och att primärenergitalet uppfylls. I lågenergifallet förbättrades konstruktionens U-värden, täthet och verkningsgrad för värmeåtervinning av ventilationsluft. I fallet med ändrad formfaktor ändrades byggnadernas geometriska form och våningsplan. Byggnadernas tempererade area, U-värden på enskilda byggdelar, huvudsaklig orientering och fönsterandel per fasadarea behölls samma som i originalfallet. Resultat från beräkningarna visar följande:

Krav på primärenergital och U_m

- Originalfallet för småhus, flerbostadshus och kontor har konstruktionslösningar som precis uppfyller kravet på U_m. Kravet på primärenergitalet uppfylls då med god marginal med samtliga uppvärmningssystemen förutom frånluftsvärmepump i flerbostadshus. Marginalerna är något större för kallare orter och med bergvärmepump som uppvärmningssystem.
- Originalfallet för typskolan har ett U_m-värde som är ca 40 % under kravnivån trots att samtliga byggdelar är bland de sämre på dagens marknad. Att använda ännu sämre byggnadsdelar ansågs inte vara rimligt med avseende av dagens byggteknik. Kravet på primärenergitalet uppfylls då med stor marginal. Därmed uppfylls både kravet på U_m-värdet och primärenergitalet med en stor marginal för typskolan.
- Frånluftsvärmepump med fjärrvärme som spets uppfyller inte krav på primärenergital i BBR29 för flerbostadshus i originalfallet och i fallet med ändrad formfaktor. I lågenergibyggnadsfallet för flerbostadshus uppfylls krav på primärenergitalet, dock finns ingen marginal till kravet.
- Minskning av värmeförluster genom förbättrad klimatskärm, ökad täthet och ökad värmeåtervinning i ventilationssystemet till lågenergibyggnader leder till minskning av primärenergitalet med ca 16-28 % i småhuset, ca 11-21 % i flerbostadshuset, ca 24-30% i typskolan och ca 6-15 % i kontoret beroende på ort och på uppvärmningssystem.

- Ökad formfaktor leder till ett minskat värde på U_m samtidigt som primärenergitalet ökar. Detta gäller för samtliga typbyggnader förutom kontor, där marginell ökning i formfaktorn leder till ökade värdet på U_m. Detta beror på att i kontorsfallet ökar fasadandelen i byggnadens omslutande area A_{om}.
- Ändring från 1,5-plans typsmåhus till 1-plans typsmåhus minskar U_m-värdet från 0,28 till 0,25 W/m^2,K, samtidigt som byggnadens energianvändning ökar. För samtliga uppvärmningssystemen, med undantag av bergvärmepump, uppfylls inte längre krav på primärenergitalet enligt BBR29. I Gällivare klaras primärenergitalet i BBR29 även för uppvärmning med pelletspanna, dock finns ingen marginal till kravet.

Nettoenergi

- Lågenergibyggnaden med förbättrad konstruktion och täthet tillsammans med bättre värmeåtervinning, kan spara ca 23 % av den totala nettoenergin i småhus, ca 18 % i flerbostadshus, ca 28 % i skolor och ca 10 % i kontor jämfört med typhusen i originalfallen. Besparingspotentialen gäller för orten Linköping medan besparingen är något större i kallare orter.
- Åtgärder som minskar värmeförluster via klimatskärm, infiltration och ventilation har större påverkan i byggnader där andel nettovärme för uppvärmning i den totala nettoenergin är större. Exempelvis andel nettovärme i den totala nettoenergin är ca 50 % i typsmåhus och ca 40 % i typflerbostadshus, ca 60 % i typskolor och ca 30 % i typkontor. Detta gäller för orten Linköping medan andelen blir något större i kallare orter.
- Värmeåtervinning av ventilationsluft har stor påverkan på nettoenergi i småhus och flerbostadshus. Med frånluftssystem har byggnaden upp mot 45 % högre nettoenergi jämfört med byggnaden med FTX system. Påverkan på nettoenergi är något större i flerbostadshus jämfört med småhus.
- Ventilationsåtgärden så som ökning av temperaturverkningsgrad för värmeåtervinning från 75 % till 85 % motsvarar ca 5 % besparing av nettoenergi.
- På grund av höga hygieniska luftflöden i skolor har åtgärder i ventilationssystemet stor påverkan på byggnadens nettoenergi. Variabelflödessystem i lågenergiskolan minskar nettoenergin ytterligare med ca 8-10 %.
- I kontor påverkas nettoenergin av kylbehovet. Klimatskärmsåtgärder minskar värmebehovet samtidigt som kylbehovet ökar och balanserar ut den totala nettoenergibesparingen. Även ändringar i internvärme har stor betydelse för kylbehovet och den totala nettoenergin. Exempelvis i Linköping kommer en ökning av verksamhetsel från 30 till 50 kWh/m^2 år att fördubbla

energianvändningen för kyla samtidigt som nettovärme för uppvärmning minskas med en tredjedel. Nettoenergin däremot ökas med ca 27 %.

- Ökad formfaktor leder till högre nettoenergi i alla typbyggnader. I flerbostadshuset är ändringen marginell när formfaktor ändras from 0,9 till 1,0, vilket beror på byggnadens fönsterorientering som skiljer sig från originalfallet. I typkontoret leder marginell ändring av formfaktor från 0,72 till 0,75 till ca 9-14 % ökad nettoenergi beroende på ort, där både nettovärme och nettokyla ökar ca 19-26 %. Detta beror på ökad fasadandel av den totala omslutande arean.

Nettovärme

- Lågenergibyggnader med bättre klimatskärm, täthet och värmeåtervinning minskar nettovärme för uppvärmning med upp till 46 % i småhuset, 50 % i flerbostadshuset, 47 % i skolan, och 63 % i kontoret, beroende på ort. I kallare orter är besparingen något lägre.
- I kontorshus leder bättre klimatskärm och täthet till minskad nettovärme upp till 40 %. Samtidigt ökar kylbehovet nästan lika mycket.
- Ökad formfaktor ökar nettovärme i samtliga byggnadstyper. I småhus ökar nettovärme med ca 50 %, i kontor ca 24 % och i skolan med ca 17 %. Detta gäller i Linköping. I flerbostadshuset har ändrad formfaktor marginell påverkan på nettovärme på grund av ändrad fönsterorientering.

Värmeeffektbehov och värmeförlusttal

- Beräknat värmeeffektbehov skiljer sig avsevärt från beräknat värmeförlusttal i byggnader med större formfaktor, exempelvis är värmeförlusttalet i typsmåhuset minst två gånger högre jämfört med värmeeffektbehovet. Ökad formfaktor leder till lägre värmeeffektbehov samtidigt som värmeförlusttalet ökar i de flesta beräknade fall (förutom kontor). Detta kan förklaras med skillnader i beräkningsmetoden. Värmeeffektbehov beräknas per omslutande area A_{om} och värmeeffektbehov per tempererad area A_{temp}. Till exempel i originalfallet för småhus är byggnadens omslutande area två gånger högre än tempererad area och därmed är värmeeffektbehovet också två gånger lägre än värmeförlusttalet. I större byggnader (lokalbyggnader och flerbostadshus) där formfaktor oftast är lägre än 1,0 blir resultatet tvärtom, beräknat värmeförlusttal är lägre än värmeeffektbehov.
- Frånluftsystem tillsammans med frånluftsvärmepump bedöms olika i de olika beräkningsmetoderna. I värmeeffektbehov enligt Miljöbyggnad kan återvunnen värme från frånluftsvärmepumpen till viss del tillgodoräknas. I värmeförlusttalet ligger frånluftsvärmepumpen utanför systemgränsen och ventilationsförluster beräknas utan värmeåtervinning. Därmed blir

värmeförlusttalet med F-system betydligt högre jämfört med värmeeffektbehovet enligt Miljöbyggnad.

- Lågenergibyggnader, med förbättrad konstruktion, täthet och temperaturverkningsgrad för värmeåtervinning minskar värmeeffektbehovet och värmeförlusttalet med ca 31 - 37 % beroende av byggnadskategori.
- I typskolan har ventilationsförluster större påverkan på både värmeeffektbehov och värmeförlusttal jämfört med exempelvis småhus och flerbostadshus. Detta på grund av högre luftflöden.
- Marginella skillnader finns i hur de två metoderna beräknar infiltrationsförluster. Båda metoderna har förenklade modeller för att ta hänsyn till vindens påverkan på infiltration. Ändringar i byggnadens täthet ger marginell påverkan på värmeeffektbehovet medan påverkan är något större på värmeförlusttalet.
- Enligt Miljöbyggnad uppfyller alla typsmåhus nivån *guld* för samtliga beräknade uppvärmningssystem och orter, förutom originalfallet med F-system i Linköping och Malmö. Typsmåhuset i originalfallet har svårt att uppfylla nivån *brons* på värmeförlusttal enligt Feby. Lågenergismåhus med FTX uppfyller krav på *silver* i alla orter förutom Gällivare där värmeförlusttalet hamnar under minimikravet *brons*. Lågenergismåhus med F-system uppfyller inte grundkrav på värmeförlusttal enligt Feby.
- I varmare orter uppfyller flerbostadshuset i originalfallet kravnivån *silver* eller *brons* både med värmeeffektbehov och värmeförlusttal. I kallare orter uppfyller byggnaden den högsta kravnivån för värmeeffektbehov samtidigt som byggnaden har svårare att uppfylla den lägsta kravnivån för värmeförlusttal enligt Feby. Lågenergibyggnaden uppfyller kravnivån *guld* i båda metoderna.
- I typskolan uppnås nivån *guld* på värmeeffektbehov för samtliga typskolor och uppvärmningssystem, med undantag av originalfallet i orten Malmö och skolan med ändrad formfaktor i orterna Malmö, Linköping och Östersund. Originalbyggnaden och byggnaden med ändrad formfaktor når betyget *brons* eller *silver* för värmeförlusttal i varmare orter (Malmö och Linköping), medan minimikravet för värmeförlusttalet är svårare att uppfylla i kallare klimat. Lågenergibyggnaden når betyget *guld* för värmeförlusttal i samtliga orter.
- I typkontor uppnås nivån *brons* på värmeeffektbehov för både originalfallet och ändrad formfaktor i orter Linköping och Malmö och nivån *silver* i kallare orter. Lågenergikontoret uppfyller kravet för Miljöbyggnad *guld* i alla orter förutom Malmö. Beräknat värmeförlusttal enligt Feby visar att de flesta alternativ uppfyller kravet för *brons* eller *silver*. Lågenergikontoret uppfyller kravet för *guld* i alla beräknade orter förutom Gällivare.
- För värmeeffektbehov enligt Miljöbyggnad är kravnivåerna lägre i kallare orter. För värmeförlusttal enligt Feby är kravnivåerna bara marginellt lägre i kallare

orter. Feby-kraven förutsätter bättre konstruktion när byggnaden byggs i kallare orter jämfört med varmare orter. Miljöbyggnad förutsätter, liksom BBR, att samma konstruktion ska kunna användas i hela Sverige.

Solvärmelasttal

Solvärmelasttalet har beräknats i kritiska rum i alla typbyggnader. Resultatet har jämförts med kraven som finns i Miljöbyggnad 3.1 och Feby18. Enligt Miljöbyggnad 3.1 ska solvärmelasttalet i vara lägre än 38 W/m^2 golv area i bostäder och 40 W/m^2 golv area i lokaler för att uppnå nivå *brons*. Feby18 ställer hårdare krav. Solvärmelasttalet ska vara lägre än 29 W/m^2 golv area i bostäder och 32 W/m^2 golv area i lokaler. Beräkningar för typbyggnader visar att för att uppnå så pass låga nivåer krävs bra solavskärmning eller fönsterglas med ett lågt g-värde.

- I typsmåhus behövs extern solavskärmning utöver invändiga persienner för att komma under rekommenderade nivåer enligt Miljöbyggnad och Feby. Exempelvis med utvändiga markiser, som används bara på sommartid, kan solvärmelasttalet minskas till nivå *silver* enligt Miljöbyggnad 3.1. Förbättrad solavskärmning kommer inte ändra byggnadens nettoenergi.
- I typflerbostadshus behövs lägre g-värde på fönsterglas och brukarstyrd solavskärmning för att uppnå minimikravet i kritiska rum. För att minska solvärmelasttalet ytterligare kan bättre solavskärmning installeras. Energiberäkningar visar att minskat solvärmelasttal leder till marginella ändringar i byggnadens nettoenergi i de flesta fall. Bara om man minskar också solfaktorn på fönsterglaset från 0,55 till 0,4 kommer nettovärme för uppvärmning att öka med ca 10 % på grund av minskat värmetillskott via solinstrålning vintertid. Nettoenergin ökar dock bara med 2 %.
- Typskolan har fönster med standard g-värde 0,5 och brukarstyrd solavskärmning genom invändiga persienner med g-värde 0,65. För att uppfylla minimikravet på solvärmelasttal i de mest kritiska rum behövs bättre solavskärmning. Exempelvis kan solvärmelasttalet minskas till nivå *silver* enligt Miljöbyggnad 3.1 med utvändig solavskärmning. Åtgärden leder till marginell ökning av byggnadens nettoenergi. För att minska solvärmelasttalet ytterligare kan solfaktorn på fönsterglaset minskas från 0,5 till 0,4. Dock kommer detta öka nettovärme för uppvärmning med ca 15 % på grund av minskat värmetillskott via solinstrålning vintertid.
- Typkontoret har redan ett låg g-värde 0,36 på fönsterglas i originalfallet. För att uppnå minimikrav på solvärmelasttalet behövs både invändig och utvändig solavskärmning. Med bättre solavskärmning eller bättre solskyddsglas kan solvärmelasttalet minskas ytterligare. Energiberäkningar visar att minskning av solvärmelasttal leder till något lägre nettoenergi. Med lägre solvärmelasttal

minskar kylenergibehovet. Med bra fönsterglas och solavskärmning kan kylbehovet halveras. Samtidigt ökar nettovärme för uppvärmning.

Syftet med solvärmelasttal som kompletterande krav är att säkerställa att övertemperaturer eller ett onödigt högt kylbehov inte uppstår under sommarhalvåret. För att granska påverkan på termiskt klimat sommartid har simuleringar gjorts på rumsnivå. Beräkningar i typrum visar att:

- För flerbostadshus ska, enligt Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus, rummets operativa temperatur inte överskrida +28°C under sommaren. Analysen visar att i typrummet där det finns utvändig solavskärmning med balkong ska solvärmelasttalet vara lägre än 13 W/m^2 golvarea för att uppfylla krav på rummets operativa temperatur. För detta krävs förutom bra utvändig och invändig solavskärmning också ett fönsterglas med g-värde 0,5 eller lägre. I typrummet utan balkong är det svårt att uppfylla krav på inneklimat sommartid även vid relativt låga solvärmelasttal. Låga solvärmelasttal kommer därmed inte garantera att problem med övertemperaturer kan undvikas sommartid. Beräkningarna visar att det också behöver finnas möjlighet till vädring via öppningsbara fönster eller fönsterdörrar för att uppfylla krav på inneklimat sommartid. Även fönstrens väderstreck påverkas rummets operativa temperatur. Resultatet visar att antal timmar över +28°C ökar när fönstret vetter mot ost och väst.
- I typskolan minskas timmar där den operativa temperaturen överskrider gränsnivåer vid minskat solvärmelasttal. Det finns inga särskilda allmänna krav på gränstemperaturer inomhus i skolor. Jämförelse görs med Upphandlingsmyndighetens inneklimatkrav för lokaler. För minimikravnivå *bas* för skolor kan den operativa temperaturen +24°C överskridas under max 20 % av verksamhetstiden och +26°C under max 5 % av verksamhetstiden. För att uppfyll nivå *bas* behövs bättre solavskärmning eller fönsterglas med lägre solfaktor jämfört med originalfallet. Fönstrens orientering har dock stor påverkan på operativ temperatur som inte reflekteras i solvärmelasttalet.
- I typkontoret kan erforderlig kyleffekt för komfortkylsystemet minskas betydligt med solvärmelasttal som uppfyller kravnivåer enligt Miljöbyggnad 3.1. Förbättring av solvärmelasttal från nivå *brons* till nivå *silver* kan nästan halvera den erforderliga kyleffekten. För övrigt påverkas kylenergianvändningen i kontorslokaler av vilka börvärden för innetemperatur komfortkylsystemet har i drift, dvs. vilka innetemperaturer komfortkylsystemet strävar efter att hålla.

6 Diskussion och slutsatser

Huvudkravet som ställs på primärenergital beräknad från levererad energi ska säkerställa en god energihushållning av den byggnad som uppförs, dvs byggnadens klimatskärm tillsammans med dess installationer. Syftet med de kompletterande kraven är att säkerställa att klimatskärmen har en god isoleringsförmåga, minimalt med köldbryggor, en god lufttäthet och att fönster är orienterade eller avskärmade så att gratisenergi från solen kan tillgodogöras vid uppvärmningsbehov och att inte övertemperaturer eller ett onödigt högt kylbehov uppstår. Syftet är att minimera energiförluster, dvs. att byggnadens energibehov blir lågt. Därav är det också av vikt att minimera ventilationsförluster.

Till Boverkets krav på byggnadens energiprestanda i form av primärenergital finns idag ett kompletterande krav som avser att säkerställa att byggnaden har en viss isolerande förmåga och därmed begränsa byggnadens värmeförluster. Det är kravet på klimatskärmens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient (U_m). Föreliggande utredning har analyserat ett antal alternativa krav för att säkerställa att byggnadens energibehov blir lågt. För att ett krav ska vara lämpligt att tillämpa behöver det ha följande egenskaper:

- premiera en byggnadsutformning som minskar byggnadens energibehov, det vill säga ha en betydande påverkan på byggnadens egenskaper i avseende att minska energiförluster genom transmission, infiltration och ventilation.
- vara uttryckt som funktionskrav,
- vara möjliga att verifieras med mätning,
- gå att uttrycka på samma sätt för olika byggnadskategorier.

Därutöver kan det behöva egenskaper som att kunna beräknas på ett relativt enkelt sätt, vara enkelt att förstå och relaterat till praktisk tillämpning och fungera både vid nyproduktion och vid större ändring.

I tabell 6.1 sammanfattas i vilken grad de olika studerade alternativen på kompletterande krav uppfyller de önskade egenskaperna nämnda ovan.

En god byggnadsutformning innebär att byggnaden har en klimatskärm med god isoleringsförmåga, minimalt med köldbryggor, en god lufttäthet och att fönster är orienterade eller avskärmade så att inte övertemperaturer eller ett högt kylbehov uppstår sommartid. I tabell 6.2 sammanfattas olika parametrar som bidrar till en god byggnadsutformning och om de olika studerade alternativen på kompletterande krav beaktar dessa.

Tabell 6.1 Olika studerade kompletterande krav och i vilken grad de uppfyller önskade egenskaper. Där grönt uppfylls med hög grad, gult med mindre avvikelse, orange har svårt att uppfylla egenskapen och rött visar att det kan vara svårt att uppfylla egenskapen.

	Nettoenergi	Netto-värme	Värme-förlusttal	Värme-effektbehov	U_m
Funktionskrav					
Verifiera med mätning					
Uttryckas på samma sätt för olika byggnadskategorier					
Minska energiförluster genom transmission, infiltration och ventilation					

Tabell 6.2 Olika parametrar som bidrar till en god byggnadsutformning och om de olika studerade alternativen på kompletterande krav beaktar dessa.

	Primär-energital	Netto-energi	Netto-värme	Värme-förlusttal	Värme-effektbehov	U_m	Sol-värmelast
Transmissionsförluster	x	x	x	x	x	x	
Köldbryggor	x	x	x	x	x	x	
Infiltrationsförluster	x	x	x	x	x		
Ventilationsförluster	x	x	x	x	x		
Byggnadens form	x	x	x				
Byggnadens orientering	x	x	x				
Passiv solvärme	x	x	x				x
Påverkan på kylbehov	x	x					x
Påverkan på övertemperaturer							x

6.1 Nettoenergi

Nettoenergi är den energi som direkt avges från de tekniska systemen i byggnaden för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och apparater utöver det energitillskott som sker med passiv solinstrålning och interna värmetillskott från personer.

Fördelen med nettoenergi är att den tar hänsyn till alla egenskaper i byggnadens som påverkar energianvändningen oavsett vilket tekniskt system som tillgodoser behovet. Dock behöver värmeåtervinning ur frånluft beaktas. Denna utredning utgår från systemgränsen för nettoenergi där energi som återvinns inom byggnaden får tillgodoräknas, till exempel värmeåtervinning av ventilationsluft eller avloppsvatten. Därmed får värmeåtervinning av ventilationsluft tillgodoräknas då FTX-system

används. Användning av frånluftsvärmepump betraktas här som frånluftsventilation men det finns metoder för att även beakta värmeåtervinning som sker via en frånluftsvärmepump.

Med krav på nettoenergi kan det säkerställas att byggnaden har en bra form och fönsterorientering, bra isolering, få köldbryggor, god lufttäthet och minimala ventilationsförluster. Nettoenergi tar hänsyn till både värme- och kylbehov i byggnaden.

Beräkningar med olika typbyggnader visar att minskade värmeförluster genom transmission, infiltration och ventilation kan spara upp till 32 % av den totala nettoenergin beroende på ort. Besparingspotentialen beror på andel av nettovärme i den totala nettoenergin där större andel ger större besparingspotential. Exempelvis i de beräknade typbyggnaderna är andel nettovärme ca 50 % i typsmåhus, ca 40 % i typflerbostadshus, ca 60 % i typskolor och ca 30 % i typkontor.

Detta betyder att minskade energiförluster genom transmission, infiltration och ventilation med hjälp av nettoenergi som kompletterande krav ger större påverkan i bostäder och skolbyggnader jämfört med exempelvis i kontorslokaler. Kontorslokaler har ofta ett betydande kylbehov på grund av höga interna laster vilket innebär att klimatskärmsåtgärder minskar värmebehovet samtidigt som kylbehovet ökar och balanserar ut den totala nettoenergibesparingen.

En nackdel med nettoenergi är att det krävs extra mätare vid verifiering[11]. Mätning behövs på distribuerad energi både i värme- och kylsystem, vilket är särskilt komplicerat vid luftburen värme och kyla. Krav på nettoenergi innebär att fastighetsägaren eller förvaltaren behöver ha kontroll på både nettoenergi och primärenergital utöver levererad energi som är vanligt för ekonomisk driftsuppföljning.

En annan utmaning för nettoenergi som kompletterande krav är att definiera kravnivåer som ska motsvara en bra klimatskärm med både lågt värme och ett lågt kylbehov. Byggnadens nettoenergi påverkas också av andra energiposter än energi för uppvärmning och kyla, så som tappvarmvattenanvändning, fastighetsel och hushållsel eller verksamhetsel, som totalt kan motsvara mer än hälften av den totala nettoenergin.

En jämförelse med primärenergitalet för typbyggnaderna visar att åtgärder som minskar värmeförluster genom transmission, infiltration och ventilation ändrar primärenergitalet procentuellt nästan lika mycket som nettoenergin. Ett kompletterande krav uttryckt i nettoenergi kommer därmed inte att bidra till någon extra nytta jämfört med primärenergitalet.

[11] Wahlström, Å. ”Byggnads energiprestanda - Använd energi”, Rapport till Svensk Fjärrvärme, november 2014.

6.2 Nettovärme

Byggnadens nettovärme är den energi som direkt avges av byggnadens uppvärmningssystem för att täcka upp för värmeförluster genom byggnadens klimatskärm, luftläckage genom fasad och ventilationsförluster via frånluft.

Fördelen med nettovärme är att den tar hänsyn till alla egenskaper i byggnadens som påverkar byggnadens värmebehov oavsett vilket tekniskt system som tillgodoser behovet. Dock behöver värmeåtervinning ur frånluft beaktas. Denna utredning utgår från systemgränsen för nettovärme där värmeåtervinning av ventilationsluft får tillgodoräknas då FTX-system används. Användning av frånluftsvärmepump betraktas här som frånluftsventilation men det finns metoder för att även beakta värmeåtervinning som sker via en frånluftsvärmepump.

Genom att ställa krav på byggnadens nettovärme sätts fokus på byggnadens klimatskärm med dess täthet och isolerande egenskaper. Olika åtgärder har större procentuell påverkan på indikatorn nettovärme jämfört med nettoenergi, vilket gör att även små åtgärder får ett tydligt utslag. Beräkningar med olika typbyggnader visar att bättre klimatskärm, täthet och värmeåtervinning minskar nettovärme för uppvärmning med upp till 46 % i småhuset, 50 % i flerbostadshuset, 47 % i skolan, och 63 % i kontoret, beroende på ort. Nettovärme tar också hänsyn till byggnadens orientering och form. Formfaktor har betydande påverkan på nettovärme, speciellt i småhus.

Nackdelen är att krav på nettovärme inte beaktar att byggnader kan få ett ökat behov av komfortkyla. Till exempel leder bättre klimatskärm och täthet i typkontoret till en minskad nettovärme på upp till 40 %. Samtidigt ökar kylbehovet nästan lika mycket.

Verifieringen kan också bli mer komplicerad eftersom distribuerad värme behöver mätas utöver levererad energi till byggnaden, vilket är särskilt komplicerat vid luftburen värme. Dock något enklare att mäta än nettoenergi som också behöver beakta distribuerad kyla.

En fördel jämfört med nettoenergi, enligt definitioner i föreliggande utredning, är att nettovärme inte påverkas av tappvarmvattenanvändning, som är brukarrelaterad. Dock ingår VVC förluster som bidrar till uppvärmning i byggnaden.

6.3 Värmeeffektbehov (Miljöbyggnad) och värmeförlusttal (Feby)

Både värmeeffektbehov (Miljöbyggnad) och Värmeförlusttal (Feby) baseras på samma grundförutsättning, det totala värmeeffektbehovet som byggnaden har under årets kallaste dag under ett normalår. Värmeförluster på grund av värmetransmission genom

klimatskärm, infiltration och ventilation summeras och multipliceras med temperaturdifferensen mellan rumstemperatur och dimensionerande utetemperatur. Värmetillskott från sol och internlaster (belysning, elutrustning, personer mm) får inte inkluderas och värmeeffekt för tappvarmvattenberedning ingår inte.

Den största skillnaden mellan de två metoderna är att värmeeffektbehovet anges per omslutande area, A_{om} och värmeförlusttalet per tempererade area, A_{temp}. Detta betyder att de två metoderna skiljer sig med en faktor som är ungefär lika stor som byggnadens formfaktor. Exempelvis i småhus med formfaktor 2,0 är beräknad värmeförlusttal ungefär två gånger högre än beräknat värmeeffektbehov. I större byggnader (lokalbyggnader och flerbostadshus) där formfaktor oftast är lägre än 1,0 blir resultatet tvärtom, beräknat värmeförlusttal är lägre än värmeeffektbehov.

Värmeeffektbehov ger samma korrelation på resultat som krav på U_m som också är per A_{om}. Det innebär att för byggnader med hög formfaktor kan talet bli bättre samtidigt som värmeförlusterna ökar. Det kan därmed bli enkelt att uppfylla krav på värmeeffektbehov för småhus. Värmeförlusttalet som är per A_{temp} får däremot ett sämre värde för högre formfaktor. Krav på värmeförlusttal kan därmed innebära att U-värden på byggdelar behöver förbättras för byggnader med hög formfaktor, vilket fördyrar byggnader med ofördelaktig formfaktor. De två metoderna är därmed mer eller mindre lämpliga beroende av byggnadens storlek. Värmeeffektbehov fungerar därmed bra för större byggnader medan värmeförlusttalet fungerar bra för små byggnader och det är därmed svårt att uttrycka kraven på samma sätt för alla byggnadskategorier.

Det finns också skillnad i hur förluster via infiltration beräknas. Båda metoder använder något förenklade beräkningsmetoden där vindens påverkan bedöms på ett förenklat sätt. I värmeförlusttalet har infiltrationsförluster större påverkan jämfört med värmeeffektbehovet. I och med att beräkning av infiltrationsförluster förenklas blir skillnaden liten i jämförelse med att bara ställa krav på U_m. Ventilationsförluster tillgodoses ändå till viss del i primärenergitalet vars nivåer gör att värmeåtervinning behöver installeras.

Även frånluftsystem tillsammans med frånluftsvärmepump bedöms olika i de två metoderna. I värmeeffektbehovet enligt Miljöbyggnad kan återvunnen värme från frånluftsvärmepumpen till viss del tillgodoräknas. I värmeförlusttalet ligger frånluftsvärmepumpen utanför systemgränsen och ventilationsförluster beräknas utan värmeåtervinning. Därmed blir värmeförlusttalet med F-system betydligt högre jämfört med värmeeffektbehovet enligt Miljöbyggnad.

Fördelen med värmeeffektbehov och värmeförlusttal som kompletterande krav är dess direkta koppling till byggnadens värmeförluster med isolering, köldbryggor, täthet och ventilationsförluster. Låga värmeförluster innebär låg energianvändning oavsett typ av

uppvärmningssystem. Beräkningar med olika typbyggnader visar att lågenergibyggnader, med förbättrad konstruktion, täthet och temperaturverkningsgrad för värmeåtervinning minskar värmeeffektbehovet och värmeförlusttalet med ca 31 – 37 % beroende av byggnadskategori.

En annan fördel är att betygskriterier för nyproducerade hus är väl utvecklade både för värmeeffektbehov enligt Miljöbyggnad och för värmeeffektbehov enligt Feby.

Det finns skillnader hur de två certifieringssystem bedömer byggnader i olika orter. För värmeeffektbehov enligt Miljöbyggnad är kravnivåerna lägre i kallare orter. För värmeförlusttal enligt Feby är kravnivåerna bara marginellt lägre i kallare orter. Feby-kraven förutsätter bättre konstruktion när byggnaden byggs i kallare orter jämfört med varmare orter. Miljöbyggnad förutsätter, liksom BBR, att samma konstruktion ska kunna användas i hela Sverige.

En nackdel med båda metoderna är att de inte tar hänsyn till kylbehovet som förekommer i lokalfastigheter. Ett lågt värmeeffektbehov i byggnaden kan innebära ett ökat kylbehov, som exempelvis visades i typkontoret. Även fönsterorientering påverkar byggnadens värme- och kylbehov som inte reflekteras av de två metoderna. Detta beaktas till viss del i primärenergitalet men andra krav kan behövas som tar hänsyn till detta.

Både värmeförlusttal och värmeeffektbehov kan verifieras till exempel med hjälp av en effektsignatur. I Feby rekommenderas också en förenklad metod för verifiering som baseras på en granskad energiberäkning, lufttäthetsmätning och ventilationsprotokoll, där uppmätt luftflöde och verkningsgrad framgår [12]. Fördelen med effektsignatur är att mätning behövs under en begränsad tid under året och sedan kan mätningarna extrapoleras till ett resultat. Dock krävs ungefär samma mätare som för nettovärme som behöver mätas undre ett år.

Flera aktörer vid branschdialogerna föredrar värmeeffektbehov eller värmeförlusttal eftersom de ger en styrning till lågt effektbehov kalla vinterdagar. Detta eftersom effektkostnader för energi sannolikt kommer att öka framöver och att ett effekttal beskriver hur bra fastigheten är. Ett kompletterande krav på nettovärme eller U_m kommer också indirekt att begränsa byggnadens effektbehov eftersom talets inverkan på energibehovet är korrelerad med utomhustemperaturen.

[12] Sandberg, E, 2017, Energi på byggnadsnivå och kriterier för låga värmeförluster-värmeförlusttal. Svergies Centrum för Nollenergihus

6.4 Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U_m)

I Boverkets byggregler finns krav på klimatskärmens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient (U_m). Kravet på U_m avser att säkerställa att byggnaden har en viss isolerande förmåga och därmed begränsa byggnadens värmeförluster.

Beräkningar visar att med en fönsterandel på ca 25 % av fasadarean är det inga problem att uppfylla krav på U_m med de byggdelar som finns på marknaden. Originalfallet för småhus, flerbostadshus och kontor har konstruktionslösningar som precis uppfyller kravet på U_m, samtidigt som krav på primärenergital uppfylls med god marginal. I typskolan däremot hamnar U_m-värdet under kravnivån med ca 40 % trots att samtliga byggdelar är bland de sämre på dagens marknad. Att använda ännu sämre byggnadsdelar ansågs inte vara rimligt med avseende av dagens byggteknik.

Klimatskärmens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient (U_m) reflekterar inte alltid hur byggnadens energianvändning kommer att bli. Byggnadens formfaktor och fasadandel i den totala omslutande arean har inverkan på resultatet. I tabell 6.3 nedan jämförs typbyggnadernas formfaktor med U_m-värdet och byggnadernas energianvändning. Större formfaktorer förekommer bara i småhusfallet. I flerbostadshus, kontor och skola är formfaktor runt 1,0 eller lägre.

Tabell 6.3 Jämförelse av formfaktor, U_m, värmeenergi och byggnadens primärenergital. Resultatet gäller för Linköping.

Typ av byggnad	Formfaktor	U_m W/m²,K	Värmeenergi kWh/m² A_{temp} år	Primärenergital (Fjv) kWh/m² A_{temp} år	Fasadandel i A_{om}
Kontor (original)	0,72	0,49	24	59	53%
Kontor (ny form)	0,75	0,57	30	65	74%
Flerbostadshus (ny form)	0,86	0,43	40	70	72%
Skola (ny form)	0,94	0,32	51	59	47%
Flerbostadshus (original)	1,01	0,38	41	71	61%
Skola (original)	1,22	0,29	61	66	36%
Småhus (original)	2,0	0,28	60	74	36%
Småhus (ny form)	3,1	0,25	89	95	32%

U_m är definierat som värmeförluster per A_{om} och exempelvis för småhuset minskar det med ökad formfaktor trotts att värmeförlusterna ökar och därmed också

primärenergitalet. Minskat värde på U_m gäller dock bara när fasadandel i den totala omslutande arean inte ökar med ökad formfaktor.

Resultatet med typkontoret visar också att en marginell ökning i formfaktor leder till både ett ökat U_m-värde och ökad energianvändning jämfört med originalfallet. Det finns med andra ord en korrelation mellan formfaktor (fasadarea) och U_m. Här kan fortsatt utredning behövas om det kompletterande kravet istället bör uttryckas i förhållande till U_m på omslutande fasadarea.

U_m tar inte heller hänsyn till värmeförluster via infiltration eller ventilation, som kan minska värmeförluster totalt sätt lika mycket som förbättrade U-värden (exempelvis i lågenergifallet).

Det finns inga bra metoder för verifiering av U_m-värdet. I beräkningar har antaganden en stor betydelse för resultatet, exempelvis hur köldbryggor beräknas. Installerat isoleringsskikt kan kontrolleras genom egenkontroll eller inspektion under produktionen.

6.5 Solvärmelast

Det är viktigt att byggnader projekteras, byggs och förvaltas för att begränsa övertemperaturer och begränsa effektbehovet för komfortkyla under sommarhalvåret. Passiv solvärme kan begränsas genom krav på ett solvärmelasttal som leder till en god solavskärmning för att minska övertemperaturer och ett ökat kylbehov. Alternativt kan krav ställas enbart på maximalt antal timmar med övertemperaturer under verksamhetstider som indirekt leder till en god solavskärmning i byggnader.

I föreliggande utredning har solvärmelasttalet analyserats. Utifrån definition och kravnivåer på solvärmelasttal enligt Miljöbyggnad 3.1 och Feby18 har beräkningar genomförts för ett antal kritiska rum i typbyggnader. Beräkningar visar att för att uppnå låga nivåer på solvärmelasttal krävs bra solavskärmning eller fönsterglas med ett lågt g-värde. Exempelvis i typsmåhuset behövs extern solavskärmning utöver invändiga persienner. I typflerbostadshuset behövs lägre g-värde på fönsterglas och brukarstyrd solavskärmning för att uppnå kravet i kritiska rum. Även i typskolan behövs solavskärmningen förbättras exempelvis med utvändig solavskärmning. Typkontoret har redan ett låg g-värde på fönsterglas i grundfallet. För att uppnå minimikrav på solvärmelasttalet behövs både invändig och utvändig solavskärmning.

Med energiberäkningar har det analyserats vilken påverkan solvärmelasttalet har på byggnadens energianvändning. Beräkningar har också genomförts på rumsnivå för att analysera vilken påverkan solvärmelasttalet har på rummets operativa temperatur och

hur de förhåller sig till kravnivåer enligt andra förekommande krav på termiskt klimat sommartid.

I flerbostadshus leder minskat solvärmelasttal till marginella ändringar i byggnadens energianvändning. Analysen på rumsnivå visar att låga solvärmelasttal inte garanterat leder till att problem med övertemperaturer kan undvikas sommartid. Förutom solavskärmning, har fönstrens orientering och möjlighet för vädring stor påverkan på operativa temperatur inomhus.

För att uppfylla inneklimatkrav i skollokaler behövs antigen invändig och utvändig solavskärmning eller fönsterglas med lägre g-värde. Det finns ett tydligt samband mellan solvärmelasttal och den operativa temperaturen i rummet. Vid minskat solvärmelasttal minskas också timmar där den operativa temperaturen överskrider rekommenderade gränsnivåer. Fönstrens orientering har dock stor påverkan på operativ temperatur vilket inte reflekteras i solvärmelasttalet.

Energiberäkningar i typskolan visar att minskning av solvärmelasttal genom bättre solavskärmning leder till marginell ökning av byggnadens energianvändning. Samtidigt ökar lägre g-värde på fönsterglaset värmeenergianvändningen med ca 15 % på grund av att gratis värmetillskott via solinstrålning minskar på vintertid.

I kontorsbyggnader kan lägre solvärmelasttal minska kyleffekten betydligt oavsett styrparametrar för komfortkylsystemet. Beräkningar på rumsnivå visar att erforderlig kyleffekt för komfortkylsystemet kan minskas betydligt med solvärmelasttal som uppfyller kravnivå *brons* enligt Miljöbyggnad 3. Förbättring av solvärmelasttal från nivå *brons* till nivå *silver* kan nästan halvera den erforderliga kyleffekten. Energiberäkningar visar att minskning av solvärmelasttal leder till minskat kylbehov i kontorslokaler samtidigt som nettovärme för uppvärmning ökar. Eftersom minskning av kylbehovet är något större kommer byggnadens totala nettoenergi minska.

En fördel med solvärmelasttalet som kompletterande krav är det har direkt koppling till solvärmelasten som bidrar till att värma rummet och leder till minskade risker för övertemperaturer sommartid samt ett ökat kylbehov.

Nackdelen med solvärmelasttalet är beräkningsmetoden där beräkning av sammanvägd solfaktor för fönsterglas och solskydd är ganska komplicerad och är beroende på beräkningsverktyget och antaganden som görs för indata. Analyser på rumsnivå visar att även fönstrens orientering ha stor påverkan på operativ temperatur, vilket inte reflekteras i solvärmelasttalet.

6.6 Fortsatt arbete

I föreliggande utredning har nettoenergi, nettovärme för uppvärmning, värmeförlusttal och värmeeffektbehov analyserats som möjliga kompletterande krav istället för genomsnittlig värmegenomgångskoefficient U_m. Ett kompletterande kravet bör ha en betydande påverkan på byggnadens egenskaper i avseende att minska energiförluster genom transmission, infiltration och ventilation. Analysen begränsas till att undersöka möjligheter med, och identifiera konsekvenser av, de olika förslagen på kompletterande krav. För en fullständig analys där det kan konstateras att det kompletterande kravet har en styrande effekt till en byggnadsutformning som minskar byggnadens energibehov behöver även nivåer på de kompletterande kraven analyseras i förhållande till kraven på primärenergital.

Från utredningen kan konstateras att fortsatt analys av nettoenergi som kompletterande krav kan uteslutas eftersom det inte tillför något mer än vad huvudkravet redan beaktar.

Nettovärme, som också utgår från använd energi, bör analyseras vidare om är möjligt att sätta bra kravnivåer och ha en bra metod för verifiering. Parallellt bör det analyseras om det går att utveckla U_m till att hantera olika formfaktorer för byggnader, utan att kravnivån blir för enkel för byggnader med fördelaktig form, för att avgöra vilket av de två kraven som är lämpligast. Definitionen av nettovärme bör också ses över för att hitta ett sätt att hantera värmeåtervinning ur frånluft oavsett teknisk lösning. Om värmeförlusttal eller värmeeffektbehov ska vara ett konkurrerande krav istället för U_m så behöver beräkningarna för infiltration förbättras. De förenklade metoder som används i Miljöbyggand och Feby ger för liten inverkan på kravet för att det ska vara lönt att gå från det enklare U_m-kravet. Det finns också utmaningar till att hitta en mellan metod som ger styreffekt både för små och stora byggnader med olika formfaktorer.

Oavsett om fortsatta utredningar konstaterar att nettovärme, värmeeffektbehov, värmeförlusttal eller U_m kommer att vara det mest fördelaktiga kompletterande kravet så behövs ett komplement med ytterligare ett krav för att begränsa övertemperaturer och begränsa effektbehovet för komfortkyla under sommarhalvåret. Föreliggande utredning visar att för byggnader med kylsystem kommer solvärmelasttalet att begränsa en byggnads kylbehov och i byggnader utan kylsystem kan det vara ett effektivt krav för att begränsa antalet övretemperaturer och förhindra att brukare själva installerar kylsystem. Nivåer på solvärmlasttal behöver utredas tillsammans men beaktande av att det kan behöva kompletteras med krav på vädringsmöjlighet i byggnader utan kylsystem. Ett alternativ kan också vara beräkning av antalet övertemperaturer, likt de finska byggreglerna. Beräkning av övertemperaturer leder indirekt till god solavskärmning men är svårare att verifiera.

Oavsett om fortsatta utredningar konstaterar att nettovärme, värmeeffektbehov eller värmeförlusttal bör ersätta U_m så behöver fortsatt arbete ta ställning till hur värme i frånluft som tas tillvara via en frånluftsvärmepump bör hanteras i förhållande till hur återvinning får tillgodoräknas vid användning av ett FTX-system. Här har Miljöbyggand en lämplig metod att utgå ifrån.

Bilaga 1. Indata för beräkningar

Klimatdata (gäller för alla byggnadstyper)

Parameter	Värde				Källa
Klimatfil normalår	Malmö	Linköping	Östersund	Gällivare	Antagen
Geografisk justeringsfaktor	0,8	1	1,4	1,9	BBR29

B1.1 Småhus

Fasadkonstruktion	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**
Fasad (trä)	22	0,14	0,16	22	0,14	0,12
Luftspalt med spikläkt	28	0,26		28	0,26	
Fasadskiva/isolering	50	0,033		50	0,033	
Vindduk						
Mineralullsskiva + regel	170	0,036		250	0,036	
Plastfolie						
Mineralullsskiva + regel	45	0,036		45	0,036	
OSB-skiva	11	0,13		11	0,13	
Gipsskiva	13	0,22		13	0,22	

Takkonstruktion typ 1	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**
Takpannor			0,16			0,11
Luftspalt med träreglar	45	0,26		45	0,26	
Underlagsskiva	10	0,14		10	0,14	
Luftspalt m distansläkt	35	0,26		35	0,26	
Hårdboardskiva	13	0,14		13	0,14	
Mineralullisolering	200	0,036		300	0,036	
Plastfolie						
Glespanel	28	0,26		28	0,26	
Innertak	13	0,22		13	0,22	

Takkonstruktion typ 2	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**
Mineralull med takstolar	300	0,036	0,15	400	0,036	0,11
Plastfolie						
Lluftspalt med träreglar	28	0,26		28	0,26	
Innertak	13	0,22		13	0,22	

Bottenplatta	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**
Gotextil			0,19			0,15
Mackadam	150	1,4		150	1,4	
Cellplast	150	0,031		200	0,031	
Betongplatta	100	1,7		100	1,7	
Plastfolie och papp	0,2			0,2		
Innergolv	15	0,14		15	0,14	

Övriga indata

Parameter	Värde			Källa
	Original	lågenergi	Ny form	
Area (A_{temp})	165 m^2	165 m^2	165 m^2	Ritningar
Omslutningsarea (A_{om})	328 m^2	328 m^2	515 m^2	Ritningar
Formfaktor	2,0	2,0	3,1	Beräknat
Fönsterandel (%)	22 %	22 %	20 %	Ritningar
Fasad andel i Aom (%)	36 %	36 %	32 %	Ritningar
Byggnaden höjd	7 m	7 m	4,5 m	Ritningar
Byggnadens inre volym	357 m^3	357 m^3	445 m^3	Ritningar
Byggnadens orientering	Söderfasad mot syd	Söderfasad mot syd	Söderfasad mot syd	Ritningar
U_m (U-medelvärde)	0,28 W/m^2K	0,20 W/m^2K	0,25 W/m^2K	Beräknat
UA fasad	15 W/K	11 W/K	21 W/K	Beräknat
UA tak	19 W/K	14 W/K	28 W/K	Beräknat
UA bottenplatta (med mark)	12 W/K	10 W/K	23 W/K	Beräknat
UA fönster och dörrar	31 W/K	21 W/K	37 W/K	Beräknat
UA köldbryggor	14 W/K	9 W/K	19 W/K	Beräknat
g-värde fönster	0,55	0,55	0,55	Antagen
Solavskärmning	beteendestyrd avskärmning (g=0,71)	beteendestyrd avskärmning (g=0,71)	beteendestyrd avskärmning (g=0,71)	Antagen
Byggnadens lufttäthet, q_{50}	0,5 l/s, m^2	0,3 l/s, m^2	0,5 l/s, m^2	Antagen
Antal våningar ovan mark, Totalt/uppvärmda >10 °C	1,5	1,5	1,0	Ritningar
Antal våningar under mark Totalt/uppvärmda >10 ° C	0,0	0,0	0,0	Ritningar
Ventilationssystem	FTX, F vid FVP	FTX, F vid FVP	FTX, F vid FVP	Antagen
Temperaturverkningsgrad (% vid balanserat luftflöde)	75 %	85 %	75 %	Antagen
Luftflöde, genomsnittligt flöde inkl. forcering [1)]	0,354 l/s m^2	0,354 l/s m^2	0,354 l/s m^2	Ritningar
Specifik fläkt effekt, SFP	1,5 kW/(m^3/s) för FTX, 0,75 kW/(m^3/s) för F	1,5 kW/(m^3/s) för FTX, 0,75 kW/(m^3/s) för F	1,5 kW/(m^3/s) för FTX, 0,75 kW/(m^3/s) för F	BBR29
Luftdistribution	CAV	CAV	CAV	Ritningar
Tilluftstemperatur	19°C	19°C	19°C	Antagen
Drifttid ventilationssystem	24h	24h	24h	Antagen

1) Luftflöde under drifttid 0,35 l/s m^2+ 30 l/s forcering i kök 0,5h/dygn

Parameter	Värde			Källa
	Orignal	lågenergi	Ny form	
Lägsta innetemperatur vintertid	21°C	21°C	21°C	BEN
Högsta tillåten innetemperatur sommartid	inget krav	inget krav	inget krav	Antagen
Närvarotid	14h/7dagar/52 veckor	14h/7dagar/52 veckor	14h/7dagar/52 veckor	BEN
Persontäthet	3,51 pers (5rok)	3,51 pers (5rok)	3,51 pers (5rok)	BEN
Effektavgivning	80 W/person	80 W/person	80 W/person	BEN
Hushållsenergi	30 kWh/m2 år	30 kWh/m2 år	30 kWh/m2 år	BEN
Internlast som är möjligt att tillgodogöras (%)	70%	70%	70%	BEN
Påslag för vädring	4 kWh/m2 år	4 kWh/m2 år	4 kWh/m2 år	BEN
Energianvändning för tappvarmvatten	20 kWh/m2 år	20 kWh/m2 år	20 kWh/m2 år	BEN
VVC förluster	0 kWh/m2 år	0 kWh/m2 år	0 kWh/m2 år	Antagen
Fastighetsel (exkl fläktel)	5 kWh/m2 år	5 kWh/m2 år	5 kWh/m2 år	Antagen

B1.2 Flerbostadshus

Fasadkonstruktion typ 1: våning 1- 5 alla fasader förutom gavel på väster och söder

	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**
Puts	5		0,17	5		0,11
Fasadskiva (Ventec)	12	0,09		12	0,09	
Luftspalt med spikläkt	30	0,26		30	0,26	
Vindskiva (Glasrock)	13	0,21		13	0,21	
Mineralull + reglar	160	0,036		255	0,036	
Plastfolie						
Mineralull + reglar	70	0,036		100	0,036	
Plywood	12	0,14		12	0,14	
Gipsskiva (2)	26	0,22		26	0,22	

Fasadkonstruktion typ 2: våning 1- 5 gavel på väster och söder ca 438+106 m2

	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**
Puts	20		0,20	20		0,14
Mineralull + reglar	200	0,036		280	0,036	
Betong	200	1,7		200	1,7	

Fasadkonstruktion typ 3: källarvägg ovan mark

	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**
Betong	70	1,7	0,23	70	1,7	0,19
Cellplast	150	0,037		180	0,037	
Betong	200	1,7		200	1,7	

Fasadkonstruktion typ 4: källarvägg ovan mark

	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**
Betong	100	1,7	0,23	70	1,7	0,17
Cellplast	150	0,037		200	0,037	
Betong	200	1,7		200	1,7	

Fasadkonstruktion typ 5: källarvägg under mark

	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**
Isodrän	200	0,04	0,19	200	0,04	0,19
Betong	200	1,7		200	1,7	

Takkonstruktion	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**
Mineralull	250	0,037	0,14	400	0,037	0,09
Betong	200	1,7		200	1,7	

Bottenplattans konstruktion typ 1	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**
Cellplast	100	0,037	0,34	200	0,037	0,18
Betong	200	1,7		200	1,7	

Bottenplattans konstruktion typ 2	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**
Cellplast	100	0,037	0,35	200	0,037	0,18
Betong	100	1,7		100	1,7	

Övriga indata

Parameter	Värde			Källa
	Orignal	lågenergi	Ny form	
Area (A_{temp})	3856 m^2	3856 m^2	3856 m^2	Ritningar
Omslutningsarea (A_{om})	3910 m^2	3910 m^2	3326 m^2	Ritningar
Formfaktor	1,01	1,01	0,86	Beräknat
Fönsterandel (%)	24%	24%	25%	Ritningar
Fasad andel i Aom (%)	61%	61%	72%	Ritningar
Byggnaden höjd	18,2 m	18,2 m	25,2 m	Ritningar
Byggnadens inre volym	9640 m^3	9640 m^3	9640 m^3	Ritningar
Byggnadens orientering	Söderfasad 30 grader mot öst	Söderfasad 30 grader mot öst	Söderfasad 30 grader mot öst	Ritningar
U_m (U-medelvärde)	0,38 W/m^2K	0,27 W/m^2K	0,43 W/m^2K	Beräknat
UA fasad	295 W/K	196 W/K	305 W/K	Beräknat
UA källarvägg ovan mark	23 W/K	18 W/K	15 W/K	Beräknat
UA tak	95 W/K	61 W/K	54 W/K	Beräknat
UA botteplatta (med mark)	128 W/K	88 W/K	69 W/K	Beräknat
UA källarvägg under mark (med mark)	25 W/K	25 W/K	23 W/K	Beräknat
UA fönster och dörrar	695 W/K	521 W/K	727 W/K	Beräknat
UA köldbryggor	237 W/K	129 W/K	244 W/K	Beräknat
g-värde fönster	0,55	0,5	0,55	Antagen
Solavskärmning	balkonger (70% fasadarean) + beteendestyrd avskärmning (g=0,71)	balkonger (70% fasadarean) + beteendestyrd avskärmning (g=0,71)	balkonger (70% fasadarean) + beteendestyrd avskärmning (g=0,71)	Antagen
Byggnadens lufttäthet, q50	0,5 l/s,m^2	0,3 l/s,m^2	0,5 l/s,m^2	Antagen
Antal våningar ovan mark, Totalt/uppvärmda >10 °C	4 / 5	4 / 5	9	Ritningar
Antal våningar under mark, Totalt/uppvärmda >10 ° C	1	1	1	Ritningar
Ventilationssystem	FTX, F vid FVP	FTX, F vid FVP	FTX, F vid FVP	Ritningar
Temperaturverkningsgrad (% vid balanserat luftflöde)	75%	85%	75%	Antagen
Luftflöde, genomsnittligt flöde inkl. forcering	0,43 l/s m2	0,43 l/s m2	0,43 l/s m2	Ritningar

Parameter	Värde			Källa
	Original	lågenergi	Ny form	
Specifik fläkt effekt, SFP	1,5 kW/(m^3/s) för FTX, 0,75 kW/(m3/s) för F	1,5 kW/(m^3/s) för FTX, 0,75 kW/(m3/s) för F	1,5 kW/(m^3/s) för FTX, 0,75 kW/(m3/s) för F	BBR29
Luftdistribution	CAV	CAV	CAV	Ritningar
Drifttid ventilationssystem	24h	24h	24h	Antagen
Tilluftstemperatur	19°C	19°C	19°C	Antagen
Lägsta innetemperatur vintertid	21°C	21°C	21°C	BEN
Högsta tillåten innetemperatur sommartid	inget krav	inget krav	inget krav	Antagen
Närvarotid	14h/7dagar/52 veckor	14h/7dagar/52 veckor	14h/7dagar/52 veckor	BEN
Persontäthet	88 pers	88 pers	88 pers	BEN
Effektavgivning	80 W/person	80 W/person	80 W/person	BEN
Hushållsenergi	30 kWh/m2 år	30 kWh/m2 år	30 kWh/m2 år	BEN
Internlast som är möjligt att tillgodogöras (%)	70 %	70 %	70 %	BEN
Påslag för vädring	4 kWh/m^2 år	4 kWh/m^2 år	4 kWh/m^2 år	BEN
Energianvändning för tappvarmvatten	25 kWh/m^2 år	25 kWh/m^2 år	25 kWh/m^2 år	BEN
VVC förluster	5 kWh/m^2 år	5 kWh/m^2 år	5 kWh/m^2 år	Antagen
Fastighetsel (exkl fläktel)	6,4 kWh/m^2 år	6,4 kWh/m^2 år	6,4 kWh/m^2 år	Antagen

B1.3 Skola

Fasadkonstruktion typ 1: våning 1, 2 och 3 med fasadskiva av fibercement

	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**λ**	**U-värde**	**mm**	**λ**	**U-värde**
Fasadskiva	4,5	0,3	0,24	4,5	0,3	0,13
Luftspalt m. liggande läkt	34	0,26		34	0,26	
Luftspalt m. stående läkt	28	0,26		28	0,26	
vindskydd						
celullosafiber m. stående lättreglar	150	0,039		300	0,039	
väggelement av betong	150	1,7		150	1,7	

Fasadkonstruktion typ 2: plan 1 med träpaneler

	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**λ**	**U-värde**	**mm**	**λ**	**U-värde**
fasad panel	22	0,14	0,23	22	0,14	0,13
Luftspalt m. liggande läkt	34	0,26		34	0,26	
Luftspalt m. stående läkt	28	0,26		28	0,26	
vindskydd						
celullosafiber m. stående reglar	150	0,039		300	0,039	
väggelement av betong	150	1,7		150	1,7	

Fasadkonstruktion typ 3: plan 4

	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**λ**	**U-värde**	**mm**	**λ**	**U-värde**
Fasadskiva	4,5	0,3	0,17	4,5	0,3	0,13
Luftspalt m. liggande läkt	34	0,26		34	0,26	
Luftspalt m. stående läkt	28	0,26		28	0,26	
vindskydd						
celullosafiber m. stående reglar	150	0,039		200	0,039	
Diff.-broms typ intello plus	0,4	0,17		0,4	0,17	
mineralull m. träregel	70	0,036		95	0,036	
luftspalt m. träregel	50	0,26		50	0,26	
plywoodskiva	12	0,13		12	0,13	
gips	13	0,22		13	0,22	

Fasadkonstruktion typ 4: källarväggar

	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**λ**	**U-värde**	**mm**	**λ**	**U-värde**
fiberduk			0,23			0,14
dränerande material						
cellplast	150	0,037		250	0,037	
betongvägg	260	1,7		260	1,7	

Takkonstruktion typ 1

	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**λ**	**U-värde**	**mm**	**λ**	**U-värde**
Cellulosafiber m. träregel	100	0,039	0,15	250	0,039	0,10
Cellulosafiber m. träregel	150	0,039		125	0,039	
Plastfolie	0,2			0,2		
Luftspalt	28	0,26		28	0,26	
gips	26	0,22		26	0,22	

Takkonstruktion typ 2

	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**λ**	**U-värde**	**mm**	**λ**	**U-värde**
plåt	0,6	20	0,15	0,6	20	0,1
underlagspapp	0,4			0,4		
plywoodskiva	24	0,13		24	0,13	
mineralull m. träregel	45	0,039		45	0,039	
mineralull m. träregel	170	0,039		300	0,039	
mineralull m. träregel	45	0,039		45	0,039	
gips	13	0,22		13	0,22	

Bottenplattas konstruktion

	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**λ**	**U-värde**	**mm**	**λ**	**U-värde**
Geotextil			0,34			0,18
sprängsten						
cellplast	100	0,037		200	0,037	
betong	200	1,7		200	1,7	
golvbeläggning	20			20		

Övriga indata

Parameter	Värde			Källa
	original	lågenergi	Ny form	
Area (A_{temp})	6139 m^2	6139 m^2	6139 m^2	Ritningar
Omslutningsarea (A_{om})	7503 m^2	7503 m^2	5781 m^2	Ritningar
Formfaktor	1,22	1,22	0,94	Beräknat
Fönsterandel (%)	28%	28%	28%	Ritningar
Fasad andel i Aom (%)	36%	36%	47%	Ritningar
Byggnaden höjd	21 m	21 m	17 m	Ritningar
Byggnadens inre volym	26280 m^3	26280 m^3	26280 m^3	Ritningar
Byggnadens orientering	Söderfasad 30 grader mot öst	Söderfasad 30 grader mot öst	Söderfasad 30 grader mot öst	Ritningar
U_m (U-medelvärde)	0,29 W/m^2K	0,19 W/m^2K	0,32 W/m^2K	Beräknat
UA fasad	433 W/K	247 W/K	436 W/K	Beräknat
UA källarvägg ovan mark	-	-	-	Beräknat
UA tak	345 W/K	228 W/K	236 W/K	Beräknat
UA botteplatta (med mark)	289 W/K	223 W/K	184 W/K	Beräknat

Parameter	Värde			Källa
	original	lågenergi	Ny form	
UA källarvägg under mark (med mark)	62 W/K	44 W/K	-	Beräknat
UA fönster och dörrar	884 W/K	589 W/K	896 W/K	Beräknat
UA köldbryggor	134 W/K	78 W/K	103 W/K	Beräknat
g-värde fönster	0,5	0,5	0,5	Antagen
Solavskärmning	beteendestyrd avskärmning (g=0,65)	beteendestyrd avskärmning (g=0,65)	beteendestyrd avskärmning (g=0,65)	Antagen
Byggnadens lufttäthet, q_{50}	0,5 l/s,m^2	0,3 l/s,m^2	0,5 l/s,m^2	Antagen
Antal våningar ovan mark Totalt/uppvärmda >10 °C	3/4 suterränghus	3/4 suterränghus	4	Ritningar
Antal våningar under mark Totalt/uppvärmda >10 ° C	1/0 suterränghus	1/0 suterränghus	0	Ritningar
Ventilationssystem	FTX	FTX	FTX	Ritningar
Temperaturverkningsgrad (% vid balanserat luftflöde)	75%	85%	75%	Antagen
Luftflöde, genomsnittligt flöde inkl. forcering	2,13 l/s m2	2,13 l/s m^2 vid CAV, 1,33 l/s m^2 medelflöde vid VAV	2,13 l/s ^{m2}	Ritningar
Specifik fläkt effekt, SFP	1,5 kW/(m^3/s) för FTX, 0,75 kW/(m^3/s) för F	1,5 kW/(m^3/s) för FTX, 0,75 kW/(m^3/s) för F	1,5 kW/(m^3/s) för FTX, 0,75 kW/(m^3/s) för F	BBR29
Luftdistribution	CAV	CAV/VAV	CAV	Ritningar
Drifttid ventilationssystem	10h/5d/44v 08-18 Må-Fre	10h/5d/44v 08-18 Må-Fre	10h/5d/44v 08-18 Må-Fre	BEN/ antagen
Tilluftstemperatur	+18°C vid utetemp över +20C och +20°C vid utetemp under -20°C	+18°C vid utetemp över +20C och +20°C vid utetemp under -20°C	+18°C vid utetemp över +20C och +20°C vid utetemp under -20°C	Antagen
Lägsta innetemperatur vintertid	22°C	22°C	22°C	BEN
Högsta tillåten innetemperatur sommartid	inget krav	inget krav	inget krav	Antagen
Närvarotid	6h/5d/44v per år 08-14:00 Må-Fre	6h/5d/44v per år 08-14:00 Må-Fre	6h/5d/44v per år 08-14:00 Må-Fre	BEN/ antagen

Parameter	Värde			Källa
	original	lågenergi	Ny form	
Persontäthet	15 m^2 A_{temp}/pers, dvs 409 personer	15 m^2 A_{temp}/pers, dvs 409 personer	15 m^2 A_{temp}/pers, dvs 409 personer	BEN
Effektavgivning	80 W/person	80 W/person	80 W/person	BEN
Verksamhetsenergi	22 kWh/m^2 år	22 kWh/m^2 år	22 kWh/m^2 år	BEN
Internlast som är möjligt att tillgodogöras (%)	100%	100%	100%	BEN
Drifttid verksamhetsenergi	10h/5d/44v 08-18:00 Må-Fre	10h/5d/44v 08-18:00 Må-Fre	10h/5d/44v 08-18:00 Må-Fre	BEN/antagen
Påslag för vädring	4 kWh/m^2 år	4 kWh/m^2 år	4 kWh/m^2 år	BEN
Energianvändning för tappvarmvatten	2 kWh/m^2 år	2 kWh/m^2 år	2 kWh/m^2 år	BEN
VVC förluster	2 kWh/m^2 år	2 kWh/m^2 år	2 kWh/m^2 år	Antagen
Fastighetsel (exkl fläktel)	4 kWh/m^2 år	4 kWh/m^2 år	4 kWh/m^2 år	Antagen

B1.4 Kontor

Fasadkonstruktion typ 1: Bottenplan

	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**
Natursten	30	2,4	0,23	30	2,4	0,12
Luftspalt	35	0,26		35	0,26	
Cellplast S80	150	0,038		300	0,038	
Betong	150	1,7		150	1,7	

Fasadkonstruktion typ 2: plan 3-7

	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**
Puts	10	1	0,24	10	1	0,12
Cellplast S80	150	0,038		300	0,038	
Betong	200	1,7		200	1,7	

Fasadkonstruktion typ 3: plan 8

	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**
Formplywood WISA	21	0,14	0,25	21	0,14	0,15
Sundolit S80	40	0,038		40	0,038	
Sundolit S80	100	0,038		200	0,038	
Betongelement	130	1,7		130	1,7	

Fasadkonstruktion typ 4: källarväggar

	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**
Betong	100	1,7	0,33	100	1,7	0,23
Cellplast	100	0,037		150	0,037	
Betong	100	1,7		100	1,7	

Takkonstruktion

	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**
Dräneringslager Nophadrain 5+1	25	0,26	0,16	25	0,26	0,11
Takboard Paroc ROB80	20	0,038		20	0,038	
Cellplast S80	200	0,038		300	0,038	
Däckelement (håldäck) HD/F 120/20	200	1,7		200	1,7	

Bottenplattans konstruktion (mot ouppvärmd garage)

	originalbyggnad och byggnad med ny form			Lågenergihus		
Skikt	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**	**mm**	**$\lambda_{huvudmaterial}$**	**U-värde**
trägolv (lambda=0,14)	10	0,14	0,39	10	0,14	0,27
slipsats med nät	70	0,08		70	0,08	
cellbetong	100	0,084		200	0,084	
HDf – håldäck	220	0,69		220	0,69	

Övriga indata

Parameter	**Värde**			**Källa**
	original	**lågenergi**	**Ny form**	
Area (A_{temp})	12320 m^2	12320 m^2	12320 m^2	Ritningar
Omslutningsarea (A_{om})	8906 m^2	8906 m^2	9279 m^2	Ritningar
Formfaktor	0,72	0,72	0,75	Beräknat
Fönsterandel (%)	51%	51%	52%	Ritningar
Fasad andel i Aom (%)	53%	53%	74%	Ritningar
Byggnaden höjd	26,5 m	26,5 m	53 m	Ritningar
Byggnadens inre volym	42246 m^3	42246 m^3	42246 m^3	Ritningar
Byggnadens orientering	Söderfasad 30 grader mot öst	Söderfasad 30 grader mot öst	Söderfasad 30 grader mot öst	Ritningar
U_m (U-medelvärde)	0,49 W/m^2K	0,36 W/m^2K	0,57 W/m^2K	Beräknat
UA fasad	552 W/K	292 W/K	788 W/K	Beräknat
UA källarvägg ovan mark	29 W/K	20 W/K	29 W/K	Beräknat
UA tak	275 W/K	194 W/K	138 W/K	Beräknat

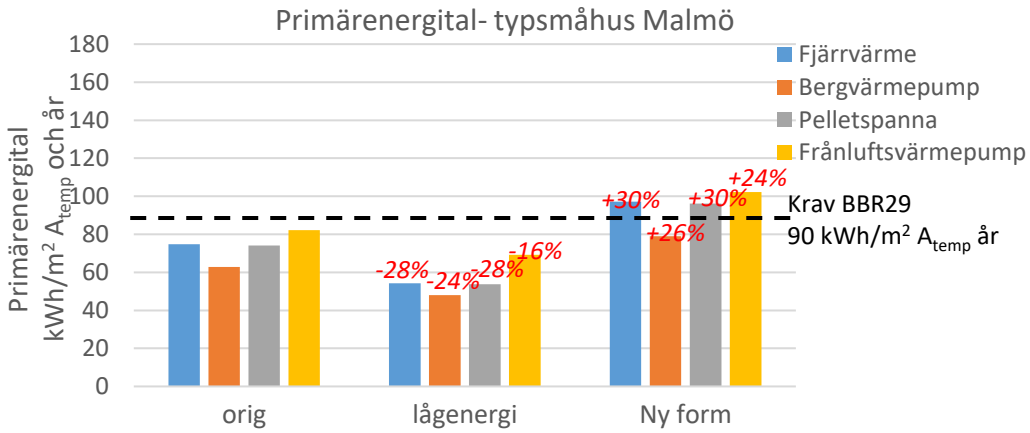
Parameter	Värde			Källa
	original	lågenergi	Ny form	
UA tak	275 W/K	194 W/K	138 W/K	Beräknat
UA bottenplatta (med mark)	702 W/K	481 W/K	351 W/K	Beräknat
UA källarvägg under mark (med mark)	179 W/K	125 W/K	179 W/K	Beräknat
UA fönster och dörrar	2424 W/K	1939 W/K	3555 W/K	Beräknat
UA köldbryggor	210 W/K	121 W/K	249 W/K	Beräknat
g-värde fönster	0,36	0,36	0,36	Antagen
Solavskärmning	solskyddsglas	solskyddsglas	solskyddsglas	Antagen
Byggnadens lufttäthet, q_{50}	0,5 l/s,m^2	0,3 l/s,m^2	0,5 l/s,m^2	Antagen
Antal våningar ovan mark, Totalt/uppvärmda >10 °C	7	7	14	Ritningar
Antal våningar under mark, Totalt/uppvärmda >10 ° C	2	2	2	Ritningar
Ventilationssystem	FTX	FTX	FTX	Ritningar
Temperaturverkningsgrad (% vid balanserat luftflöde)	75%	85%	75%	Antagen
Luftflöde, genomsnittligt flöde inkl. forcering	1,5 l/s m2	1,5 l/s m2	1,5 l/s m2	Ritningar
Specifik fläkt effekt, SFP	1,5 kW/(m^3/s) för FTX, 0,75 kW/(m^3/s) för F	1,5 kW/(m^3/s) för FTX, 0,75 kW/(m^3/s) för F	1,5 kW/(m^3/s) för FTX, 0,75 kW/(m^3/s) för F	BBR29
Luftdistribution	CAV/VAV	CAV/VAV	CAV/VAV	Ritningar
Drifttid ventilationssystem	10h/5d/52v Antagen drifttid för fläktar 07-17 Må-Fre	10h/5d/52v Antagen drifttid för fläktar 07-17 Må-Fre	10h/5d/52v Antagen drifttid för fläktar 07-17 Må-Fre	BEN, Antagen
Tilluftstemperatur	+19°C vid utetemp över +20C och +20°C vid utetemp under -20°C	+19°C vid utetemp över +20C och +20°C vid utetemp under -20°C	+19°C vid utetemp över +20C och +20°C vid utetemp under -20°C	Antagen
Lägsta innetemperatur vintertid	21°C	21°C	21°C	BEN
Lägsta innetemperatur sommartid (för kyla)	23°C	23°C	23°C	BEN
Högsta tillåten innetemperatur sommartid	25°C	25°C	25°C	Antagen

Parameter	Värde			Källa
	original	lågenergi	Ny form	
Verkningsgrad för kylproduktion	2,5	2,5	2,5	Antagen
Närvarotid	9h/5d/47v: 08-17 Må-Fre	9h/5d/47v: 08-17 Må-Fre	9h/5d/47v: 08-17 Må-Fre	BEN/antagen
Persontäthet	20 m^2 A_{temp}/pers, dvs 616 personer	20 m^2 A_{temp}/pers, dvs 616 personer	20 m^2 A_{temp}/pers, dvs 616 personer	BEN
Effektavgivning	108 W/person	108 W/person	108 W/person	BEN
Verksamhetsenergi	30 kWh/m^2 år	30 kWh/m^2 år	30 kWh/m^2 år	Antagen
Internlast som är möjligt att tillgodogöras (%)	100%	100%	100%	BEN
Påslag för vädring	-	-	-	Antagen
Energianvändning för tappvarmvatten	2 kWh/m^2 år	2 kWh/m^2 år	2 kWh/m^2 år	BEN
VVC förluster	2 kWh/m^2 år	2 kWh/m^2 år	2 kWh/m^2 år	Antagen
Fastighetsel (exkl fläktel)	10 kWh/m^2 år	10 kWh/m^2 år	10 kWh/m^2 år	Antagen

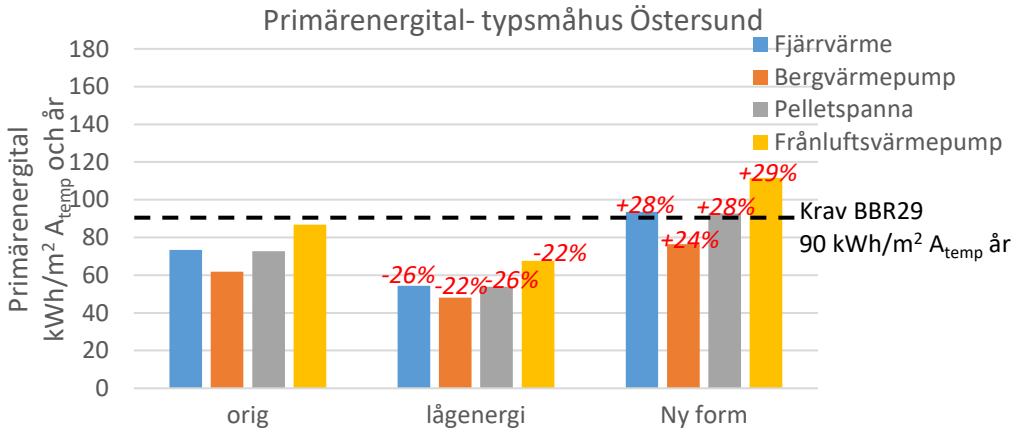
Bilaga 2. Simuleringsresultat

B2.1 Småhus

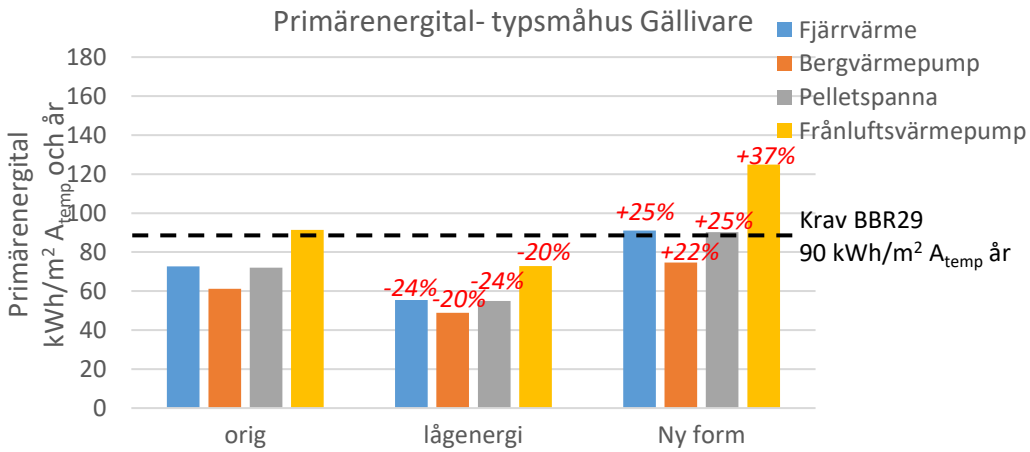
B2.1.1 Primärenergital



Figur B.1 Primärenergital för olika energisystem i typsmåhus i Malmö jämfört med krav i BBR29. Procentuell ändring i primärenergitalet visas i jämförelse med typsmåhus i originalfallet.

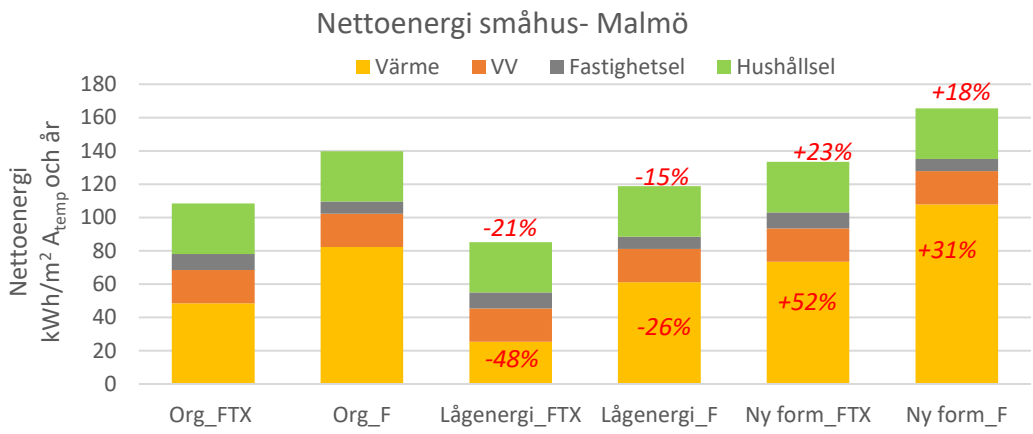


Figur B.2 Primärenergital för olika energisystem i typsmåhus i Östersund jämfört med krav i BBR29. Procentuell ändring i primärenergitalet visas i jämförelse med typsmåhus i originalfallet.

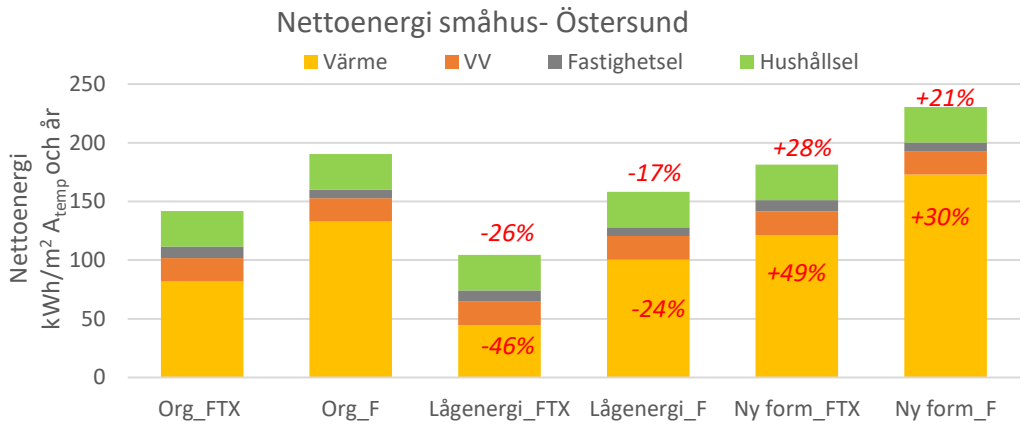


Figur B.3 Primärenergital för olika energisystem i typsmåhus i Gällivare jämfört med krav i BBR29. Procentuell ändring i primärenergitalet visas i jämförelse med typsmåhus i originalfallet.

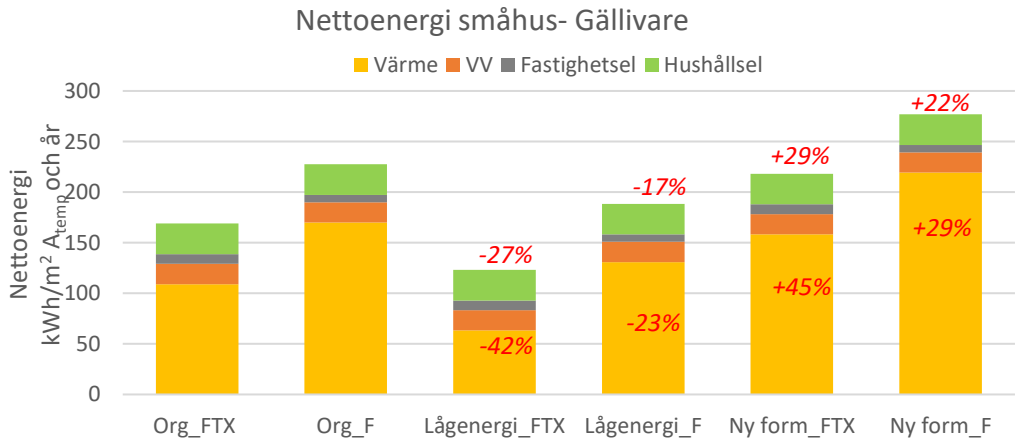
B2.1.2 Nettoenergi och nettovärme



Figur B.4 Nettoenergi för olika småhusalternativ i Malmö. Ändringar i nettoenergi och nettovärme jämförs med typsmåhuset i 1,5 plan.

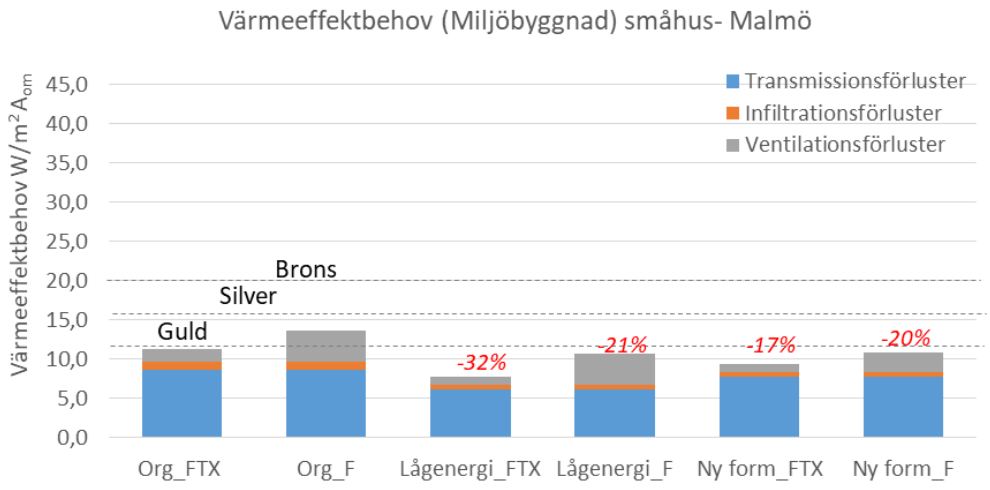


Figur B.5 Nettoenergi för olika småhusalternativ i Östersund. Ändringar i nettoenergi och nettovärme jämförs med typsmåhuset i 1,5 plan.

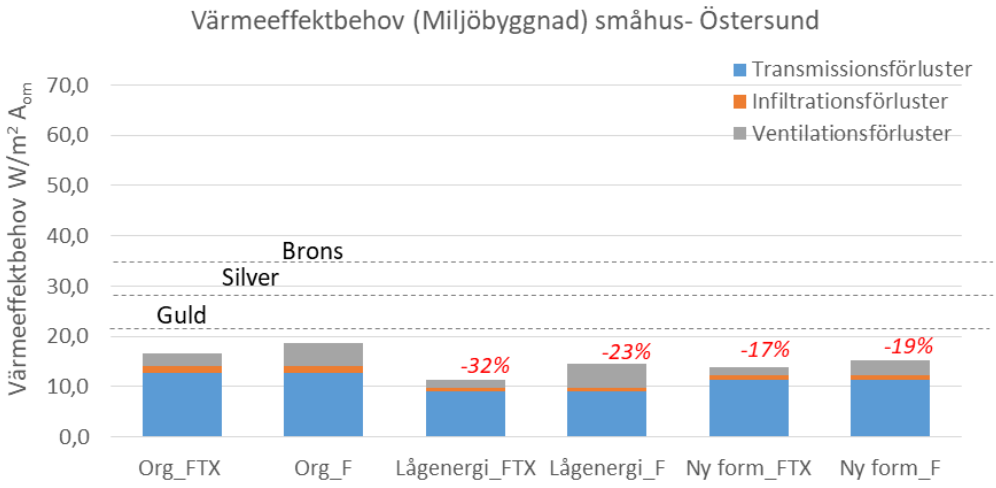


Figur B.6 Nettoenergi för olika småhusalternativ i Gällivare. Ändringar i nettoenergi och nettovärme jämförs med typsmåhuset i 1,5 plan.

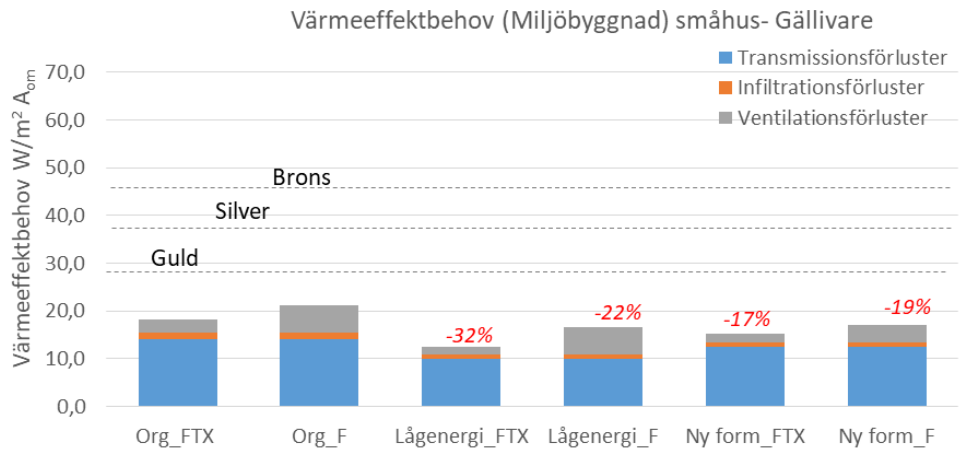
B2.1.3 Värmeeffektbehov



Figur B.7 Värmeeffektbehov (Miljöbyggnad) för olika småhusalternativ i orten Malmö.

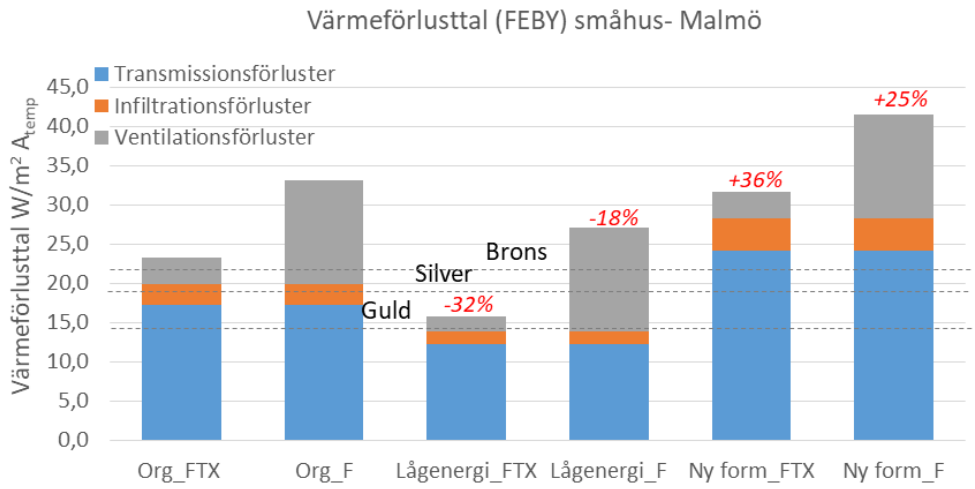


Figur B.8 Värmeeffektbehov (Miljöbyggnad) för olika småhusalternativ i orten Östersund.

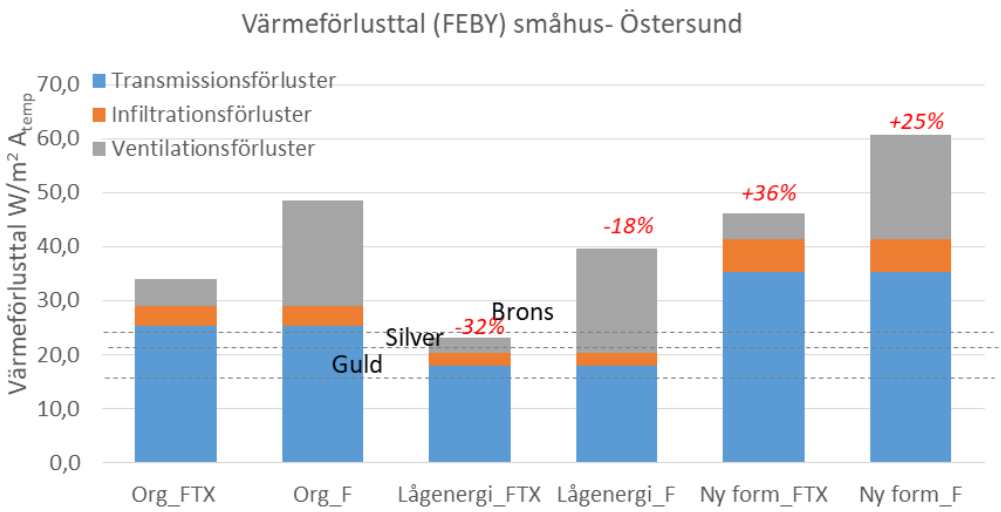


Figur B.9 Värmeeffektbehov (Miljöbyggnad) för olika småhusalternativ i orten Gällivare.

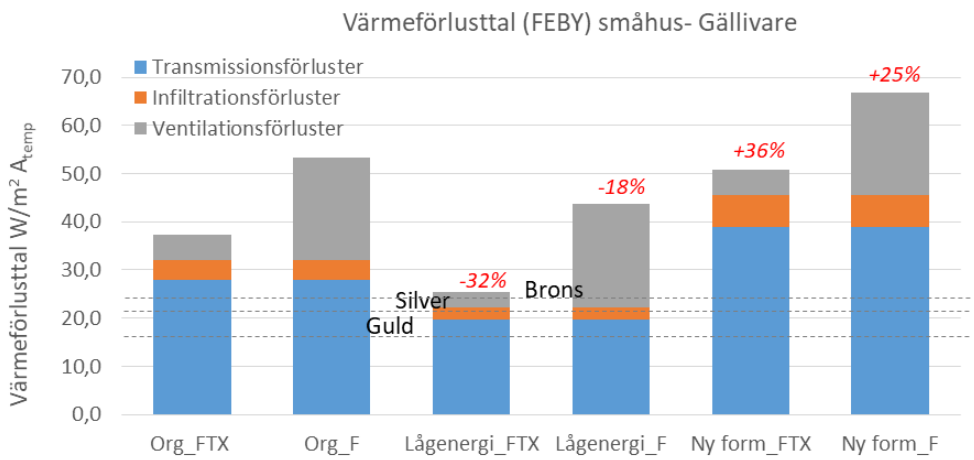
B2.1.4 Värmeförslusttal



Figur B.10 Beräknad värmeförlusttal (Feby) för olika småhusalternativ i orten Malmö.



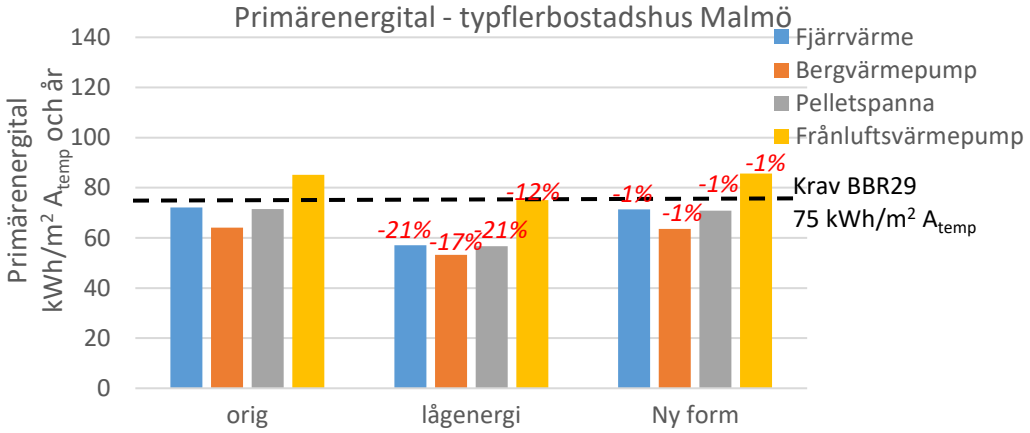
Figur B.11 Beräknad värmeförlusttal (Feby) för olika småhusalternativ i orten Östersund



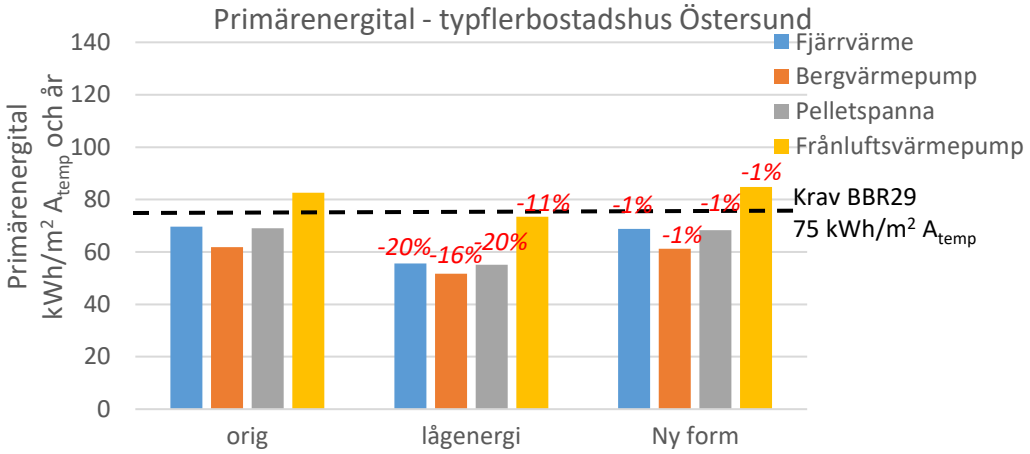
Figur B.12 Beräknad värmeförlusttal (Feby) för olika småhusalternativ i orten Gällivare

B2.2 Flerbostadhus

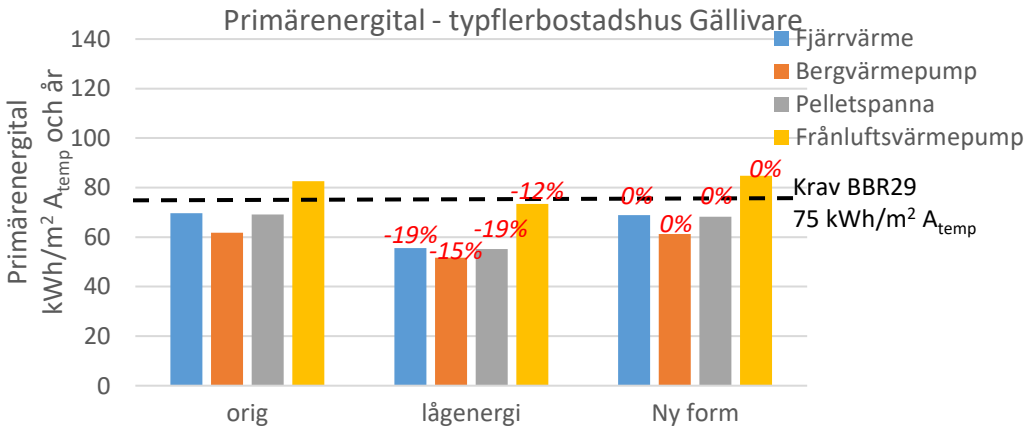
B2.2.1 Primärenergital



Figur B.13 Primärenergital för olika energisystem i typflerbostadshus i Malmö jämfört med krav i BBR29. Procentuell ändring i primärenergitalet visas i jämförelse med typflerbostadshuset i originalfallet.

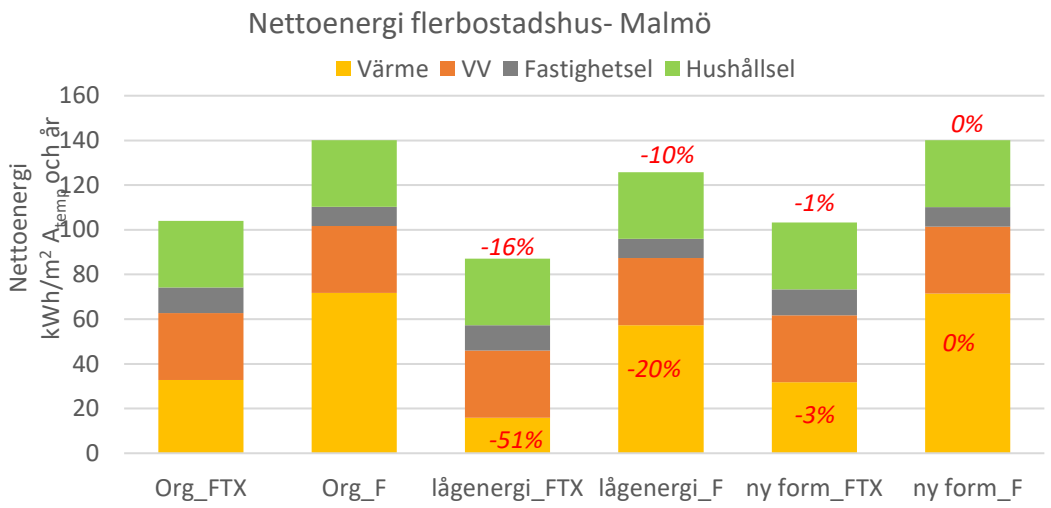


Figur B.14 Primärenergital för olika energisystem i typflerbostadshus i Östersund jämfört med krav i BBR29. Procentuell ändring i primärenergitalet visas i jämförelse med typflerbostadshuset i originalfallet.

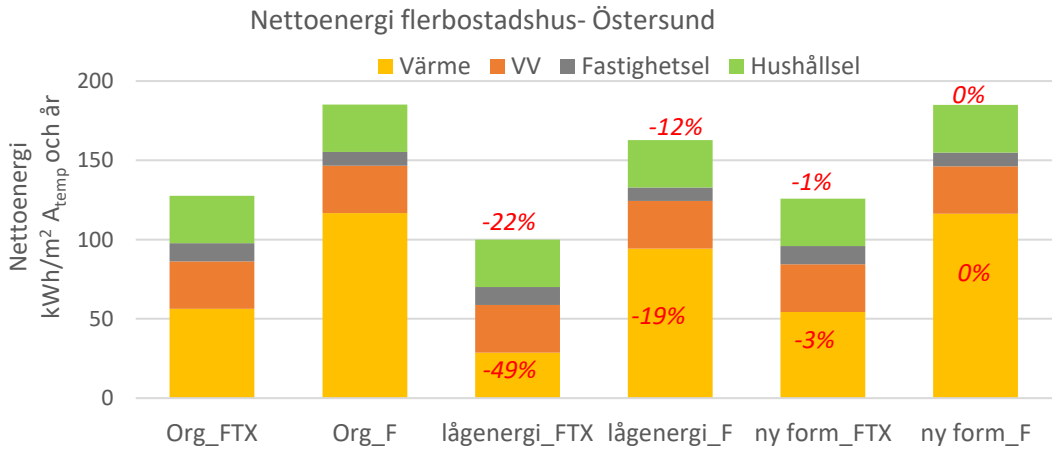


Figur B.15 Primärenergital för olika energisystem i typflerbostadshus i Gällivare jämfört med krav i BBR29. Procentuell ändring i primärenergitalet visas i jämförelse med typflerbostadshuset i originalfallet.

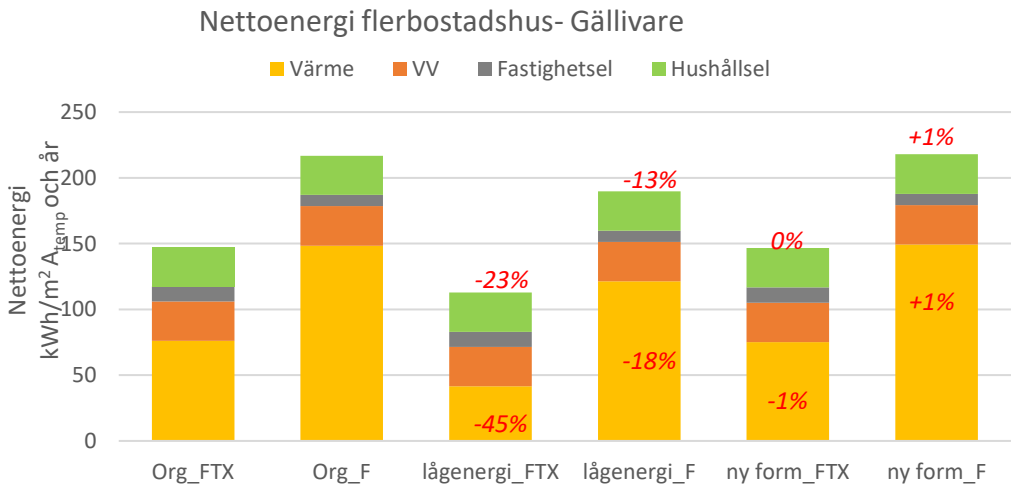
B2.2.2 Nettoenergi och nettovärme



Figur B.16 Nettoenergi för olika typflerbostadsalternativ i Malmö. Ändringar i nettoenergi och värmeenergianvändning jämförs med originalfallet.

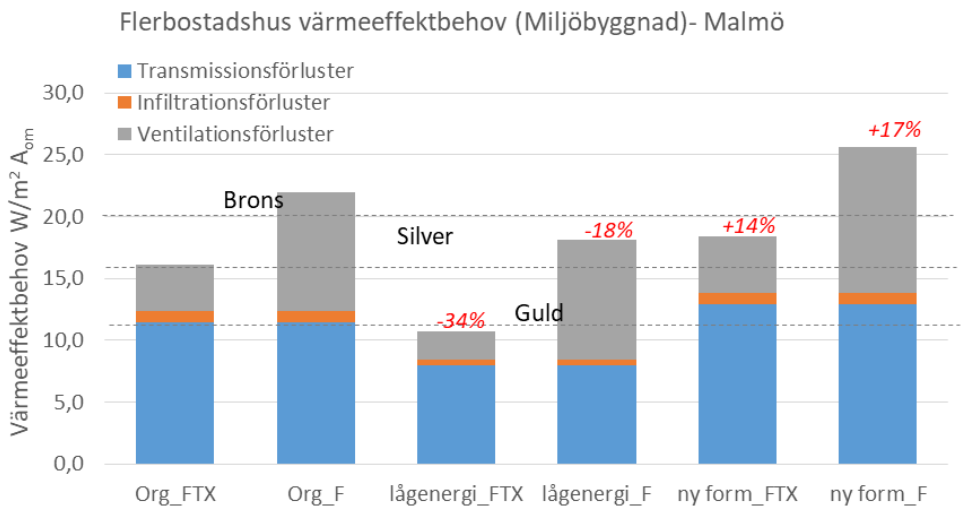


Figur B.17 Nettoenergi för olika typflerbostadsalternativ i Östersund. Ändringar i nettoenergi och värmeenergianvändning jämförs med originalfallet.

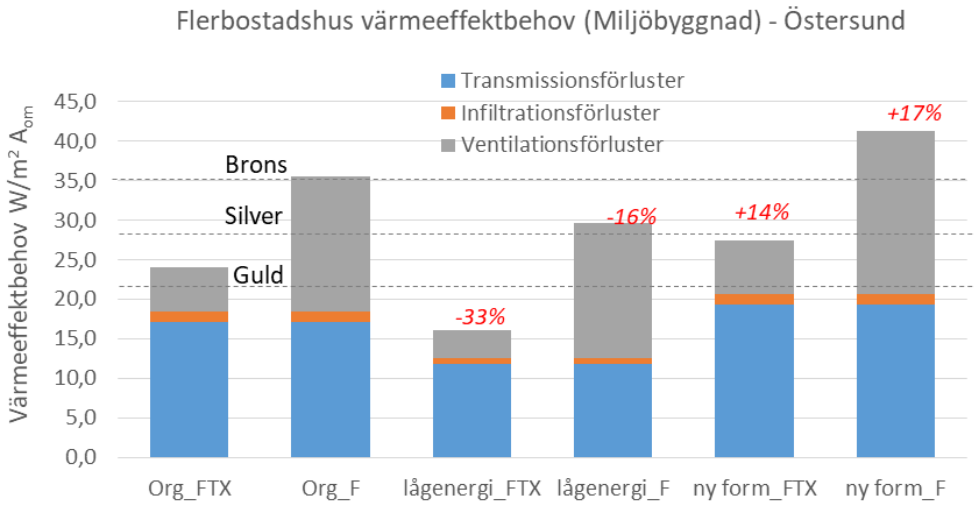


Figur B.18 Nettoenergi för olika typflerbostadsalternativ i Gällivare. Ändringar i nettoenergi och värmeenergianvändning jämförs med originalfallet.

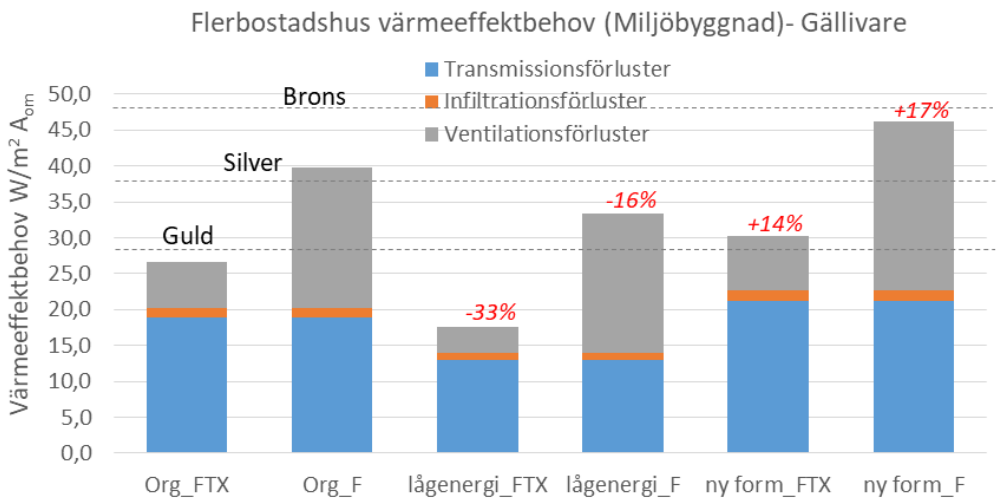
B2.2.3 Värmeeffektbehov



Figur B.19 Beräknat värmeeffektbehov (Miljöbyggnad) för olika typflerbostadsalternativ i Malmö.

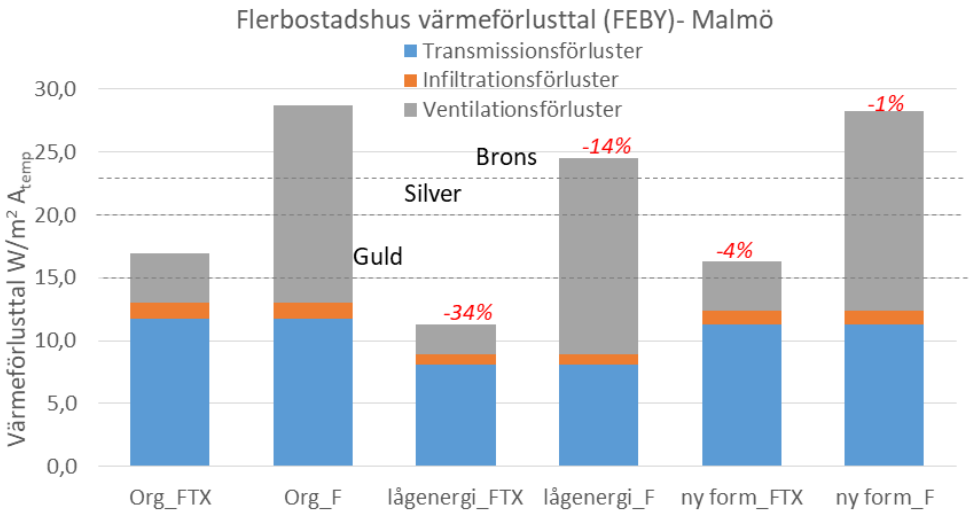


Figur B.20 Beräknat värmeeffektbehov (Miljöbyggnad) för olika typflerbostadsalternativ i orten Östersund.

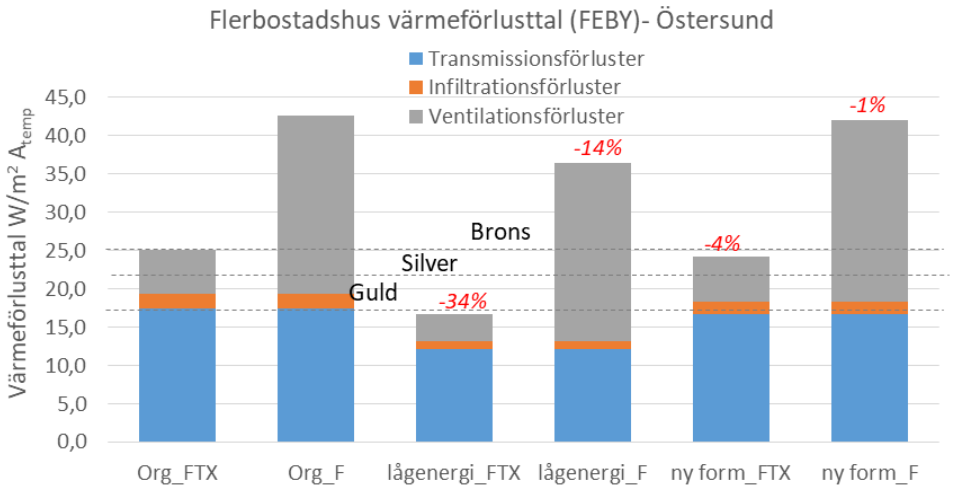


Figur B.21 Beräknat värmeeffektbehov (Miljöbyggnad) för olika typflerbostadsalternativ i orten Gällivare.

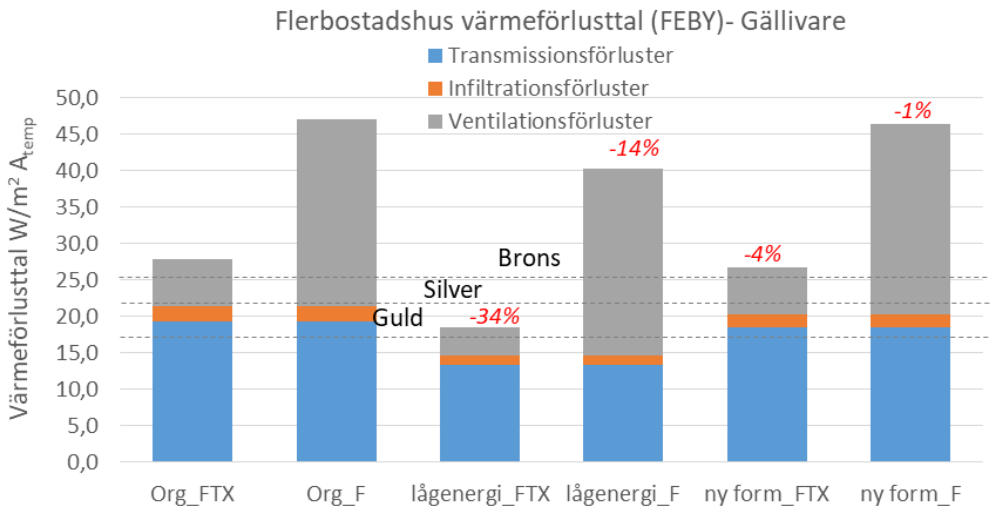
B2.2.4 Värmeförslusttal



Figur B.22 Beräknad värmeförlusttal (Frby) för olika typflerbostadsalternativ i orten Malmö



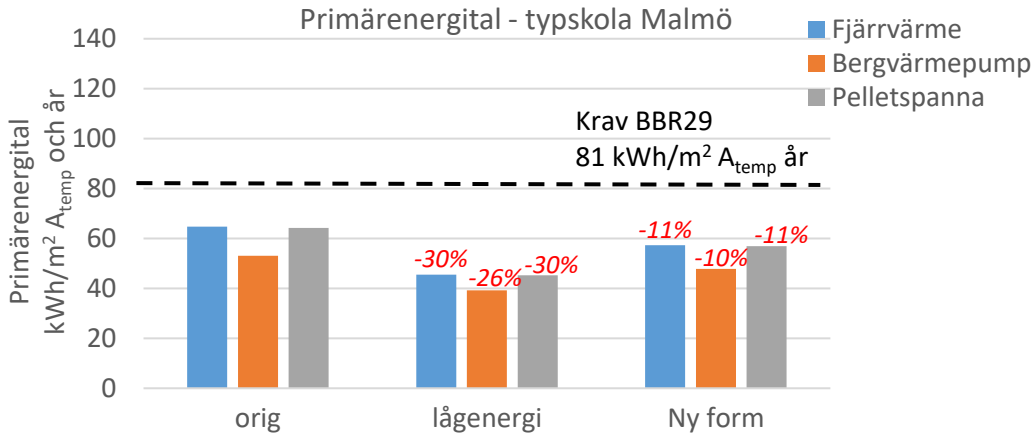
Figur B.23 Beräknad värmeförlusttal (Frby) för olika typflerbostadsalternativ i orten Östersund



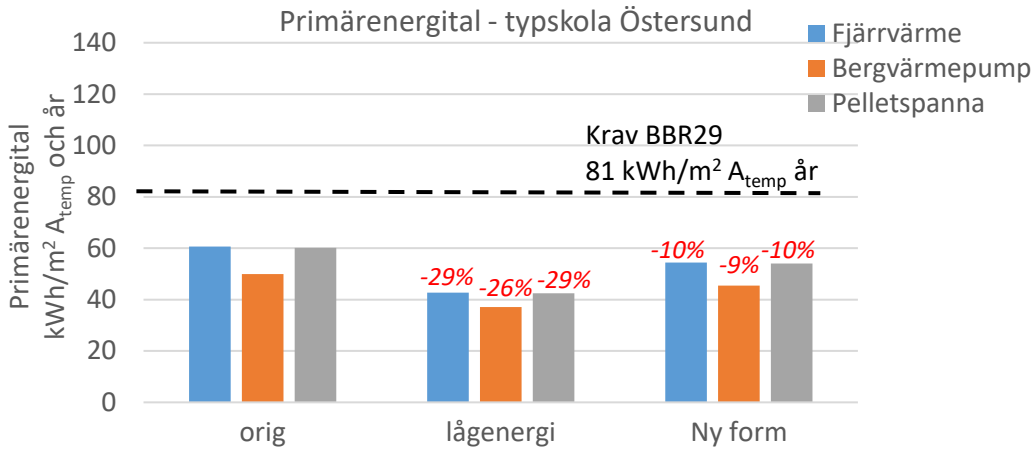
Figur B.24 Beräknad värmeförlusttal (Feby) för olika typflerbostadsalternativ i orten Gällivare.

B2.3 Skola

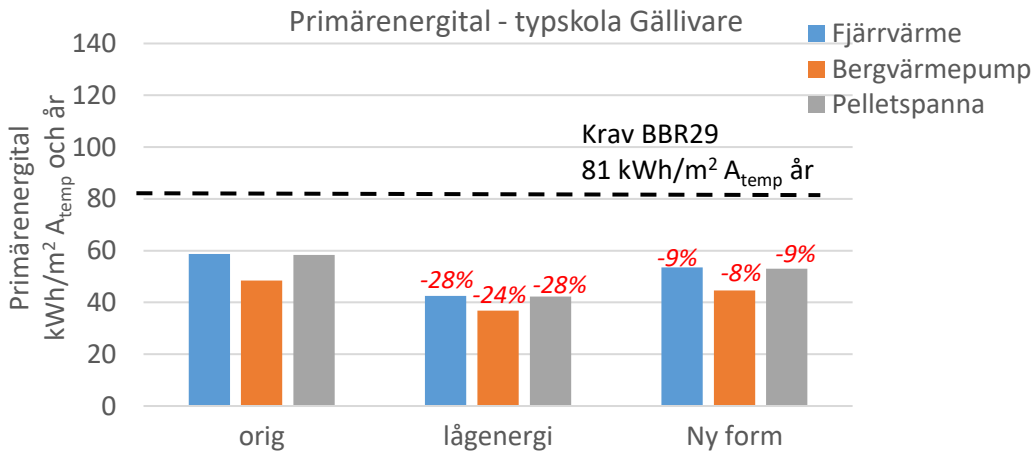
B2.3.1 Primärenergital



Figur B.25 Primärenergital för olika energisystem i typskola i Malmö jämfört med krav i BBR29. Procentuell ändring i primärenergitalet visas i jämförelse med typskolan i originalfallet.

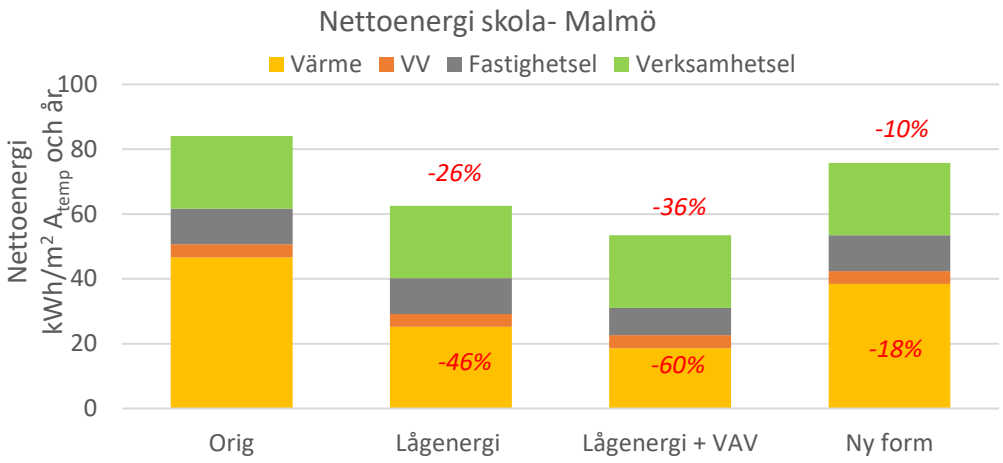


Figur B.26 Primärenergital för olika energisystem i typskola i Östersund jämfört med krav i BBR29. Procentuell ändring i primärenergitalet visas i jämförelse med typskolan i originalfallet.

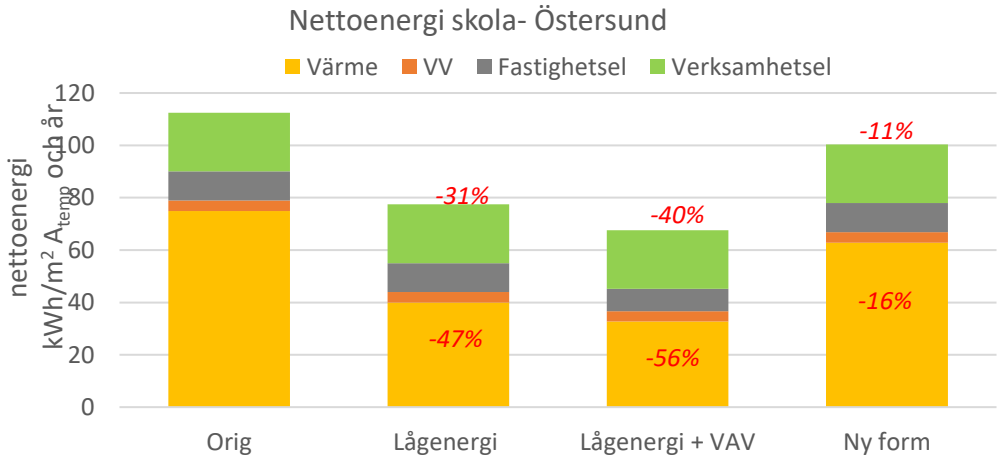


Figur B.27 Primärenergital för olika energisystem i typskola i Gällivare jämfört med krav i BBR29. Procentuell ändring i primärenergitalet visas i jämförelse med typskolan i originalfallet.

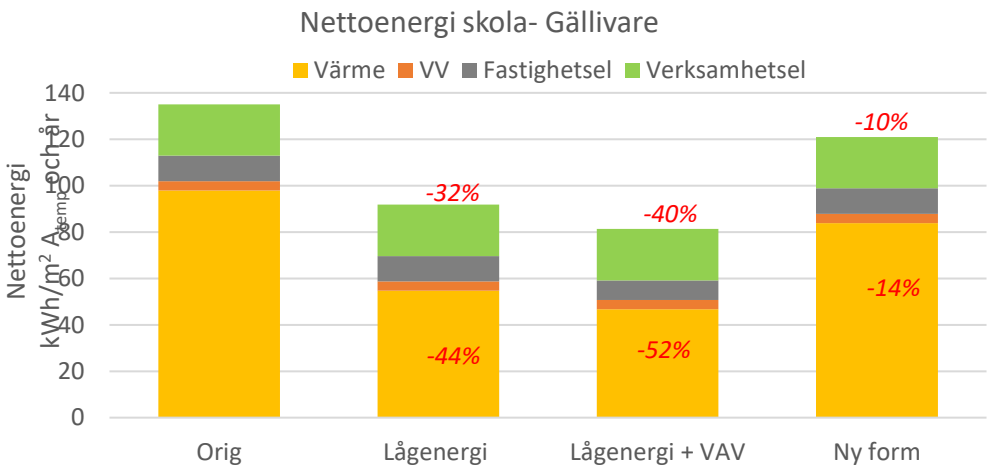
B2.3.2 Nettoenergi och nettovärme



Figur B.28 Nettoenergi för olika skolbyggnadsalternativ i Malmö. Ändringar i nettoenergi och värmeenergi jämförs med originalfallet.

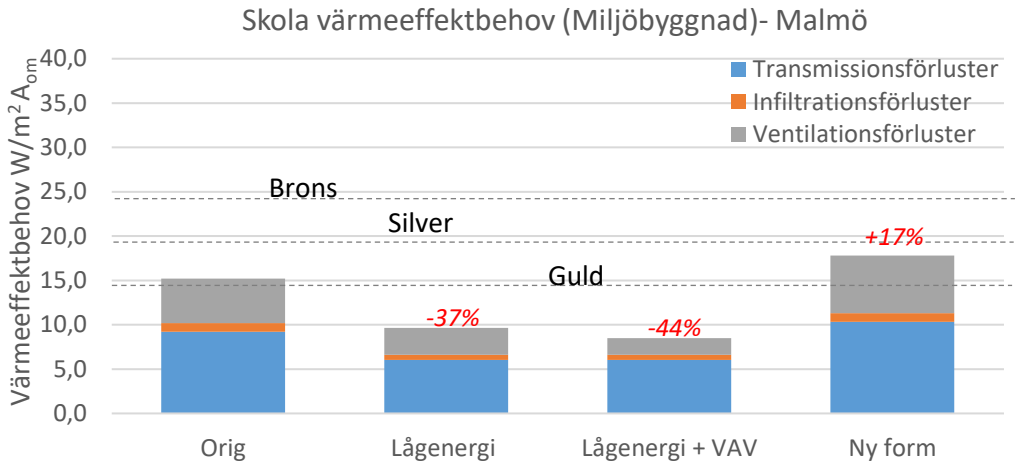


Figur B.29 Nettoenergi för olika skolbyggnadsalternativ i Östersund. Ändringar i nettoenergi och värmeenergi jämförs originalfallet.

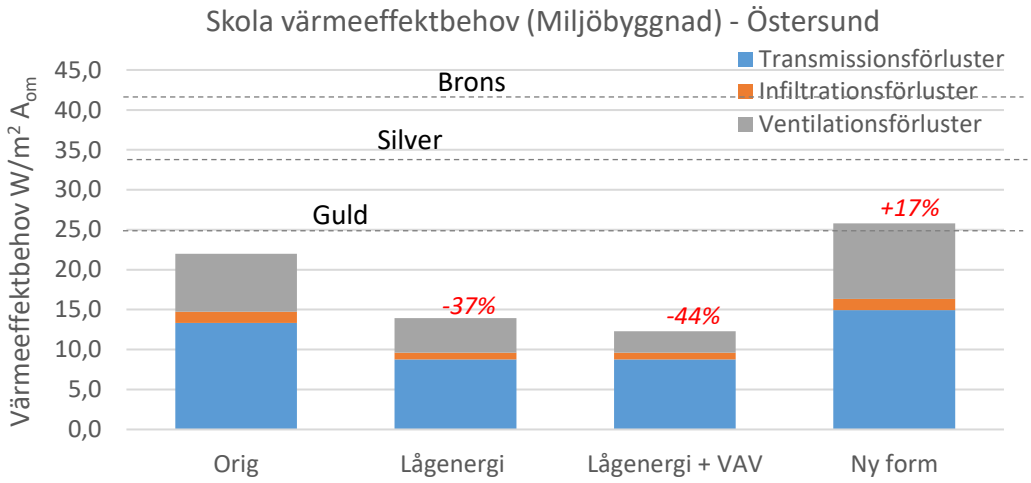


Figur B.30: Nettoenergi för olika skolbyggnadsalternativ i Gällivare. Ändringar i nettoenergi och värmeenergi jämförs med typskolan (originalfallet).

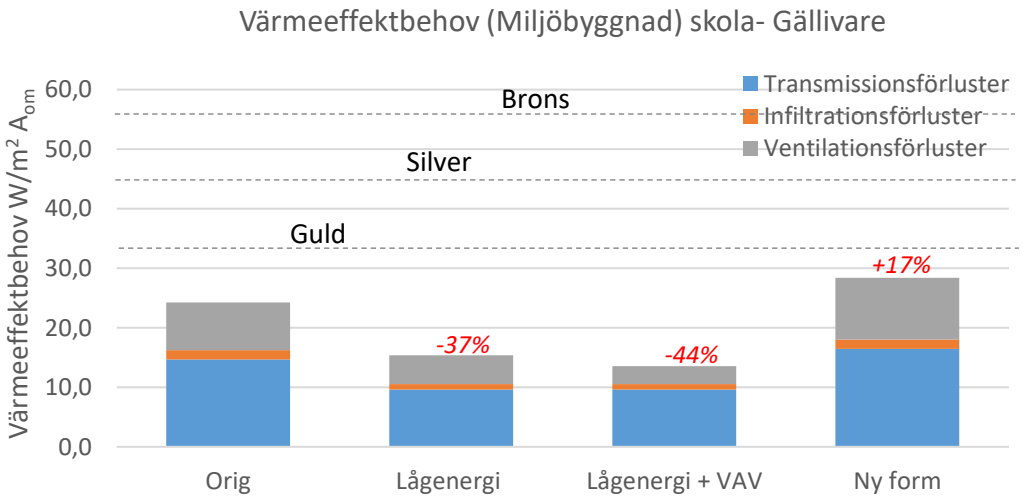
B2.3.3 Värmeeffektbehov



Figur B.31 Beräknad värmeeffektbehov (Miljöbyggnad) för olika typskolaalternativ i orten Malmö

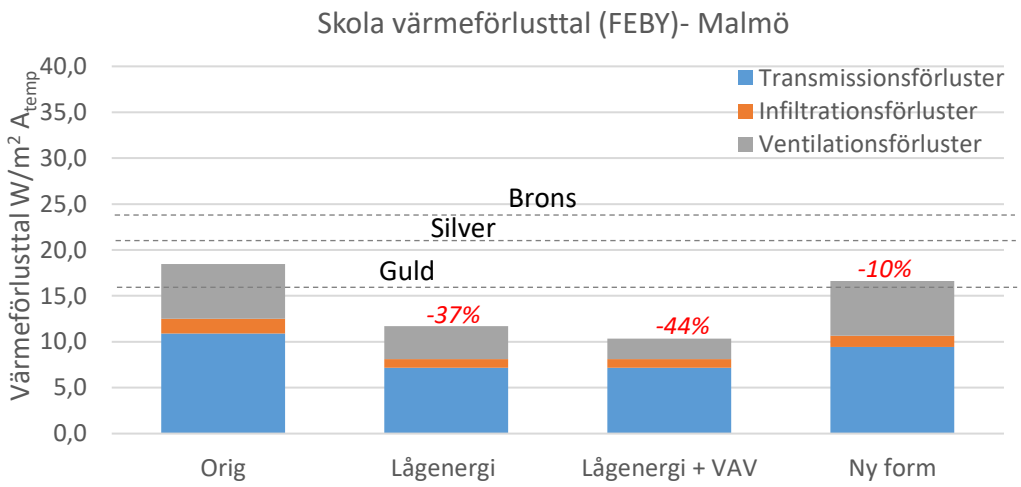


Figur B.32 Beräknad värmeeffektbehov (Miljöbyggnad) för olika typskolaalternativ i orten Östersund

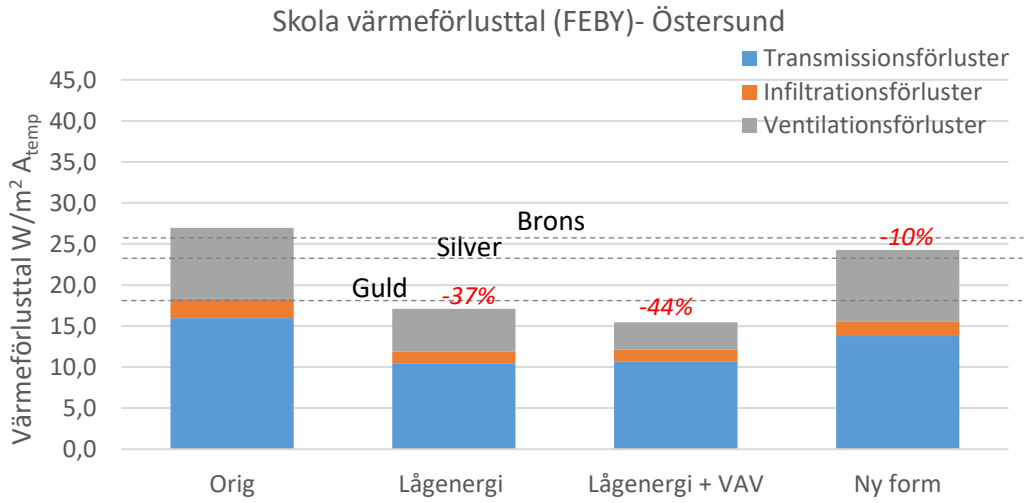


Figur B.33 Beräknad värmeeffektbehov (Miljöbyggnad) för olika typskolaalternativ i orten Gällivare

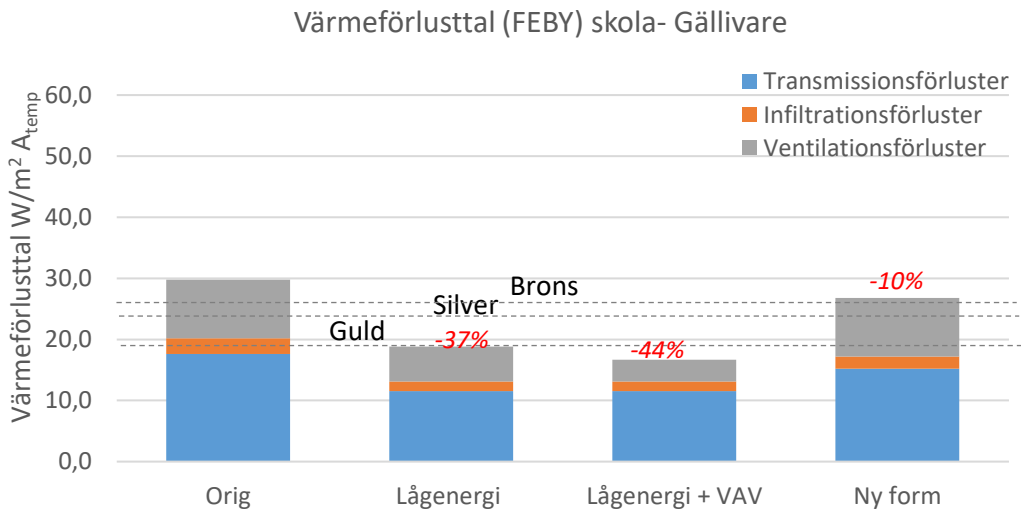
B2.3.4 Värmeförslusttal



Figur B.34 Beräknad värmeförlusttal (Feby) för olika typskolaalternativ i orten Malmö



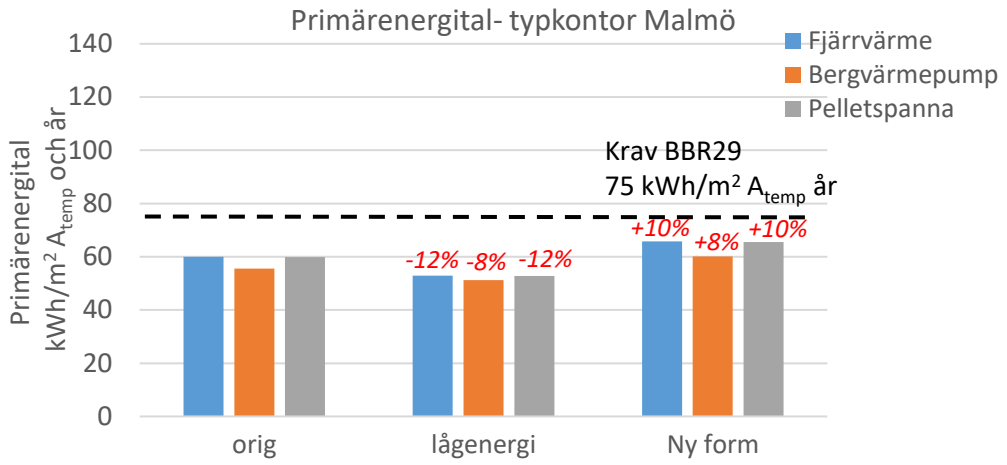
Figur B.35 Beräknad värmeförlusttal (Feby) för olika typskolaalternativ i orten Östersund



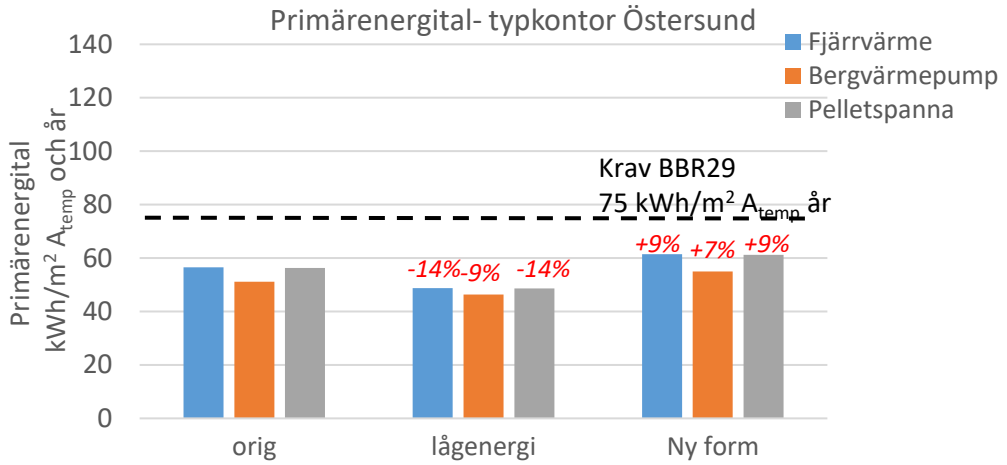
Figur B.36 Beräknad värmeförlusttal (Feby) för olika skolbyggnadsalternativ i orten Gällivare

B2.4 Kontor

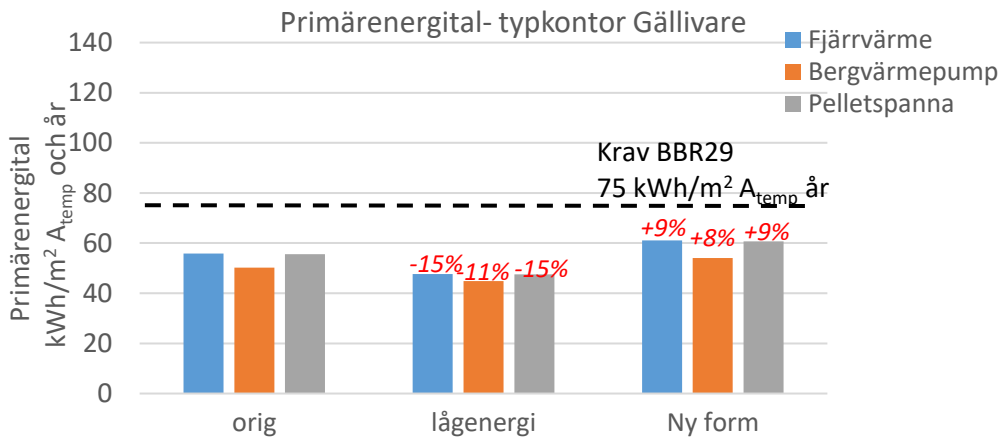
B2.4.1 Primärenergital



Figur B.37 Primärenergital för olika energisystem i typkontor i Malmö jämfört med krav i BBR29. Procentuell ändring i primärenergitalet visas i jämförelse med typkontoret i originalfallet.

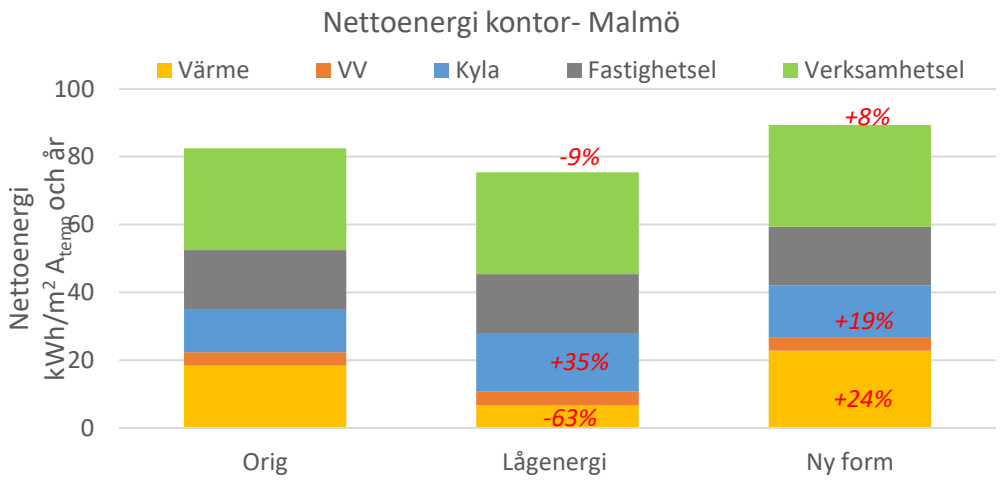


Figur B.38 Primärenergital för olika energisystem i typkontor i Östersund jämfört med krav i BBR29. Procentuell ändring i primärenergitalet visas i jämförelse med typkontoret i originalfallet.

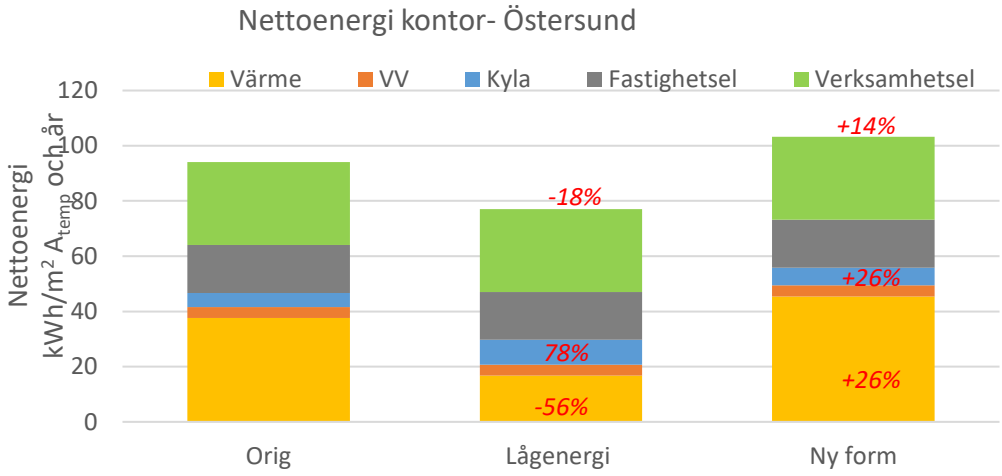


Figur B.39 Primärenergital för olika energisystem i typkontor i Gällivare jämfört med krav i BBR29. Procentuell ändring i primärenergitalet visas i jämförelse med typkontoret i originalfallet.

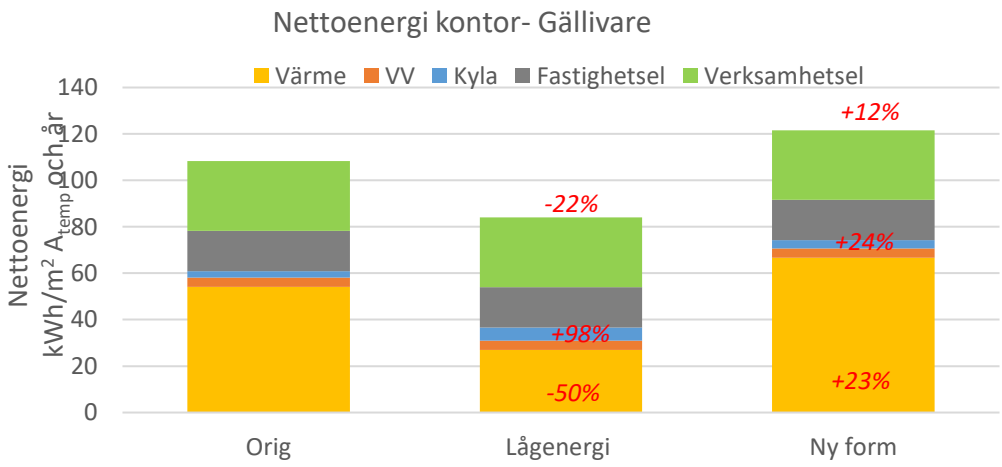
B2.4.2 Nettoenergi och nettovärme



Figur B.41 Nettoenergi för olika typkontorsalternativ i orten Malmö. Ändringar i nettoenergi, nettovärme och nettokyla jämförs med originalfallet.

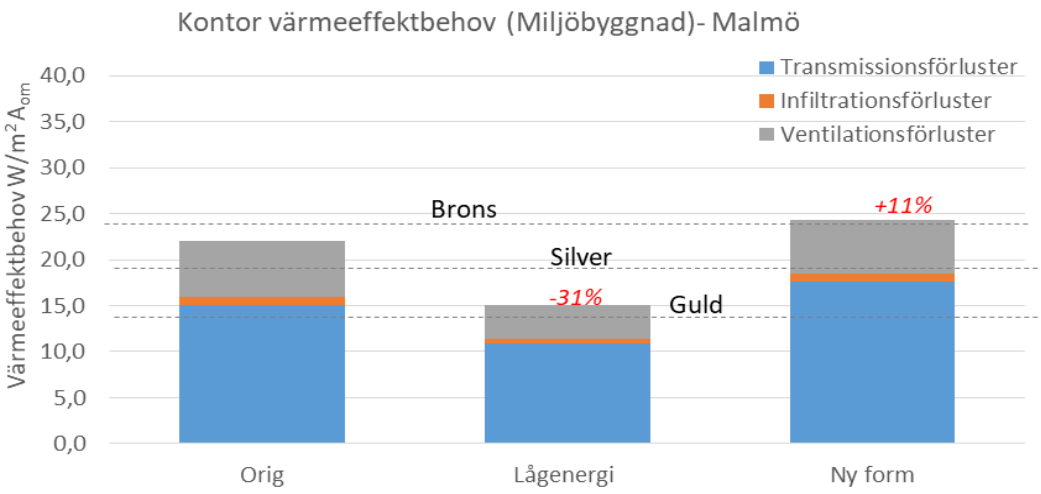


Figur B.42 Nettoenergi för olika typkontorsalternativ i orten Östersund. Ändringar i nettoenergi, nettovärme och nettokyla jämförs med originalfallet.

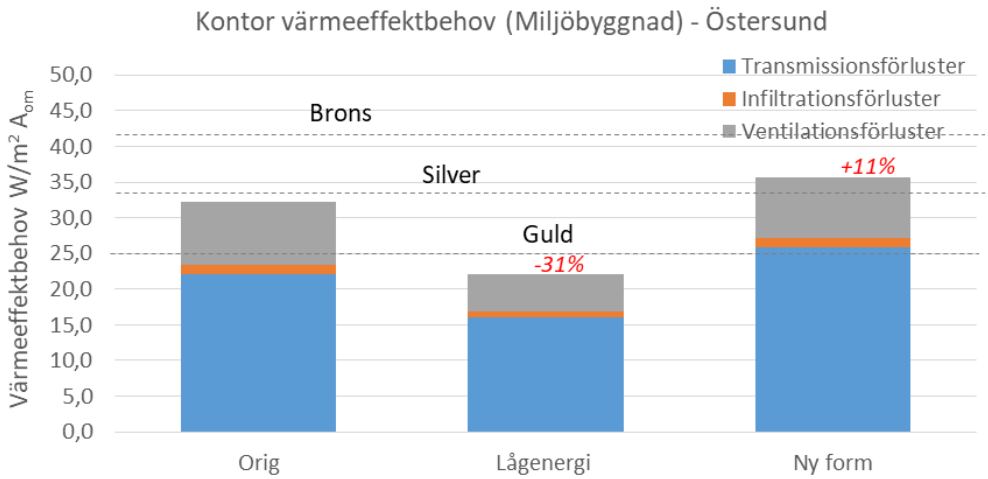


Figur B.43 Nettoenergi för olika typkontorsalternativ i orten Gällivare. Ändringar i nettoenergi, nettovärme och nettokyla jämförs med originalfallet.

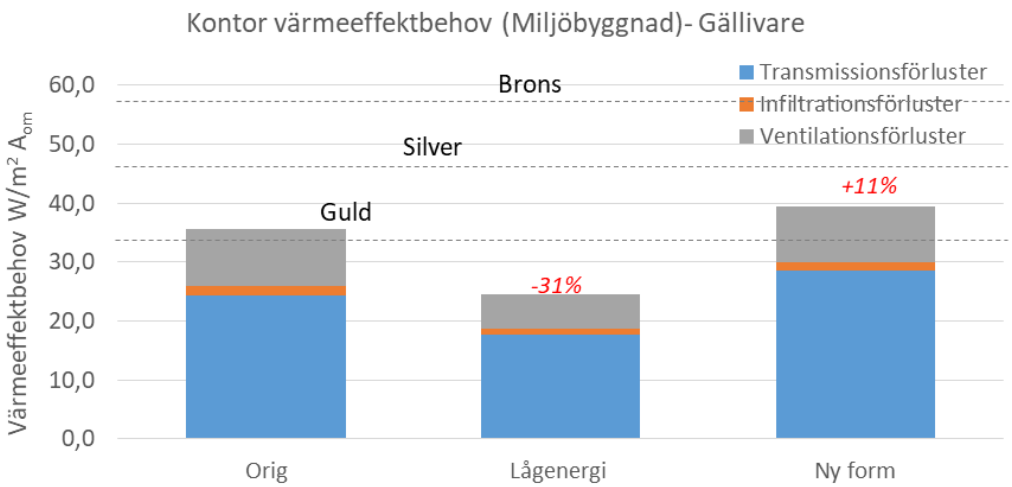
B2.4.3 Värmeeffektbehov



Figur B.44 Beräknad värmeeffektbehov (Miljöbyggnad) för olika typkontorsalternativ i orten Malmö

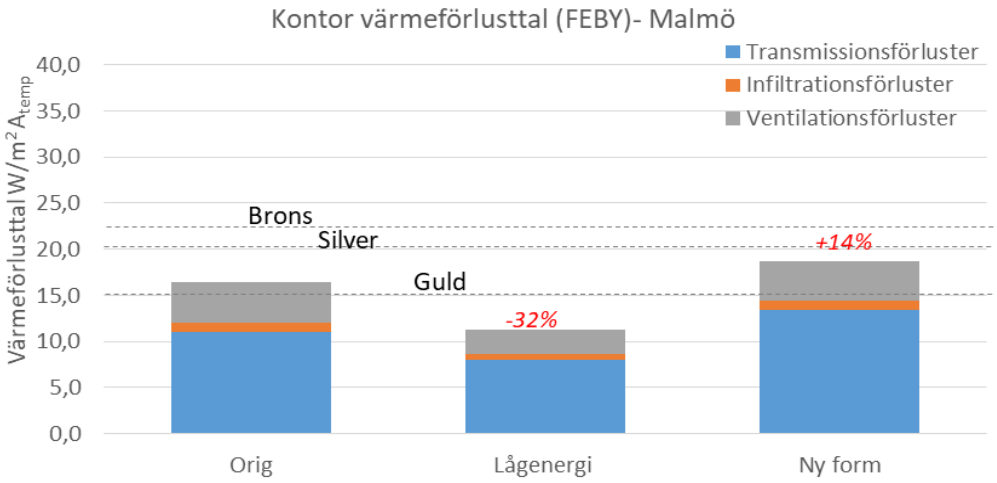


Figur B.45 Beräknad värmeeffektbehov (Miljöbyggnad) för olika typkontorsalternativ i orten Östersund

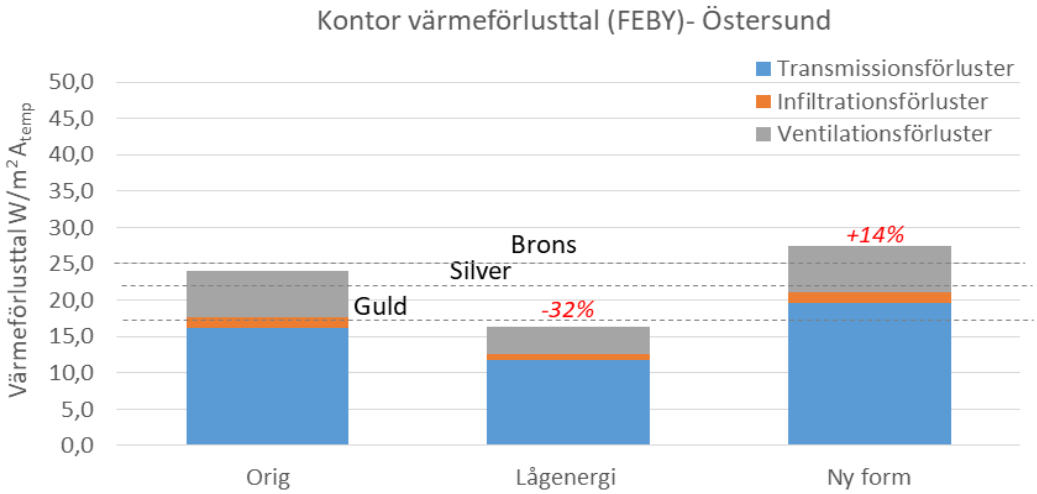


Figur B.46 Beräknad värmeeffektbehov (Miljöbyggnad) för olika typkontorsalternativ i orten Gällivare

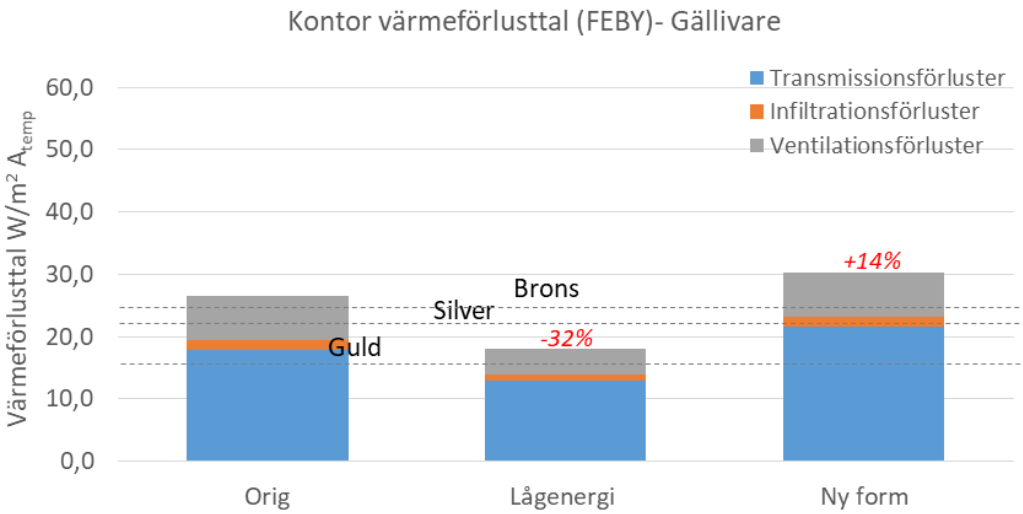
B2.4.4 Värmeförslusttal



Figur B.47 Beräknad värmeförlusttal (Feby) för olika typkontorsalternativ i Malmö



Figur B.48 Beräknad värmeförlusttal (Feby) för olika typkontorsalternativ i Östersund



Figur B.49 Beräknad värmeförlusttal (Feby) för olika typkontorsalternativ i Gällivare