Examensarbete 15 högskolepoäng C-nivå

Är det möjligt att uppnå kraven för FEBY Guld oavsett en byggnads placering i Sverige?

Josefin Andersson och Ebba Lindmark

Byggingenjörsprogrammet 180 högskolepoäng

Örebro vårterminen 2020

Examinator: Anders Lindén

Is it possible to meet the requirements for FEBY Gold regardless of location in Sweden?

Örebro universitet
Institutionen för naturvetenskap och teknik
701 82 Örebro

Örebro University
School of Science and Technology
SE-701 82 Örebro, Sweden

Förord

Idén bakom undersökningen gällande FEBY framkom under tidigare studier kring lågenergibyggnader. Där uppstod vissa frågor angående hur pass uppnåeliga kraven för värmeförlusttal är.

Undersökningen har genomförts av Ebba Lindmark och Josefin Andersson, vilka är studenter på programmet Högskoleingenjör Byggteknik på Örebro Universitet.

Handledare var Tekn.Dr. Peter Roots, universitetslektor på Örebro Universitet.

Sammanfattning

I dag sätts flera åtgärder in för att bromsa klimatförändringarna, både inom Sverige och på internationell nivå. ‘Forum för energieffektivt byggande’, FEBY, är en organisation som arbetar med att driva utvecklingen av lågenergibyggnader framåt. FEBY har tagit fram ett certifieringssystem som ska hjälpa byggherrar uppföra byggnader med lägre energianvändning. För att en byggnad ska bli certifierad krävs det att den uppfyller vissa krav, bland annat på värmeförlusttal. Sedan starten 2008 har ca 50 småhus certifierats enligt systemet, vilket väcker frågan om varför så få småhus har certifierats och om detta kan bero på hur kraven är ställda.

Syftet med rapporten är att undersöka om de krav som FEBY ställer på värmeförlusttal är rimliga vid byggande av ett småhus oavsett vart i Sverige det är placerat. Undersökningen har gjorts för tre orter i olika delar av Sverige; Lund, Falun och Boden. Byggnadens utformning är densamma på alla tre orter, med undantag för isolertjocklek i ytterväggen. Parametrarna fönsterglasarea, U-värde på fönster, luftläckning och köldbrygga varierades i beräkningarna för att få ett bredare och mer trovärdigt resultat.

Undersökningen görs enligt de beräkningar som FEBY hänvisar till i dokumentet FEBY18 med utgångspunkt i krav för värmeförlusttal på nivå FEBY Guld.

Rapporten avgränsas till en enplansvilla på 100 m_2 uppvärmd golvarea. Ingen hänsyn tas till faktorer så som ljud, sol, fukt, årsvärmefaktor eller värmebalans för luftvärmd byggnad. Inte heller beaktas bärförmåga, motstånd mot brand eller fönstrens läge.

Resultatet visar att negativa U-värden uppstår vid flera parametervariationer i Boden och Falun. Negativa U-värden indikerar att ytterväggen måste producera värme, vilket i det här fallet inte är möjligt. I flera fall i Falun och Boden förekommer även så pass låga U-värden att isoleringen behöver anta en tjocklek på över en meter medan isolertjockleken i Lund aldrig överstiger 500 mm. Vid de mest gynnsamma förutsättningarna visar resultatet att det fortfarande är svårt att nå en rimlig isolertjocklek, eller ett positivt U-värde, i Boden och delvis Falun.

Slutsatsen är att det går att konstruera en byggnad som når kraven för nivå FEBY Guld i södra Sverige, men att det blir svårare ju längre upp i landet som byggnaden ska uppföras. Tjockare isolering verkar inte göra kraven uppnåeliga i Sveriges norra delar utan med de förutsättningar som undersöks skulle väggen behöva skapa värme om värmeförlusttalet för FEBY Guld ska nås.

Nyckelord: FEBY, värmegenomgångskoefficient, isolering, värmeförlusttal, certifiering.

Abstract

In the current political climate, several measures are implemented to prevent climate change both in Sweden and internationally. ‘Forum för Energieffektict Byggande’, FEBY, is an 6rganization that aims to contribute to the development and expansion of low-energy buildings. To this end, FEBY has created a certification scheme to help contractors develop buildings with lower energy consumption. To certify a building, the contractor must ensure that certain requirements are met, for example heat loss figures. Since the conception of the certification, only about 50 small houses have been certified. This raises the question of why so few small houses have been certified, and whether this is due to how the requirements are set.

The purpose of this report is to investigate whether the heat loss figures that features in FEBY’s certification are reasonable in reference to the construction of small houses regardless of its location in Sweden. To examine this, this study features small house construction in Lund, Falun, and Boden. The overall building design is the same in all three locations, apart from the insulation thickness in the outer wall. The examined parameters for this study include window glass area, U-value of windows, air leakage, and thermal bridges varied in the calculations to ensure a more relevant and reliable result.

This study is based on the calculations referred to in the document named FEBY18 which is based on the requirements for heat loss figures according to the FEBY Gold level.

The report is limited to a single-floor house of 100 m_2 of heated floor area. Factors such as sound, sun, moisture, annual heat factor, or heat balance for air-heated buildings are not considered. Nor is bearing capacity, resistance to fire, or the position of the windows, considered within the study.

The result shows that negative U-values occur in several parameter variations in Boden and Falun. Negative U-values indicate that the outer wall must produce heat, which is not possible due to the construction of the wall. In several cases in Falun and Boden the U-values were so low that the insulation would need a thickness of more than one meter, while the insulation thickness in Lund never has to exceed 500 mm. Even during the most favorable conditions, the results still show the difficulty of achieving reasonable insulation thickness, as well as a positive U-value. This is especially true with regards to Boden, but in part also Falun.

In conclusion, while it is possible to construct a small house that meet the requirements for the level FEBY Gold in the south of Sweden, it is increasingly challenging the further north you attempt to construct such a building. Even using thicker insulation, the requirements are difficult, if not impossible, to achieve in the north of Sweden. Under current conditions, the wall would need to generate its own heat to meat the heat loss figure demanded by the FEBY Gold standard.

Keywords: FEBY, heat transfer coefficient, insulation, heat loss figure, certification.

Innehållsförteckning

FÖRORD **3**

SAMMANFATTNING **5**

ABSTRACT **6**

DEFINITIONSLISTA **9**

1 INLEDNING **11**

1.1 BAKGRUND 11
1.2 SYFTE 11
1.3 AVGRÄNSNING 11

2 FEBY **13**

2.1 KRITERIER 13
2.2 TEORI 14
2.3 BERÄKNINGSMETOD 16

3 FÖRUTSÄTTNINGAR **17**

3.1 GRUNDKONSTRUKTION 17
3.2 TAKKONSTRUKTION 18
3.3 YTTERVÄGGSKONSTRUKTION 20
3.4 FÖNSTER OCH DÖRRAR 20
3.6 PARAMETERSTUDIE 21
3.6.1 Fönster *21*
3.6.2 Ventilation *21*
3.6.3 Köldbryggor *21*
3.6.4 Parametervariation *22*
3.5 DIMENSIONERANDE VINTERUTETEMPERATUR, DVUT 22

4 RESULTAT OCH ANALYS **23**

4.1 FÖNSTERGLASAREA 23
4.2 U-VÄRDE FÖNSTER 24
4.3 LUFTLÄCKNING 25
4.4 KÖLDBRYGGA 26
4.5 ISOLERTJOCKLEK 27

5 DISKUSSION **29**

6 SLUTSATS **31**

7 FORTSATT ARBETE **32**

REFERENSER **33**

BILAGA 1 BERÄKNINGAR

BILAGA 2 TABELLVÄRDEN

Definitionslista

A_{om}	Omslutande area [m^2]
A_{temp}	Uppvärmd golvarea, värms upp till mer än 10∘C [m^2]
BBR	Boverkets byggregler
c	Luftens värmekapacitet [Ws/KgK]
d	Tjocklek [m]
DVUT	Dimensionerande vinterutetemperatur [∘C]
e	Vindskyddskoefficient gällande avskärmning
f	Vindskyddskoefficient
FEBY	Forum för Energieffektivt Byggande
Formfaktor	Omslutande area dividerat med uppvärmd golvarea
H_t	Värmeförlustkoefficient för byggnaden [W/K]
λ	Värmekonduktivitet [W/m∘C]
ρ	Luftens densitet [kg/m^3]
q_{50}	Luftläckning genom klimatskalet vid tryckdifferens på 50 Pa [l/sm^2 A_{om}]
q_{ex}	Frånluftsflöde [l/s]
$q_{läck}$	Luftläckage [l/s]
q_{sup}	Tilluftsflöde [l/s]
q_{vent}	Ventilationsflöde [l/s]
R_{Si} *och* R_{Se}	Övergångsmotstånd vid insida respektive utsida av vägg [m^2 K/W]
U-värde	Värmegenomgångskoefficient [W/m^2K]
U_{medel}	Medelvärde av U-värdet för en hel byggnad [W/m^2K]
v	Verkningsgrad [%]
VFT	Värmeförlusttal [W/m^2 A_{temp}]

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Engagemanget för klimatfrågan är mycket stort och i en undersökning framtagen av naturvårdsverket framgår det vad svenska folket tycker om klimatfrågan och vad de själva kan tänka sig att göra för att bromsa klimatförändringarna. Enligt undersökningen tycker 86 % av svenskarna att det är viktigt att det sätts in samhällsåtgärder mot klimatförändringen och av de som medverkade i undersökningen trodde 78 % att de själva kan göra något för att påverka klimatförändringarna (Naturvårdsverket 2018). På internationell nivå sätts det ständigt nya miljömål för att minska miljöpåverkan inom områden som transport, jordbruk, avfall samt byggande (Prop. 2016/17:16).

I Sverige arbetar bland annat organisationen Forum för Energieffektivt Byggande, FEBY, för att öka andelen byggnader med låg energianvändning (FEBY 2020b). Genom certifieringar på olika nivåer vill FEBY främja uppförandet av lågenergibyggnader; flerbostadshus, småhus och lokaler. Tanken är att det ska vara lätt för byggherren att ställa lämpliga krav på byggnaden oavsett storlek och placering i Sverige (FEBY 2017).

Fram till i juli 2018 hade 50 småhus certifierats av FEBY sedan starten 2008 (FEBY 2020a), vilket är ett relativt litet antal vid jämförelse med de ca 11 000 småhus som påbörjades under 2018 (SCB 2018). Detta kan tyda på att intresset för energisnåla byggnader inte är tillräckligt stort eller att det är svårt att få ett småhus certifierat av FEBY. Frågan är om kraven gör det möjligt att bygga småhus enligt FEBY Guld i alla delar av Sverige eller om den låga andelen av certifierade småhus kan bero på att kraven är för svåra att uppnå.

1.2 Syfte

Syftet med undersökningen är att ta reda på om de krav FEBY ställer på lågenergihus är applicerbara för olika breddgrader inom Sveriges gränser. Studien behandlar den värmegenomgångskoefficient som krävs av en yttervägg för att hela byggnaden ska klara kraven för FEBY Guld. Vidare beräknas den isolertjocklek som motsvaras av värmegenomgångskoefficienten för ytterväggen. Dessutom undersöks hur väggens värmegenomgångskoefficient påverkas vid förändring av olika parametrar samt om det är möjligt att bygga ett småhus enligt FEBY.

1.3 Avgränsning

Undersökningen görs med fokus på certifieringskrav enligt klassning FEBY Guld och omfattar en enplansvilla med en uppvärmd golvarea, A_{temp}, på 100 kvadratmeter. Se figur 1 för mått.

De orter som beräkningarna utgår från är Lund, Falun och Boden. Orterna representerar olika latituder i Sverige och har därmed olika geografiska förutsättningar.

För att få ett tydligt resultat används ett hus med samma förutsättningar gällande dörrar, grund- och takkonstruktion, för de tre orterna. Byggnadsdelarna är valda med en så pass låg värmegenomgångskoefficient att de lämpar sig för ett passivhus.

Resultatet ska endast representera ytterväggen och den värmegenomgångskoefficient på isolering som krävs för denna. Väggen som ska studeras är uppbyggd av bärande betong, isolering samt ventilerad tegelfasad

Parametrar som varieras är luftläckage, U-värde för fönster, area för fönster samt köldbryggor. Gällande köldbryggor hämtas schablonvärden från BBR.

Undersökningen tar ej hänsyn till ljudkrav, solvärmelast, fönstrens läge, fukt, årsvärmefaktor eller värmebalans för luftvärmd byggnad. Byggnaden är ej kontrollerad för bärförmåga eller brand.

2 FEBY

Forum för Energieffektivt Byggande, FEBY, är en organisation vars syfte är att öka och utveckla det energieffektiva byggandet. Organisationen certifierar och verifierar byggnader utifrån ett nivåsystem de tagit fram. Nivåsystemet har fyra olika nivåer; FEBY Brons, FEBY Silver, FEBY Guld samt FEBY Guld Plushus (FEBY 2019b). FEBY Guld ersatte nivån Passivhus i föregångaren till FEBY18, FEBY12. Valet att ta bort en klassning som innehöll begreppet "passivhus" gjordes för att undvika förväxlingar mellan definitionen enligt FEBY och den internationella definitionen enligt Passivhaus Institut, PHI. Kraven för värmeförlusttal är dock samma för FEBY Guld som det var för nivån Passivhus.

Varje nivå motsvarar olika krav och är menade att göra det enklare att välja mer miljömedvetet utifrån en byggherres egna förutsättningar och vilja (FEBY 2017). Enligt FEBY kan certifiering och verifiering av en byggnad även göra att den vinner status och ökar i värde. En certifiering betyder att beräkningar som gjorts i projekteringsskedet har granskats av ett granskningsorgan utvalt av FEBY och en verifiering innebär att en tredje part utför mätningar på en färdig byggnad i syfte att bevisa att kraven uppfylls (FEBY 2019b).

FEBY har kritiserat Boverket för att i BBR inte tagit hänsyn till att ett kallare klimat kräver mer isolering i klimatskalet och anser även att de miljöcertifieringssystem som förknippas med BBR därmed har samma problem (FEBY 2019a). De menar att BBR använder en geografisk faktor som tillåter hustillverkare att sälja samma byggnad i alla delar av Sverige. FEBY utgår istället från den dimensionerande vinterutetemperaturen för att ta hänsyn till byggnadens geografiska läge och för att göra olika tillägg för kallare klimat (FEBY 2019b).

2.1 Kriterier

Nivåsystemet som FEBY har tagit fram baseras i huvudsak på olika krav för värmeförlusttal, se tabell 1 (FEBY 2019b). För eluppvärmda byggnader tillkommer även krav angående levererad el till byggnaden och då klassas byggnaden utefter den lägsta uppnådda nivån för båda krav.

Definition av värmeförlusttal är enligt FEBY (FEBY 2019b): "Byggnadens specifika värmeförluster vid dimensionerande vinterutetemperatur (DVUT) och en innetemperatur på 21 grader via byggnadens klimatskärm, läckflöde och ventilation." FEBY anser även att värmeförlusttal är "...den viktigaste indikatorn på en energieffektiv byggnad" (FEBY 2020b). Användning av värmeförlusttal är, enligt FEBY, teknikneutral och de anser att detta är av stor vikt då installations- och tillförselsystem kan bytas ut snabbt (FEBY 2019b). För att ändå ta hänsyn till effektiva installationssystem har FEBY utvecklat ett poängsystem som ska gynna dessa. Poängsystemet används som ett komplement till övriga krav.

Nivån FEBY Guld är den högsta nivån och ställer krav på låga värmeförlusttal och den lägsta nivån, FEBY Brons, motsvarar de krav som ställs av Boverkets byggregler, BBR25 (FEBY 2019b). FEBY Guld och FEBY Guld Plushus har samma krav för värmeförlusttal men där det senare också har kravet att viktad levererad energi från byggnaden ska vara mer än levererad energi till byggnaden.

Tabell 1 Krav på värmeförlusttal för olika certifieringsnivåer.

Certifiering/verifieringsnivå	**Krav på värmeförlusttal (W/m$_2$ A$_{temp}$)**
FEBY Guld Plushus	14
FEBY Guld	14
FEBY Silver	19
FEBY Brons	22

2.2 Teori

Undersökningen utgår från kriteriedokument FEBY18, ”Kravspecifikation för energieffektiva byggnader”, där beräkningar för att ta fram värmeförlusttal redogörs. De formler som använts i undersökningen har huvudsakligen hämtats direkt från detta dokument om inget annat anges. Den programvara som har använts som hjälpmedel vid beräkningar är MathCad Prime. Tabeller och diagram har sammanställts i Excel.

I de fall schablonvärden används är dessa hämtade från Boverkets byggregler.

Värden för A$_{temp}$ respektive A$_{om}$ togs fram enligt Sveby (2017). Se figur 1 för byggnadens mått.

Beräkningar har utgått från det värmeförlusttal som krävs för att uppnå FEBY Guld på de olika orterna, inklusive de tillägg som finns. Tilläggen berör kallare klimat, större luftflöden samt små byggnader (FEBY 2019b). Tillägg angående större luftflöde utesluts i undersökningen då det inte är aktuellt för byggnaden.

Värmeförlusttal, utan tillägg, beräknas enligt

$$VFT = H_t * (21 - DVUT)/A_{temp} \quad (1)$$

Tillägg för byggnader mindre än 600 m$_2$ beräknas genom

$$VFT + (600 - A_{temp})/110 \quad (2)$$

Det som ligger till grund för tillägg vad gäller kallare klimat är dimensionerande vinterutetemperatur, se tabell 6. Tillägg får göras enligt villkoren
$VFT + 1\ om\ DVUT > -17$
$VFT + 2\ om\ DVUT > -22{,}1$

Byggnadens värmeförlustkoefficient beräknas enligt

$$H_t = U_m * A_{om} + p * c * q_{läck} + p * c * d * q_{vent} * (1 - v) \quad (3)$$

där transmissionsförluster är

$U_m * A_{om}$

ofrivilligt luftläckage är

$p * c * q_{läck}$

och ventilationsförluster är

$p * c * d * q_{vent} * (1 - v)$

Objektets luftläckage beräknas enligt

$$q_{läck} = q_{50} * A_{om} * e / (1 + f/e ((q_{sup} - q_{ex})/ (q_{50} * A_{om}))^2) \quad (4)$$

där värde för formfaktorn och luftläckning togs fram enligt

$$Form = A_{om}/A_{temp} \quad (5)$$

$$q_{50} = 0.5/Form \quad (6)$$

Beräkning av U_m enligt Sveby (2017)

$$U_m = \frac{A_{vägg} * U_{vägg} + A_{fönster} * U_{fönster} + A_{grund} * U_{grund} + A_{dörr} * U_{dörr} + A_{tak} * U_{tak}}{A_{om}} \quad (7)$$

Beräkningar för väggens U-värde och isolertjocklek har gjorts enligt SS-EN ISO 6946:2017 (Svensk standard 2017)

$$U_{vägg} = 1/(R_{betong} + R_{tegel} + R_s + R_{isolering}) \quad (8)$$

där R definieras som

$$R = \lambda/d \quad (9)$$

2.3 Beräkningsmetod

Resultatet har tagits fram genom att utgå från kravet på värmeförlusttal för nivå FEBY Guld. Genom att beräkna U_m för hela byggnaden kan värmegenomgångskoefficienten för väggen tas fram. Beräkningar görs på liknande sätt för alla tre orter, där parametrarna fönsterglasarea, U-värde för fönster, köldbryggor och luftläckning varieras.

Tillägg för värmeförlusttal för mindre byggnad görs enligt ekvation 2 och tillägg för kallare klimat görs enligt villkor för olika dimensionerande vinterutetemperaturer.

Värmeförlustkoefficient, H_t, beräknas med ekvation 10 vilken grundas i ekvation 1.

$$H_t = \frac{VFT * A_{temp}}{(21 - \mathrm{DVUT})} \quad (10)$$

U_{mk} har tagits fram med hjälp av ekvation 3, och inkluderar köldbryggan.

$$U_{mk} = \frac{H_t - (p * c * q_{läck} + p * c * d * q_{vent} * (1 - v))}{A_{om}} \quad (11)$$

Därefter reduceras tillägg för köldbryggan. Köldbryggan har symbolen β och varieras enligt tabell 5. U_m är det värde som fortsättningsvis används i beräkningsgången och är exklusive köldbrygga.

$$U_{vägg} = \frac{U_{m.k}}{\beta} \quad (12)$$

Beräkning av luftläckage, formfaktor och luftläckning görs enligt ekvation 4, 5 och 6.

Ekvation 13 grundas i ekvation 7 och används för att ta fram det U-värde väggen behöver ha för att uppnå det framräknade U_m. I samma ekvation varieras fönsterglasarea och U-värde på fönster.

$$U_{vägg} = \frac{A_{om} * U_m + A_{fönster} * U_{fönster} + A_{grund} * U_{grund} + A_{dörr} * U_{dörr} + A_{tak} * U_{tak}}{A_{vägg}} \quad (13)$$

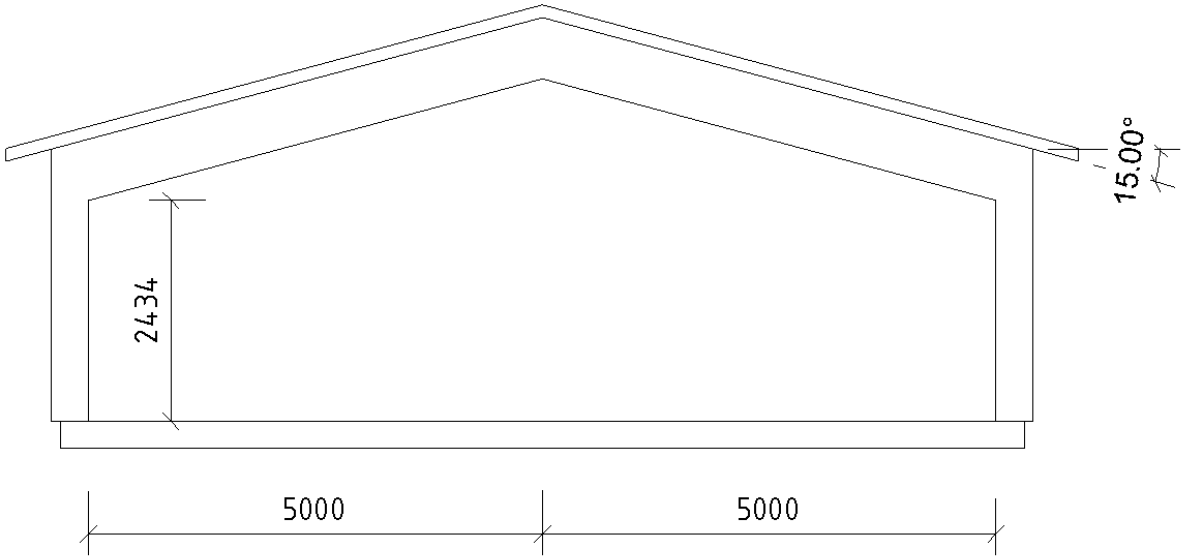
Ekvation 8 och 9 används för att ta fram väggens isolertjocklek.

3 Förutsättningar

De byggnadsdelar som används till studieobjektet är framtagna av relevanta tillverkare och är valda med avseende på högt värmemotstånd. Detta resulterar i en konstruktion med låg värmegenomgångskoefficient.

Uppvärmd golvarea, A_{temp}, och omslutande area, A_{om}, har beräknats med hjälp av nedanstående mått. Se figur 1, mått anges i millimeter.

- Vägghöjd, insida: 2434 mm
- Golvarea: 100m_2, (10m x 10m)
- Taklutning: 15 grader



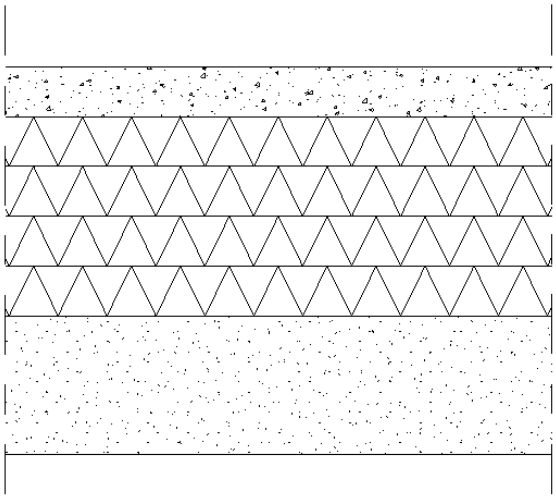
Figur 1 Sektion genom byggnaden.

3.1 Grundkonstruktion

Grundkonstruktionen består av en betongplatta med en tjocklek på 100 mm och 400 mm isolering; 300 mm är cellplast av typen EPS och de resterande 100 mm är cellplast av typen STYROFOAM XPS. U-värdet för grundkonstruktionen beräknas med hjälp av U-värdesberäknaren på Isover, där konstruktionen GB:03 används med tillägg för 100 mm cellplast av typ EPS (Isover 2020a, Isover 2020d). Se konstruktionens uppbyggnad i tabell 2 samt figur 2.

Tabell 2 Grundkonstruktionens uppbyggnad, de ingående materialens värmekonduktivitet samt konstruktionens totala U-värde.

Skikt	**d (m)**	**λ (W/mK)**
Betong	0,1	1,7
EPS S80	0,3	0,038
STYROFOAM	0,1	0,037
Makadam	0,15	1,7
Geotextil	0,001	0
Totalt U-värde (W/m2K)	0,093	



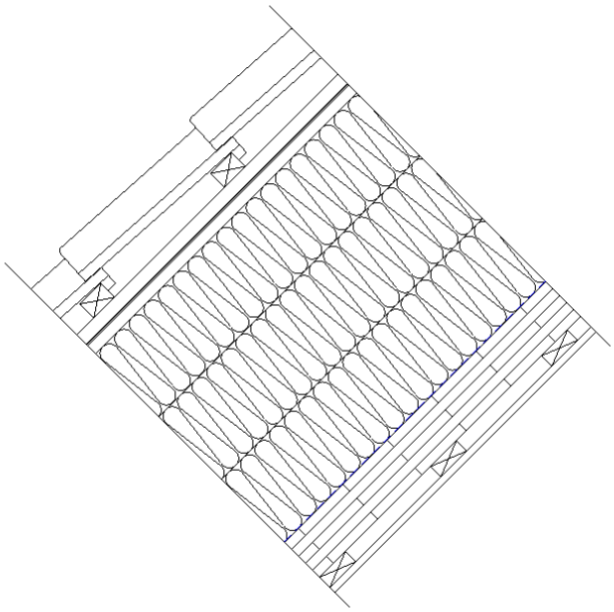
Figur 2 Sektion grundkonstruktion.

3.2 Takkonstruktion

Takkonstruktionen är av typen oventilerat tegeltak. U-värdet för takkonstruktionen beräknas med hjälp av U-värdesberäknaren på Isover, där konstruktionen SM:62 används (Isover 2020c, Isover 2020d). Konstruktionen har en värmegenomgångskoefficient på 0,073 W/m2K, se tabell 3 samt figur 3.

Tabell 3 Takkonstruktionens uppbyggnad, de ingående materialens värmekonduktivitet samt konstruktionens totala U-värde.

Skikt	**d (m)**	**λ (W/mK)**
Tegelpannor	enl. tillverkare	
Bärläkt	0,038	0,14
Ströläkt	0,025	0,14
ISOVER VEMPRO R+ Underlagstak	0,001	-
Råspont	0,022	0,14
Limträbalk c 765	0,495	0,14
ISOVER UNI-skiva 35	0,510	0,035
ISOVER Vario Xtra	0,001	-
KL-trä	0,1	0,14
Glespanel	0,028	-
Gipsskiva	0,015	0,25
Totalt U-värde (W/m2K)	**0,073**	



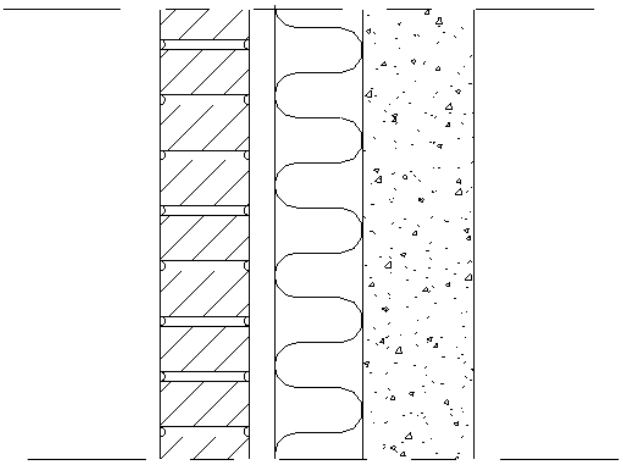
Figur 3 Sektion takkonstruktion.

3.3 Ytterväggskonstruktion

Väggkonstruktionen utgörs av 150 mm bärande betong med utanpåliggande isolering samt 120 mm tegelfasad med luftspalt enligt tabell 4 och figur 4 (Burström 2007). Ett schablonvärde har använts för värmemotståndet gällande ventilerad tegelfasad (Petersson 2018). Väggens U-värde förändras i och med parametervariation, vilket är det som ligger till grund för isolertjockleken. Värden för isolering är hämtade från Isover (Isover 2020b).

Tabell 4 Väggkonstruktionens uppbyggnad.

Skikt	**d (m)**	**λ (W/mK)**	**R (m^2K/W)**
Ventilerad tegelfasad	0,1	-	0,2
Isolering	-	0,032	-
Betong	0,15	1,7	-
Totalt U-värde (W/m^2K)	-		



Figur 4 Sektion yttervägg.

3.4 Fönster och dörrar

Fönster som använts till byggnaden är av typen Norrland Passiv från leverantör Nordiska fönster. U-värde för hela konstruktionen är enligt leverantören 0.7W/m^2 K (Nordiska fönster 2020c).

Den ytterdörr som valts till objektet är av tillverkaren Ekstrands och är certifierad av “Passive House Institute”. Dörren har en värmeledningsförmåga på 0.58 W/m^2K (Ekstrands 2016).

Balkongdörren är ur serien Passiv från Nordiska fönster och har ett U-värde på 0,72 W/m^2 K (Nordiska fönster 2020a).

3.6 Parameterstudie

För att få en bredare bild om hur variationer påverkar resultatet och vilka förutsättningar som skapar mest gynnsamma förhållanden, används flera parametrar vilka varieras mellan olika värden, se tabell 5. Parametrarna undersöks en i taget och då antar resterande parametrar standardvärden.

3.6.1 Fönster

Både fönsterglasarea samt fönsters U-värde varieras i beräkningarna. Den totala fönsterglasarean ska vara som minst 10% av golvarean och därmed används 10m^2 som standard vid beräkningar (Boverket 2019). I det fall där fönsterglasarean är den parameter som varieras antas areor enligt parameterlistan, se tabell 5.

I beräkningarna varieras fönstrens U-värde utifrån tre olika typer av fönster från samma serie och leverantör. De fönster som används som standard vid beräkningar är av typen Norrland Passiv. Utöver det används U-värden för fönstertyperna Norrland Plus och Norrland, där Norrland Plus har ett U-värde på 1,0W/m^2K och Norrland har ett U-värde på 1,1W/m^2K (Nordiska fönster 2020b; Nordiska fönster 2020d). Se tabell 5 för parametervariation.

Då leverantören endast redovisar U-värden med en decimal adderas 0,05W/m^2 K på U-värdet för varje fönstertyp, detta i enlighet med FEBY18 (FEBY 2019b).

3.6.2 Ventilation

I undersökningen är beräkningar baserade på ventilationssystem av typ FTX, från- och tilluft med värmeåtervinning, med en antagen verkningsgrad på 85% från leverantör (Energihuskalkyl u.å). I beräkningar reduceras verkningsgraden med 3 procentenheter, till 82%, på grund av bland annat nedsmutsning (FEBY 2019b).

Standardvärde för luftläckning genom klimatskalet, q_{50}, beräknas med hänsyn till byggnadens formfaktor (FEBY 2019b). För en byggnad med formfaktor under 1,7 får den maximala luftläckningen uppgå till 0,3 l/s per kvadratmeter omslutande area, A_{om}. För en byggnad med formfaktor över 1,7 gäller istället 0,5 l/s per kvadratmeter uppvärmd golvarea, A_{temp}. Parametern varieras därmed mellan 0,1–0,3 l/s m^2 A_{om}, se tabell 5.

Beräkningar för ventilation utgår från Boverkets föreskrifter (BFS 2011:6) där minsta uteluftsflöde ska vara 0,35 l/s per kvadratmeter golvarea. Luftflödesbalansen för ventilationssystemet har i beräkningar antagits till 0,95, det vill säga 100% frånluftsflöde och 95% tilluftsflöde (Kempe 2013). En större obalans kan skapa ett ökat värmebehov.

3.6.3 Köldbryggor

Värmeförluster av köldbryggor tas hänsyn till via schablonvärden. Om de linjära köldbryggorna inte räknas ut för det aktuella objektet kan ett generellt påslag göras som ökar U_m med 20%,

vilket är det värde som används som standard i beräkningarna (Boverket 2012). För småhus brukar köldbryggan vanligtvis hamna mellan 15–20%. För att utreda om en lägre köldbrygga har inverkan på resultatet väljs ett intervall på 5–20%. Se tabell 5 för variation.

Köldbryggor beräknas som en andel av U_m och som standard används i beräkningar 20% vilket står för alla konstruktionsdelars gemensamma köldbryggor. Därmed påverkas hela byggnaden av ett påslag för köldbryggor.

3.6.4 Parametervariation

Parametrar har i beräkningar varierats enligt tabell 5.

Tabell 5 Parametervariationer.

Fönsterglasarea (m^2), (även % i förhållande till A_{temp})	**U-värde fönster, (W/m^2K)**	**Luftläckning, q50, (l/sm^2 A_{om})**	**Köldbryggor (% av totalt U_m)**
10	0,75	0,05	5%
12	1,05	0,1	10%
14	1,15	0,15	15%
16		0,20	20%
18		0,25	
20		0,3	

3.5 Dimensionerande vinterutetemperatur, DVUT

Dimensionerande vinterutetemperatur, DVUT, är den lägsta uppmätta temperaturen under ett visst tidsintervall (Boverket 2017). Enligt FEBY ska beräkningarna utgå från DVUT för som mest tre dygn (Forum för energieffektivt byggande 2019).

Tabell 6 Dimensionerande vinterutetemperatur, (Boverket 2017).

Ort	**DVUT (∘C)**
Lund	-9.8
Falun	-19.5
Boden	-27

4 Resultat och analys

Nedan visas resultaten av de olika parametervariationerna samt väggens isolertjocklek i förhållande till dess U-värde. Resultaten presenteras i form av diagram där linjerna i diagrammen visar resultatet för de orter vilka undersökningen fokuserat kring. Se bilaga 2 för tabellvärden tillhörande diagrammen.

Alla byggnadskonstruktioner är förvalda och har använts i beräkningar för att ta fram U_m för hela byggnaden och U-värde för ytterväggen. Det som inte är förvalt är ytterväggens isolertjocklek; denna redovisas nedan i resultatet och baseras på väggens U-värde.

4.1 Fönsterglasarea

I beräkningarna påverkar inte fönsterglasarea byggnadens U_m utan endast det U-värde som krävs för ytterväggen. Fönsterglasarean har i beräkningar varierats i ekvation 13 och i figur 5 visas hur väggens U-värde beror av fönsterglasarean vid standardvärden för q_{50}, U-värde för fönster samt köldbrygga.

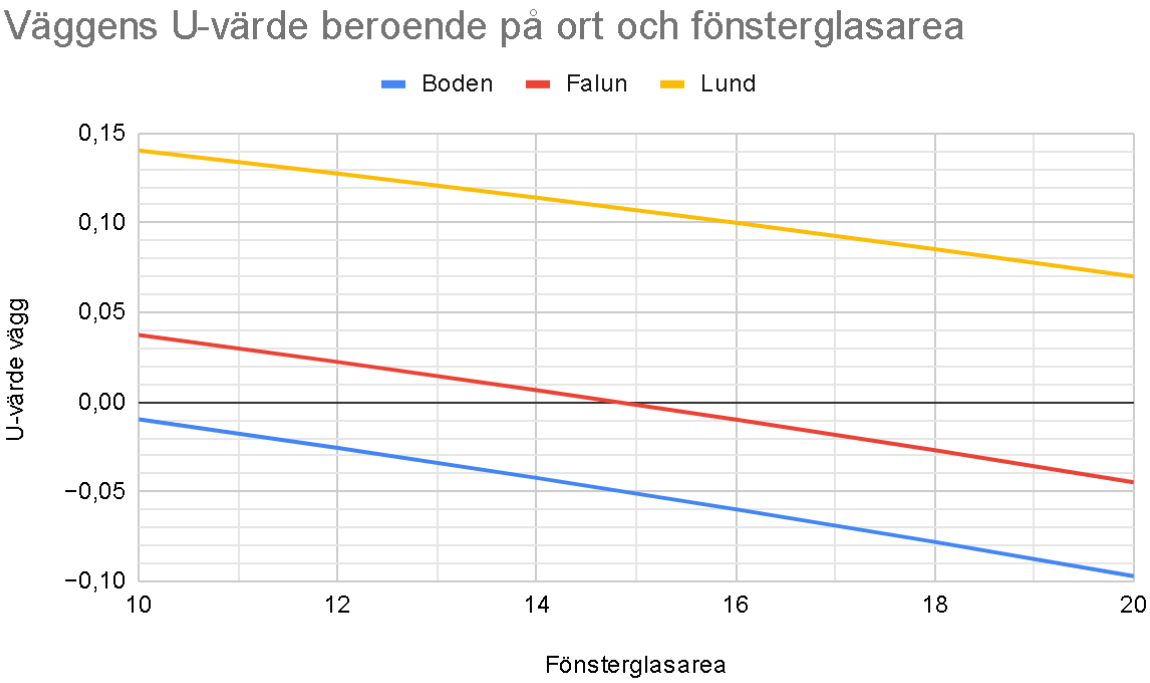
För Boden och Falun är väggens U-värde helt eller delvis negativt för alla undersökta fönsterglasareor; vid en fönsterglasarea på cirka 15 m^2 i Falun antar väggen ett negativt U-värde och i Boden är väggens U-värde konstant negativt. I Falun resulterar det högsta uppnådda U-värdet för väggen i en minsta isolertjocklek på runt 0,80 m.

I Boden är det således inte möjligt att uppnå de krav som BBR ställer för fönsterglasarea, minst 10% av A_{temp}, för att kunna klara kravet för värmeförlusttal för FEBY Guld vid de valda förutsättningarna.

För Lund är väggens U-värde positivt för alla undersökta fönsterglasareor och varierar mellan 0,07 W/m^2K och 0,14 W/m^2K; en mindre fönsterglasarea ger ett högre U-värde för väggen. Det skapar ett minimibehov på omkring 0,20 m isolering vilket skulle kunna vara en rimlig isolertjocklek.

Ett småhus i söder kan därmed klara kravet för värmeförlusttal enligt FEBY Guld med en stor fönsterglasarea medan det i Boden inte är möjligt att ha någon av de testade fönsterglasareorna på grund av att väggens U-värde är konstant negativt.

Gemensamt för alla tre orter är att en ökande fönsterglasarea skapar ett behov av en vägg med ett lägre U-värde.



Figur 5 Väggens värmegenomgångskoefficient beroende på ort och fönsterglasarea.

4.2 U-värde fönster

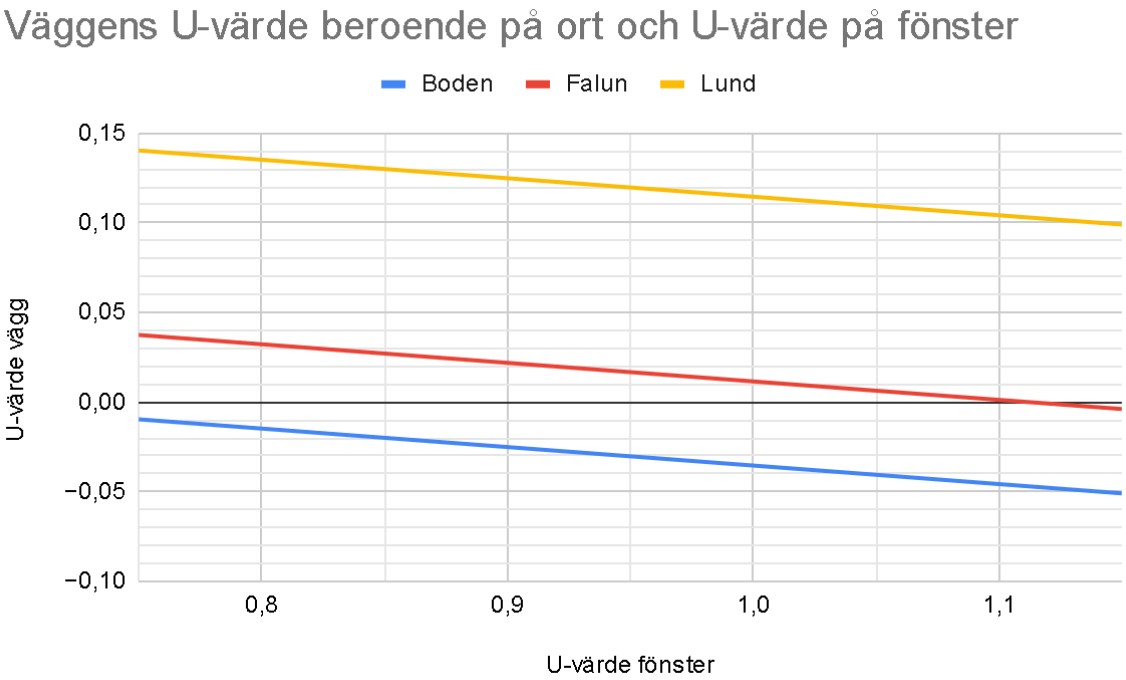
U-värde för fönster påverkar i beräkningarna inte byggnadens U_m, utan endast ytterväggens U-värde. U-värden för fönster har varierats i ekvation 13 och i figur 6 visas hur ytterväggens U-värde beror av U-värde på fönstren vid standardvärden för q_{50}, fönsterglasarea samt köldbrygga.

Resultatet visar att ett lägre U-värde på fönstren gör att väggen kan anta ett högre U-värde och därmed kräver en mindre isolertjocklek.

För Lund antar väggen ett positivt U-värde för alla undersökta parametervariationer och U-värden som tagits fram ligger i spannet 0,1 W/m^{2}K till 0,14 W/m^{2}K. Detta motsvarar en minsta isolertjocklek på strax under 0,20 m i Lund.

I Falun erhålls ett negativt resultat för ytterväggens U-värde vid ett U-värde för fönstren på strax över 1,1W/m^{2}K. Det högsta U-värdet som uppnås i Falun är ett värde på cirka 0,04 W/m^{2}K vilket kräver en isolertjocklek på 0,80 m.

För Boden är resultatet negativt för alla testade parametervariationer vilket betyder att det skulle behövas fönster med lägre U-värden för att få ytterväggens U-värde att bli positivt, och därmed möjligt att utföra.



Figur 6 Väggens värmegenomgångskoefficient beroende på ort och U-värde på fönster.

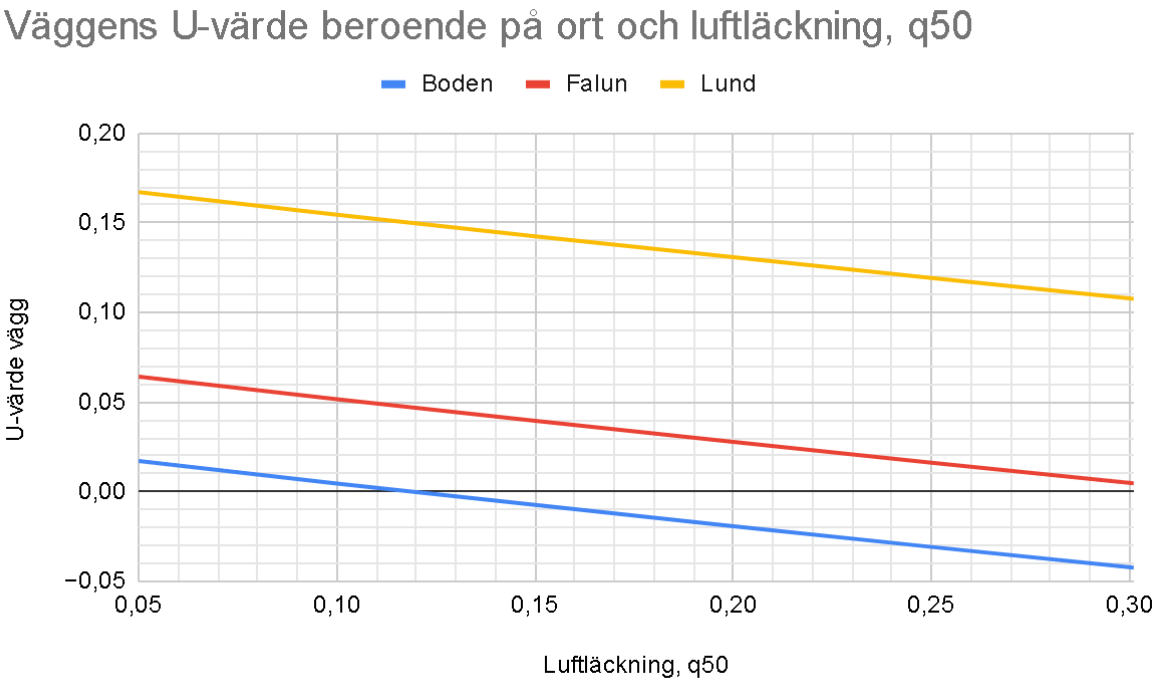
4.3 Luftläckning

Figur 7 visar hur väggens U-värde beror av luftläckning, q_{50}, vid standardvärden för fönsterglasarea, U-värde på fönstren samt köldbrygga.

Luftläckning, q_{50}, varieras i beräkningarna i ekvation 4 för att ta fram luftläckaget, $q_{läck}$. Vidare används luftläckaget i ekvation 11 för att ta fram det U_m som byggnaden kräver för att uppnå nivå FEBY Guld gällande värmeförlusttal. Luftläckningen påverkar därmed hela huset och en förändring av luftläckning ger en förändring av U_m vilket i sin tur påverkar det U-värde som krävs för ytterväggen.

Vid det lägst undersökta luftläckaget, 0,05 l/s m_2, visas ett positivt U-värde för ytterväggen för alla undersökta orter. Detta motsvarar en isolertjocklek i väggen på cirka 0,16 m i Lund, 0,47m i Falun och en bit över 1,60 m i Boden. Dock kräver en luftläckning på 0,05 l/s m_2 en konstruktion som är noga genomtänkt och utformad för att uppnå sådan täthet.

Vid strax under 0,12 l/s m_2 blir U-värdet negativt för Boden medan resultaten i Falun och Lund förblir positiva för alla parametervariationer. Därmed visar resultatet att det ställs krav på ett mer lufttätt hus i de norra delarna av Sverige än vad det gör i de södra delarna.



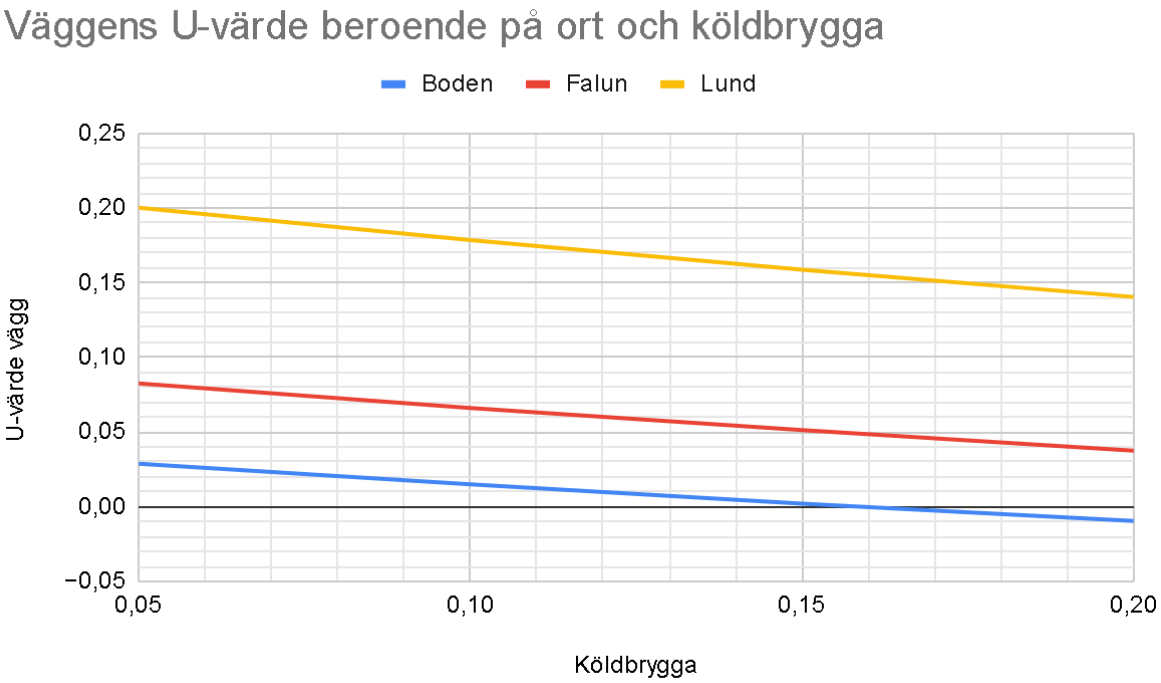
Figur 7 Väggens värmegenomgångskoefficient beroende på ort och luftläckning, q_{50}.

4.4 Köldbrygga

Figur 8 visar hur väggens U-värde beror av köldbrygga vid standardvärden för q_{50}, U-värde på fönstren samt fönsterglasarea. Detta har beräknats genom att ändra värdet för köldbryggan för hela byggnaden, vilken motsvaras av variabeln β i ekvation 12. Därefter har det nya framräknade U_m använts i ekvation 13, för att få fram det U-värde i ytterväggen som krävs för att uppnå värmeförlusttalet för nivå FEBY Guld.

Gemensamt för de tre undersökta orterna är att en låg köldbrygga resulterar i ett positivt U-värde i ytterväggen samt att U-värdet sjunker desto större köldbrygga som undersöks. Då köldbryggan är 5 % når orterna de högsta U-värdena i undersökningen. Detta motsvarar en isolertjocklek på strax under 0,13 m i Lund, 0,35 m i Falun samt ca 1,15 m i Boden.

I Boden blir ytterväggens U-värde negativt vid en köldbrygga på runt 16%. Ytterväggens U-värden för Lund och Falun varierar mellan 0,14 W/m^2K och 0,2 W/m^2K respektive 0,04 W/m^2K och 0,08 W/m^2K.



Figur 8 Väggens värmegenomgångskoefficient beroende på ort och köldbrygga.

4.5 Isolertjocklek

Figur 9 visar hur isolertjocklek och ytterväggens U-värde beror av varandra. Resultatet som presenteras visar den isolertjocklek som krävs vid olika U-värden för väggen. Tjockleken på isoleringen, i meter, går att avläsa på den vertikala axeln och U-värden finns redovisade på den horisontella. Den linje som visas i diagrammet motsvarar sambandet mellan U-värde och isolertjocklek.

Vid låga U-värden har linjen brant lutning vilken avtar när U-värdet ökar. Små förändringar av låga U-värden ger därmed stor förändring av isolertjocklek. En liten förändring av ett högt U-värde ger däremot inte så stor skillnad i isolertjocklek. Därför kan även positiva U-värden som ligger långt ned på skalan ses som problematiska, då dessa motsvarar mycket isolering. Exempelvis betyder ett U-värde på 0,03W/m2K att ytterväggen måste ha minst en meter isolering.

Flera undersökta parametrar ger ett resultat som visar på negativa U-värden, framförallt i Boden men även en del i Falun. När negativa U-värden uppstår kan ingen isolertjocklek tas fram för ytterväggen. Figur 9 representerar därför endast de positiva resultat som fåtts fram i undersökningen.

Figur 9 Förhållande mellan isolertjocklek och väggens värmegenomgångskoefficient.

5 Diskussion

Anledningen till att väggens U-värde studerats är att det kan vara lättare att tolka vad resultatet betyder och att se hur olika parametrars variation påverkar en specifik byggnadsdel. Huset räknas som en helhet med förutbestämda byggnadsdelar med undantag för ytterväggens isolertjocklek, vilket är den del som undersöks och som resultat baseras på. Isolertjocklek kan tydligt indikera om resultatet är rimligt i praktiken, exempelvis om det krävs tre eller 0,2 meter isolering i ytterväggen för att nå kraven för FEBY Guld.

I beräkningarna påverkar inte parametrarna fönsterglasarea och fönsters U-värde U_m, medan köldbryggor och luftläckning har en direkt inverkan. Valet att använda parametrar som både påverkar U_m direkt och inte påverkar U_m alls, gjordes för att ytterväggens U-värde kan påverkas oavsett.

Resultaten visar vid ett flertal undersökta parametrar, i framförallt Boden och Falun, att ett negativt U-värde på ytterväggen behöver uppnås för att nå kravet på värmeförlusttal på nivå FEBY Guld. Ett negativt U-värde på en byggnadsdel är dock omöjligt att åstadkomma då detta skulle betyda att väggen behöver alstra värme, vilket inte är något väggen är konstruerad för. Ett negativt U-värde går därmed inte att uppnå och det ifrågasätter om kraven på värmeförlusttal är rimliga.

Där istället positiva U-värden för ytterväggen uppnåddes, oavsett stad, antog flera av dem ett värde under 0,05 W/m^2K vilket innebär en isolertjocklek på över 500 mm. Resultaten visar även att små variationer i U-värdet resulterar i stora förändringar i isolertjocklek, då U-värdet antar värden nära noll, se figur 9. Detta gör att även om U-värdet är positivt så är det inte givet att motsvarande isolertjocklek är rimlig i praktiken.

Byggnadens konstruktionsdelar är framtagna med hänsyn till en låg värmegenomgångskoefficient och de standardparametrar som valts i undersökningen är valda för att skapa så goda förutsättningar som möjligt för att byggnaden ska klara kraven. En fönsterglasarea på 10m^2 används som standard vid beräkningarna, vilken är den lägst tillåtna arean enligt BBR och bidrar, i det här fallet, till det mest gynnsamma utfallet för alla beräkningar. Dessutom har de fönster och dörrar som valts en låg värmeledningsförmåga jämfört med andra liknande objekt på marknaden. I praktiken finns det dock flera faktorer som påverkar köldbryggors och luftläcknings inverkan vilket gör det svårt att addera till de teoretiska beräkningarna med ett realistiskt utfall. Faktorer som tätning kring fönster, armeringsmängd, montering och hantering av material påverkar alla köldbryggan och byggnadens täthet.

Hur stora köldbryggorna är verkar ha jämförelsevis stor påverkan på U-värdet i ytterväggen; varken den minsta testade fönsterglasarean eller de fönstren med lägst U-värde gav ett positivt U-värde i Boden. Det högsta U-värde som beräknats för Boden ligger på strax under 0,03 W/m^2K och motsvarar över en meter isolering. Resultatet motsvarar en köldbrygga på 5 %, vilket är en låg siffra med tanke på att Boverket uppskattar att köldbryggor för småhus vanligtvis ligger

mellan 15–20%. Detta förutsätter även fönster med U-värde på 0,75 W/m2K, fönsterglasarea på 10m2 samt en maximal luftläckning på ca 0,15 l/s m2.

I Lund däremot verkar det inte vara några problem att uppnå kraven för FEBY Guld och undersökningen visar vid flera undersökta parametrar att en isolertjocklek på cirka 0,25 meter räcker.

Resultatet hade kunnat förändras något genom att använda exempelvis lägre U-värden för byggnadsdelarna. Dock betyder inte ett positivt U-värde att resultatet blir rimligt då låga U-värden fortfarande kan ge upphov till en väggtjocklek som i praktiken är svår att utföra, antingen ekonomiskt eller byggnadsmässigt. Ingen LCC har utförts i undersökningen, varför inget kan sägas om en ultimat isolertjocklek ur kostnadssynpunkt. Emellertid kan en ökad isolertjocklek skapa extra kostnader.

FEBY anser att den variabel som använts i BBR, F_{geo}, resulterar i för milda krav på värmeförlusttal i Sveriges kallare orter och inte heller tar tillräcklig hänsyn till att ett kallare klimat kräver mer isolering (FEBY 2019a). Samtidigt visar resultatet i undersökningen att de krav FEBY ställer istället kan vara för höga och inte är utformade att appliceras i alla delar av Sverige. I Boden och i vissa fall även Falun visar undersökningen att det inte endast krävs mer isolering för att klara nivå FEBY Guld utan att ytterväggen också behöver producera egen värme.

6 Slutsats

Syftet med studien var att undersöka om de krav FEBY ställer på lågenergihus, på kravnivå FEBY Guld, är applicerbara för olika breddgrader inom Sveriges gränser och om de i så fall resulterar i ett hus som är rimligt att utföra. Utgångspunkten har varit en yttervägg och den isolertjocklek som krävs för denna för att byggnaden i helhet ska klara kraven.

Hur parametrarna har varierats har påverkat orterna på olika sätt. I Lund kunde förändringar av parametrar ske utan speciellt stor begränsning av byggnadens utformning och det finns goda möjligheter att uppnå nivå FEBY Guld med avseende på värmeförlusttal. I både Falun och Boden är dock förändringar av parametrarna av större betydelse då valmöjligheterna blir mer begränsade. I Falun kan kraven på nivå FEBY Guld uppnås och viss variation av parametrarna kan vara möjlig. Att Boden däremot får många negativa resultat gällande ytterväggens U-värde gör att det kan vara svårt att se hur ett småhus skulle kunna konstrueras där. Undersökningen visar att klimatet, DVUT, spelar stor roll när det kommer till att klara kraven för värmeförlusttal på nivå FEBY Guld.

Slutsatsen som dras utifrån undersökningen är att kraven som FEBY ställer angående värmeförlusttal på nivå FEBY Guld inte verkar gå att uppnå i alla delar av Sverige. Att klara kraven verkar vara en möjlighet i de södra delarna av Sverige där den dimensionerande vinterutetemperaturen inte är lika låg som längre norrut i landet. I de norra delarna av Sverige krävs alltså inte bara väldigt mycket isolering i ytterväggen utan det gäller även att väggen i vissa fall måste kunna skapa egen värme. Därför verkar det mycket svårt att bygga ett småhus i Sveriges kallare delar som når den högsta nivån, FEBY Guld, med de förutsättningar som undersökts.

De krav FEBY ställer på småhus på nivå FEBY Guld behöver ses över och förbättras, så att de kan appliceras i hela Sverige. Det bör inte vara enkelt att nå kraven i en del av landet och omöjligt i en annan.

7 Fortsatt arbete

För en bättre förståelse och ett tydligare resultat om hur parametrarna påverkar och beror av varandra skulle förhållandena mellan parametrarna kunna undersökas djupare. Genom att kombinera parametrarna skulle en mer snäv bild över vad som krävs på respektive ort kunna tas fram, en slags optimering. Vidare kan studeras vid vilken storlek på småhus och vid vilken DVUT kraven fungerar, samt titta på hur beräkningarna skulle kunna förändras för att få krav som går att uppnå.

Eventuellt skulle en formel som behandlar tillägg för kallare klimat kunna tas fram, där tillägget anpassas mer efter DVUT eller liknande värde för medeltemperatur. Ett kallare klimat skulle då resultera i högre tillägg. Ett tillägg skulle också kunna göras för förnybar energi, vilket inte är något FEBY behandlar.

En granskning angående kostnad och miljö skulle också kunna utföras, vilken skulle kunna utreda vad det kostar att bygga med de parametrar som undersöks; om det finns någon optimal byggnad kostnadsmässigt som uppnår kraven.

Referenser

BFS 2011:6 – BFS 2019:2. *Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd, BBR.* Sverige.

BFS 2016:12 BEN 1. *Boverkets föreskrifter och allmänna råd om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår*. https://rinfo.boverket.se/BEN/PDF/BFS2016-12-BEN-1-r%C3%A4ttelseblad.pdf Hämtad 2020-04-03.

Boverket (2019). *Dagsljus*. https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/ljus-i-byggnader/dagsljus/ Hämtad 2020-04-23.

Boverket (2012). *Handbok för energihushållning enligt Boverkets byggregler – utgåva två* https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2012/handbok-for-energihushallning-enligt-boverkets-byggregler.pdf Hämtad 2020-04-03

Boverket (2017). *Öppna data - Dimensionerande vinterutetemperatur (DVUT 1981-2010) för 310 orter i Sverige*. https://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/oppna-data/dimensionerande-vinterutetemperatur-dvut-1981-2010/ Hämtad 2020-04-06.

Burström, P. (2007). *Byggnadsmaterial : Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. 2. uppl.., Lund: Studentlitteratur AB.

Eek H, Sandberg E (2017). *Varför FEBY 18?* Forum för Energieffektivt Byggande. https://www.feby.se/files/2019-01/1548065597_varfoer-feby18.pdf / Hämtad 2020-04-01

Ekstrands (2016). *Först i Sverige med passivhuscertifierad ytterdörr*. https://www.ekstrands.com/om-oss/nyheter/sveriges-forsta-ytterdorr-med-passivhuscertifiering/. Hämtad 2020-04-02

Energihuskalkyl. U.å. *Välj FTX-system?* https://www.energihuskalkyl.se/menus/index/46#V_lj_FTX-system_. Hämtad 2020-04-27.

Forum för Energieffktivt byggande (FEBY) (2020a). *Byggda hus* https://www.feby.se/Byggda-hus. Hämtad 2020-04-10

Forum för Energieffektivt Byggande (FEBY) (2020b). *FEBY*. https://www.feby.se/. Hämtad 2020-04-23

Forum för Energieffektivt Byggande (FEBY) (2019a). *FEBY anmäler BBR till Energidirektoratet i Brysssel.* https://www.feby.se/files/rapporter/1574177512_feby-brev-till-energidirektoratet.pdf. Hämtad 2020-04-15

Forum för Energieffektivt Byggande (FEBY) (2019b). *Kravspecifikation för energieffektiva byggnader, FEBY18.* https://www.feby.se/files/rapporter/2019-12-12-kravspecifikation-feby18.pdf. Hämtad 2020-04-06.

Forum för Energieffektivt Byggande (FEBY) (2017). *Varför FEBY?* https://www.feby.se/files/2019-01/1548065597_varfoer-feby18.pdf. Hämtad 2020-04-06

Isover (2020b). *GB:03 Platta på mark (Kombigrund).* https://www.isover.se/solutions/gb03-platta-pa-mark-kombigrund Hämtad 2020-04-03

Isover (2020c). *Isover skalmursskiva.* https://www.isover.se/products/isover-skalmursskiva-32 Hämtad 2020-04-08

Isover (2020d). *SM:62 Oventilerat tegeltak med skivor massivträstomme [REI60].* https://www.isover.se/solutions/sm62-oventilerat-tegeltak-med-skivor-massivtrastomme-rei60Hämtad 2020-04-03.

Isover (2020e). *U-värdesberäknaren.* https://www.isover.se/u-vardesberaknaren. Hämtad 2020-04-03.

Kempe, P. (2013). *Installationssystem i energieffektiva byggnader - Förstudie.* Svenska Byggbranschens utvecklingsfond. https://www.feby.se/files/2019-01/installationssystem-sbuf-12541.pdf. Hämtad 2020-04-27

Levin, P. (2017). *Sveby PM – Förtydligande av areadefinitioner för tempererad golvarea, köldbryggor och lufttäthetsmätningar*. Sveby. http://www.sveby.org/wp-content/uploads/2017/04/Sveby-PM-areor-170428.pdf. Hämtad 2020-04-06

Naturvårdsverket (2018). *Allmänheten om klimatet 2018* https://www.naturvardsverket.se/attityd-klimat-2018 Hämtad 2020-04-02

Nordiska fönster (2020a). *Utåtgående PVC fönsterdörr 3-glas - passiv* https://www.nordiskafonster.se/fonsterdorr/pvc/passiv/utatgaende-pvc-fonsterdorr-3-glas Hämtad 2020-04-02

Nordiska fönster (2020b). *Vridfönster Aluminium 3-glas - Norrland.* https://www.nordiskafonster.se/fonster/tra-aluminium/norrland/vridfonster-aluminium-3-glas. Hämtad 2020-04-02.

Nordiska fönster (2020c). *Vridfönster Aluminium 3-glas - Norrland Passiv.* https://www.nordiskafonster.se/fonster/tra-aluminium/norrland-passiv/vridfonster-aluminium-3-glas. Hämtad 2020-04-02.

Nordiska fönster (2020d). *Vridfönster Aluminium 3-glas - Norrland Plus.* https://www.nordiskafonster.se/fonster/tra-aluminium/norrland-plus/vridfonster-aluminium-3-glas. Hämtad 2020-04-02.

Petersson B.Å. (2018). *Tillämpad byggnadsfysik*. 6. uppl., Lund: Studentlitteratur AB.

Prop. 2016/17:16 *Godkännande av klimatavtalet från Paris Stockholm*. https://www.regeringen.se/4a75ca/contentassets/618f83b8918f4f34bb1ae06b62aae8f2/godkannande-av-klimatavtalet-fran-paris-prop.-20161716. Hämtad 2020-04-15

Svensk Standard (2017). Byggnadskomponenter och byggnadsdelar – Värmemotstånd och värmegenomgångskoefficient – Beräkningsmetod. (SS-EN ISO 6946:2017).

BILAGA 1 Beräkningar

Areaberäkning

$L := 10\ m$ — Byggnadens längd, insida

$\alpha := 15\ deg$ — Takets lutning

$H_{vägg} := 2434\ mm$ — Väggens höjd, insida. Exkl. gaveltriangel

$A_{temp} := L \cdot L = 100\ m^2$ — Uppvärmd golvarea

$H_{tak} := \tan(\alpha) \cdot \frac{L}{2} = 1.34\ m$ — Höjd gaveltriangel, insida.

$L_{tak} := \frac{\frac{L}{2}}{\cos(\alpha)} = 5.176\ m$ — Takets sneda längd, insida.

$A_{tak} := L_{tak} \cdot L \cdot 2 = 103.528\ m^2$ — Total innertaksarea

$A_{gavel} := (H_{vägg} \cdot L \cdot 2) + \left(\frac{L \cdot H_{tak}}{2}\right) \cdot 2 = 62.077\ m^2$ — Area gavel

$A_{lång} := H_{vägg} \cdot L \cdot 2 = 48.68\ m^2$ — Area "långsida"

$A_{vägg} := A_{gavel} + A_{lång} = 110.757\ m^2$ — Total väggarea

$A_{dörr.1} := 2076\ mm \cdot 986\ mm = 2.047\ m^2$ — Area ytterdörr, karmyttermått

$A_{dörr.2} := 980\ mm \cdot 1980\ mm = 1.94\ m^2$ — Area balkong, karmyttermått

Non-Commercial Use Only

$A_{golv} := 100\ m^2$ Area golv, samma som A_{temp}

$A_{om} := A_{golv} + A_{vägg} + A_{tak} = 314.285\ m^2$ Omslutande area

Non-Commercial Use Only

Beräkningar för ventilation enligt FEBY

$\rho := 1.2 \ \frac{kg}{m^3}$ — Luftens densitet

$c := 1000 \ \frac{W \cdot s}{(kg \cdot K)}$ — Luftens värmekapacitet

$Form := \frac{A_{om}}{A_{temp}} = 3.143$ — Formfaktor

$q_{50} := 0.3 \ \frac{l}{s \cdot m^2}$ — Antagen luftläckning. Varieras i beräkning.

$q_{50} := \frac{0.5 \ \frac{l}{s \cdot m^2}}{Form} = 0.159 \ \frac{l}{s \cdot m^2}$ — Standardvärde luftläckning. Beräknad för huset.

$e := 0.07$ — Vindskyddskoefficient gällande avskärmning

$f := 15$ — Vindskyddskoefficient

$q_{sup} := 0.35 \ \frac{l}{s \cdot m^2} \cdot A_{temp} = 35 \ \frac{l}{s}$ — Tilluftsflöde, 95%.

$q_{ex} := \frac{q_{sup}}{0.95} = 36.842 \ \frac{l}{s}$ — Frånluftsflöde, 100%.

$q_{läck} := \frac{q_{50} \cdot A_{om} \cdot e}{\left(1 + \frac{f}{e} \left(\frac{(q_{sup} - q_{ex})}{(q_{50} \cdot A_{om})}\right)^2\right)} = 0.003 \ \frac{m^3}{s}$ — Luftläckage

$v := 0.85 - 0.03 = 0.82$ — Verkningsgrad FTX-system, med 3% avdrag för nedsmutsning

Non-Commercial Use Only

$d := 1$ Drifttid

$q_{vent} := 0.35 \ \frac{l}{s \cdot m^2} \cdot A_{temp} = 0.035 \ \frac{m^3}{s}$ Ventilationsflöde

Non-Commercial Use Only

Beräkningar för värmeförlusttal, tillägg och U-medelvärde enligt FEBY

$\beta := 1.2$ Köldbrygga. Varieras i beräkning.

LUND

$DVUT_{Lund} := -9.8\ °C$ Dimensionerande vinterutetemperatur

$VFT := 14\ \frac{W}{m^2}$ Krav på värmeförlusttal, nivå FEBY Guld

$VFT_{tillägg} := \frac{\left(600\ m^2 - A_{temp}\right)}{110\ \frac{m^4}{W}} = 4.545\ \frac{W}{m^2}$ Tillägg för byggnad < 600 kvadratmeter

$VFT_{DVUT.L} := VFT + VFT_{tillägg} = 18.545\ \frac{W}{m^2}$ Krav på värmeförlusttal inklusive tillägg

Värmeförlustkoefficient för byggnaden:

$$H_{t.L} := \frac{VFT_{DVUT.L} \cdot A_{temp}}{\left(21\ °C - DVUT_{Lund}\right)} = 60.213\ \frac{W}{K}$$

U-medelvärde inklusive köldbrygga:

$$U_{mk.L} := \frac{\left(H_{t.L} - \left\langle \rho \cdot c \cdot q_{läck} + \rho \cdot c \cdot d \cdot q_{vent} \cdot \left(1 - v\right)\right\rangle\right)}{A_{om}} = 0.157\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

U-medelvärde exklusive köldbrygga:

$$U_{m.L} := \frac{U_{mk.L}}{\beta} = 0.131\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Non-Commercial Use Only

FALUN

$DVUT_{Falun} := -19.5\ °C$ Dimensionerande vinterutetemperatur

$VFT := 14\ \frac{W}{m^2}$ Krav på värmeförlusttal, nivå FEBY Guld

$VFT_{tillägg} := \frac{\left(600\ m^2 - A_{temp}\right)}{110\ \frac{m^4}{W}} = 4.545\ \frac{W}{m^2}$ Tillägg för byggnad < 600 kvadratmeter

$VFT_{klimat.1} := 1\ \frac{W}{m^2}$ Tillägg för kallare klimat, lägre DVUT än -17 °C

Krav på värmeförlusttal inklusive tillägg:

$$VFT_{DVUT.F} := VFT + VFT_{tillägg} + VFT_{klimat.1} = 19.545\ \frac{W}{m^2}$$

Värmeförlustkoefficient för byggnaden:

$$H_{t.F} := \frac{VFT_{DVUT.F} \cdot A_{temp}}{\left(21\ °C - DVUT_{Falun}\right)} = 48.26\ \frac{W}{K}$$

U-medelvärde inklusive köldbrygga:

$$U_{mk.F} := \frac{\left(H_{t.F} - \left(\rho \cdot c \cdot q_{läck} + \rho \cdot c \cdot d \cdot q_{vent} \cdot \left(1 - v\right)\right)\right)}{A_{om}} = 0.119\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

U-medelvärde exklusive köldbrygga:

$$U_{m.F} := \frac{U_{mk.F}}{\beta} = 0.099\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Non-Commercial Use Only

BODEN

$DVUT_{Boden} := -27\ °C$ — Dimensionerande vinterutetemperatur

$VFT := 14\ \frac{W}{m^2}$ — Krav på värmeförlusttal, nivå FEBY Guld

$VFT_{tillägg} := \frac{(600\ m^2 - A_{temp})}{110\ \frac{m^4}{W}} = 4.545\ \frac{W}{m^2}$ — Tillägg för byggnad < 600 kvadratmeter

$VFT_{klimat.2} := 2\ \frac{W}{m^2}$ — Tillägg för kallare klimat, lägre DVUT än -22.1 °C

Krav på värmeförlusttal inklusive tillägg:

$$VFT_{DVUT.B} := VFT + VFT_{tillägg} + VFT_{klimat.2} = 20.545\ \frac{W}{m^2}$$

Värmeförlustkoefficient för byggnaden:

$$H_{t.B} := \frac{VFT_{DVUT.B} \cdot A_{temp}}{(21\ °C - DVUT_{Boden})} = 42.803\ \frac{W}{K}$$

U-medelvärde inklusive köldbrygga:

$$U_{mk.B} := \frac{(H_{t.B} - (\rho \cdot c \cdot q_{läck} + \rho \cdot c \cdot d \cdot q_{vent} \cdot (1 - v)))}{A_{om}} = 0.102\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

U-medelvärde exklusive köldbrygga:

$$U_{m.B} := \frac{U_{mk.B}}{\beta} = 0.085\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Non-Commercial Use Only

Beräkning värmegenomgångskoefficient för vägg

$A_{fönster} := 10\ m^2$ — Fönsterglasarea. Varieras i beräkning.

$U_{fönster} := 0.75\ \frac{W}{m^2\ K}$ — U-värde fönster. Varieras i beräkning.

$A_{vägg} := A_{vägg} - A_{fönster} - A_{dörr.1} - A_{dörr.2} = 96.77\ m^2$ — Area vägg

$U_{golv} := 0.093\ \frac{W}{m^2\ K}$ — U-värde grund

$U_{dörr.1} := 0.58\ \frac{W}{m^2\ K}$ — U-värde ytterdörr

$U_{dörr.2} := 0.72\ \frac{W}{m^2\ K}$ — U-värde balkongdörr

$U_{tak} := 0.073\ \frac{W}{m^2\ K}$ — U-värde tak

Värmegenomgångskoefficienten för väggen beräknas enligt:

$$U_{vägg} := \frac{\left\langle U_{m.B} \cdot A_{om} \right\rangle - \left\langle A_{fönster} \cdot U_{fönster} + A_{golv} \cdot U_{golv} + A_{dörr.1} \cdot U_{dörr.1} + A_{dörr.2} \cdot U_{dörr.2} + A_{tak} \cdot U_{tak} \right\rangle}{A_{vägg}} = -0.0029\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Non-Commercial Use Only

Beräkning av isolertjocklek

$Rs_i := 0.13 \ \frac{m^2 \ K}{W}$ Värmeövergångsmotstånd, insida

$Rs_e := 0.04 \ \frac{m^2 \ K}{W}$ Värmeövergångsmotstånd, utsida

$\lambda_{btg} := 1.7 \ \frac{W}{m \cdot K}$ Värmekonduktivitet, betong

$\lambda_{iso} := 0.032 \ \frac{W}{m \cdot K}$ Värmekonduktivitet, isolering

$d_{btg} := 0.15 \ m$ Tjocklek, betong

$R_s := \left(Rs_i + Rs_e\right) = 0.17 \ \frac{m^2 \ K}{W}$ Totalt värmeövergångsmotstånd

$R_{lbtg} := \left(\frac{d_{btg}}{\lambda_{btg}}\right) = 0.088 \ \frac{m^2 \ K}{W}$ Värmemotstånd, betong

$R_{tegel} := 0.2 \ \frac{m^2 \ K}{W}$ Värmemotstånd, tegel inkl. luftspalt

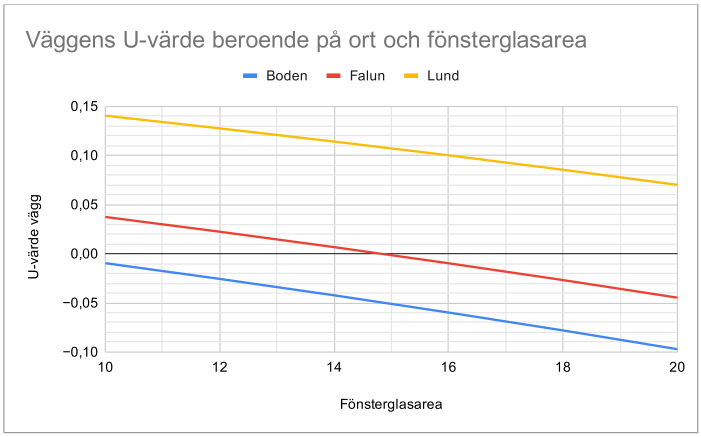
$R_{iso} := \frac{1}{U_{vägg}} - \left(R_{lbtg} + R_{tegel} + R_s\right) = -341.188 \ \frac{m^2 \ K}{W}$ Värmemotstånd, isolering

$d_{iso} := R_{iso} \cdot \lambda_{iso} = -10.918 \ m$ Isolertjocklek

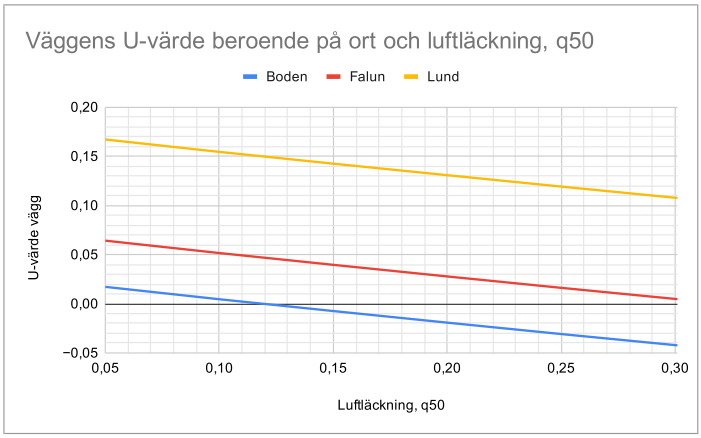
Non-Commercial Use Only

Bilaga 2 Tabellvärden

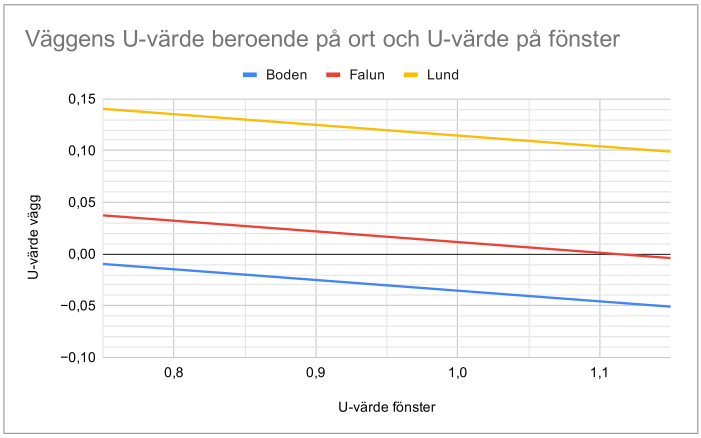
	U-värde vägg		
Fönsterglasarea	Boden	Falun	Lund
10	−0,0096	0,0374	0,1404
12	−0,0256	0,0224	0,1275
14	−0,0423	0,0067	0,1141
16	−0,0598	−0,0097	0,1001
18	−0,078	−0,0268	0,0854
20	−0,0971	−0,0447	0,0701



	U-värde vägg		
Luftläckning, q50	Boden	Falun	Lund
0,05	0,0172	0,0642	0,1671
0,1	0,0046	0,0516	0,1545
0,15	−0,0074	0,0396	0,1425
0,2	−0,0192	0,0278	0,1308
0,25	−0,0308	0,0162	0,1192
0,3	−0,0423	0,0047	0,1076

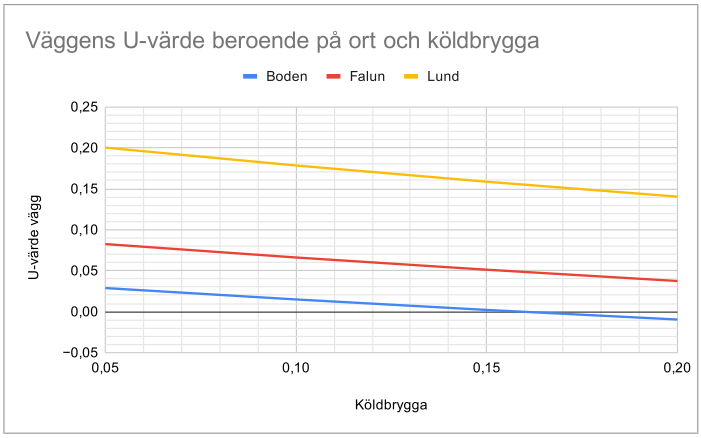
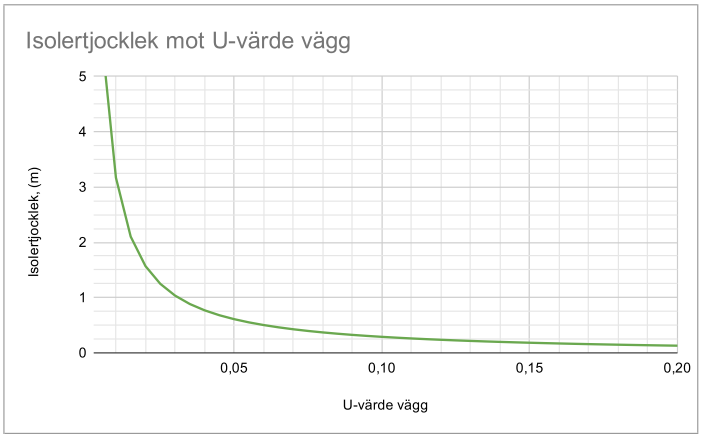


	U-värde vägg		
U-värde fönster	Boden	Falun	Lund
0,75	−0,0096	0,0374	0,1404
1,05	−0,0406	0,0064	0,1094
1,15	−0,0509	−0,0039	0,099



Bilaga 2 Tabellvärden

	U-värde vägg		
Köldbrygga	Boden	Falun	Lund
0,05	0,0288	0,0825	0,2002
0,1	0,0149	0,0661	0,1784
0,15	0,0021	0,0512	0,1586
0,2	−0,0096	0,0374	0,1404



U-värde vägg	Isolertjocklek
0,0025	12,785
0,0036	8,8742
0,005	6,3693
0,0061	5,2312
0,01	3,1693
0,015	2,1027
0,02	1,5693
0,025	1,2493
0,03	1,0360
0,035	0,8836
0,04	0,7693
0,045	0,6804
0,05	0,6093
0,055	0,5512
0,06	0,5027
0,065	0,4616
0,07	0,4265
0,075	0,3960
0,08	0,3693
0,085	0,3458
0,09	0,3249
0,095	0,3062
0,1	0,2893
0,105	0,2741
0,11	0,2602
0,115	0,2476
0,12	0,2360
0,125	0,2253
0,13	0,2155
0,135	0,2064
0,14	0,1979
0,145	0,1900
0,15	0,1827
0,155	0,1758
0,16	0,1693
0,165	0,1633
0,17	0,1576
0,175	0,1522
0,18	0,1471
0,185	0,1423
0,19	0,1378
0,195	0,1334
0,2	0,1293