Grundläggningens roll i energieffektivt byggande

Jämförelse mellan trägrundläggning och betongsgrundläggning

MARTIN ALTVALLEN

RIHAM ROMDHANI

TRACY SALO

Akademin för ekonomi, samhälle och teknik
Kurs: Examensarbete, byggnadsteknik
Kurskod: BTA212
Ämne: Byggnadsteknik
Högskolepoäng: 15 hp
Program: Högskoleingenjörsprogrammet i byggnadsteknik

Handledare: Patrik Nedar
Examinator: Shaheda Akter
Uppdragsgivare: Fredrik Lavén, Structor Eskilstuna AB
Datum: 2025-10-30
E-post:
man20082@student.mdu.se
rri21004@student.mdu.se
ts019001@student.mdu.se

ABSTRACT

The **purpose** of the study explored the potential of wood foundations as a sustainable, energy-efficient alternative to conventional concrete slab systems in residential buildings. The aim was to assess how the choice of foundation material affects heat loss and overall energy efficiency. The primary **method** that the study used was the building energy simulation software IDA ICE to model two identical buildings with different foundation systems – one with a concrete slab foundation and the other with a cross-laminated timber (CLT) foundation. Additional simulations were performed with different thicknesses of wood to assess their impact on insulation performance. The simulations showed **results** that buildings with wood foundations had improved energy efficiency, especially during the colder months. Annual energy consumption was reduced by 5–11% compared to concrete foundations. Heat losses through floors were significantly lower in the wood model, while walls and windows still accounted for the largest share of total energy losses. Increasing the thickness of the wood helped improve insulation, but improvements plateaued beyond a certain point as shown in chapter 5.1 and 5.2. In **conclusion,** if properly constructed and insulated, wood foundations can offer a competitive and environmentally friendly alternative to conventional concrete slab solutions. Their introduction could support climate goals in the building industry, particularly for low-rise buildings and in cold climates.

Keywords: timber foundation, concrete slab, energy efficiency, building simulation, IDA ICE, sustainable construction, cross-laminated timber

FÖRORD

Detta examensarbete har genomförts vid Mälardalens universitet under vårterminen 2025 som en avslutande del av högskoleingenjör programmet i Byggnadsteknik. Vägen hit har varit både utmanande och utvecklande, fylld med ny kunskap och praktiska insikter som detta arbete får då avrunda.

Vi riktar ett stort tack till vår handledare Patrik Nedar för vägledning, konstruktiv kritik och stöd genom hela processen. Din hjälp har varit ovärderlig för att strukturera arbetet och för att fördjupa vår förståelse för grundläggning teknik samt byggnadskonstruktion och att välja rätt frågeställningar.

Vi vill även tacka Alaa Krayem för ert engagemang och hjälp med IDA ICE.

Slutligen vill vi uttrycka vår tacksamhet till våra familjer och vänner för deras tålamod, förståelse och uppmuntran under hela studieperioden.

Martin Altvallen, Riham Romdhani, Tracy Salo

Västerås. 30:e oktober 2025

SAMMANFATTNING

Denna studie undersöker hur valet av grundmaterial påverkar byggnaders energiprestanda, med särskilt fokus på jämförelsen mellan träfundament och konventionella betongplattor på marken. Mot bakgrund av byggsektorns behov av att minska sin klimatpåverkan utgör betongens höga koldioxidutsläpp en betydande utmani Trä anses vara ett mer miljövänligt, förnybart alternativ med goda isolerings egenskaper.

Med hjälp av energisimuleringsverktyget IDA ICE modellerades två identiska byggnader – en med trägrund och en med betongplatta – för att analysera skillnader i energiförbrukning under ett år i Mälardalens klimatzon. Ytterligare simuleringar genomfördes med trägrundar av varierande tjocklek för att undersöka hur materialets isoleringsförmåga påverkar energibehovet.

Resultaten visar att byggnader med trägrund har lägre värmeförluster och därmed något lägre energibehov än motsvarande byggnader med betonggrund. Energianvändningen varierar mellan 5 % och 11 % beroende på tjockleken på trägrunden, vilket indikerar att optimerad isolering av trägrund kan göra denna lösning konkurrenskraftig ur energieffektivitetssynpunkt.

Samtidigt verkar betongplattor förbli industristandarden på grund av deras robusthet, beprövade hantverksskicklighet och fuktbeständighet. Timmerfundament kräver mer noggrann design och kunskap, vilket kan vara ett hinder för ett bredare genomförande i dagens byggpraxis.

Forskningen ger nya insikter om träfundamentens potential i hållbart byggande och pekar på att det kan vara möjligt att minska byggnaders klimatpåverkan genom alternativa grundlösningar.

Nyckelord: Trägrundläggning, Betongplatta, Energieffektivitet, Grundläggning, Byggnadssimulerin, IDA ICE, Klimatpåverkan, Hållbart byggande, Värmeförluster, Byggmaterial, Korslimmat trä (KL-trä), Livscykelperspektiv, Byggteknik, Energisimulering

Innehållsförteckning

1. INLEDNING 1

1.1. Bakgrund 2

1.2. Syfte 4

1.3. Frågeställningar 5

1.4. Avgränsning 6

2. METOD 6

2.1. Litteraturstudie 8

2.1.1. IDA ICE 8

2.2. Koppling mellan frågeställningar och metoder för datainsamling. 10

3. ÄMNESMÄSSIG REFERENSRAM 11

3.1. Platta på mark (betong) 12

3.2. Trägrund 13

4. AKTUELL STUDIE 14

4.1. IDA ICE modellen 15

5. RESULTAT 19

5.1. Energiprestanda och värmeförluster för 170 mm KL-trägrund utan isolering i den enkla modellen 21

5.2. Energiprestanda och värmeförluster för 60 mm KL-trägrund utan isolering i den enkla modellen 22

5.3. Kontorsmodell med trägrundläggning 24

5.4. Värden för modell med betonggrundläggning 26

5.5. Jämförelse mellan energianvändnings värden av de två modellerna 28

5.6. Annorlunda struktur av trägrundplatta 30

6. DISKUSSION 31

6.1. Resultatdiskussion 33

6.2. Metoddiskussion 34

7. SLUTSATSER 34

8. FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE **36**

REFERENSE **37**

BILAGA 1: REVIT MODELL FÖR KONTORSBYGGNA **41**

BILAGA 2: PLANRITNING FÖR KONTORSBYGGNADEN **42**

FIGURFÖRTECKNING

Figur 1 Minimalistisk modell som simulerade material värden 14
Figur 2 Basmodellen av byggnaden importerad in i IDA ICE från Revit 15
Figur 3 Strukturen för den första trägrundläggningen 16
Figur 4 Planritning med de olika zonerna i basmodellen 17
Figur 5 Strukturen för den andra trägrundläggningen 18

TABELLFÖRTECKNING

Tabell 1 Värden för 170 mm KL trä som grundplatta utan isolering 20
Tabell 2 Värden för 60 mm KL trä som grundplatta utan isolering 22
Tabell 3 Värden för 250 mm betong som grundplatta utan isolering 23
Tabell 4 Trägrundsbyggnadens värmetillskott och transmissionsförluster under en 1 års tidsram (kWh) IDA ICE 25
Tabell 5 Transmissionsförluster i de olika konstruktionerna av byggnaden med trägrund under en 1 års period 26
Tabell 6 Betonggrundsbyggnadens värmetillskott och transmissionsförluster under en 1 års tidsram (kWh) IDA ICE 27
Tabell 7 Transmissionsförluster i de olika konstruktionerna av byggnaden med betonggrund under en 1 års period 28
Tabell 8 Energianvändningen mellan de två simulerade byggnaderna i kWh 29
Tabell 9 Tabell för energi som gick åt att värma eller kyla ner de olika zonerna i byggnaden med trägrund 29
Tabell 10 Tabell för energi som gick åt att värma eller kyla ner de olika zonerna i byggnaden med betonggrund 29
Tabell 11 Andra trägrundsbyggnadens värmetillskott och transmissionsförluster under en 1 års tidsram (kWh) IDA ICE 31

Tabell 12 Transmissionsförluster i de olika konstruktionerna av den andra trägrundsbyggnaden 32
Tabell 13 Tabell för energianvändning uppdelat per månad för den andra typen av trägrund ... 32

BETECKNINGAR

FÖRKORTNINGAR

Förkortning	Beskrivning
IDA ICE	Integrated Design and Analysis for Integrated Comfort and Energy Efficiency
BBR	Boverkets Byggregler
kWh	kilowattimmar
KL	Korslimmat trä

DEFINITIONER

Definition	Beskrivning
IDA ICE	Integrated Design and Analysis for Integrated Comfort and Energy Efficiency. Ett simuleringsprogram som används för att analysera byggnaders energiprestanda och inomhusklimat.
BBR	Boverkets Byggregler. Sveriges byggnormer som reglerar säkerhet, energihushållning, fuktskydd och tillgänglighet i byggnader.
kWh	Kilowattimme. Enhet för energi. Anger hur mycket energi som förbrukas eller produceras under en timme vid en effekt av 1000 watt.
KL	Byggmaterial bestående av flera lager träskivor som limmats i kors. Ger hög hållfasthet och används som bärande konstruktionsdel. Kallas även CLT (Cross-Laminated Timber).

1. INLEDNING

Energieffektivitet och hållbarhet blir allt viktigare inom byggsektorn, både när det gäller val av byggteknik och material, samt i utvecklingen av mer energieffektiva byggnader. Byggnaders energianvändning står för en betydande del av Sveriges totala energiförbrukning, särskilt genom uppvärmning, kylning och ventilation. Faktorer som värmeförlust genom byggnadsdelar, luftläckage och termisk komfort bidrar väsentligt till energibehovet (Boverket, 2021).

Syftet med denna studie är att genomföra simuleringar och beräkningar av trägrundläggningar som alternativ till betongplattor. Resultaten från simuleringarna jämförs med tidigare data för att identifiera skillnader i energibehov och belysa möjliga för- och nackdelar med att använda trägrund i stället för betonggrund.

1.1. Bakgrund

Bygg- och fastighetssektorn utgör en betydande källa till klimatpåverkan i Sverige och svarade år 2021 för 21,7 procent av landets totala utsläpp av växthusgaser (Boverket, 2024). Trots en minskning av utsläppen med 6 procent mellan 2008 och 2021 kvarstår behovet av omfattande insatser för att ytterligare reducera sektorns miljöbelastning. För att uppnå detta krävs implementering av mer hållbara materialval, energieffektiva byggtekniker samt ett ökat fokus på återanvändning och återvinning av byggprodukter. Energieffektiviteten i byggnader påverkas av flera materialegenskaper och tekniska faktorer som tillsammans styr byggnadens värmeförluster och inomhusklimat. Centrala materialegenskaper är värmeledningsförmåga, densitet och specifik värmekapacitet, vilka avgör hur väl ett material isolerar, lagrar och fördröjer värmeflöden.

Bland de tekniska faktorerna har isoleringens tjocklek och byggnadsdelarnas U-värde en direkt inverkan på energianvändningen. Även köldbryggor, ventilationens utformning och förekomst av värmeåtervinning påverkar byggnadens totala värmebalans. Byggnadens form, orientering och fönsterandel har därtill en roll i hur mycket solenergi som kan tillvaratas passivt. Det är dock viktigt att notera att energieffektiviteten inte enbart beror på materialens teoretiska egenskaper utan också på byggkvalitet, utförande och underhåll, vilket framhålls i (Boverket, 2023)

Trä är ett förnybart och klimatsmart byggmaterial som genom sin naturliga tillväxtcykel bidrar till upptag av koldioxid från atmosfären. Till skillnad från konventionella byggmaterial kräver trä inte energiintensiv utvinning och dess bearbetning medför relativt låga utsläpp av växthusgaser. Dessutom besitter trä goda termiska isoleringsegenskaper, vilket förbättrar byggnaders energieffektivitet genom att minska behovet av uppvärmning och kylning (Holmen, 2024).

Även om trä historiskt sett är ett av de mest använda byggmaterialen, betraktas det i dagens forskningssammanhang ofta som ett alternativ till konventionella material på grund av dess lägre klimatpåverkan och biobaserade ursprung (Dukarska & Mirski, 2023; Operational vs. Embodied Energy,2016).

En övergång till träbaserade grundläggningslösningar skulle kunna främja en mer miljömässigt hållbar byggpraxis genom minskade koldioxidutsläpp och lägre energiåtgång jämfört med betongplattor. Dock krävs ytterligare forskning och teknologisk utveckling för att trägrundläggning på sikt ska kunna utgöra ett fullvärdigt och pålitligt alternativ till dagens dominerande betongbaserade metoder.

1.2. Syfte

Syftet med detta examensarbete är att undersöka trägrundläggning som ett energieffektivt alternativ till traditionella betongplattor i byggnader. Genom att jämföra energiförlusterna mellan två identiska byggnader – där den ena har betongplatta och den andra trägrund – utvärderas hur grundläggningens materialval påverkar byggnadens totala energibehov under ett år. Analysen genomförs med hjälp av energisimuleringar i programvaran IDA ICE, där grundens bidrag till byggnadens värmeförluster studeras. Målet är att öka förståelsen för trägrundens potential som ett energieffektivt alternativ i byggnadskonstruktion.

1.3. Frågeställningar

1. Hur påverkar val av grundläggningsmaterial – trägrundläggning jämfört med betongplattabyggnadens totala energianvändning enligt energisimulering i IDA ICE?

2. Hur stor blir skillnaden för trägrundläggning med tjockare träplatta som har mindre isolering än en trägrundläggning med tunnare träplatta och mer isolering?

3. Hur påverkar olika materialtjocklekar värmeförlusten genom en förenklad byggnadsmodell utan fönster och dörrar?

1.4. Avgränsning

Detta examensarbete avgränsas till att jämföra energianvändning och hur man kan sänka miljöpåverkan mellan två identiska byggnader, där enda skillnaden är typen av grundläggning: en med trägrundläggning i form av isolerat träbjälklag ovan mark, och en med betongplatta på mark med cellplastisolering. Studien genomförs med hjälp av energisimulering i programvaran IDA ICE, och omfattar ett års driftstid baserat på standardklimatdata för Mälardalen. Andra analysverktyg används inte.

Fokus ligger på byggnadens energiprestanda och miljöpåverkan, vilket möjliggör att livscykelperspektiv diskuteras. Däremot omfattar arbetet inte ekonomiska kostnadsjämförelser. Fuktsäkerhet och hållfasthetsdimensionering behandlas inte i detalj. Arbetet utgår från svenska byggstandarder enligt Boverkets byggregler och begränsas till byggnadstyper som småhus inom svenska klimatförhållanden.

2. METOD

Detta examensarbete har som mål att undersöka hur valet mellan trägrundläggning och betongplatta påverkar byggnaders energiprestanda i drift, med fokus på att identifiera mer miljövänliga lösningar.

För att besvara studiens frågeställningar inleddes arbetet med en omfattande informations-insamling. Denna del bestod av att gå igenom tidigare forskning, tekniska rapporter, byggstandarder och relevanta fallstudier som belyser användningen av trä i grundläggningssammanhang. Genom denna inledande studie skapades en grundläggande förståelse för området samt insikter om var det saknas kunskap.

Med detta som bakgrund konstruerades två digitala modeller i IDA ICE av en identisk kontorsbyggnad, där den enda skillnaden mellan modellerna är typen av grundläggning: en med trägrundläggning och en med betongplatta på mark. Dessa modeller användes i programvaran IDA ICE för att genomföra detaljerade energisimuleringar, där byggnadernas energianvändning under ett normalår analyserades utifrån klimatförhållandena i Mälardalen.

Två nya grundläggningar skapas som båda består utav korslimmatträ och isolering, de två grunderna skiljer sig med hur mycket material som används. Den första trägrunden består av en tunnare träplatta som är 60 mm och har isolering som är 250 mm tjock. Den andra trägrundskonstruktionen har en träplatta som är 170 mm korslimmatträ istället för 60 mm, Styrofoam 250 100+100mm och 200 mm Makadam samt isoleringen som är 200 mm.

Kontorsbyggnaden simuleras med de olika grunderna för att ta fram energiförlusterna i golvet för att kunna jämföra de olika effekterna som grunderna har på byggnaden detta beräknas i kWh.

För en bättre förståelse av materialens energieffektivitet skapade även en modell som endast är ett rum som inte har några dörrar eller väggar. Modellen användes för att jämföra två olika träplattor utan någon typ av isolering och en betongplatta som inte heller använde sig av någon isolering. Denna modell simulerades för att få fram värden för olika tjocklekar av trä samt betong när de används i ett golv utan några andra material.

Resultaten från simuleringarna jämförs och kopplas till litteraturstudiens slutsatser. På så sätt utvärderas vilka typ av skillnader som befinner sig bland de olika materialvalen samt hur deras tjocklekar påverkar en byggnads energieffektivitet med de olika typerna av grunder.

2.1. Litteraturstudie

För att skapa en djupare förståelse för ämnet och ge arbetet en teoretisk förankring har en omfattande litteraturstudie genomförts. Syftet har varit att undersöka nuvarande kunskapsläge kring trä- och betonggrundläggning, samt att identifiera hur dessa metoder påverkar byggnaders energiprestanda. Fokus låg särskilt på svenska byggpraxis, materialegenskaper, fuktsäkerhet och tekniska krav kopplade till respektive grundläggningsmetod. Litteraturen har hämtats från vetenskapliga artiklar, branschrapporter, myndighetspublikationer och tekniska vägledningar från exempelvis Boverket, RISE, Svenskt Trä och Trä Guiden.

Sökorden har anpassats utifrån arbetets frågeställningar och inkluderade bland annat ”trägrundläggning”, ”betongplatta”, ”grundläggning energi”, samt ”IDA ICE”. Resultatet från litteraturstudien har inte bara belyst befintliga byggtekniska lösningar, utan också identifierat faktorer som påverkar varför betongplatta dominerar marknaden i praktiken. Samtidigt har studien visat att trägrund, trots sina miljöfördelar, har ett relativt begränsat genomslag i dagens byggbransch. Detta gör ämnet särskilt relevant att undersöka vidare, framför allt med avseende på framtida energieffektiva byggsystem.

2.1.1. IDA ICE

Simuleringar av byggnader har blivit ett viktigt verktyg för att kunna få en bättre förståelse hur man kan optimera energiprestanda och förbättra inomhuskomforten i nya och befintliga byggnader. Flera simuleringsverktyg har utvecklats för detta ändamål, bland annat IDA ICE (Inomhusklimat och Energi) är ett av de mest använda och välvaliderade programmen i Norden (EQUA Simulation AB, n.d.).

IDA ICE används för att skapa detaljerade, fysiskt baserade byggnadsmodeller som tar hänsyn till byggnadens klimatskal, tekniska system och inomhusklimat. Soleimani-Mohseni, Nair och Hasselrot (2016) visade i en jämförande studie att IDA ICE kan simulera energianvändning i höghus under olika klimatförhållanden med hög tillförlitlighet. Resultaten visar på god överensstämmelse mellan simulerade och uppmätta värden, vilket ökar verktygets användbarhet i forsknings- och designprocesser.

I en bredare systematisk genomgång av energisimuleringsverktyg i byggnadsdesignfasen utvärderade Gonzalo, Santamaría och Burgos (2023) flera programvaror, med fokus på detaljnivån och dynamiska simuleringsmöjligheter hos IDA ICE. Men även inlärningskurvans utmaningar och kravet på god förståelse för byggnadsfysik noterades. Vid val av verktyg behöver dessa faktorer vägas mot användarens syfte och kompetens.

Vidare har Ferrando et al. (2021) Utvecklingen av så kallade Urban Building Energy Models (UBEMs), där byggnadsmodeller sätts in i ett större sammanhang – till exempel en tätort eller en hel stad. Här är den traditionella tillämpningen av verktyg som IDA ICE begränsad på grund av hög modellkomplexitet och långa simuleringscykler, men trenden går mot mer integrerade lösningar och högre skalbarhet.

Reddy (2006) betonade vikten av att använda sig av korrekt indata och inställningar i simuleringsprogrammet för att säkerställa resultatens giltighet. Detta gäller särskilt för modeller baserade på verkliga byggnader, där datakvalitet och antaganden har en betydande inverkan på resultaten. Den transparenta strukturen hos IDA ICE, där ekvationer och parametrar är fullt synliga för användaren, är en fördel i ett kalibreringssammanhang.

Samtidigt utvecklas data- och AI-drivna lösningar snabbt. Jiang et al. (2025) granskade fysikinformerad maskininlärning i byggnadssimulering, som kan uppnå kraftfulla förutsägelser utan att helt förlita sig på klassiska fysiska modeller. Det förväntas att dessa metoder kommer att komplettera, snarare än att ersätta, verktyg som IDA ICE i framtiden.

Sammanfattningsvis tyder litteraturen på att IDA ICE är ett moget, forskningsbaserat verktyg som lämpar sig väl för detaljerade byggsimuleringar, särskilt i projekt som kräver hög noggrannhet och vetenskaplig transparens. Samtidigt står fältet inför en omvandling, där hybridmodeller, maskininlärning och urbana perspektiv blir allt viktigare.

2.2. Koppling mellan frågeställningar och metoder för datainsamling.

Hur påverkar val av grundläggningsmaterial – trägrundläggning jämfört med betongplatta – byggnadens totala energianvändning enligt energisimulering i IDA ICE?

För att besvara denna fråga har energisimuleringar genomförts i programvaran IDA ICE. Två identiska byggnader har modellerats, med undantaget att grundläggningarna skiljer sig – den ena har träbjälklag ovan mark och den andra en platta på mark av betong. Energianvändningen har sedan analyserats över ett års driftstid, med utgångspunkt i Mälardalens klimatzon. Simuleringsdata används för att kvantitativt jämföra resultaten.

3. ÄMNESMÄSSIG REFERENSRAM

3.1. Platta på mark (betong)

Platta på mark är den mest använda grundläggningsmetoden för småhus i Sverige idag (Boverket, 2023). Konstruktionen består vanligtvis av en armerad betongplatta som gjuts direkt på marken, där laster från byggnaden tas upp av kantbalkar som placeras längs ytterväggarnas linjer (TräGuiden, 2022). Under betongen placeras värmeisolerande cellplast (EPS), som skyddar mot markkyla samtidigt som den utgör ett bärande och formstabilt underlag (Svensk Byggtjänst, 2021). Fuktskydd uppnås genom dränerande material (t.ex. makadam), fuktskyddsfolie samt korrekt marklutning bort från huset, i enlighet med Boverkets byggregler (BBR 29, 2023).

En av de främsta orsakerna till att platta på mark är så utbredd är dess **kostnadseffektivitet**. Betongen, armeringen och isoleringen är standardiserade och lättillgängliga byggmaterial med etablerade leverantörskedjor, vilket ger låga materialkostnader (RISE, 2019). Dessutom krävs inga källarutgrävningar eller omfattande formsättningar, vilket minskar arbetskostnader och maskintid (TräGuiden, 2022).

Ur ett **byggtekniskt perspektiv** är processen väl optimerad: först schaktas marken till rätt nivå, därefter packas bärlager, dränering och isolering läggs, följt av armering och slutligen gjutning av betongen. Hela detta moment kan genomföras på bara några dagar vid god planering (Byggkeramikrådet, 2021). Tekniken tillåter också att stomresningen kan påbörjas kort efter att plattan har härdat, vilket ger ett snabbt byggflöde och minskar total byggtid (Svenskt Trä, 2020). Denna metodik, i kombination med få moment och få riskpunkter, gör platta på mark till ett attraktivt alternativ för byggföretag som eftersträvar effektiv produktion och låg risk för byggfel.

Sammantaget är platta på mark inte bara tekniskt beprövad och anpassad till svenska förhållanden, utan också en rationell lösning ur både ekonomiskt och logistiskt perspektiv. Detta gör att den ofta betraktas som ett standardval i småhusproduktion och därmed utgör en relevant jämförelsegrund i studier av alternativa grundläggningsmetoder såsom trägrund.

3.2. Trägrund

Trägrundläggning är en alternativ metod till den mer konventionella betongplattan, där syftet är att ersätta betongen i bärande eller isolerande delar av grunden med träbaserade konstruktionslösningar. Den vanligaste formen av trägrund utgörs av krypgrund eller en variant av platta på mark där trä används som bärande system i kombination med god isolering och ventilerade lösningar (TräGuiden, 2022). Grunden vilar oftast på lättare punktfundament eller betongplintar, vilket minimerar markarbeten och möjliggör byggnation på ojämn eller känslig mark.

Trä som konstruktionsmaterial erbjuder flera fördelar. Dels är det förnybart, lätt att bearbeta och har låg klimatpåverkan jämfört med betong (RISE, 2019). Träbaserade grundkonstruktioner väger dessutom mindre, vilket förenklar transporter, minskar behovet av tunga maskiner och underlättar montage på plats (Svenskt Trä, 2020). Därför anses trägrund vara en potentiellt kostnadseffektiv lösning för småhus, fritidshus och modulbaserade byggsystem, särskilt i områden med låg lastkrav eller svåråtkomlig terräng.

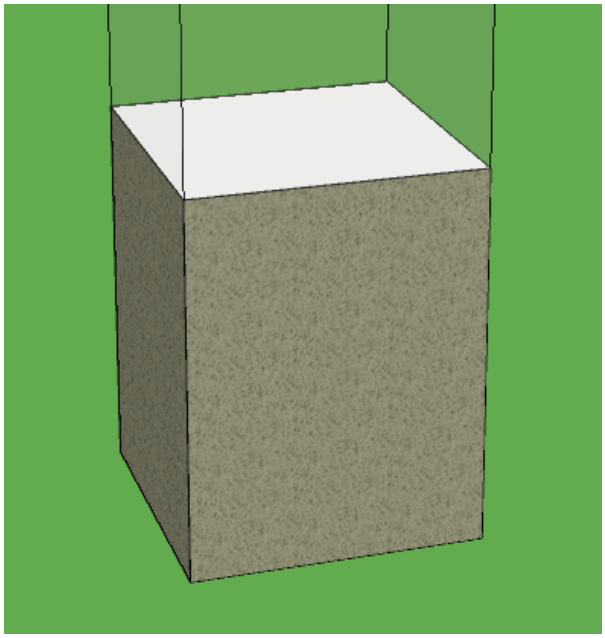
Det krävs dock särskild teknisk utformning för att trägrunder ska uppnå likvärdig hållbarhet och funktion som betong. Trä i marknära miljö är särskilt utsatt för fukt, mögel och röta. För att öka beständigheten används tryckimpregnerat trä, eller träskydd genom t.ex. acetylation, värmebehandling eller biocidfri kemisk modifiering (SP Wood, 2020). Konstruktionen måste dessutom säkerställa god ventilation, fuktskydd, dränering och kapillärbrytande lager, vilket kräver noggrann projektering (Boverket, 2023).
En vanlig kritik mot trägrund är just risken för fuktrelaterade skador, vilket historiskt lett till ett minskat förtroende bland både byggare och beställare. Flera studier visar dock att moderna trägrunder, rätt dimensionerade och ventilerade, kan uppvisa god långsiktig prestanda – särskilt i kombination med prefab-teknik där byggfukten minimeras (Trästad Sverige, 2021). Trots detta används trägrund i mycket liten skala i nyproduktion av villor i Sverige idag, vilket kan bero på branschpraxis, osäkerhet kring regelverk och begränsad kunskap snarare än tekniska hinder.

Trägrundens fördelar inom hållbarhet, vikt, logistik och klimatavtryck gör att den är av stort intresse i studier som jämför alternativa grundläggningsmetoder. Dess potential ligger framför allt i framtidens energieffektiva och modulerat byggande.

4. AKTUELL STUDIE

Detta kapitel presenterar modellen och simuleringsdata som används för att jämföra energiprestanda för träfundament och betongplattor. IDA ICE simulerade tre olika grundkonstruktioner med samma byggnad. Resultaten visar hur materialvalet påverkar värmeförlusten och energianvändningen under ett års drift i det svenska klimatet.

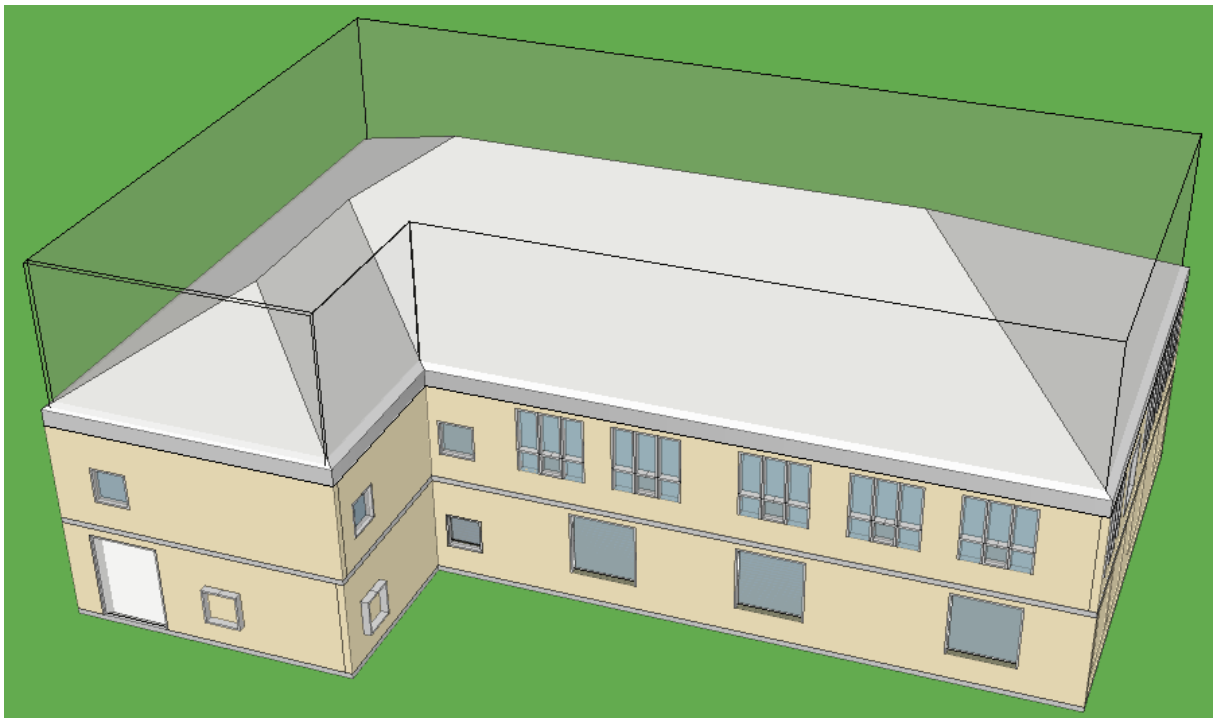
4.1. IDA ICE modellen



Figur 1 Minimalistisk modell som simulerade material värden

Figur 1 är en modell som skapades för att kunna simulera endast enstaka material och inte hela konstruktioner. Modellen hade en golvyta på 4 kvadratmeter och hade inga fönster eller dörrar som skulle kunna släppa ut värme.

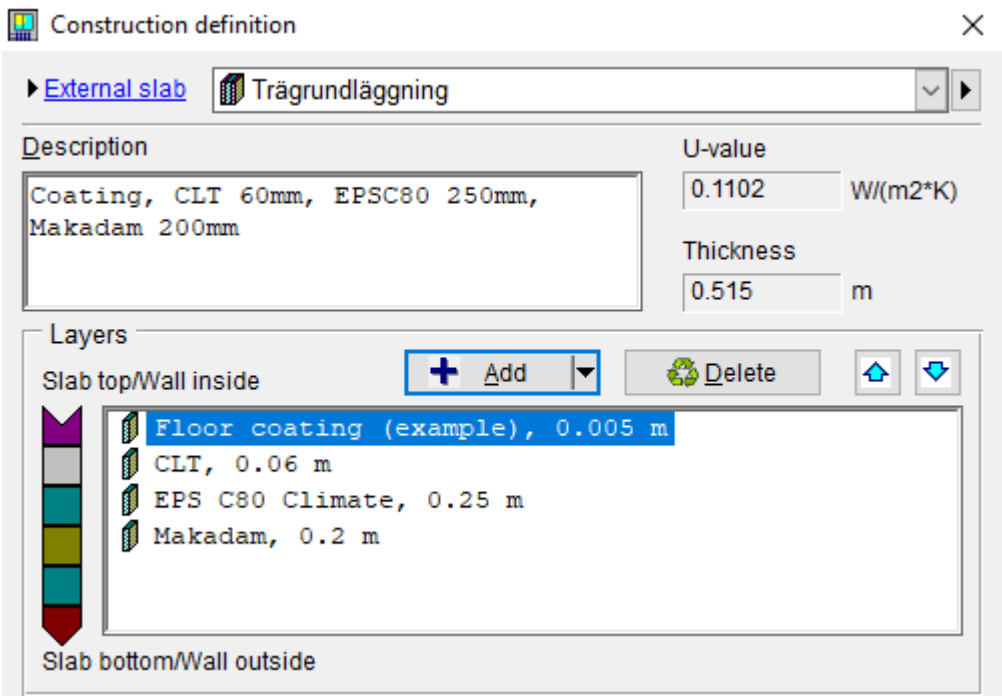
Modellen var skapad för att ha minsta antal faktorer som påverkar hur simulering tar fram värden för individuella material i basen av byggnaden. Den enkla modellen simulerade fram värden för korslimmat trä som var 170 mm och 60 mm tjockt. Konstruktionerna i simuleringarna för denna byggnad hade inga isoleringsmaterial. Det simulerades även fram värden för en platta av betong som var 250 mm tjock. Skillnaden i energi mellan de olika materialen tas fram i kWh och jämförs mellan de olika tjocklekarna samt materialen.



Figur 2 Basmodellen av byggnaden importerad in i IDA ICE från Revit

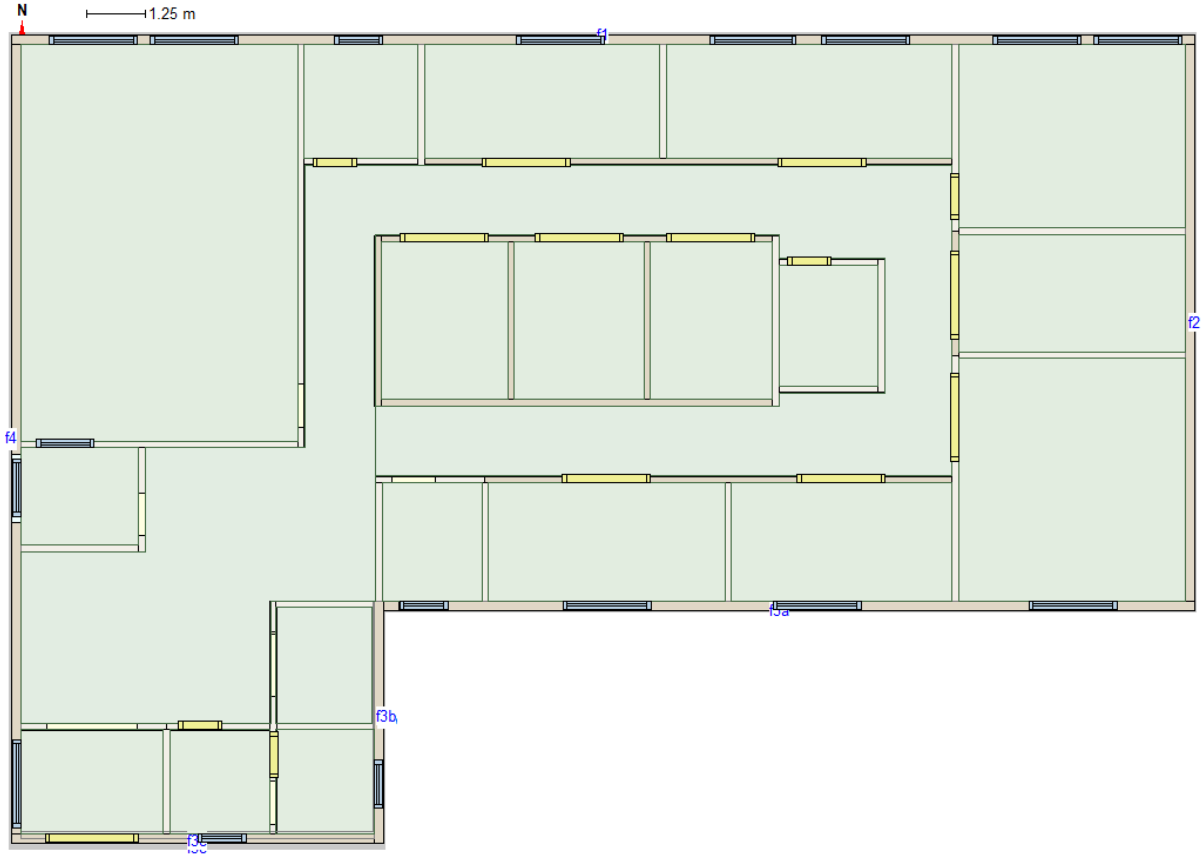
Basmodellen som var grunden för analys i arbetet skapades i Revit och är använd för alla tre simuleringar där två av simuleringarna har en trägrundläggning med olika strukturer och den tredje simuleringen byter ut grunden till en betonggrund. Byggnaden är en kontorsbyggnad med två våningar där endast nedre våningen simuleras där grundläggningen har sin största påverkan. Byggnaden är uppdelad i 20 olika zoner där varje zon representerar olika rum/ gångarhallar i byggnaden. De olika zonerna varierar i storlek från den minsta som är 4,6 m^2 till 85 m^2. Den totala arean är 312 m^2 på den nedre våningen som användes för simuleringen.

Simuleringen var inställd som om att byggnaden var placerad i Västerås då det är en teoretisk byggnad. Västerås valdes då det fanns data i IDA-ICE för vädret under en årsperiod från tidigare år. Byggnadens baksida var riktad norr och framsida söder. Vädret som används för de olika simuleringarna är då baserade hur vädret brukar vara i Västerås under en årsperiod.



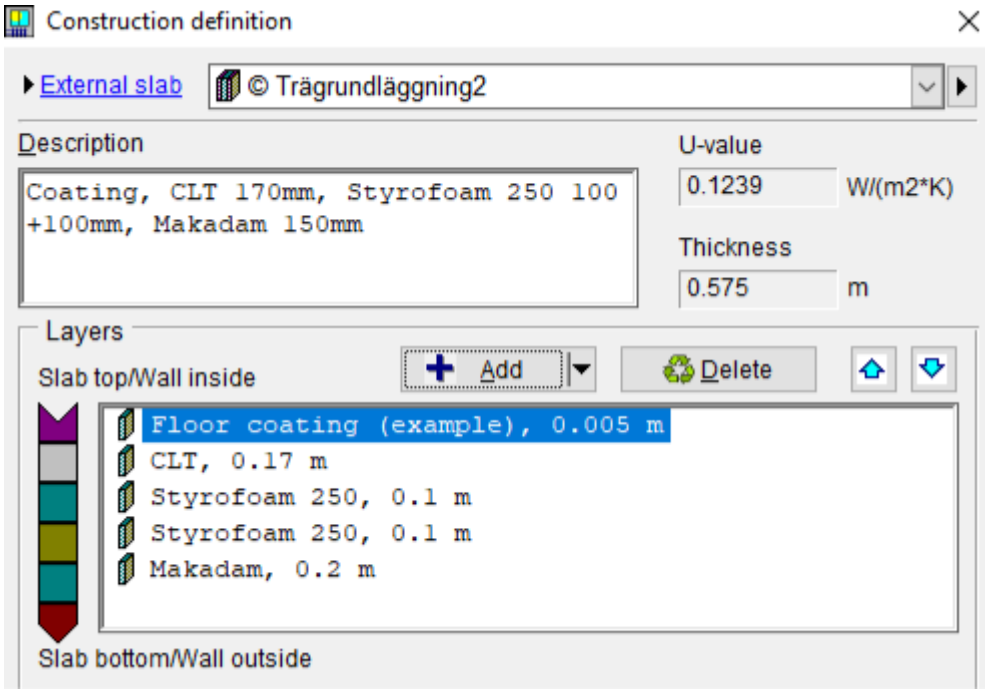
Figur 3 Strukturen för den första trägrundläggningen

Trägrundens struktur var 200 mm Makadam, 250 mm EPS C80 Climate och 60 mm CLT som hade ett U-värde på 0,1102 W/(m²*K). Alla andra typer av konstruktionselement gjorde automatiskt i programmet då den sätter in standardiserade värden i konstruktioner som finns i dess databas. Alla fönster i byggnaden var 3 panels fönster som hade ett mellanrum på 12 mm mellan varje panel. Ventilationen var inställd individuellt per zon beroende på hur många som vistas i varje rum. Alla kontorsrum var gjorda för en person och ventilationen var inställd för det. Kontorets elektricitet och lampor hade inställningar som var baserade på hur en arbetsvecka ser ut då ingen använder sig av kontoret på till exempel helger eller på kvällar.



Figur 4 Planritning med de olika zonerna i basmodellen

Bland de olika zonerna var det 7 kontorsrum som varierade i storlek mellan 9–13 kvadratmeter. De större zonerna bestod av en gånghall, matsal, konferensrum och en dedikerad datorsal. Gånghallen var 85 kvadratmeter och hade den största ytan. Resterande zonerna var mindre rum som handikapptoalett, omklädningsrum och entré bland annat. Den minsta zonen som fanns i byggnaden var 4,6 m^2 som var ett förråd. Temperaturen i simuleringen var inställd att uppnå en termisk komfort som ligger mellan 21–25 grader Celsius vid alla tillfällen.



Figur 5 Strukturen för den andra trägrundläggningen

I figur 4 redovisas strukturen av den andra trägrundläggningen som använder sig av en tjockare träplatta som är 170 mm tjock istället för träplattan som i tidigare simulering var 60 mm. Det används även två tunnare isoleringsmaterial som är 100 mm tjocka istället för en tjockare variant som var 250 mm.

5. RESULTAT

I detta kapitel presenteras den data som har samlats in från simuleringar och beräkningar som har gjorts utifrån studiemodellerna. Energiskillnaderna som man får från att byta ut en betonggrundläggning till en trägrundläggning. Trots att trägrundläggning erbjuder flera tekniska och miljömässiga fördelar är det fortfarande betongplattan som dominerar inom nybyggnation av småhus i Sverige. Det finns flera praktiska orsaker till detta, som bottnar i etablerade byggpraxis, materialegenskaper, regelverk och branschens erfarenheter.

Betongplattan är idag en standardlösning i byggbranschen. Arkitekter, konstruktörer och entreprenörer har färdiga rutiner för dimensionering, projektering och produktion. Det

möjliggör ett effektivt, snabbt och lågriskmässigt byggflöde. Eftersom betongplattan kombinerar grund och golvbjälklag i ett, minskar den behovet av separata konstruktionsmoment, vilket gör den mycket tidsbesparande vid exempelvis stomresning (Svenskt Trä, 2020). Betongens egenskaper som oorganiskt material innebär dessutom att den är mycket motståndskraftig mot fukt, mögel och biologisk nedbrytning – en fördel i det svenska klimatet, där markfukt är ett återkommande problem (Boverket, 2018).

Trägrundläggning, däremot, kräver mer en mer komplicerad lösning och noggrannare fuktsäkring. Även om moderna lösningar som ventilerade eller isolerade krypgrunder och prefabricerade trämoduler har förbättrat säkerheten, uppfattas trä fortfarande som ett känsligare material. För att nå motsvarande livslängd som betong krävs både impregnering, skyddande luftspalter och korrekt montering – vilket ställer högre krav på både projektering och utförande (TräGuiden, 2022). Detta avskräcker många byggherrar som prioriterar standardisering och låga risker.

Därtill finns ett historiskt bagage där träbaserade krypgrunder haft problem med fukt och mögel, särskilt under 1980- och 90-talen. Trots tekniska förbättringar lever dessa problem kvar i branschens kollektiva minne och påverkar tilliten till trägrund negativt (Trästad Sverige, 2021). En annan praktisk aspekt är att få hustillverkare idag erbjuder trägrund som standard, vilket gör det mindre tillgängligt och därmed ofta dyrare i praktiken.

Regelverk, försäkringsfrågor och garantier är också tydligare för betongplattor. De uppfyller etablerade byggregler och har väl dokumenterad prestanda, vilket förenklar bygglovsprocessen. Trägrund kräver mer specifik dokumentation och projektspecifik anpassning för att godkännas enligt gällande normer (Boverket, 2018).

Sammanfattningsvis beror betongplattans dominans inte enbart på materialets tekniska fördelar, utan också på att det är ett standardiserat, välbeprövat och fukttåligt system som passar väl in i branschens etablerade arbetssätt. Trägrund har potential, men kräver mer kunskap, projektering och anpassning – vilket i praktiken ofta gör det mindre attraktivt för volymproduktion och större byggaktörer.

5.1. Energiprestanda och värmeförluster för 170 mm KL-trägrund utan isolering i den enkla modellen

Tabell 1 Värden för 170 mm KL trä som grundplatta utan isolering

kWh

Month	Walls	Roof	Floor	Windows	Doors	Thermal bridges
1	-72.1	0.0	-30.5	0.0	0.0	0.0
2	-63.7	0.0	-30.3	0.0	0.0	0.0
3	-58.9	0.0	-36.3	0.0	0.0	0.0
4	-41.6	0.0	-34.9	0.0	0.0	0.0
5	-28.2	0.0	-32.0	0.0	0.0	0.0
6	-14.7	0.0	-25.0	0.0	0.0	0.0
7	-9.2	0.0	-18.8	0.0	0.0	0.0
8	-12.7	0.0	-12.7	0.0	0.0	0.0
9	-26.8	0.0	-9.8	0.0	0.0	0.0
10	-45.4	0.0	-12.3	0.0	0.0	0.0
11	-58.3	0.0	-17.5	0.0	0.0	0.0
12	-66.8	0.0	-24.9	0.0	0.0	0.0
Total	-498.3	0.0	-285.1	0.0	0.0	0.0
During heating	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
During cooling	-498.3	0.0	-285.0	0.0	0.0	0.0
Rest of time	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0

Tabellen visar resultat från energisimuleringen i IDA ICE, där värmeförluster genom olika byggnadsdelar har analyserats för en byggnad med trägrund. Grundens konstruktion består av 170 mm limträ. Resultaten är uppdelade per månad och visar specifikt i kWh genom väggar, tak, grundgolv, fönster, dörrar och köldbryggor.

Av tabellen framgår att de största värmeförlusterna sker genom ytterväggar (totalt -498,3 kWh) och genom trägrunden (-285,1 kWh). Större delen av alla värmeförluster sker under hösten och vintern då det är kallare väder under de perioderna. Detta är vanligt vid simulering i kallt klimat, där byggnaden behöver tillföras värme under större delen av året.

Noterbart är att januari och februari står för de största enskilda energiförlusterna, vilket är i linje med de lägsta utomhustemperaturen under året. Simuleringarna ger en tydlig bild av hur värme försvinner ur byggnaden, och att isoleringens prestanda i golvkonstruktioner har stor påverkan på byggnadens energibehov.

5.2. Energiprestanda och värmeförluster för 60 mm KL-trägrund utan isolering i den enkla modellen

Tabell 2 Värden för 60 mm KL trä som grundplatta utan isolering

kWh

Month	Walls	Roof	Floor	Windows	Doors	Thermal bridges
1	-69.7	0.0	-50.9	0.0	0.0	0.0
2	-61.4	0.0	-50.4	0.0	0.0	0.0
3	-56.5	0.0	-59.3	0.0	0.0	0.0
4	-39.5	0.0	-55.5	0.0	0.0	0.0
5	-26.7	0.0	-49.8	0.0	0.0	0.0
6	-13.8	0.0	-38.2	0.0	0.0	0.0
7	-8.6	0.0	-28.3	0.0	0.0	0.0
8	-12.2	0.0	-19.6	0.0	0.0	0.0
9	-25.9	0.0	-16.6	0.0	0.0	0.0
10	-44.0	0.0	-22.3	0.0	0.0	0.0
11	-56.3	0.0	-31.1	0.0	0.0	0.0
12	-64.5	0.0	-43.1	0.0	0.0	0.0
Total	-479.1	0.0	-465.2	0.0	0.0	0.0
During heating	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
During cooling	-479.2	0.0	-465.3	0.0	0.0	0.0
Rest of time	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0

Tabellen visar resultat från en energisimulering för en byggnad med trägrund av 60 mm KL. korslimmat trä. Simuleringen fokuserar på värmeförluster genom olika byggnadsdelar under årets månader, uttryckt i kilowattimmar (kWh).

De största värmeförlusterna sker genom ytterväggarna och golvet (grundkonstruktionen), medan tak, fönster, dörrar och köldbryggor inte bidrar nämnvärt i denna specifika modell. Golvet står för en total värmeförlust på -465,2 kWh under året, medan väggarna uppvisar en total förlust på -479,1 kWh.

Alla registrerade värmeförluster sker under den så kallade kylperioden enligt IDA ICE:s klassificering, vilket i detta sammanhang motsvarar den svenska uppvärmningssäsongen. Detta innebär att byggnaden under årets kalla månader kontinuerligt förlorar värme genom klimat skalet och kräver tillförd energi för att hålla inomhustemperaturen stabil.

De högsta enskilda månadsförlusterna inträffar under vintermånaderna – särskilt i januari, februari och december – vilket stämmer överens med årets lägsta utomhustemperaturer. I januari förloras exempelvis -50,9 kWh genom golvet och -69,7 kWh genom väggarna.

Dessa resultat ger en tydlig bild av hur byggnadens klimatskäl presterar ur energisynpunkt när 60 mm KL-trä används som grundkonstruktion. De visar vilka delar av byggnaden som är mest utsatta för värmeförluster och ger därmed ett viktigt beslutsunderlag för vidare

optimering av isolering och konstruktionsval. Energiprestanda och värmeförluster för 250mm betonggrund utan isolering i den enkla modellen

Tabell 3 Värden för 250 mm betong som grundplatta utan isolering

kWh

Month	Walls	Roof	Floor	Windows	Doors	Thermal bridges
1	-70.1	0.0	-67.4	0.0	0.0	0.0
2	-61.8	0.0	-66.6	0.0	0.0	0.0
3	-56.5	0.0	-77.7	0.0	0.0	0.0
4	-39.3	0.0	-71.9	0.0	0.0	0.0
5	-26.3	0.0	-64.0	0.0	0.0	0.0
6	-13.4	0.0	-48.8	0.0	0.0	0.0
7	-8.3	0.0	-36.0	0.0	0.0	0.0
8	-12.2	0.0	-25.2	0.0	0.0	0.0
9	-26.1	0.0	-22.1	0.0	0.0	0.0
10	-44.3	0.0	-30.1	0.0	0.0	0.0
11	-56.6	0.0	-41.9	0.0	0.0	0.0
12	-64.9	0.0	-57.6	0.0	0.0	0.0
Total	-479.8	0.0	-609.2	0.0	0.0	0.0
During heating	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
During cooling	-479.7	0.0	-609.2	0.0	0.0	0.0
Rest of time	-0.1	0.0	-0.0	0.0	0.0	0.0

Tabellen visar resultatet från en energisimulering i IDA ICE för en byggnad med 250 mm tjock **betongplatta** på mark. Syftet är att analysera var i byggnadens klimatskal de största värmeförlusterna sker under året. Alla värden anges i kilowattimmar (kWh) och är fördelade månadsvis samt per byggnadsdel.

Betongplattan, som här representeras av kategorin "Floor", står för den största andelen värmeförluster under hela året. Den totala energiförlusten genom golvet uppgår till 609,2 kWh, vilket visar att grundkonstruktionen har ett väsentligt inflytande på byggnadens totala energibalans. Även ytterväggarna bidrar med betydande förluster, dock i mindre omfattning.

Värmeförlusterna inträffar uteslutande under uppvärmningssäsongen, vilket framgår av raderna “During cooling” och “During heating”. Inga förluster har registrerats under sommarhalvåret eller övrig tid. Den högsta belastningen sker under vintermånaderna, särskilt januari, februari och december, då både golv och väggar förlorar mest energi till den omgivande marken och utomhusluften.

5.3. Kontorsmodell med trägrundläggning

Tabell 4 Trägrundsbyggnadens värmetillskott och transmissionsförluster under en 1 års tidsram (kWh) IDA ICE

kWh (sensible only)

Month	Envelope & Thermal bridges	Internal Walls and Masses	Window & Solar	Mech. supply air	Infiltra-tion & Openings	Occupants	Equipment	Light	Local heating units	Local cooling units	Net losses
1	-2092.8	-1.5	-1045.7	-12950.3	-52.9	6982.3	323.0	430.7	11658.9	-3252.0	0.0
2	-2069.5	-1.7	-856.9	-11654.8	-46.9	6024.4	280.9	374.5	10775.5	-2825.1	0.0
3	-1922.0	-2.7	-393.0	-12947.2	-49.4	6298.3	295.0	393.3	11314.2	-2986.0	0.0
4	-1379.5	-3.2	355.2	-12787.0	-52.3	6515.3	309.0	411.9	9739.1	-3107.5	0.0
5	-1061.5	-3.2	962.5	-13314.2	-50.8	6367.6	309.0	411.9	9283.6	-2904.8	0.0
6	-704.8	-3.6	1265.2	-12995.3	-46.6	5826.9	294.9	393.1	8417.7	-2436.9	0.0
7	-547.1	-3.1	1294.0	-13613.3	-48.9	6177.7	323.0	430.6	8359.6	-2371.1	0.0
8	-600.7	-3.1	967.7	-13399.9	-45.3	5726.8	294.9	393.1	8945.0	-2277.3	0.0
9	-942.8	-3.8	464.1	-12976.2	-48.4	6211.9	309.0	411.9	9219.7	-2644.8	0.0
10	-1393.0	-3.5	-215.3	-13205.2	-52.0	6796.9	323.0	430.6	10419.1	-3099.3	0.0
11	-1710.4	-1.2	-759.5	-12499.2	-45.8	6058.1	280.9	374.5	11136.5	-2834.4	0.0
12	-2006.6	-1.3	-1071.5	-12969.6	-52.5	6993.6	323.0	430.7	11614.8	-3260.0	0.0
Total	-16430.7	-31.9	966.9	-155312.2	-591.7	75979.6	3665.5	4886.8	120883.7	-33999.2	0.0
During heating (MIXED h)	-11719.4	2349.0	-1750.4	-126590.1	16.7	10577.6	2669.3	3559.1	120871.5	0.0	0.0
During cooling (MIXED h)	-4588.6	-2406.5	1188.5	-25448.6	-594.9	63815.3	881.2	1174.8	0.0	-34001.3	0.0
Rest of time	-122.7	25.6	1528.8	-3273.5	-13.5	1586.7	115.0	152.9	12.2	2.1	0.0

Tabell 4 innehåller värden som har tagits fram från simuleringen på byggnaden som har en trägrundläggning. Tabellen ger oss hur mycket kWh som krävs av uppvärmning eller kylning för att kunna nå en termisk komfort i byggnaden, då simuleringen är under en årsperiod så får man värden när det är kallt och varmt utomhus.

"Occupant, Equipment och Light" i tabellen är de interna energi/värmetillskotten som inte är aktiva dygnet runt och hade inställningar att följa ett schema som liknade en arbetsvecka. Dessa värden har ingen större påverkan då de endast kommer att variera med väldigt små marginaler eftersom inställningarna använder sig av samma värden för alla tre simulationer. De ända relevanta värdena från simuleringarna blir då "Envelope & Thermal Bridges" och "Local heating units" eftersom de har en väldigt stor variation i mängden kWh.

Tabell 5 Transmissionsförluster i de olika konstruktionerna av byggnaden med trägrund under en 1 års period

Envelope transmission

kWh

Month	Walls	Roof	Floor	Windows	Doors	Thermal bridges
1	-1473.0	0.0	-344.7	-1382.6	-275.1	0.0
2	-1471.8	0.0	-332.0	-1408.7	-265.7	0.0
3	-1292.2	0.0	-386.0	-1294.8	-243.6	0.0
4	-830.9	0.0	-392.1	-942.1	-156.5	0.0
5	-536.3	0.0	-412.9	-718.9	-112.3	0.0
6	-267.1	0.0	-382.8	-457.0	-54.9	0.0
7	-155.3	0.0	-362.9	-366.3	-28.9	0.0
8	-237.8	0.0	-326.4	-407.8	-36.5	0.0
9	-557.7	0.0	-291.8	-665.7	-93.3	0.0
10	-938.1	0.0	-283.0	-958.8	-171.8	0.0
11	-1212.0	0.0	-273.5	-1166.3	-224.9	0.0
12	-1428.8	0.0	-309.2	-1329.4	-268.4	0.0
Total	-10400.9	0.0	-4097.5	-11098.4	-1931.9	0.0
During heating	-7581.5	0.0	-2173.3	-9780.6	-1964.2	0.0
During cooling	-2679.4	0.0	-1907.9	-1129.6	-1.4	0.0
Rest of time	-140.0	0.0	-16.3	-188.2	33.7	0.0

Värden i tabell 5 är simuleringsvärden från IDA ICE som visar hur mycket energi i kilowattimmar som överförs genom olika konstruktionselement i byggnaden under en årsperiod. De negativa värden betyder att det är förluster i energi genom de delarna. De värden som befinner sig under "Floor" kommer att vara jämförelsesiffror mellan betonggrundens siffror. Om det negativa värdet är större betyder det att det är en större förlust utav energi.

De olika konstruktionerna hade ett totalt läckage som var –27 527 kWh/år. Tabell 2 ger oss värden som visar att fönster har stora förluster som är -11 098 kWh som var ekvivalent till ungefär 40% utav energiförlusterna genom transmission. Byggnaden har många fönster vilket gör att de blir rimligt att det kan vara relativt stor mängd energi som försvinner igenom där. Väggarna hade de andra största transmissionsförlusterna som blev –10 400 kWh som läckte genom och det stod för ungefär 38% utav totala energiförlusterna. Golvets transmissionsförluster låg på -4097 kWh som är den tredje största förlusten vilket var ungefär 15% av energin bland byggnadselementen. Det minsta läckaget var genom dörrarna som var –1931 kWh och var cirka 7%.

5.4. Värden för modell med betonggrundläggning

Tabell 6 Betonggrundsbyggnadens värmetillskott och transmissionsförluster under en 1 års tidsram (kWh) IDA ICE

All zones

kWh (sensible only)

Month	Envelope & Thermal bridges	Internal Walls and Masses	Window & Solar	Mech. supply air	Infiltra-tion & Openings	Occupants	Equipment	Light	Local heating units	Local cooling units	Net losses
1	-4125.5	-0.9	-1037.6	-12720.0	-50.6	7113.0	323.0	430.6	13223.5	-3155.0	0.0
2	-3976.0	-1.9	-847.5	-11417.2	-44.8	6131.2	280.8	374.5	12237.7	-2734.5	0.0
3	-4170.8	-2.1	-385.0	-12728.2	-46.2	6469.0	294.9	393.1	13078.0	-2902.8	0.0
4	-3520.2	-2.3	362.6	-12579.3	-47.6	6802.3	309.0	411.9	11332.7	-3068.0	0.0
5	-2877.7	-2.1	969.8	-13109.9	-45.4	6776.6	309.0	411.9	10536.4	-2969.2	0.0
6	-2163.3	-1.5	1272.6	-12790.9	-41.0	6266.9	294.9	393.2	9324.7	-2547.2	0.0
7	-1799.9	-1.4	1301.3	-13396.8	-42.7	6653.9	323.0	430.7	9024.3	-2492.0	0.0
8	-1630.6	-2.0	973.7	-13219.9	-40.1	6151.9	295.0	393.3	9474.9	-2396.3	0.0
9	-1971.8	-2.5	469.1	-12810.7	-43.5	6635.0	309.0	411.9	9764.3	-2759.8	0.0
10	-2643.9	-2.2	-210.8	-13054.4	-47.6	7140.1	323.0	430.7	11210.6	-3146.0	0.0
11	-3191.4	-0.4	-753.7	-12341.7	-43.1	6219.1	280.9	374.5	12230.4	-2775.7	0.0
12	-3866.1	-0.6	-1064.2	-12751.7	-50.3	7121.1	322.9	430.6	13024.7	-3167.0	0.0
Total	-35937.1	-19.8	1050.2	-152920.7	-542.7	79480.3	3665.4	4886.8	134462.2	-34113.5	0.0
During heating (MIXED h)	-25674.2	2117.1	-1166.4	-127056.4	-5.9	10985.6	2715.8	3621.4	134458.3	0.0	0.0
During cooling (MIXED h)	-9665.4	-2158.1	752.8	-23257.2	-525.1	66971.3	860.1	1147.0	0.0	-34111.7	0.0
Rest of time	-597.5	21.2	1463.8	-2607.1	-11.7	1523.4	89.5	118.4	3.9	-1.8	0.0

Tabell 6 har samma typ av struktur som tabell 4 där endast värden varierar på beroende på hur mycket som energi som användes i de respektive områden i simuleringen. Köldbryggorna har den största skillnaden i värden mellan simuleringarna för betongbyggnaden till den första modellen av byggnaden med en trägrundläggning. Alla andra värden är ganska liknande mellan de två första simuleringarna. Betonggrunds byggnaden hade –35 937 kWh medan den första byggnaden med en trägrund hade –16 430 kWh. Det är en skillnad på 19 507 kWh som är mer den dubbla från vad byggnaden med trägrunden hade.

Tabell 7 Transmissionsförluster i de olika konstruktionerna av byggnaden med betonggrund under en 1 års period

Envelope transmission

kWh

Month	Walls	Roof	Floor	Windows	Doors	Thermal bridges
1	-1459.0	0.0	-2397.5	-1374.8	-269.2	0.0
2	-1457.8	0.0	-2257.8	-1399.9	-260.5	0.0
3	-1279.4	0.0	-2652.9	-1286.8	-238.5	0.0
4	-819.8	0.0	-2547.9	-934.5	-152.4	0.0
5	-526.8	0.0	-2241.9	-711.3	-108.7	0.0
6	-258.7	0.0	-1853.0	-449.7	-51.6	0.0
7	-147.5	0.0	-1626.9	-359.0	-25.7	0.0
8	-231.3	0.0	-1365.2	-401.9	-34.0	0.0
9	-550.1	0.0	-1329.8	-660.8	-91.7	0.0
10	-929.3	0.0	-1544.3	-954.6	-170.2	0.0
11	-1201.2	0.0	-1768.5	-1161.2	-221.7	0.0
12	-1415.2	0.0	-2187.6	-1322.1	-263.0	0.0
Total	-10276.0	0.0	-23773.3	-11016.5	-1887.1	0.0
During heating	-7674.6	0.0	-16073.2	-9819.0	-1926.9	0.0
During cooling	-2492.6	0.0	-7178.6	-1061.7	4.3	0.0
Rest of time	-108.8	0.0	-521.5	-135.8	35.5	0.0

Tabell 7 visar hur mycket av energin som försvann genom de olika konstruktionselementen för byggnaden med en betonggrundläggning genom köldbryggor och klimatskalet som skyddar inomhusmiljön från de yttre klimatförhållanden. Golvet för byggnaden med betonggrund enligt simuleringen hade –16 073 kWh under perioder när byggnaden behövde värmas medan byggnaden med en trägrundläggning hade –2173 kWh. Under tiden när byggnaden behövdes kylas ner istället för att värmas gick det åt -7178 kWh för betonggrundsbyggnaden vilket också var en stor skillnad till de -1907 kWh som användes för byggnaden med trägrund.

5.5. Jämförelse mellan energianvändnings värden av de två modellerna

Tabell 8 Energianvändningen mellan de två simulerade byggnaderna i kWh

Energy Fuel

	Betonggrund mode			Tragrund model		
	kWh	kWh/m²	Ref. Betonggrund mode	kWh	kWh/m²	Ref. Betonggrund mode
Purchased by facility (fuel)	213859	684.4	100.0	197981	633.6	92.58
Total Fuel	213859	684.4	100.0	197981	633.6	92.58
Overall energy performance	213859	684.4	100.0	197981	633.6	92.58

I tabell 8 finns värden för den totala energianvändningen för båda modellerna. Modellen med betonggrund hade en användning av 213 859 kWh där uppvärmning, nedkylning och andra faktorer påverkade hur mycket energi det var som användes. Den första träkonstruktionen med 60 mm träplatta hade en användning av 197 981 kWh under en årsperiod.

Tabell 9 Tabell för energi som gick åt att värma eller kyla ner de olika zonerna i byggnaden med trägrund

	Total		Peak demand		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
	kWh	kWh/m²	kW	Time	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Fuel heating	197982	633.6	91.09	07 Feb 05:15	24898	27014	22727	14729	11267	9408	9299	10017	10847	14644	19787	23345
Total Used	197982	633.6			24898	27014	22727	14729	11267	9408	9299	10017	10847	14644	19787	23345
Fuel balance Facility	197982	633.6			24898	27014	22727	14729	11267	9408	9299	10017	10847	14644	19787	23345

Tabell 10 Tabell för energi som gick åt att värma eller kyla ner de olika zonerna i byggnaden med betonggrund

	Total		Peak demand		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
	kWh	kWh/m²	kW	Time	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Fuel heating	213861	684.4	93.55	07 Feb 04:54	26792	28800	24828	16547	12664	10417	10037	10606	11455	15563	21099	25053
Total Used	213861	684.4			26792	28800	24828	16547	12664	10417	10037	10606	11455	15563	21099	25053
Fuel balance Facility	213861	684.4			26792	28800	24828	16547	12664	10417	10037	10606	11455	15563	21099	25053

I tabell 9 och 10 presenteras värden i kWh för hur mycket energi som gick åt för att hålla alla olika zoner vid termisk komfort. Under januari månad fanns det en skillnad på 1894 kWh

vilket för den månaden var ungefär 7% mindre energi som användes i byggnaden med trägrund. Februari månad användes 1786 kWh mindre i trägrundsbyggnaden som var cirka 6,2% skillnad. Mars var den månaden som hade störst skillnad i antalet kWh mellan byggnaderna som var 2101 kWh mindre för byggnaden med trägrund och den procentuella skillnaden var nästan 8,5%. Byggnaden med trägrund i april använde 1818 kWh mindre och skillnaden var nästan 11% mellan de två byggnaderna. Maj var den månad som hade störst procentuella skillnad mellan de två byggnaderna som var lite över 11% men den månaden var det endast 1397 kWh skillnad där trägrundsbyggnaden använde mindre energi. Skillnaden under juni var 1009 kWh som blev cirka 9,6%. Simuleringarna under juli gav en differens på 738 kWh och 7,3%. Augusti var månaden med den minsta skillnaden av kWh som användes mellan de två byggnadsmodellerna, den skillnaden var på 589 kWh och ungefär 5,5%. September hade en ännu lägre procentuell skillnad mellan de två byggnaderna som var 5,3% men kWh skillnaden var 608 kWh vilket var lite större än den tidigare månaden. Oktober hade 919 kWh och 5,9% skillnad mellan byggnadernas energikonsumtion för att värma byggnaden. November låg på 1312 kWh med 6,2%. December var 1708 kWh med 6,8% skillnad.

Under alla månader som simulerades hade byggnaden med en trägrund alltid en lägre användning av energi när det gällde att värma byggnaden. Trägrundsbyggnadens effektivitet låg mellan 5,3% och lite över 11% bättre kWh användning i jämförelse med byggnaden som använde sig av en betonggrund. Under kallare perioder fanns det tydliga tecken att den totala konsumtionen av energi var lägre, och differensen var större. Medan månader med lite varmare klimat hade inte lika storskillnad i antalet kWh mellan byggnaderna. Det antyder att grundläggningen hade en mindre påverkan för kylbehov under månaderna som vara varmare.

5.6. Annorlunda struktur av trägrundplatta

För att kunna jämföra hur effektiv den första trägrunden var skapades en till trägrund med en lite annorlunda struktur. Den nya trägrunden hade 170 mm korslimmatträ istället för 60 mm, Styrofoam 250 100+100mm och 200 mm Makadam. Denna trägrundläggning har en tjockare träplatta men ett tunnare lager av isoleringsmaterial.

Tabell 11 Andra trägrundsbyggnadens värmetillskott och transmissionsförluster under en 1 års tidsram (kWh) IDA ICE

kWh (sensible only)

Month	Envelope & Thermal bridges	Internal Walls and Masses	Window & Solar	Mech. supply air	Infiltra-tion & Openings	Occupants	Equipment	Light	Local heating units	Local cooling units	Net losses
1	-2127.0	-1.3	-1045.3	-12945.3	-52.7	6993.3	323.0	430.7	11675.5	-3251.0	0.0
2	-2102.4	-1.4	-856.7	-11650.2	-46.7	6035.4	280.9	374.5	10792.1	-2823.7	0.0
3	-1960.2	-3.1	-392.8	-12942.4	-49.1	6311.3	295.0	393.3	11333.6	-2984.4	0.0
4	-1419.4	-3.1	355.3	-12779.8	-52.1	6529.3	309.0	411.9	9757.2	-3107.4	0.0
5	-1099.4	-3.5	962.7	-13302.6	-50.6	6383.6	309.0	411.9	9299.1	-2908.8	0.0
6	-742.8	-3.3	1265.1	-12984.1	-46.4	5844.9	294.9	393.1	8428.8	-2441.2	0.0
7	-581.7	-2.9	1293.8	-13600.6	-48.6	6193.7	323.0	430.6	8367.8	-2373.8	0.0
8	-626.7	-3.5	968.0	-13390.7	-45.1	5741.6	294.9	393.1	8949.9	-2280.1	0.0
9	-972.8	-3.8	464.7	-12965.5	-48.2	6228.9	309.0	411.9	9225.5	-2649.4	0.0
10	-1418.6	-3.4	-215.1	-13199.3	-51.8	6811.9	323.0	430.6	10426.3	-3103.3	0.0
11	-1733.6	-1.5	-759.1	-12495.4	-45.6	6070.1	280.9	374.5	11143.5	-2834.3	0.0
12	-2040.8	-1.5	-1071.4	-12964.8	-52.3	7004.6	323.0	430.7	11631.0	-3258.0	0.0
Total	-16825.3	-32.6	969.2	-155220.7	-589.2	76148.6	3665.5	4886.8	121030.2	-34015.2	0.0
During heating (MIXED h)	-11838.5	2362.8	-1744.7	-126635.5	15.9	10575.3	2670.1	3560.1	121026.5	0.0	0.0
During cooling (MIXED h)	-4802.8	-2399.3	1175.8	-25376.2	-591.9	63978.9	880.4	1173.8	0.0	-34014.2	0.0
Rest of time	-184.0	3.9	1538.1	-3209.0	-13.2	1594.4	115.0	152.9	3.7	-1.0	0.0

Tabell 12 Transmissionsförluster i de olika konstruktionerna av den andra trägrundsbyggnaden

kWh

Month	Walls	Roof	Floor	Windows	Doors	Thermal bridges
1	-1473.6	0.0	-378.3	-1382.5	-275.0	0.0
2	-1472.4	0.0	-364.5	-1408.5	-265.6	0.0
3	-1293.1	0.0	-423.5	-1294.6	-243.5	0.0
4	-831.0	0.0	-431.9	-941.9	-156.4	0.0
5	-536.5	0.0	-450.6	-718.5	-112.2	0.0
6	-266.7	0.0	-421.2	-456.7	-54.9	0.0
7	-154.9	0.0	-397.8	-366.0	-28.9	0.0
8	-237.8	0.0	-352.4	-407.6	-36.5	0.0
9	-557.6	0.0	-322.0	-665.3	-93.2	0.0
10	-938.4	0.0	-308.5	-958.7	-171.8	0.0
11	-1212.6	0.0	-296.0	-1166.2	-224.9	0.0
12	-1429.7	0.0	-342.8	-1329.3	-268.3	0.0
Total	-10404.3	0.0	-4489.5	-11095.7	-1931.1	0.0
During heating	-7586.5	0.0	-2286.5	-9785.2	-1965.8	0.0
During cooling	-2674.0	0.0	-2129.8	-1126.9	-0.6	0.0
Rest of time	-143.8	0.0	-73.2	-183.6	35.3	0.0

Tabell 5 och 12 är de tabellerna som blev framtagna från simuleringarna från de två olika trägrunderna. Tabellerna visar transmissionsförlusterna för de två byggnaderna. Byggnaden med den tjockare träplattan hade förluster på -4489 kWh medan det första exemplet hade lägre förluster som var -4097 kWh. Denna skillnad är cirka 9,5% mellan de två olika grunderna.

Tabell 13 Tabell för energianvändning uppdelat per månad för den andra typen av trägrund

	Total		Peak demand		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
	kWh	kWh/m²	kW	Time	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Fuel heating	198159	634.1	90.94	07 Feb 04:49	24919	27034	22752	14750	11283	9421	9308	10022	10854	14654	19797	23365
Total Used	198159	634.1			24919	27034	22752	14750	11283	9421	9308	10022	10854	14654	19797	23365
Fuel balance Facility	198159	634.1			24919	27034	22752	14750	11283	9421	9308	10022	10854	14654	19797	23365

Båda träkonstruktionerna för golvet hade liknande resultat för användningen av energi som hade en variation på mindre än 1 procent om man jämför den totala energin som användes.

6. DISKUSSION

I detta avsnitt kommer vi att analysera de metoder som använts, samt de resultat som uppnåtts under arbetets gång. Fokus kommer att ligga på att bedöma resultatens tillförlitlighet och användbarhet inom relevanta tekniska områden, samt deras potentiella påverkan på

byggsektorn. Vi kommer också att reflektera över de valda metodernas effektivitet, identifiera deras styrkor och svagheter, samt föreslå möjliga justeringar för framtida forskning eller tillämpningar som kan ge mer precisa eller praktiska resultat.

6.1. Resultatdiskussion

Syftet med denna studie var att undersöka hur valet av grundmaterial påverkar en byggnads energianvändning genom att jämföra en trägrund med en konventionell betongplatta på marken. Resultaten av IDA ICE-simuleringarna visar tydligt att träfundament hjälper till att minska värmeförlusterna och därmed lägre energibehov – särskilt under årets kallare månader. Byggnader med träfundament använder 5 till 11 procent mindre energi än byggnader med betongfundament, beroende på månad och konstruktionens utformning.

En viktig förklaring är träets naturligt låga värmeledningsförmåga, vilket ger ett mer effektivt klimatskal för golvkonstruktion. Simuleringarna visade också att en ökning av träets tjocklek förbättrar isoleringen, men effekten planar ut efter en viss punkt. Detta indikerar en optimal balans mellan materialanvändning och isolerings prestanda.

Trots sina tekniska och miljömässiga fördelar dominerar betongplattor fortfarande produktionen av småhus i Sverige. Detta kan förklaras av etablerade byggpraxis, tillgång på material och fuktbeständighet hos betong. Träfundament kräver ett noggrannare skydd mot fukt, korrekt dimensionering och större teknisk kompetens – faktorer som i dagsläget kan utgöra ett hinder för deras utbredda användning.

Forskning visar att träfundamentens energiprestanda gör dem särskilt lämpade för energieffektiva småhus, modulbyggande och hållbara projekt. För att främja användningen av träfundament behövs dock fortsatt forskning, branschutbildning och utveckling av standardiserade tekniska lösningar.

6.2. Metoddiskussion

För att svara på forskningsfrågorna använde vi simuleringsverktyget IDA ICE, som möjliggör noggranna energiberäkningar baserade på klimatdata för Mälardalsregionen. Genom att modellera två identiska byggnader där grundtyp är den enda variabeln kan effekterna av materialval på ett tillförlitligt sätt isoleras. Detta tillvägagångssätt är en av styrkorna med denna studie, eftersom det minimerar störande faktorer och ger en tydlig jämförelse av energiprestanda.

IDA ICE har visat sig vara ett kraftfullt verktyg för att analysera byggnaders energiförbrukning, särskilt i kalla klimat. Programmet kan simulera specifika byggnadssektioner, såsom golv, väggar och fönster, vilket ger detaljerade insikter om var de största värmeförlusterna inträffar. Simuleringar är dock baserade på idealiska förhållanden och tar inte hänsyn till faktorer som luftläckor, konstruktionsfel eller olika användarbeteenden. Detta innebär att den faktiska situationen i det verkliga projektet kan skilja sig från simuleringsresultaten.

Studien valde att utesluta fuktsäkerhet, ekonomiska faktorer och lastbärande frågor, som är viktiga i praktiska tillämpningar men som ligger utanför denna studies ram. Att införliva dessa faktorer i framtida studier kommer att ge en mer omfattande beskrivning av fördelarna och nackdelarna med träfundament.

Sammantaget var de metoder som användes lämpliga för att besvara studiens huvudfrågor. Trots vissa begränsningar av det verklighetsbaserade förhållningssättet ger resultaten en solid grund för fortsatt diskussion om alternativa grundlösningar med mindre klimatpåverkan

7. SLUTSATSER

Slutsatsen för denna studie analyserar hur grundläggningsmaterial påverkar en byggnads energiprestanda, specifikt jämförelsen mellan trägrund och betonggrund. Arbetet genomfördes med hjälp utav energisimuleringar i programmet IDA ICE, där en kontorsbyggnad med tre

olika grundläggningskonstruktioner användes för att ta fram värden under en årsperiod. Utöver det simulerades även tjocklekar av trä och betong individuellt utan några isoleringsmaterial.

- Hur påverkar val av grundläggningsmaterial – trägrundläggning jämfört med betongplattabyggnadens totala energianvändning enligt energisimulering i IDA ICE?

- Trägrunden som användes i första simuleringen hade en relativt stor minskning för de totala energiförlusterna i jämförelse med betonggrunden. Den totala energianvändningen minskade med mellan 5–11 %, de större minskningarna förekom under kallare perioder på året medan varmare perioder hade mindre effekt.

- Hur stor blir skillnaden för trägrundläggning med tjockare träplatta som har mindre isolering än en trägrundläggning med tunnare träplatta och mer isolering?

  -Den tjockare plattan som hade 170 mm KL trä och 200 mm isolering hade lite större förluster än plattan med 60 mm KL trä och 250 mm isolering, skillnaden mellan de trägrunderna var nästan 10% vilket indikerade att isoleringen hade en mycket större effekt än vad träplattorna hade.

- Hur påverkar olika materialtjocklekar värmeförlusten genom en förenklad byggnadsmodell utan fönster och dörrar?

-Den ökade trävolymen hade bättre isolering än den som hade mindre tjocklek men energieffektiviteten ökade inte proportionellt, vilket betyder att det bör finnas en mellan punkt där det inte blir mer värt att använda sig av ren tjocklek. Användningen av en för tunn platta kommer att minska bärförmågan för byggnaden - vilket även kan bli ett annat problem.

Resultaten visar att det finns skillnad energimässigt av att använda sig av en trägrundläggning och skillnaden syns även med olika tjocklekar för trä. Den effekten som var mest synlig utifrån simuleringsresultaten var att träplattorna hade en vis effekt men att den större påverkan var från isoleringsmaterialen.

Sammantaget visar studien att valet av grundläggande synsätt är relevant för både energiprestanda och hållbar utveckling. Därför kan träfundament vara ett alternativ till traditionella betongplattor, men de bör betraktas som en del av ett helhetsperspektiv vid projektering och byggnadsdesign, med hänsyn till tekniska, ekonomiska och miljömässiga faktorer.

8. FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE

Examensarbetet kan fortsättningsvis utvecklas genom att göra liknande simuleringar för byggnader som redan finns byggda i stället för att utgå från teoretiska modeller. Simuleringar som görs i framtiden kommer kunna jämföras med de riktiga värden som även skulle kunna mätas på plats för att se om simuleringarna skiljer sig på något vis. Dessutom kan handberäkningar användas för ytterligare bekräftelse av simuleringsresultat.

Det finns även alternativ för att utforska livslängden på trägrundläggningar som sedan kan jämföras med hur mycket energi som går åt under hela livslängden av byggnaden till skillnad från en byggnad som har en betonggrundläggning.

Framtida studier bör inkludera andra påverkade faktoreter till exempel fukt säkerhet samt livslängd på byggnaden.

Slutligen kan kvalitativa intervjuer med byggentreprenörer, ägare och arkitekter ge praktiska insikter om de hinder och möjligheter som möter vid implementering av träfundament i stor skala. Att kombinera tekniska simuleringar med erfarenhetsbaserad kunskap kan ge mer realistiska och genomförbara lösningar.

REFERENSE

BioInnovation. (2018). *Trägrund – Teknik, egenskaper och produktion* [PDF]. Hämtad från https://www.bioinnovation.se/projekt/tragrund/

Boverket. (2018). *Bygga hus – grundkonstruktioner*. Hämtad från https://www.boverket.se

Boverket. (2021). *Boverkets byggregler, föreskrifter och allmänna råd*. Hämtad från https://www.boverket.se

Boverket. (2021). *Energihushållning i byggnader*. Hämtad från https://www.boverket.se/sv/byggande/energihushallning/

Boverket. (2023). *BBR 29 – Fukt, grund och byggnadsdelar*. Hämtad från https://www.boverket.se

Boverket. (2023). *Boverkets byggregler – BBR 29*. Hämtad från https://www.boverket.se

Boverket. (2023). *Limit values for climate impact from buildings and an expanded climate declaration*. Hämtad från https://www.boverket.se/en/start/publications/2023/limit-values-for-climate-impact-from-buildings/

Boverket. (2024). *Bygg- och fastighetssektorns klimatpåverkan 2021*. Hämtad från https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/partiklar/

Byggkeramikrådet. (2021). *Platta på mark – Teknisk översikt*. Hämtad från https://www.bkr.se

Dukarska, D., & Mirski, R. (2023). Wood-based materials in building. *Materials, 16*(8), 2987. https://doi.org/10.3390/ma16082987

Ekman, A., & Jönsson, A. (2020). *Betongens miljöpåverkan: en analys av cementtillverkningens utsläpp*. Institutionen för hållbar utveckling, Lunds tekniska högskola.

EQUA Simulation AB. (n.d.). *IDA ICE – Indoor Climate and Energy*. Hämtad från https://www.equa.se/se/ida-ice

Ferrando, M., Causone, F., Hong, T., & Chen, Y. (2021). Urban building energy modeling (UBEM) tools: A state-of-the-art review of bottom-up physics-based approaches. *arXiv preprint.* https://arxiv.org/abs/2103.01761

Gonzalo, F. D. A., Santamaría, B. M., & Montero Burgos, M. J. (2023). Assessment of building energy simulation tools to predict heating and cooling energy consumption at early design stages. *Sustainability, 15*(3), 1920. https://doi.org/10.3390/su15031920

Holmen. (2024). *Trä som byggmaterial – hållbarhet och klimatfördelar*. Hämtad från https://www.holmen.com/sv/nyhetsrum/nyheter/arsredovisning-2024/

Jiang, Z., Wang, X., Li, H., Hong, T., You, F., Drgoňa, J., Vrabie, D., & Dong, B. (2025). Physics-informed machine learning for building performance simulation: A review of a nascent field. *arXiv preprint.* https://arxiv.org/abs/2504.00937

Martynyuk, I. (2023). *Trägrundläggning – Förstudie för fossilsnålt byggande: Slutrapport av förstudie* [PDF]. DiVA portal. Hämtad från https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1855783/FULLTEXT01.pdf

Reddy, T. A. (2006). Literature review on calibration of building energy simulation programs: Uses, problems, procedure, uncertainty, and tools. *ASHRAE Transactions, 112*(1), 226–240.

RISE. (2019). *Klimatpåverkan från byggprodukter – Trä vs betong. RISE Rapport 2019:45.* Hämtad från https://www.ri.se/sv/sa-kan-vi-bygga-klimatneutralt-med-betong

RISE. (2019). *Livscykelanalys av småhus – Klimatpåverkan från olika byggdelar. RISE Rapport 2019:45.* Hämtad från https://www.ri.se/sv/expertisomraden/expertiser/livscykelanalys-lca

Salimi, E., & Fadhil, Z. (2024). *Trägrundläggningar för hållbara byggnader: integrering av vattenledningar och bärighet* [PDF]. DiVA portal. Hämtad från https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1904896/FULLTEXT02.pdf

Smart Housing Småland. (2023). *Förstudie om fossilsnålt byggande – trägrund som alternativ till betong.* Hämtad från https://www.diva-portal.org

Soleimani-Mohseni, M., Nair, G., & Hasselrot, R. (2016). Energy simulation for a high-rise building using IDA ICE: Investigations in different climates. *Building Simulation, 9*(6), 629–640. https://doi.org/10.1007/s12273-016-0300-9

SP Wood (nu RISE). (2020). *Träskydd och beständighet – Behandlingar och system.*

Svensk Byggtjänst. (2021). *AMA Hus 21 – Allmän material- och arbetsbeskrivning för husbyggnadsarbeten.*

Svenskt Trä. (2020). *Effektiv småhusproduktion – Byggsystem och logistik.* Hämtad från https://www.svenskttra.se

Svenskt Trä. (2020). *Lättbyggnadssystem och logistik i träbyggande.* Hämtad från https://www.svenskttra.se

Svenskt Trä. (2020). *Platta på mark: Teknisk beskrivning och konstruktionsprinciper.* Hämtad från https://www.svenskttra.se

TräGuiden. (2022). *Grundläggning – Träbaserade konstruktioner.* Hämtad från https://www.traguiden.se

TräGuiden. (2022). *Grundläggning med trä: Fakta och lösningar.* Hämtad från https://www.traguiden.se

TräGuiden. (2022). *Grundläggning – Konstruktionsexempel.* Hämtad från https://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktionsexempel/grundlaggning/

Trästad Sverige. (2021). *Trägrund i småhus – Erfarenheter från pilotprojekt.* Hämtad från https://www.trastad.se

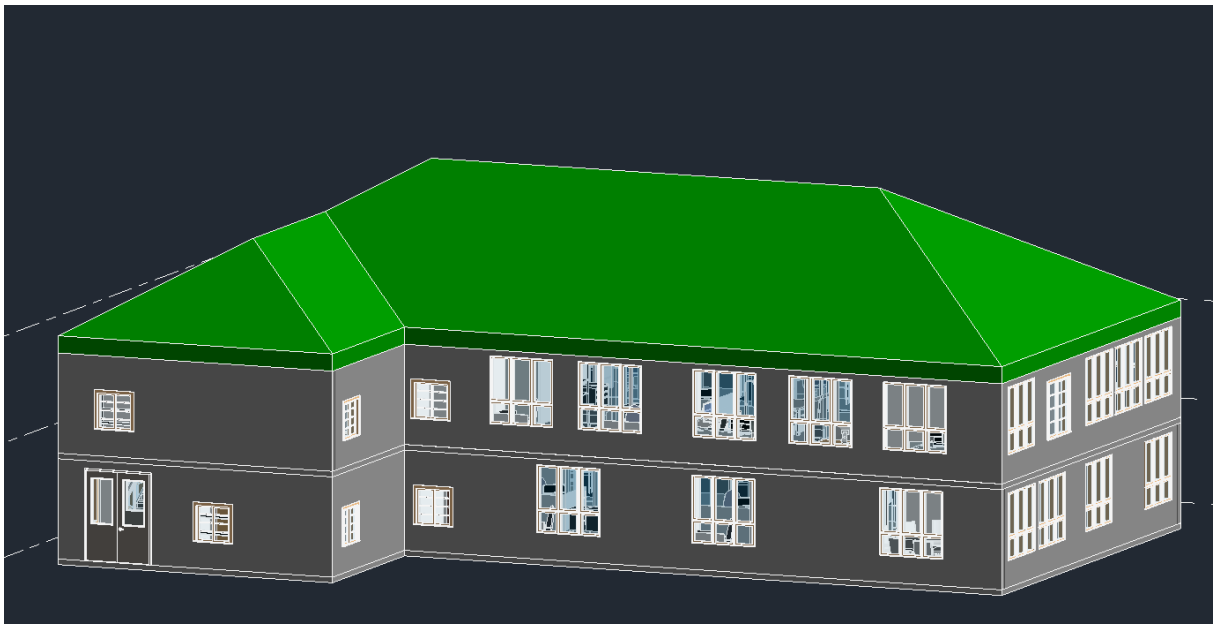
Trästad Sverige. (2021). *Utveckling av trägrundläggning i klimatsmarta byggnader* [PDF]. Hämtad från https://www.trastad.se

Troell, T. (2022). *Ersätta betong med trä i grundläggning av byggnader* [PDF]. DiVA portal. Hämtad från https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1670396/FULLTEXT01.pdf

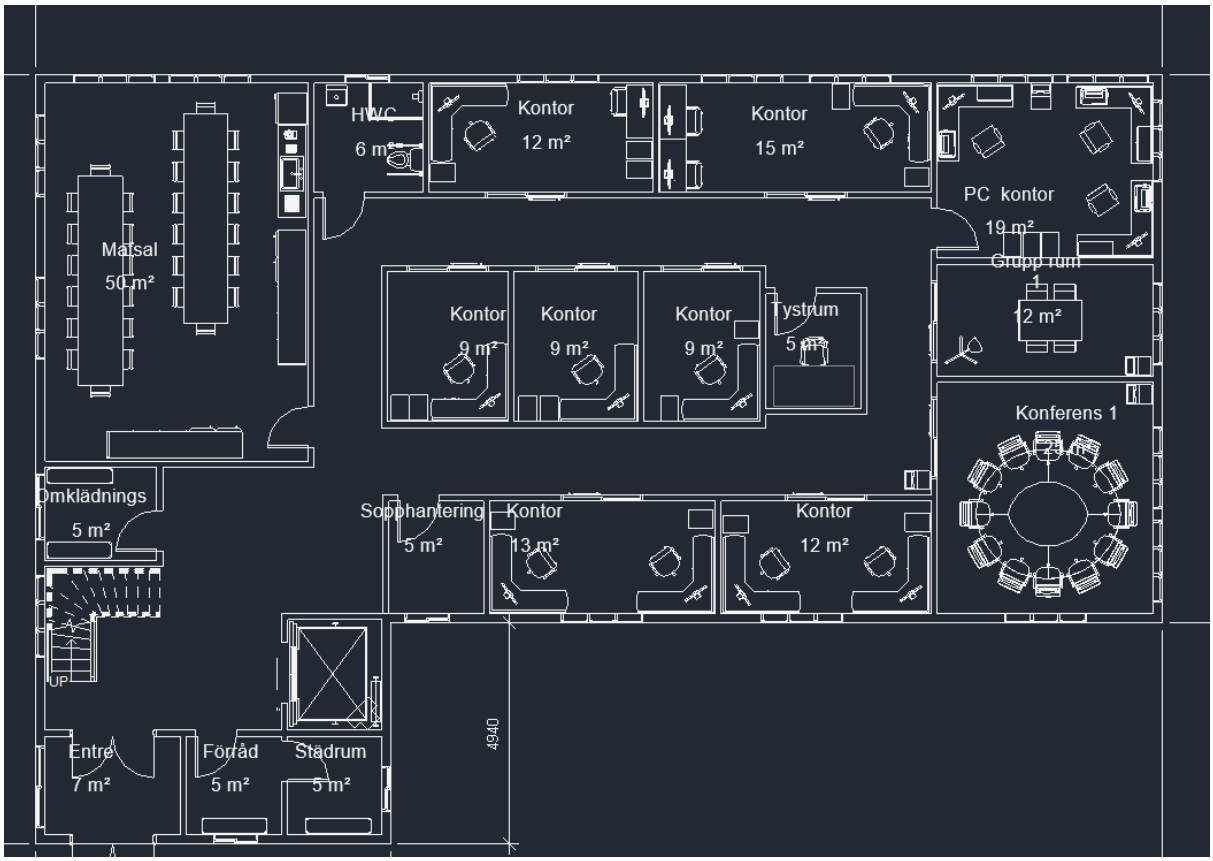
Villazero-projektet. (2021). *En trägrund istället för betong.* Hämtad från https://byggdialogdalarna.se

Villazero-projektet. (2021). *Trägrund som platta på mark utan betong.* Hämtad från https://byggdialogdalarna.se

BILAGA 1: REVIT MODELL FÖR KONTORSBYGGNA



BILAGA 2: PLANRITNING FÖR KONTORSBYGGNADEN



Box 883, 721 23 Västerås **Tfn:** 021-10 13 00
Box 325, 631 05 Eskilstuna **Tfn:** 016-15 36 00
E-post: info@mdu.se **Webb:** www.mdu.se