

Avdelningen för Installationsteknik
Examensarbete TVIT—22/5088
Lund 2022

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk kom- fort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Olle Gordh
Jakob Peraic



LUNDS
UNIVERSITET

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Olle Gordh
Jakob Peraic

Examensarbete

Avdelningen för Installationsteknik
Institutionen för Bygg- och miljöteknologi
Lunds Universitet
Box 118
221 00 Lund

© Olle Gordh och Jakob Peraic

ISRN LUTVDG/TVIT—22/5088—SE (97)
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND

Sammanfattning

En stor del av samhällets miljöpåverkan kommer från bygg- och fastighetssektorn. Från årsskiftet 2022 finns det nya krav för nybyggnationer på att en klimatdeklaration ska genomföras för bärande konstruktionsdelar, innerväggar samt klimatskärmar. Kraven kan vara ett startskott för att fler delar i byggnader ska klimatdeklareras. Projekt Villazero, ett småhus som uppförs i Borlänge av Fiskarhedenvillan, är ett testprojekt för framtidens hus där ett koldioxid neutralt småhus har byggts. Som uppvärmningssystem för villan valdes ett från- och tilluftsventilation med värmeväxling (FTX)-system, med ett vattenburet värmebatteri.

I den här rapporten bedöms klimatpåverkan av ett FTX- respektive ett golvvärmesystem i ett småhus, baserat på utformningen av Villazero. Baserat på simuleringar har det även undersökts vilket energibehov som krävs för de två uppvärmningssystemen, för att uppfylla rekommenderade komfortkrav. Slutligen undersöktes med hjälp av simuleringsprogrammet om det gick att påvisa skillnader mellan systemen avseende den inomhuskomfort som erhålls.

Beräkningsprogrammet IDA ICE användes för att utföra simuleringar avseende energibehov och komfort för de två olika uppvärmningssystemen. För att studera koldioxidutsläppen för Boverkets moduler A1-A3 så användes programmet One Click LCA i kombination med produktspecifika EPD:er.

Simuleringarna påvisar hur stor påverkan en värmeväxlare har för ett minskat energibehov vid uppvärmning. IDA ICE har en del begränsningar vid komfortsimuleringar med hänsyn till det som var målet med simuleringarna i denna studie. Resultatet i denna studie visar att ett FTX- system för uppvärmning i det här analyserade småhuset ger ett lägre koldioxidutsläpp i de studerade modulerna A1-A3 än ett golvvärmesystem.

Titeln på rapporten är: Energibehovssimulering och klimatkalkyl för värmesystem i småhus

- En studie av energibehov, termisk komfort och klimatavtryck för golvvärme och FTX

Författare: Olle Gordh, Jakob Peraic

Handledare: Ulla Janson Universitetslektor vid Avdelningen för installations- och klimatiseringslära

Examinator: Dennis Johansson Avdelningschef och universitetslektor vid Avdelningen för installations- och klimatiseringslära

Nyckelord: Golvvärme, FTX, energibehov, klimatavtryck, uppvärmningsbehov.

Abstract

A large part of society's environmental impact comes from the construction and real estate sector. Since 2022, there are new requirements in Sweden for new constructions that a climate declaration must be implemented for load-bearing structural parts, interior walls and climate screens. Project Villazero is a test project where a carbon-neutral detached house has been built. This report assesses the climate impact of a ventilation system with heat recovery and an underfloor heating system, based on the constructions in this house. It has also been investigated what energy requirements are required for the systems during simulations in the IDA ICE program, to try to meet recommended comfort requirements and whether there are differences between the systems regarding the indoor comfort obtained. A literature study was conducted to study the two systems.

Simulations in IDA ICE was performed to examine energy demands and indoor comfort for the two different heating systems. To study the carbon dioxide emissions for Boverket modules A1-A3, the program One Click LCA was used in combination with product specific EPDs. The simulations show how much impact a heat exchanger has on the energy demand for space heating.

IDA ICE has some limitations in comfort simulations regarding what was the goal of the simulations in this study. The results in this study show that a ventilation system with heat recovery used for space heating in this analysed detached house has a lower simulated emissions of carbon dioxide in the studied modules than an underfloor heating system.

Förord

Detta examensarbete har utförts som en avslutande del på Väg- och vattenbyggnad civilingenjörsprogrammet vid Avdelningen för installations- och klimatiseringslära med Dennis Johansson som examinator. Examensarbetet omfattar 30 högskolepoäng.

Först vill vi passa på att tacka vår handledare Ulla Janson för hennes engagemang, stöd och positiva energi under arbetets gång. Hans Bramevik, Amanda Scotte och Anders Malm från LK Systems ska även ha ett stort tack för deras stöttning. Hans har varit en mellanhand för oss med kollegor och Fiskarhedenvillan där han hjälpt med ritningar och information om Villazero som möjliggjort detta arbete.

Tack!

Lund, maj 2022

Olle Gordh och Jakob Peraic

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	i
Abstract	iii
Förord	v
Innehållsförteckning	vii
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte.....	2
1.3 Frågeställningar	3
1.4 Avgränsningar	3
1.5 Nomenklatur	3
1.6 Metodologi	4
2 Metod.....	5
2.1 Teori	5
2.1.1 Koldioxidekvivalent	5
2.1.2 Termisk komfort	5
2.1.3 Livscykelanalys (LCA).....	6
2.1.4 Distributionssystem	9
2.1.5 Energianvändning.....	12
2.2 Regelverk och styrande dokument	12
2.2.1 Energikrav	12
2.2.2 Ventilationskrav	13
2.2.3 BEN 2 (BFS 2017:6)	13
2.2.4 Sveby	14
2.2.5 Folkhälsomyndighetens krav	14
2.3 Iterationsprocess för att uppnå resultat	15
2.4 Beräkning av energibehov och termisk komfort med IDA ICE	16
2.4.1 Indata till IDA ICE	17
2.4.2 Beräkningar i IDA ICE.....	25
2.5 Beräkning av koldioxidutsläpp.....	29
2.5.1 Indata	29
2.5.2 Beräkning klimatkalkyl	29
3 Resultat.....	39
3.1 Resultat från simuleringar i IDA ICE.....	39
3.2 Resultat för klimatkalkyl	57
4 Analys.....	59
4.1 Jämförelse av olika till- och frånluftsflöden	59
4.2 Energiförbrukning.....	62
4.3 Värmepumpens inverkan	63
4.4 Komfort	64
4.5 Global Warming Potential	67
5 Diskussion	69
5.1 Framtida studier.....	70

6	Slutsats.....	71
	Referenser.....	73
	Bilaga 1 Byggnadsdelar materialdata och uppbyggnad.....	79
	Bilaga 2 Klimatfil IDA ICE	84
	Bilaga 3 Simuleringsalternativ	85

1 Inledning

I detta kapitel presenteras bakgrunden och syftet till studien samt vilka frågeställningar som ämnas att besvaras. Vidare beskrivs metoden, avgränsningar och nomenklatur.

1.1 Bakgrund

Jordens medeltemperatur fortsätter att stiga och klimatavtrycket från människans verksamhet har en allt större påverkan. Några av effekterna av ett varmare klimat är högre havstemperaturer och att världens isar smälter. Flera rapporter visar på att utsläppen måste minska snabbt för att undvika eller åtminstone minska djupgående effekter och störningar för naturen och människan (Mason-Delmotte, et al., 2021).

Sverige har satt upp klimatmål som ska nås i 5 etapper mellan åren 2020 och 2045. Målen var att till år 2020 minska sina utsläpp av växthusgaser med 40 % jämfört med år 1990 och till år 2030 minska utsläppen med 63 % jämfört med 1990. Detta är det delmål som nu ligger närmast framför oss. Till år 2045 är slutmålet för Sverige att inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser (Sveriges Miljömål, 2021).

En stor del av samhällets miljöpåverkan kommer från bygg- och fastighetssektorn. År 2021 stod sektorn för 34 % av Sveriges totala energianvändning (Boverket, 2021C). För att kunna nå de globala och nationella miljömålen krävs att bostäder och lokaler energieffektiviseras (Naturvårdsverket, U.Å). Från och med år 2021 finns det förslag på att byggnader som uppförs ska vara nära nollenergibygnader vilket innebär att ett stort fokus läggs på att använda sig av nya effektiva tekniska lösningar. Då relativt liten andel av byggnaderna är nya krävs det att energieffektiviserande lösningar utförs för alla byggnader för att få en betydande förändring (Boverket, 2015).

Från och med första januari 2022 kommer det vid uppförande av en ny byggnad krävas att en klimatdeklaration, som omfattar bärande konstruktionsdelar, innerväggar samt klimatskärmar, upprättas och registreras. Klimatskärmen består av en byggnads tak, yttervägg, fönster, ytterdörr och grund/golv. Klimatdeklarationen ska bidra till att minska påverkan på klimatet och berörda byggherrar är ansvariga för redovisningen (Boverket, 2022). Uppgifter angående byggnaden, tillhörighet av den, byggherrens person- eller organisationsnummer och klimatpåverkan från byggnadens ska redovisas i deklarationen. Klimatpåverkan från byggnaden ska innefatta uppgifter om råvaruförsörjning, transport och tillverkning i produktskedet, samt transport och bygg- och installationsprocessen i byggproduktionsskedet. Lagen kommer inte tillämpas på byggnader som har ansökt om bygglov till byggnadsnämnden innan lagen träder i kraft (Boverket, 2021D).

Boverket har krav på att installationer för kylning, uppvärmning och ventilation ska vara effektiva vilket innebär en god verkningsgrad och effektiv reglering. I enlighet med Boverkets byggregler (BBR) ska kylningen minimeras med hjälp av åtgärder av

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

effektivare bygg- och installationstekniska lösningar. Det är även krav på att alla nya byggnader är utrustade med mätare som sammanställer energianvändningen. För lokalbyggnader och flerbostadshus ska olika poster mätas var för sig (Boverket, 2020C).

För byggnader finns det krav på termiskt klimat och termisk komfort. Termiskt klimat avser hela byggnaden medan termisk komfort bara avser vistelsezonen. Vistelsezonen är den del där människor befinner sig mer än tillfälligt. Hur man upplever inomhusklimatet beror på en rad olika faktorer såsom lufthastighet, luftfuktighet, luftens temperatur, värmestrålningen från omgivande ytor, klädsel, golvtemperatur och den egna aktiviteten. Allmänna råd avseende parametrar för ett gott inomhusklimat finns redovisade i BBR (Boverket, 2021E).

Studier på Danmarks tekniska universitet (DTU), där jämförelse mellan låg- och mycket lågtempererade uppvärmningssystem har gjorts för att analysera energiprestandan. Studien visade på att användandet av ventilationsradiatorer och golvvärme kunde sänka framledningstemperaturen avsevärt. Istället för en temperatur på 45 °C för konventionella radiatorer krävdes 33 °C för ventilationsradiatorer och 30 °C för golvvärme. Denna temperatursänkning innebär en primärenergibesparing på 17–22 %. Mätningarna gjordes för att täcka en yta där värmebehovet var 20 W/m². Vidare studier gjordes på luftkvaliteten. Det visade sig att för att kunna använda ett värmesystem med lågt luftflöde behövde man höja luftflödet innan familjen kom hem för att få acceptabla halter av flyktiga organiska ämnen. Var luftflödet 0,1 l/s·m² under en 12 timmars period ökade halten till oacceptabla nivåer efter 10 timmar. Konsekvensen av detta är att systemet behövde höja luftflödet 2 timmar innan brukarna kom hem för att nivåerna skulle vara tillfredsställande. Att luftflödet var lågt under större delen av dagen då brukarna var borta medförde 20% energibesparing för att värma upp luften samt 30% besparing i elförbrukning för fläkten (Holmberg, 2018).

Radiatorer är mindre än golvvärmesystemen och kan reagera snabbare än golvvärme på förändringar av temperatur. I utrymmen där bra placering av radiatorer är ofördelaktigt på grund av begränsade ytor så är golvvärme praktiskt. Golvvärme får en behagligare ytkänsla i kalla material som leder värme bra. Studien visade att byggnaden med radiatorer hade ett lägre värmebehov än byggnaden med golvvärme. I studien poängteras att byggnadsstandarden som var tillämplig för byggnadens uppförande var avgörande. Studien hävdar att golv materialet inte påverkade värmebehovet speciellt mycket, vid förbättring av U-värde med 60 % för golvet så minskade värmebehovet med 3 %. Då radiatorerna är mindre och tar upp mindre del av rummet så kommer vattnet i dem att behöva värmas mer än i ett golvvärmesystem där värmen även kan sprida sig över hela rummet på ett annat sätt (Vadiee, et al., 2019).

1.2 Syfte

Syftet med det här examensarbetet är att bedöma klimatpåverkan av ett från- och tilluftsventilationssystem med värmeväxling (FTX) respektive ett golvvärmesystem i ett småhus. Rapporten avser även att undersöka energibehovet och termisk komfort för

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

de två uppvärmningssystemen för att uppfylla rekommenderat komfortkrav, samt om det går att påvisa skillnader i systemen avseende den inomhuskomfort som erhålls.

1.3 Frågeställningar

Utifrån ovan nämnda syfte ämnar vi besvara följande frågeställningar:

- Vad blir energi- och effektbehovet för uppvärmning av ett småhus för ett FTX-respektive golvvärmesystem i driftfasen enligt IDA ICE?
- Är det någon märkbar komfortskillnad på luftburen värme och golvvärme vid simuleringar med IDA ICE?
- Går det uppskatta mängd genererade koldioxidekvivalenter (CO₂e) för de faser som ingår i klimatdeklaration enligt Boverkets (A1-A3) och finns det någon märkbar skillnad mellan distributionssystemen?

1.4 Avgränsningar

Studien utgår från ett faktiskt fall med ett specifikt hus. Endast två olika system för uppvärmning har studerats. FTX-ventilation respektive golvvärme med eller utan värmepump. Eftersom hus och system är svenska har svenska förhållande vad gäller byggstandarder, regelverk och klimat tagits hänsyn till. Energibehovet avser enbart uppvärmning av huset.

1.5 Nomenklatur

- AHU (Air handling unit) – Luftbehandlingsaggregat.
- BEN 2 – Boverkets föreskrifter om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår. I BEN 2 finns schablonvärden för brukarindata att använda vid beräkning av byggnaders energianvändning och energiprestanda.
- A_{temp} – den innergolvsarea i bostäder som värms upp till över 10 °C inklusive den golvarea som upptas av innerväggar.
- GWP (Global warming potential) – mått på hur en växthusgas bidrar till växthuseffekten och den globala uppvärmningen.
- EPD (Environmental product declaration) – ett sätt att kommunicera en produkts miljöpåverkan.
- CAV (Constant air volume) – Ventilationssystem med konstant luftflöde.
- VAV (Variable air volume) – Ventilationssystem med variabelt luftflöde.
- FTX – Ventilationssystem med från- och tilluft med värmeväxling.
- COP (Coefficient of performance) – Kvoten mellan genererad värme och tillförd el.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

1.6 Metodologi

Projektet initierades med litteraturstudier inom tre olika områden. Det första handlade om hur ett golvvärme- och FTX-system fungerar. Det andra området handlade om hur energianvändningen ser ut i Sverige i dagsläget. Det sista området handlade om hur en klimatdeklaration går till, vad en livscykelanalys (LCA) är och hur termisk komfort definieras.

I projektet används huset Villazero som referensmodell. Huset ligger i Borlänge och är tänkt som ett projekt för att bygga ett koldioxidneutralt småhus. Konstruktions- och ventilationsritningar har tillhandahållits från Fiskarhedenvillan genom Hans Bramevik på LK Systems. Ritningarna har använts för att bygga upp modellen i IDA ICE och beräkna U-värden för klimatskärmerna.

Utifrån data om Villazero har IDA ICE simuleringar genomförts för att ta fram energibehovet samt utvärdering av termisk komfort för de två olika uppvärmning- och ventilationssystemen. IDA ICE är en programvara som är utvecklad av EQUA Simulation AB.

Utöver beräkningar av systemens energibehov under driften så har systemen analyserats för att redovisa klimatavtrycket enligt de steg i en LCA (A1-A3) som ska inkluderas i en klimatdeklaration enligt Boverket, d.v.s. råvaruförsörjning, transport och tillverkning (Boverket, 2019). För att göra en tillförlitlig analys har programvaran One Click LCA samt The International EPD System använts för att ta fram relevant koldioxidpåverkan från systemen. Vidare har information angående koldioxidavtryck från komponenterna i golvvärmesystemet som använts i LCA analysen samlats in från LK Systems (Scotte, 2022).

2 Metod

I följande kapitel presenteras metod och bakomliggande teori.

2.1 Teori

I följande kapitel presenteras teori som bygger på litteratur och forskningsfront inom klimat, termisk komfort, installationer för uppvärmning och ventilation.

2.1.1 Koldioxidekvivalent

Koldioxidekvivalent är ett mått för att jämföra olika växthusgasers utsläppsmängd jämfört med enbart koldioxid. För att kunna göra denna relation används en faktor som benämns Global warming potential (GWP). Det aktuella utsläppets vikt multipliceras med GWP faktorn för att få rätt koldioxidekvivalent (Nationalencyklopedin, U.Å).

2.1.2 Termisk komfort

Termisk komfort kan definieras som ”That condition in mind which expresses satisfaction with the thermal environment” (Karlsson & Ståhl, 2012). När människan är i detta tillstånd är hen helt tillfredsställd med sin omgivning. Hen önskar varken ett kallare eller ett varmare klimat. Det kan liknas med att produktionen av värme är i jämvikt med värmeavgivningen från kroppen. Kroppstemperaturen ska alltså inte variera.

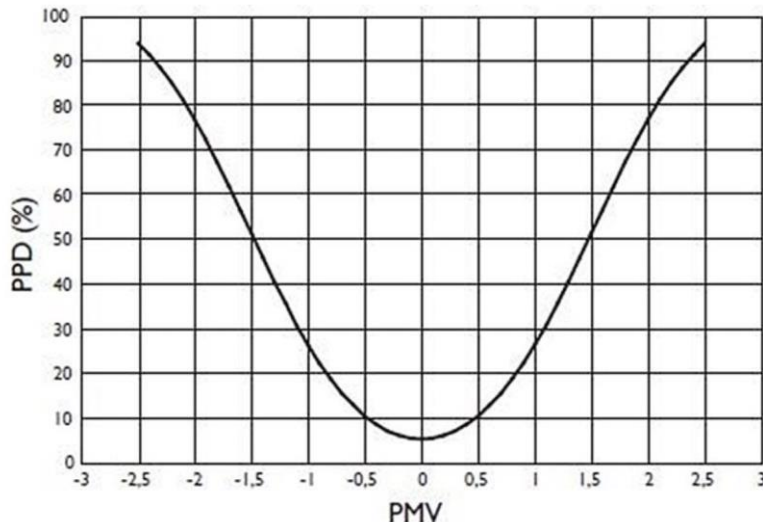
För att uppnå tillfredställande termisk komfort krävs det att ett antal faktorer uppfylls. Några av dessa faktorer är att lufttemperatur och strålningstemperatur från omgivande ytor ska vara tillräckliga. Vidare påverkar även lufthastighet samt luftfuktighet. Andra exempel på parametrar som påverkar hur människan upplever den termiska komforten är människans klädsel och den fysiska aktiviteten. De flesta människor är relativt överens om vad som upplevs som tillfredställande termisk komfort samtidigt som enskilda individer kan ha en specifik uppfattning gällande vad de prioriterar. Här spelar en rad faktorer in som kön, hälsa, ålder och beteende (Karlsson & Ståhl, 2012).

En person kan känna sig termiskt neutral, samtidigt som kroppen utsätts för klimatförhållanden som orsakar lokalt termiskt obehag. Denna lokala rättskomfort kan inte justeras genom att ändra rumstemperaturen (Karlsson & Ståhl, 2012). Enligt Teli, et al. (2021) kan den termiska komforten vara tillfredställande vid både höga och låga temperaturer. Vidare påpekar Karlsson och Ståhl (2012) att det vid problem är källan till de termiska besvären det vill säga orsaken som måste åtgärdas. Några exempel på lokala irritationsmoment som lyfts i litteraturen är (Karlsson & Ståhl, 2012):

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

- Drag från ventilation, fönstervädring, termiska lufrörelser eller otätheter i byggnadens klimatskärm. Detta är det vanligaste irritationsmomentet.
- Kylning eller uppvärmning av kroppsdelar via strålningsvärme (strålningsasymmetri).
- Stora vertikala skillnader i lufttemperaturen (kalla fötter och varmt huvud).
- Diskomfortabel kontakttemperatur med framförallt kalla eller varma golv.

För att kunna klassificera och mäta vad termisk komfort är används normalt Fangers komfortindex vilket innefattar två index som benämns Predicted percentage dissatisfied (PPD) och Predicted mean vote (PMV). PPD anger hur stor andel av en större grupp personer som antas vara missnöjda med det termiska klimatet. PPD bör inte överstiga 10 %. PMV syftar till att ange den genomsnittliga komfortresponsen för en grupp individer på en sjugradig termisk sensationsskala. I Figur 1 anger PMV -3 att det är för kallt och +3 att det är för varmt. Ligger PMV runt +/- 0,5 anses klimatet vara relativt tillfredställande (Abel & Elmroth, 2016).



Figur 1. Samband mellan PMV och PPD (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

2.1.3 Livscykelanalys (LCA)

Livscykelanalyser (LCA) utgör den mest fördelaktiga ramen för att utvärdera potentiell miljöpåverkan för produkter som finns tillgängliga (European Commission, U.Å). LCA

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

är en standardiserad metod (ISO 14040 ff). Denna metod används i hela världen för att fastställa hur produkter såsom varor och tjänster påverkar miljön för att sedan utvärdera hur det är möjligt att åstadkomma förbättringar för hela livscykeln. När man upprättar en LCA är det viktigt att uppgifterna är konsekventa och kvalitetssäkrade. I en LCA ingår även en livscykelinventering (LCI) och livscykelkonsekvensbedömning (European Commission, U.Å).

När en LCA upprättas finns möjligheten (med hänsyn till vilket metodval som görs) att antingen utföra en bokförings- eller konsekvenslivscykelanalys. Bokföringslivscykelanalys utförs för att studera något som faktiskt har hänt. Analysen avser de direkta konsekvenserna för produktens livscykel. Till exempel klimatpåverkan från en specifik tjänst eller produkt. Konsekvenslivscykelanalysen analyserar istället den indirekta konsekvensen för produktens miljöbelastning. Detta innebär att analysen görs mer omfattande. Utförs LCA analys under projekteringsskedet är det lättare att utvärdera (Erlandsson, et al., 2014).

Görs en LCA tidigt i projekteringen ger detta möjlighet att miljöförbättra och jämföra olika materialval och konstruktionslösningar. Det finns tre huvudsakliga skeden i en byggnads livscykel. A1-A5 också kallat byggskedet, vilket delas upp i A1-A3 som är produktskede och A4-A5 som är byggproduktionsskede. B1-B7 som kallas användningsskede och sista C1-C4 kallas slutskede. I en byggnads livscykel ingår:

1. A1-A3 Produktskedet omfattar produktion av de byggprodukter och andra resurser som kommer att användas – allt från utvinning av råmaterial till transport, förädling och tillverkning.
2. A4-A5 Byggproduktionsskedet omfattar byggprodukternas transport till byggplatsen och färdigställande av byggnaden.
3. B1-B7 Användningsskedet omfattar användning, underhåll, reparationer och drift av byggnaden. Här ingår till exempel energi och vattenanvändning vid drift.
4. C1-C4 Slutskedet.

(Boverket, 2019)

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Tabell 1 illustrerar skeden i en byggnads livscykel enligt den europeiska standarden EN 15978.

Tabell 1. Byggnads livscykel enligt EN 15978 (Boverket, 2021D).

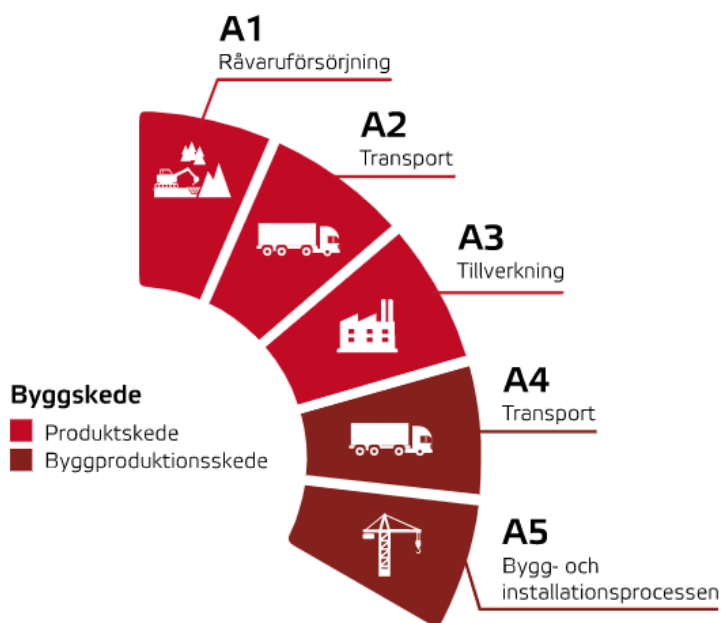
A1-A5 Byggskede		B1-B7 Användnings- skede	C1-C4 Slutskede	D Fördelar och belastningar utanför systemgränsen
A1-A3 Produktskede	A4-A5 Bygg- produktionsske- de			
A1 Råvaru- försörjning	A4 Transport	B1 Användning	C1 Demontering	
A2 Transport	A5 Bygg- och installations- processen	B2 Underhåll	C2 Transport	
A3 Tillverkning		B3 Reparation	C3 Restprodukt- behandling	
		B4 Utbyte	Bortskaffning	
		B5 Ombyggnad		
		B7 Driftens vatten- användning		

2.1.3.1 Klimatdeklaration

Den första januari 2022 infördes en lag som ställer krav på att en klimatdeklaration ska upprättas för nya byggnader i Sverige. Klimatdeklarationen lämnas in till Boverket. I en klimatdeklaration är byggherren skyldig att redovisa information från byggskedet vilket innefattar produktskede och produktionsskede. För en klimatdeklaration ingår alla bärande konstruktionsdelar och icke bärande innerväggar samt byggnadens klimatskärm (Boverket, 2022).

Figur 2 illustrerar vilka skeden som ingår och ska rapporteras i en klimatdeklaration enligt den europeiska standarden EN 15978.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus



Figur 2. Skeden som ingår i en klimatdeklaration (Boverket, 2021D).

2.1.4 Distributionssystem

När en byggnad ska värmas distribueras oftast värmen runt i huset med vatten eller luft. I kallare klimat såsom norra och centrala Europa dominerar vattenburna värmesystem i både bostäder och lokaler. Detta då de är driftsäkra med långa livscyklar samt ljudlösa. Däremot i USA är det vanligast med luftburna värmesystem i enbostadshus där värmen tillförs med ventilationsluften. Detta system anses vara svårare att få helt tyst och medför oftast mer underhåll än ett vattenburet värmesystem. Vid användning av luftburen värme är det viktigt att tänka på hur den tillförs rummet, att tillföra ventilationen via tak kan medföra en dålig omblandning av luften (Abel & Elmroth, 2016).

2.1.4.1 Ventilation

Ventilationen i en byggnad sköter många viktiga aspekter såsom att bidra till en god luftkvalité med hänsyn till temperaturen, luftfuktighet, drag och koldioxidnivåer. Om byggnaden är väl isolerad och tillräckligt lufttät finns det även möjlighet för ventilationssystemet att verka som en distributör av värme. Olika länder rekommenderar olika luftväxlingshastigheter i lågenergibygnader (Janson, 2010).

2.1.4.2 Från- och tilluftsventilation med värmeväxling (FTX)

FTX är namnet för ett ventilationssystem som står för både från- och tilluft med värmeväxling. Värmeväxlaren kan återvinna värme från frånluften i byggnaden för att

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

värma upp den nya kalla luften som tas in utifrån. Systemet är helt mekaniskt och använder sig av två fläktar, en för frånluften och en för tilluften. Luften är ventilerad i två separata kanaler där sedan värmen återvinns av en växlare. FTX-systemet kan antingen installeras centralt för en hel byggnad eller separat för varje lägenhet i byggnaden.

Det finns olika typer av värmewäxlare som är anpassade efter de behov den specifika byggnaden kräver. De tre vanligaste typerna är plattvärmewäxlare, roterande värmewäxlare och batterivärmewäxlare. Den temperaturverkningsgrad som rekommenderas för flerbostadshus av upphandlingsmyndigheten är 75% för basnivå och 85% på avancerad nivå för de olika typerna av värmewäxlare (Wahlström, 2021).

Placering av tilluftsdon är viktigt i ett FTX system för att undvika drag. Fördelaktigt är att antingen placera donet vid en vägg eller i takhöjd i mitten av rummet. Under vintersäsongen bör inte lufthastigheten överstiga 0,15 m/s och resten av året bör det inte överstiga 0,25 m/s. Temperaturen på luften kan också påverka känslan av drag i rummet. Är temperaturen inte tillräckligt hög kan det medföra till upplevelse av drag. För att uppfylla myndigheternas krav på luftväxling i byggnaden behöver uteluftsflödet minst vara 0,35 l/s·m². Hälften av luften ska ungefär vara omsatt varje timme (Wahlström, 2021).

För att ett FTX-system ska kunna utnyttjas optimalt krävs det att byggnaden är tät. Är byggnaden otät samtidigt som injusteringen av systemet gjorts felaktigt kan det uppstå övertryck vilket kan medföra fuktskador (Bokalders & Block, 2014). En roterande värmewäxlare medför en ökad risk för luftöverföring mellan olika lägenheter. Plattvärmewäxlaren och batterivärmewäxlaren kan man däremot göra helt täta för att undvika att hälsofarliga ämnen och lukt överförs (Wahlström, 2021).

FTX-systemen utrustas ofta med en eftervärmare för att komma upp i önskad tilluftstemperatur. En önskad tilluftstemperatur är vanligtvis 18–20 °C. Denna temperatur kan vara svår att nå genom värmeåtervinning för en värmewäxlare. För att nå detta kan värmebatteriet kopplas till fjärrvärme eller använda sig av el (Wahlström, 2021).

Ett rimligt värde för den specifika fläkteffekten är 1,5 kW. Elanvändningen ökar med 2–4 kWh/m² när FTX installeras för ett flerbostadshus med frånluftsventilation. Årligen kan samma byggnad spara upp emot 35–40 kWh/m² i värme (Wahlström, 2021).

Användning av ett FTX-system istället för ett vanligt frånluftssystem i en villa på runt 200 kvadratmeter kan uppskattas ge en besparing på 3000–6000 kWh per år. Besparingen blir som störst i kallare klimat. En så hög temperaturverkningsgrad som möjligt för systemet är önskvärt (Bokalders & Block, 2014).

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

2.1.4.3 Golvvärme

Golvvärme kan delas upp i två olika huvudkategorier, el och vattenburen. Golvvärme fungerar på så sätt att golven värms upp med hjälp av slingor med antingen varmt vatten, varm luft eller elektricitet. En del hus använder sig av golvvärme för att värma upp bostaden medan andra hus endast har systemet för komfort och använder sig av andra uppvärmningssystem. Vid användning av golvvärmesystem är det fördelaktigt använda material i golvet som leder värme bra såsom klinker och kakel, däremot är trä inte lika effektivt (Energimyndigheten, 2002).

Vattenburna värmesystem såsom radiatorer och golvvärme är smidiga då det är enkelt att byta själva värmekällan. Valet av värmekällan har en påverkan på hur klimatsmart systemet anses. Exempelvis är en oljepanna som värmekälla inte lika fördelaktigt såsom värmepump, fjärrvärme eller ved (Vattenfall, 2020).

En av de huvudsakliga fördelarna med golvvärme är att det sprider värme på ett effektivt sätt då hela golvet jämt fördelar värme till rummet. Att det är varmt och skönt för fötterna är uppskattat av brukare vilket medför att resterande del av rummet inte behöver vara lika varmt. En nackdel med golvvärme som primär värmekälla är att det är svårare att anpassa till husets behov då det är ett trögt system vilket kräver mer tid för anpassning vid förändringar. Golvvärme kräver även bra isolering under golvet då värmetransporten annars riskerar att ske ner i marken vilket ökar energianvändningen (Vattenfall, 2020).

För att golvvärmesystemet ska kunna regleras så effektivt som möjligt bör varje rum ha en egen slinga. Större rum använder sig av två eller flera slingor för att avkylningen av vattnet inte ska bli för omfattande. Systemets slingor är kopplade till en fördelare där vattenflödet för det specifika rummet kan justeras och styras. Golvvärme i betongkonstruktioner är trögare att reglera då betong har hög värmekapacitet. På grund av en stor värmeavgivande yta behöver inte golvvärmen vara avsevärt mycket högre än rumstemperaturen vid uppvärmning (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

2.1.4.4 Värmepump

Värmepumpar är idag ett av de vanligaste alternativen för uppvärmning av småhus. Under 2019 använder ungefär 60 % av alla småhus en värmepump för att värma tappvarmvatten och för att värma bostaden (Nilsson, 2020).

En värmepump kan med en lite mängd energi värma upp ett medium från låg till hög temperatur. Detta innebär att samma utrustning kan användas för att ta bort värme från ett utrymme (kylning) i ena änden samtidigt som det tillför värme till ett annat utrymme (uppvärmning) (Heat Pump Centre, U.Å.).

En energieffektiv lösning för värmepump är att kombinera det med golvvärme är att kombinera systemet med en värmepump och till exempel bergvärme. Värmepump är fördelaktig att använda eftersom verkningsgraden ökar för system med lägre framledningstemperatur vilken golvvärme har jämfört med radiatorer (Vattenfall, 2020).

2.1.5 Energianvändning

Beroende på vilken byggnad som studeras varierar energianvändningen för uppvärmning. Sveriges energianvändning har ungefär legat på samma nivå historiskt även om vi har haft en befolkningstillväxt. Energianvändningen har minskat en del senaste 20 åren och påverkas främst av förbättrad energieffektivitet, väder och konjunktur. Den slutliga statistiken för energianvändning i bostäder och service år 2019 visar att el och fjärrvärme står för cirka 80% av brukandet. Vidare står el som den mest förekommande uppvärmningsalternativet i småhus, följt av fjärrvärme och biobränsle. Däremot för flerbostadshus och lokaler så är fjärrvärme det mest förekommande alternativet. Historiskt har elpriserna varit stabila men under 2000-talet har priserna stigit kraftigt. Detta beror huvudsakligen på stigande bränslepriser och skatter (Energimyndigheten, 2021).

Den svenska energipolitiken sammanfaller med den lagstiftning som fastställs inom EU. Energimålen som EU ska förverkliga till 2020, 2030, och 2040 lyder följande (Energimyndigheten, 2021):

- Minska energianvändningen med 32,5 procent genom bättre energieffektivitet.
- Andelen förnybar energi ska vara minst 32 procent av energianvändningen.
- Andelen förnybar energi inom transportsektorn ska vara minst 14 procent.

Energimålen som Sverige ska förverkliga:

- Energianvändningen ska till 2020 vara 20 procent effektivare jämfört med 2008.
- Andelen förnybar energi ska vara minst 50 procent av energianvändningen till 2020.
- Andelen förnybar energi i transportsektorn ska vara minst 10 procent till 2020.
- Energianvändningen ska vara 50 procent effektivare 2030 jämfört med 2005.
- Elproduktionen ska år 2040 vara 100 procent förnybar, men det är inte ett stoppdatum som förbjuder kärnkraft.

2.2 Regelverk och styrande dokument

2.2.1 Energikrav

Vid nybyggnation finns det krav i Boverkets byggregler (BBR), avsnitt 9 på energihushållning, där en beräkning ska visa att huset har ett energibehov som ligger under det rekommenderade antalet kilowattimmar per kvadratmeter och år (kWh/m² och

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

år). Detta gäller för alla hus som är större än 100 m² om det inte har för stor fönsteryta samt inget kylbehov (Boverket, 2012), se Tabell 2.

Tabell 2. Energihushållning enligt Boverkets byggregler (Boverket, 2012).

	Energiprestanda uttryckt som primärenergital (EP _{pet}) /(kWh/(m ² _{Atemp} ·år))	Installerad eleffekt för uppvärmning/kW	Genomsnittlig värmeegenomgångskoefficient (U _m) /(W/(m ² K))	Klimatskärms genomsnittliga luftläckage vid 50 Pa tryckskillnad /(l/(s m ²))
Småhus >130 m ² A _{tem}	90	4,5 + 1,7 · (F _{geo} – 1)	0,30	Enligt avsnitt 9:26
Småhus >90–130 m ² A _{tem}	95			
Småhus >50–90 m ² A _{tem}	100			
Småhus ≤50 m ² A _{tem}	Inget krav	Inget krav	0,33	0,6
Flerbostadshus	75	4,5 + 1,7 · (F _{geo} – 1)	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Lokaler	70	4,5 + 1,7 · (F _{geo} – 1)	0,50	Enligt avsnitt 9:26

2.2.2 Ventilationskrav

BBR:s krav för lägsta tillsluftsflöde för ett ventilationssystem är minst 0,35 l/s per m² golvarea. För bostadshus där möjlighet finns till behovsstyrd ventilation får inte frånluftsflödet bli lägre än 0,35 l/s per m² golvarea när människor vistas i bostaden och 0,10 l/s per m² golvarea när ingen vistas i bostaden. Allmänna råd som gäller för ventilationsflödet är att det bör verifieras med mätning och beräkning. Frånluftsflöden kan komma att påverkas av ändring i tryckfall över filter samt smuts i kanaler och aggregat vilket även bör tas hänsyn till (Boverket, 2011).

Enligt äldre regler från Boverket 1993 så finns det rekommendationer på minsta frånluftsflöden beroende på vad rummen är dimensionerade för. Kök ska ha minst 10 l/s frånluft, WC 15 l/s för rum mindre än 5 m², teknikrum/tvättstuga 15 l/s (H Ivarsson & Modig, 1993).

2.2.3 BEN 2 (BFS 2017:6)

BEN 2 (BFS 2017:6) är utgivet av Boverket och innehåller föreskrifter och allmänna råd angående energianvändning för byggnader (Boverket, 2021B). Från BEN 2 hämtas information angående schablonvärden för brukarindata gällande energiberäkningar för småhus, se Tabell 3.

För internlast bedömer en energiexpert om dessa ska tas hänsyn till vid utvärdering av byggnadens uppvärmningsbehov. Allmänna rådet anger 3 kWh/m² som en gräns för att

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

avgöra om en justering kan göras. Andelen hushållsenergi som kan användas fastställs i samma råd till 70 % under uppvärmningssäsongen. Det vanliga värdet på hushållsenergi är $30 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ och år (Boverket, 2021B).

Tabell 3. Brukarindata bostäder enligt BEN 2.

Brukarindata	Värden
Innetemperatur under uppvärmningssäsong	21 °C
Solavskärmning (avskärningsfaktor)	0,71
Hushållsenergi	$30 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ ·år
Internlast som går att tillgodoräknas under uppvärmningssäsong	70 %
Personvärme som går att tillgodoräknas under uppvärmningssäsong	80 W per person

2.2.4 Sveby

Sveby står för att ”Standardisera och verifiera energiprestanda i byggnader”. Sveby är en branschstandard som används för att på ett mer fördelaktigt och standardiserat sätt utföra energiberäkningar på byggnader (Sveby, 2012). Enligt Tabell 4 redovisas brukarindata för småhus.

Tabell 4. Sammanställning av brukardata nya småhus (Sveby, 2012).

Brukarindata	Värden småhus
Innetemperatur under uppvärmningssäsong	21 °C
Luftflöden (behovsstyrda flöden i kök)	30 min per dag
Vädringspåslag	4 kWh/m^2 år
Solavskärmning (Avskärningsfaktor) Total (Fast och rörlig)	0,5 (0,71 och 0,71)
Tappvarmvatten	20 kWh/m^2
Hushållsel	30 kWh/m^2
Internvärme som går att tillgodoräknas under uppvärmningssäsong	70 %
Personvärme som går att tillgodoräknas under uppvärmningssäsong	80 W per person

2.2.5 Folkhälsomyndighetens krav

Folkhälsomyndigheten har även riktvärden och rekommenderade värden för bedömning av olägenheter för människor hälsa, värdena redovisas i Tabell 5.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Tabell 5. Folkhälsomyndigheten värden för bedömning av olägenhet för människors hälsa (Folkhälsomyndigheten, 2014)

	Riktvärden	Rekommenderade värden
1. Operativ temperatur	Under 18 °C	20–23 °C
2. Operativ temperatur, varaktigt	Över 24 °C	
3. Operativ temperatur, kortvarigt	Över 26 °C	
4. Skillnad i operativ temperatur mätt vertikalt 0,1 och 1,1 m över golv		Ej över 3 °C
5. Strålningstemperaturskillnad		
Fönster-motsatt vägg		Ej över 10 °C
Tak-golv		Ej över 5 °C
6. Luftens medelhastighet		Ej över 0,16 m/s
7. Ytemperatur, golv	Under 16 °C	20–26 °C

2.3 Iterationsprocess för att uppnå resultat

I IDA ICE har en lång process genomgåts för att kunna göra simuleringar med en godtycklig temperatur inomhus. Initialt bestämdes i detta arbete att luftflödets temperatur som kommer att värmas görs över uppvärmningssäsongen från oktober till april. Till en början prövades luftflödets temperatur för ett FTX system ställas in med hjälp av ett diagram i IDA ICE som tog hänsyn till vilken temperatur tilluften behövde ha vid en viss utetemperatur, där DVUT var dimensionerande. Efter otaliga försök att få detta korrekt utan framgång där extrema temperaturer uppkom, tipsade EQUA Simulation AB att använda en ”reheat coil” där huset använder sig av tilluft. Denna regleras av en termostat som reglerar temperaturen för att få den inom korrekt intervall. Golvvärmen fungerar på samma sätt.

Vid val av styrning av luftflöde testades först ett Variable Air Volume- (VAV) system. På grund av hög energianvändning vid det dimensionerande till- och frånluftsflödet för ett VAV-system med tilluftstemperatur på 20 °C skulle behöva vara alldeles för stora, så beslutades det att systemet skulle köras med Constant Air Volume (CAV).

Enligt ritningar använder sig Villazero av isolering i bjälklaget för cirka halva huset och isolering i snedtaket på resterande. Från början byggdes modellen i IDA ICE upp med ett snedtak över bjälklaget genom att lägga en extra zon över de rum som befann sig under bjälklagsisoleringen. Simuleringar med snedtak belastade programmet mer och i samråd med handledare som förklarade att taket i sig inte skulle påverka resultaten så beslutades det att använda platt tak över delen med isolering.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Ett resultat, på grund av det valda sättet att modellera byggnaden, var att det inte riktigt går att jämföra komforten för systemen. I IDA ICE antas perfekta förhållanden vilket inte gäller i verkligheten. För utvärdering av komforten över ett år används diagram som registrerar ”no. of occupancy hour” vilket är de timmar människor vistas i rummet. Dessa timmar skiljer sig för de olika systemen även om närvaroscheman är identiska för simuleringarna. Kontakt har tagits med handledare och EQUA Simulation AB men problemet har inte gått att lösa.

För att simulera ”Air temperatures at floor and ceiling” se Bilaga 3, behöver zonen göras om till en ”climate” zone. Zonen måste då byggas upp som en rektangulär zon. När geometriska kraven uppfylldes för modellen visade resultatet för ”Air temperatures at floor and ceiling” att det blev samma temperatur i taket som vid golvet. För att ändra detta testades det att ändra parametern ”Displacement degree for gradient calculation”, grundfallet är satt på 0 (well-mixed). Test gjordes med att sätta denna till 1 men resultaten blev densamma. Då zonerna ändå inte var rektangulära och problem uppstod vid försök att lösa problemet beslutades det att sluta testa. För att få bästa resultat så skulle det antagligen vara bäst att använda sig av olika temperaturgradienter för de två systemen, alltså hur mycket temperaturen skiljer sig per avstånd. Dock kvarstod problemet med att zonerna var ”non-rectangular geometry”.

I One Click LCA var svenska installationsdelar begränsade både i programmet och som egna Environmental Product Declaration (EPD):er. Det togs därför beslut att sammanställa de system som gick att hitta i programmet och jämföra dessa med individuella material och system EPD:er.

2.4 Beräkning av energibehov och termisk komfort med IDA ICE

För att studera energianvändning och termisk komfort i den aktuella byggnaden har simuleringsverktyget IDA ICE använts. Med IDA ICE finns möjligheten att bygga upp olika modeller och dela upp byggnaden i olika zoner för att kunna simulera diverse fall. Det går att simulera termisk komfort för specifika zoner och även beräkna energianvändningen för hela byggnaden som ett system. IDA ICE modellerar med ekvationer från ISO 7730. Versionen som använts i denna rapport är IDA ICE 4.8.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

2.4.1 Indata till IDA ICE

För att studera energibehov och termisk komfort för golvvärme och FTX behöver simuleringsprogrammet följande indata:

- Husmodell
- Konstruktion och material för vald husmodell
- En platspecifik klimatfil
- Studerat uppvärmningssystem
- Internvärme
 - Ljus
 - Effektutveckling från personbelastning, kök och datorer
- Luftläckage
- Köldbryggor
- Solavskärmning
- Termiskt klimat

Husmodell Villazero

Villan som ska undersökas är planerad och byggd för att bli Sveriges första koldioxidneutrala småhus. Villan är placerad i Borlänge, Dalarna och projektet drivs som utvecklingsprojekt av Fiskarhedenvillan, Structor Byggteknik Dalarna och Mondo Arkitekter med stöd från Region Dalarna. Villazero är det första pilotprojektet i Swedish Green Building Councils satsning att certifiera småhus inom NollCO₂, Villazero certifieras även enligt Svanen. Certifieringen NollCO₂ betyder att hela klimatpåverkan för byggnadens livscykel redovisas och skall med klimatåtgärder få nettonoll klimatpåverkan (Structor, 2022).

Villan är planerad att vara uppvärmd av enbart ett FTX-system som är kopplat till ett vattenburet batteri som värmer upp luften efter att den gått igenom en värmexlare (Bramevik, 2022).

Modellens utformning

Modellen för Villazero är i detta projekt utformad efter konstruktionsritningar tillhandahållna från Fiskarhedenvillan genom Hans Bramevik på LK Systems. Modellen utformades i IDA ICE så likt ritningarna som möjligt men på grund av begränsningar från programmet och egna modelleringskunskaper har en del modifieringar behövts göras. Det bestämdes att platt tak ska läggas över lägenhetsdelen, se Figur 3. Detta då programmet simulerar mot utomhusklimat och över bjälklaget kommer det fungera som kallvind, där utomhusklimat råder (Fransson, 2022).

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus



Figur 3. Modellens utformning i IDA ICE.

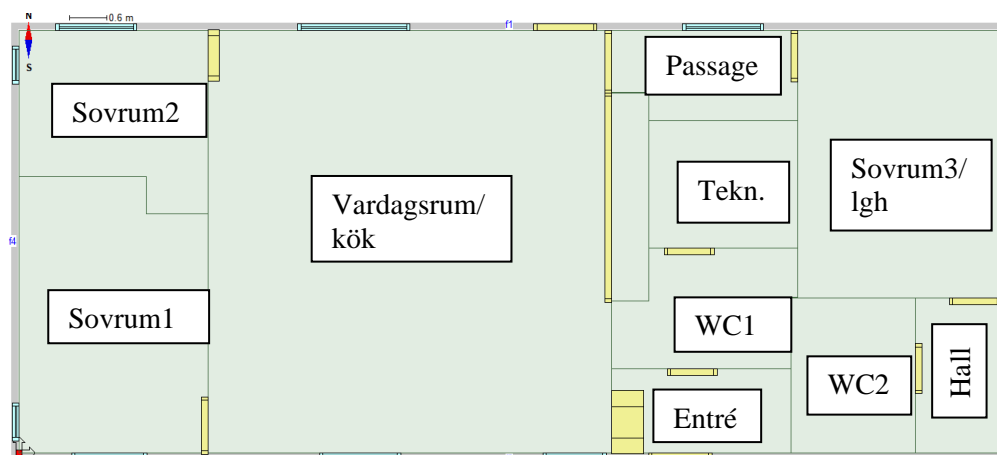
I projekt i IDA ICE byggs rummen upp i olika zoner, Villazero har byggts så att varje rum är en specifik zon. För en smidigare uppbyggnad har entrén och passage gjorts till egna zoner. Programmet modellerar så att hela zonen har samma inomhusklimat vilket medför att ventilationsflöde och temperatur blir samma i zonen. Aktuella areor för rummen är redovisade i Tabell 6.

Tabell 6. Area för zoner.

Modellerad konstruktionsdel	Area/m ²
Sovrum 1	13,0
Sovrum 2	7,8
Sovrum 3	14,0
Vardagsrum/Matplats	44,2
Kök	2,0
Entré	3,9
Hall	3,4
Passage	4,1
Tekn/Tvätt	4,9
WC/D1	5,3
WC/D2	5,0
Total area	107,6

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Rumsfördelningen i IDA ICE är redovisad enligt Figur 4.



Figur 4. Zonindelning av Villazero.

Volymer och areor har försökts efterlikna tillhandahållna konstruktionsritningarna. I modelleringen har areorna för varje rum blivit lite större än vad ritningarna anger. Detta då zonerna har blivit uppmätta från insida yttervägg till mitten på närmsta vägg. Då simuleringarna ska studera fallen för två uppvärmningssystem ansågs det att förenklingen var godtycklig då den är lika för båda modellerna.

Konstruktion och material för Villazero

I Tabell 7 finns alla material som kommer att användas i konstruktionen redovisade med tillhörande värmekonduktivitet, densitet och specifik värmekapacitet.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Tabell 7. Materialegenskaper.

Material	Värmeledning $/(W/(m \cdot K))$	Densitet $/(kg/m^3)$	Specifik värmekapacitet $/(J/(kg \cdot K))$
Furugolv	0,14	500	2300
25 HUNTON VINDTÅT PLUS	0,05	235	2100
Bärläkt	-	-	-
Cellplast EPS 100	0,036	20	750
Cellplast EPS S100	0,036	20	750
Fibergips	0,22	970	1090
Gustafs lamellow	0,14	500	2300
Hunton Nativo träfiberisolering	0,038	50	2100
KL-Trä L3S	0,14	500	2300
Panel	0,14	500	2300
PE-Folie	-	-	-
Råspont	-	-	-
Siga Majcoat 150	-	-	-
Siga Majrex	-	-	-
Ströläkt	0,14	500	2300
Ångbroms siga wet gard 200	-	-	-

Med hänsyn till värdena redovisade i Tabell 7 har sedan U-värdet beräknats av IDA ICE. Delarna har modellerats i programmet med aktuell tjocklek från ritningar för konstruktionsdelen, se Bilaga 1. U-värde och tjocklek för respektive konstruktionsdel redovisas i Tabell 8.

Tabell 8. Byggnadsdelegenskaper.

Del	U-värde/ $(W/(m^2 \cdot K))$	Tjocklek/m
Golv mot platta	0,0821	0,525
Yttervägg	0,0705	0,612
Isolering i tak "långsida"	0,0488	0,927
Isolering i tak "kortsida"	0,05	0,912
Isolering mellan höjdskillnad tak	0,0762	0,503
Isolering mellanbjälklag	0,0531	0,741
Innerväggar 100 mm	0,6037	0,097
Innervägg 200 mm	0,2674	0,172

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Platsspecifik klimatfil

Då Villazero är placerat i Borlänge Dalarna, har klimatfilen för platsen som ligger närmast Borlänge geografiskt använts vilket medförde att det blev klimatfilen för Malung. Klimatfilen är framtagen av ASHRAE år 2013 och innehåller data angående utomhustemperaturer, luftfuktighet, vindhastigheter, vindriktningar och solinstrålning. Klimatfilen redovisat i Bilaga 2.

Enligt statistik från Boverket (2017) så är dimensionerande vinterutetemperatur (DVUT) för Borlänge $-20,7\text{ °C}$ men för Malung är motsvarande temperatur $-25,9\text{ °C}$. I IDA ICE använder sig programmet av temperaturen $-25,6\text{ °C}$ för Malung. Detta medför att beräkningen för effektbehovet kommer bli något missvisade.

Uppvärmningssystem Golvvärme

För uppvärmning med golvvärme i IDA ICE har golvvärme placerats ut över hela golvet i alla zoner. Detta för att programmet inte tar hänsyn till vilket avstånd som används mellan rören utan enbart vilken W/m^2 som används. I beräkningar av energibehov kan det därför ställas in obegränsad uppvärmning då programmet kommer anpassa efter perfekta förhållande och perfekt användning av systemet.

Vid utläggning av riktig golvvärme behövs det dimensioneras efter vad för c/c-avstånd som kommer att användas. I rapporten har klimatberäkningar för två fall utvärderats. Ett med c/c-avstånd mellan rören på 320 mm och ett med 160 mm. Rören som har valts att användas har dimensionerna 16 x 2,0 mm. För c/c 160 mm motsvarar detta $7,5\text{ m, rör/m}^2$ och för c/c 320 mm motsvarar detta $3,5\text{ m, rör/m}^2$ (LK Systems AB, U.Å).

Vid simuleringar av systemet i IDA ICE räckte en värmeeffekt på 40 W/m^2 för att täcka energibehovet för uppvärmning och grundinställningen behövde ej höjas. I samråd med Anders Malm på LK Systems har det bestämts att temperaturfallet över golvvärmeslingan ska vara 7 °C . Systemet kommer att kontrolleras av en termostat så att temperaturen håller sig på godkända nivåer. Rören läggs under ett furu-golv vilket motsvarar 0,025 m under marken och har en värmeöverföringskoefficient på $10\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

Uppvärmningssystem FTX-system

För uppvärmning med luftburen värme med värmeväxling i IDA ICE har "reheat coils" placerats i alla zoner med tilluft. Då intresse enbart är gällande energianvändningen i villan kan ett obegränsat effektbehov sättas för systemet. Uträknad dimensionerad tilluftstemperatur för ett ventilationsflöde på 65 l/s blev $47,1\text{ °C}$ och för ett ventilationsflöde på 37,6 l/s blev $62,1\text{ °C}$, vilket ställs in för lägsta utetemperaturen (DVUT). Beräkningar redovisas under kapitel 2.4.2.

För att kunna göra en korrekt bedömning av hur stort koldioxidavtrycket från systemet är har det från ritningar mätts upp hur många meter ventilationskanaler som kommer behövas för de dimensioner som används i systemet. I Tabell 9 finns aktuella siffror redovisade.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Tabell 9. Ventilationskanaler dimensioner.

Rördiameter/m	Längd/m	Volym/m ³
0,100	28	0,44
0,125	20	0,49

Andra delar i FTX-systemet kommer vara en "air handling unit" med värmeväxlare. En HERU 100 T EC kommer att kunna utnyttja en verkningsgrad på värmeväxlingen på cirka 85 %. SFP för fläktar sätts till 1.12 kW/m³/s (Östberg, 2022). Indata från produktbladet sätts in i IDA ICE under "air handling unit".

Enligt ritningar så syns det att ett värmebatteri placeras efter aggregatet och ska agera som slutlig uppvärmare efter värmeväxlingen. Det antogs i denna studie att en reheat coil fungerar på samma sätt i IDA ICE.

Internvärme

Förutom värmesystemen kommer även internvärmerna påverka behovet av uppvärmning i huset. I IDA ICE går det att göra scheman för närvaro i olika rum samt när belysning, apparater, fönster och dörrar används i byggnaden. Antagande har gjorts för att försöka motsvara BEN:s rekommendation för interntillskott från hushållsenergi på 70% av 30 kWh/m² för ljus, personbelastning, datorer och kök.

Ljus

För varje rum har det antagits att en LED-lampa kommer finnas tillgänglig vilken genererar en effekt på 5 W vilket resulterar i ett ljusflöde upp till 500 lumen (Energimyndigheten, 2020). I Tabell 10 redovisas tiden lampan är på för respektive rum.

Tabell 10. Tidsschema för ljus.

Rum	Dag	Tid lampa är på
Sovrum	Måndag-fredag	06.00-07.00 och 20.00-23.00
	Lördag-söndag	08.00-10.00 och 20.00-23.00
Resterande del av huset	Måndag-fredag	06.00-08.00 och 15.00-23.00
	Lördag-söndag	06.00-08.00 och 15.00-23.00

Effektutveckling från personbelastning

I sovrummen antas det att aktivitetsnivån ligger på 1 MET vilket motsvarar vila eller sittande. För vardagsrummet antas det att lite mer värme kommer alstras och därför väljs 1,5 MET vilket är mer aktivt arbete. Personerna i huset antas ha en klädsel som har en isoleringsförmåga som varierar mellan $0,85 \pm 0,25$ CLO vilket motsvarar ett spann mellan lätt sommarklädsel och normal inomhusklädsel (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Det aktuella schema för hur länge och hur många människor som vistas i respektive rum redovisas i Tabell 11.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Tabell 11. Tidsschema för personbelastning.

Rum	Antal personer	Dag	Tidschema
Sovrum 1	1	Måndag-fredag	22.00-07.00
		Lördag-söndag	23.00-10.00
Sovrum 2	1	Måndag-fredag	22.00-07.00
		Lördag-söndag	23.00-10.00
Sovrum 3	2	Måndag-fredag	22.00-07.00
		Lördag-söndag	23.00-10.00
Vardagsrum/Kök	4	Måndag-fredag	07.00-09.00 och 17.00-21.00
	2	Måndag-fredag	15.00-17.00 och 21.00-23.00
	4	Lördag-söndag	9.00-21.00
	2	Lördag-söndag	21.00-24.00

Effektutveckling från datorer

I vardagsrummet antas det att alla människorna har tillgång till en dator som genererar 50 W samma tider som personbelastning finns i rummet (E.ON Energilösningar, 2021).

Effektutveckling från kök

I vardagsrummet är ett kök placerat enligt ritningar. Från data över olika köksmaskiner antas ett snitt på antalet watt för användningen vara på 1500 W (Elskling AB, U.Å.). Detta ska motsvara ugn, spis, mikrovågsugn med mera och antas användas en timme på morgonen vardagar och en timme på kvällen varje vardag. På helgen läggs även en timme till för lunch.

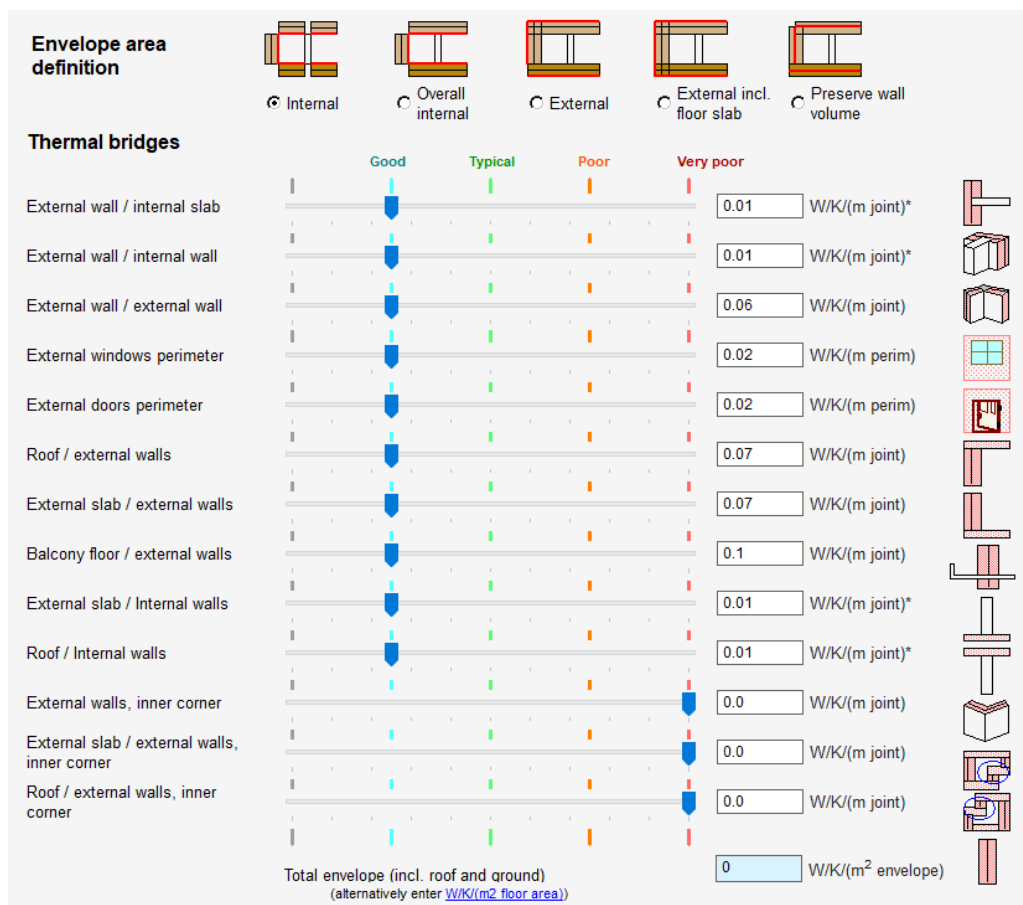
Luftläckage

Valt luftläckage för byggnaden är 0,1 l/s, A_{oms1} vid 50 Pa tryckskillnad. Då ytterdörrarna antas vara aningen otäta mellan dörrkarmen och dörren har luftläckagespringor modellerats. Dessa är satta till 0,01 m². I simuleringarna har det antagits att alla innerdörrar är halvt öppna.

Köldbryggor

Enligt Larsson & Berggren (2015) ska köldbryggor motsvara 20 % av de totala transmissionsförlusterna i byggnaden. Genom antaganden och testsimuleringar antogs det motsvara IDA ICE:s data för "Good" se Figur 5. Resultatet för andel procent redovisas i Tabell 14.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus



Figur 5. Byggnadens köldbryggor.

Solavskärmning

På södersidan av Villazero använder sig huset av solavskärmning i form av stående träribbor som är monterade relativt tätt i form så att de kan flyttas fram och tillbaka beroende på behovet. I IDA ICE kommer detta att efterliknas genom användning av en vägg enligt Figur 3. På västra sidan av huset kommer en utvändig markis att användas. På östra sidan är det så pass små fönster att det anses att solavskärmning är överflödigt. I alla sovrumsfönster kommer det läggas till persienner.

Termiskt klimat

Enligt folkhälsomyndighetens rekommendationer ska den operativa temperaturen ligga mellan 20–23 °C och ytemperaturen för golv ligga mellan 20–26 °C, se Tabell 5. För IDA ICE går det att ställa in vilken temperatur som gränsen för att programmet ska värma upp och vid vilken temperatur systemet ska kyla. Inställningen för uppvärmning

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

är satt till 20 °C. Då inget kylsystem är inkopplat så finns det ingen bestämd temperatur för kylning.

2.4.2 Beräkningar i IDA ICE

För att dimensionera huset efter önskat luftflöde har de två kraven från Boverket räknats fram. Ett för de nya kraven och ett för de gamla.

Ventilation

Två olika ventilationsflöden har analyserats för de två systemen i simuleringarna. Detta har gjorts med hänsyn till att det finns äldre brukarkrav som enligt Janson (2022) generellt brukar jämföras med det nyare kravet från Boverket. Det största ventilationsflödet av de två blir dimensionerande. Villazeros ägare ville att en del i byggnaden skulle vara möjlig att hyra ut vilket medförde att det finns två kök och toalett på relativt liten area.

Boverkets krav anger att ett minsta ventilationsflöde på $0,35 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2 A_{\text{temp}}$ måste uppnås. För att beräkna från- och tilluft för golvvärme så har areorna som används i respektive zon tagits fram. De zoner som har tilluftsdon enligt ventilationsritningar har fått en fördelad tilluft på $0,35 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$. Zonerna får då tilluft enligt Tabell 12. Totala tilluften har sedan delats med areorna för alla zoner med frånluft. Arean för hela huset är $107,43 \text{ m}^2$, se Tabell 6.

$$\text{Total luftflöde} = 107,43 \cdot 0,35 = 37,6 \text{ l/s}$$

I IDA ICE har sedan luftflödet för tilluft och frånluft satts in, i programmet blir det en jämn fördelning av luftflödet.

Tabell 12. Till- och frånluftsflyde Boverkets krav.

Rumsnamn	Area/ $\text{m}^2 A_{\text{temp}}$	Tilluft/(l/s)	Frånluft/(l/s)
Sovrum 1	13,0	5,74	
Sovrum 2	7,8	3,44	
Sovrum 3	14,0	6,19	
Vardagsrum/Matplats	44,2	19,55	27,09
Kök	2,0	0,89	1,23
Entré	3,9		
Hall	3,4		
Passage	4,1	1,80	
Tekn/Tvätt	4,9		3,02
WC/D 1	5,3		3,20
WC/D 2	5,0		3,06
Total	107,6	37,6	37,6
Totalt luftflöde villa	$A_{\text{temp}} \cdot 0,35$	Tilluft/(l/(s·m²))	Frånluft/(l/(s·m²))
	37,6 l/s	0,443	0,613

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

För uträkningar i Tabell 12 togs värdena för tilluft fram enligt ekvationerna nedan. Där det totala ventilationsflödet för byggnaden delades på arean på de zoner som ska utnyttja tilluft respektive frånluft.

$$Tilluft = \frac{37,6}{12,93 + 7,768 + 13,94 + 44,2 + 2,01 + 4,065} = 0,443 \text{ l}/(s \cdot m^2)$$

$$Frånluft = \frac{37,6}{44,2 + 2,01 + 4,92 + 5,225 + 5} = 0,613 \text{ l}/(s \cdot m^2)$$

Enligt äldre regler från Boverket 2002 så finns det rekommendationer på minsta frånluftsflöden beroende på vad rummen är dimensionerade för. Kök ska ha minst 10 l/s frånluft, WC 15 l/s för rum mindre än 5 m², teknikrum/tvättstuga 15 l/s. Enligt de äldre kraven så skulle till- och frånluftsflödet för byggnaden bli 65 l/s se Tabell 13.

Tabell 13. Till- och frånluftsflöde för Boverkets äldre krav.

Rumsnamn	Area/m ² _{Atemp}	Tilluft/(l/s)	Frånluft/(l/s)
Sovrum 1	13,0	9,92	
Sovrum 2	7,8	5,94	
Sovrum 3	14,0	10,69	
Vardagsrum/Matplats	44,2	33,8	10
Kök	2,0	1,54	10
Entré	3,9		
Hall	3,4		
Passage	4,1	3,11	
Tekn/Tvätt	4,9		15
WC/D 1	5,3		15
WC/D 2	5,0		15
Total	107,6	65	65
		Tilluft/(l/(s·m ²))	
		0,765	

Uppvärmning

De två olika modellerna kommer värmas upp på två olika sätt. Ett genom enbart golvvärme och ett genom enbart luftburen värme. För att räkna ut effektförlusterna för byggnaden går det att med IDA ICE ta fram transmissionsförluster. Köldbryggor skall motsvara 20 % av de totala transmissionsförlusterna i byggnaden (Larsson & Berggren, 2015). Detta har försökts efterlikna i IDA vilket har medfört totala transmissionsförluster på 19,44 % enligt Tabell 14.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Tabell 14. Fördelning av area, U-värde och transmissionsförluster enligt IDA ICE

Vinddriven infiltrations luftflödes hastighet	34,256 l/s at 50.000 Pa			
Byggnadsdel	Area/m ² _{Atemp}	U/(W/(m ² K))	U·A/(W/K)	Andel/%
Väggar ovanför mark	107,85	0,07	7,65	22,17
Vägg mellan kallvind och innertak	7,72	0,08	0,59	1,70
Yttervägg	100,13	0,07	7,06	20,46
Tak	122,57	0,05	6,20	17,97
Kortsida tak isolerat	27,67	0,05	1,38	4,01
Långsida tak isolerat	52,44	0,05	2,26	6,54
Bjälklagstaksisolering	42,46	0,05	2,26	6,54
Fönster	18,51	0,72	13,41	38,87
SGG Cool-lite Xtreme 70–33	18,51	0,72	13,41	38,87
Dörrar	6,60	0,07	0,47	1,35
Yttervägg	6,60	0,07	0,47	1,35
Köldbryggor			6,78	19,64
Total	255,53		34,51	100,00

För att beräkna temperaturen som krävs för tilluften vid det dimensionerande fallet används indata enligt Tabell 15.

Tabell 15. Indata för effektbehovsberäkningar och tilluftstemperatur.

Parameter	Värde	Kommentar
DIT	20 °C	Enligt BEN2
DVUT	-25,6 °C	Enligt klimatfil
Transmissionsförluster Q_t	34,51 W/K	Enligt Tabell 14
Ventilationsflöde q_v	65 l/s resp. 37,6 l/s	Enligt Tabell 12 och 13

Två fall för effektförluster kommer behövas tas fram, ett för FTX systemet som utnyttjar värmeåtervinning och ett för golvvärme. Effektförlusterna beräknas fram med hjälp av luftens densitet (ρ), luftens värmekapacitet (c) och ventilationssystemets verkningsgrad (v). Ekvationer är hämtade från Projektering av VVS-installationer (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

För golvvärme med till- och frånluftsflöde 65 l/s:

$$Q_v = \rho \cdot c_p \cdot q_v = 1,2 \cdot 1000 \cdot 65 \cdot 10^{-3} = 78 \text{ W/K}$$

$$Q_t = 34,51 \text{ W/K (tabell 9)}$$

I följande ekvation beräknas de totala effektförlusterna där den specifika läckageförlusten (Q_{ov}) försummas (Fransson, 2022).

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

$$Q_{tot} = Q_t + Q_v + Q_{ov} = 34,51 + 78 + 0 = 112,51 \text{ W/K}$$

Dimensionerande effektbehovet beräknas enligt:

$$P_{dim} = Q_{tot} \cdot (DIT - DVUT) = 112,51 \cdot (20 - (-25,8)) = 5153 \text{ W}$$

För golvvärme med till- och frånluftsflöde 37,6 l/s:

$$Q_v = 45,1 \text{ W/K}$$

$$Q_{tot} = 79,9 \text{ W/K}$$

$$P_{dim} = 3657,6 \text{ W}$$

För FTX med till- och frånluftsflöde 65 l/s:

$$Q_v = \rho \cdot c_p \cdot q_v = 1,2 \cdot 1000 \cdot 65 \cdot 10^{-3} = 78 \text{ W/K}$$

$$Q_t = 34,51 \text{ W/K (tabell 9)}$$

$$Q_{tot} = Q_t + Q_v \cdot (1 - \eta) = 34,51 + 78 \cdot (1 - 0,85) = 46,21 \text{ W/K}$$

$$P_{dim} = Q_{tot} \cdot (DIT - DVUT) = 46,21 \cdot (20 - (-25,8)) = 2116 \text{ W}$$

För FTX med till- och frånluftsflöde 37,6 l/s:

$$Q_v = 45,1 \text{ W/K}$$

$$Q_{tot} = 41,5 \text{ W/K}$$

$$P_{dim} = 1901 \text{ W}$$

Dimensionering av maxtemperatur för reheat coiler i IDA ICE för respektive ventilationsflöde görs enligt följande:

$$P = Q_v \cdot (T_{tilluft} - T_{inne})$$

$$T_{tilluft} = \frac{P}{Q_v} + T_{inne} = \frac{2116}{78} + 20 = 47,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Samma uträkningar görs för ett ventilationsflödeflöde på 37,6 l/s:

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

$$T_{tilluft} = \frac{P}{Q_v} + T_{inne} = \frac{1901}{45,1} + 20 = 62,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Effektbehovet för samtliga ventilationsflöden och system redovisas i Tabell 16.

Tabell 16. Effektbehov för olika ventilationsflöden och system.

System	Effektbehov
Golvvärme ventilationsflöde 65 l/s	5153 W
Golvvärme ventilationsflöde 37,6 l/s	3658 W
FTX ventilationsflöde 65 l/s	2116 W
FTX ventilationsflöde 37,6 l/s	1901 W

2.5 Beräkning av koldioxidutsläpp

I detta kapitel kommer en jämförelse av klimatpåverkan mätt i CO_{2e} mellan de två systemen golvvärme och FTX genomföras. I dagsläget finns det inga svenska krav på att utföra miljövarudeklarationer för installationer. Genom One Click LCA:s databas kan miljödeklarationer från hela världen studeras. I följande kapitel kommer klimatpåverkan från modulerna A1-A3 studeras. Klimatdeklaration enligt Boverket studerar A1-A5.

2.5.1 Indata

Indikatorn "GWP-biogenic" tar hänsyn till mängden koldioxid som absorberas från atmosfären under tillväxten av biomassa och binds under materialets livslängd, samt biogena utsläpp till luft genom oxidation eller sönderfall av biomassa (till exempel förbränning). Överföringar av biogent kol från tidigare produktsystem till det produktsystem som är under utredning eller övergår till efterföljande produktsystem måste också beaktas (Weigu, et al., 2017).

Att bara ta hänsyn till indikatorn GWP-biogenic kan ge ett missvisande värde då arbetet enbart studerar modulerna A1-A3. Den mängd koldioxid som trä binder under dessa faser kommer sedan att släppas ut då det ska förbrännas vilket sedan neutraliserar påverkan i A1-A3 (Farsäter, 2022).

One Click LCA

One Click LCA-mjukvaran är utvecklad av Bionova Ltd. Plattformen är standardiserad för att utföra Life Cycle Cost (LCC) tillsammans med Life Cycle Assessment för att på så vis kunna minska miljöpåverkan samt kostnader (Petrovic, et al., 2019).

2.5.2 Beräkning klimatkalkyl

Golvvärme enligt One Click LCA

Från One Click LCA:s databasen har 13 olika golvvärmesystem klimatpåverkan analyserats och redovisas för Boverkets fall A1-A3 enligt Tabell 17.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Tabell 17. Golvvärmesystem i One Click LCA.

One Click LCA namn	GWP _{A1-A3} / (kg _{CO2e} /m ²)	GWP _{A1-A3} / (kg _{CO2e})
Underfloor heating or cooling system, 107.7 kg/m ² (COCHEBAT)	9,61	1028,27
Underfloor heating system, 3.2 - 5 cm, 15.95 kg/m ² , EcoFloor Plus (INTERPLAST)	11,4	1219,8
Underfloor heating system with mortar coating, 40 mm, 91.8 kg/m ² (COCHEBAT)	9,59	1026,13
Underfloor heating system, per m ² , 0.44 kg/m ² (0.0153 kg/m ² non ferrous metals, 0.4249 kg/m ² plastics), Plancher (INNOVERT)	2,1	224,7
Underfloor heating system PEX, installation pipe spacing: 200mm, 30 mm insulation panel	5,69	608,83
Underfloor heating system PEX, installation pipe spacing: 100 mm, 30 mm insulation panel	7,75	829,25
Underfloor heating system PP, installation pipe spacing: 200mm, 30 mm insulation panel	4,89	523,23
Underfloor heating system PP, installation pipe spacing: 100 mm, 30 mm insulation panel	6,14	656,98
1 m ² of underfloor heating system: T55 TAC insulation board, PERT EVOH pipe system and manifold cabinet with 2 manifolds and 8 circutes.	10,2	1091,4
1 m ² of underfloor heating system: T55 TAC insulation board, PERT-AL-PERT pipe system and manifold cabinet with 2 manifolds and 8 circutes.	22	2354
1 m ² of underfloor heating system: T55 TAC insulation board, PEX-a EVOH pipe system and manifold cabinet with 2 manifolds and 8 circutes.	10,8	1155,6
1 m ² of underfloor heating system: T45 insulation board, PERT-AL-PERT pipe system and manifold cabinet with 2 manifolds and 8 circutes.	21,1	2257,7
1 m ² of underfloor heating system: T45 insulation board, PERT EVOH pipe system and manifold cabinet with 2 manifolds and 8 circutes	9,31	996,17
Summa	130,58	13 972
Medelvärde	10,04	1074,77

Analysen har resulterat i ett medelvärde för koldioxidutsläpp på 10,04 kg_{CO2e}/m² har beräknats för de 13 färdiga golvvärmesystemen från One Click LCA.

Med en A_{temp} på 107 m² skulle det totala koldioxid ekvivalent utsläppet bli följande:

$$\text{Totalt koldioxidutsläpp} = 10,04 \cdot 107 = 1075 \text{ kg}_{CO2e}$$

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Efter samtal med Amanda Scotte och Anders Malm på LK Systems togs beslutet att använda en färdig golvvärmesystemklimatdeklaration som anses mest lik motsvarande system som är tänkt att användas i villan. Detta system har en klimatpåverkan på 9,9 kg_{CO₂e}/m² (Brass & Fittings, S.L., 2021). Detta har resulterat i ett totalt koldioxidutsläpp enligt följande:

$$GWP_{A1-A3} = 9,9 \cdot 107 = 1059 \text{ kg}_{CO_2e}$$

Det system som använts i aktuell EPD använder sig av 9 m rör/m². I samråd med LK Systems har det rekommenderats att använda PE-Xa-rör med antingen c/c 320 mm eller 160 mm. Ett c/c-avstånd på 320 mm skulle ge 3,5 meter rör/m² och c/c-avstånd på 160 mm ger 7 meter rör/m².

Ett antagande att antalet meter rör är linjärt med hur stor klimatpåverkan som sker över en kvadratmeter görs. Beräkning av motsvarande koldioxidutsläpp för rör dimensionerad med aktuell rörmängd blir enligt nedan:

Då koldioxidutsläppet för 9 meter var 9,9 kg CO₂e/m² så blir avtrycket för 1 meter rör per m² följande:

$$GWP_{A1-A3}/m^2 = \frac{9,9}{9} = 1,1 \text{ kg}_{CO_2e}/m^2$$

För 3,5 meter rör/m² blir:

$$GWP_{A1-A3}(c/c 320) = 1,1 \cdot 3,5 = 3,85 \text{ kg}_{CO_2e}/m^2$$

Klimatavtrycket för 7 meter rör/m² blir:

$$GWP_{A1-A3}(c/c 160) = 1,1 \cdot 7 = 7,7 \text{ kg}_{CO_2e}/m^2$$

För A_{temp} på 107 m² skulle de bli olika totala klimatavtryck beroende på c/c avståndet bli följande:

$$GWP_{A1-A3 \text{ total}}(c/c 320) = 3,85 \cdot 107 = 412 \text{ kg}_{CO_2e}$$

$$GWP_{A1-A3 \text{ total}}(c/c 160) = 7,7 \cdot 107 = 824 \text{ kg}_{CO_2e}$$

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Sammanställning visas i Tabell 18:

Tabell 18. Sammanställning golvvärme från One Click LCA.

Fall	GWP _{A1-A3} /(kgCO _{2e})
Medelvärde från One Click LCA	1075
Liknande system 9 meter rör/m ²	1059
c/c 160 mm	824
c/c 320 mm	412

Golvvärme enligt EPD:er

I intervju med Amanda Scotte på LK Systems har information tillhandhållits angående några komponenter i LK Systems golvvärmesystem LK HeatFloor 22 för koldioxidutsläpp i faserna A1-A3. Data som är bekräftad från LK Systems är följande för systemet, se Tabell 19.

Tabell 19. Koldioxidutsläpp av delar för golvvärme enligt EPD:er.

Detalj	GWP _{A1-A3}
PE-X rör	0,1 (kgCO _{2e})/m
Installationsskåp	3 (kgCO _{2e})/antal

Enligt ovan kommer val av c/c avstånd på 320 mm ge 3,5 meter rör/m² och c/c avstånd på 160 mm ger 7 meter rör/m². Detta ger ett totalt avtryck för PE-X rör enligt följande:

$$GWP_{A1-A3} \text{ för PE - X (c/c 320)} = 3,5 \cdot 107 \cdot 0,1 = 37,5 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

$$GWP_{A1-A3} \text{ för PE - X (c/c 160)} = 7 \cdot 107 \cdot 0,1 = 74,9 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

Rekommenderad golvvärme från LK Systems skulle ligga i en spårskiva där EPD för materialet används. Koldioxidutsläppet från spårning av spårskivan försummas då det anses vara minimalt. Enligt EPD läses det av att koldioxidavtryck för A1-A3 för spårskivan är följande (Byggelit Sverige AB, 2020):

GWP-total (hänsyn till GWP-biogenic):

$$GWP_{A1-A3 \text{ total}} = -4,75 \cdot 10^2 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{m}^3$$

GWP-GHG1 (utan hänsyn till GWP-biogenic):

$$(GWP - GHG1)_{A1-A3} = 2,71 \cdot 10^2 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{m}^3$$

Spårskivan är 22 mm tjock. Koldioxidutsläppet/m³ multipliceras sedan med tjockleken och A_{temp} för att få fram det koldioxidutsläppet för golvvärmesystemet i villan enligt EPD:er.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

GWP-total (hänsyn till GWP-biogenic):

$$GWP_{A1-A3 \text{ total}} = -4,75 \cdot 10^2 \cdot 0,022 \cdot 107 = -1118 \text{ kg}_{CO2e}$$

GWP-GHG1 (utan hänsyn till GWP-biogenic):

$$(GWP - GHG1)_{A1-A3} = 2,71 \cdot 10^2 \cdot 0,022 \cdot 107 = 638 \text{ kg}_{CO2e}$$

Golvvärmesystem använder normalt en värmefördelningsplåt av aluminium. Koldioxidutsläpp för aluminium hämtas från Boverkets klimatdatabas och avtrycket ligger på 12,5 CO₂e/kg. För systemet behövs 4 plåtar/m² och vikten ligger på 0,31 kg (LK Systems, U.Å.). Med aktuell A_{temp} blir totalt utsläpp följande:

$$GWP_{A1-A3} = 12,5 \cdot 4 \cdot 0,31 \cdot 107 = 1658,5 \text{ kg}_{CO2e}$$

Vidare använder sig LK Systems värmefördelningsplåt av 100 % återvunnen aluminium. Detta skulle reducera utsläppen med 96 % på material som aluminium (Hillman, et al., 2015). Det totala koldioxidutsläppet för värmefördelningsplåten skulle då bli:

$$GWP_{A1-A3 \text{ återvunnen}} = 1658,5 \cdot 0,04 = 66 \text{ kg}_{CO2e}$$

Resultatet med beräkning för återvunnen aluminium redovisas inte vidare i rapporten.

För det uppbyggda systemet saknas några små detaljer som det inte finns data på och antas påverka så lite att det inte beaktas. Summerad klimatpåverkan på förslaget för golvvärme, där systemet använder sig av ett installationsskåp blir då:

Utan hänsyn till GWP-biogenic:

$$(GWP - GHG1)_{A1-A3}(c/c 320) = 37,5 + 638 + 3 + 1658,5 = 2337 \text{ kg}_{CO2e}$$

$$(GWP - GHG1)_{A1-A3}(c/c 160) = 74,9 + 638 + 3 + 1658,5 = 2374 \text{ kg}_{CO2e}$$

Med hänsyn till GWP-biogenic:

$$GWP_{A1-A3}(c/c 320) = 37,5 - 1118 + 3 + 1658,5 = 581 \text{ kg}_{CO2e}$$

$$GWP_{A1-A3}(c/c 160) = 74,9 - 1118 + 3 + 1658,5 = 618 \text{ kg}_{CO2e}$$

Sammanställning visas i Tabell 20:

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Tabell 20. Sammanställning golvvärme enligt EPDer och här beräknade data.

Namn	Beräknat utsläpp
GWP-GHG1 c/c 320	2337 kg _{CO2e}
GWP-GHG1 c/c 160	2734 kg _{CO2e}
GWP-total c/c 320	581 kg _{CO2e}
GWP-total c/c 160	618 kg _{CO2e}

FTX-system enligt One Click LCA

För att analysera klimatpåverkan för ett FTX-system så behövs koldioxidutsläppet för ingående delar analyseras separat i One Click LCA då ett helt system inte finns tillgängligt. Systemet byggs upp med en air handling unit (AHU), ett vattenburet värmebatteri, ventilationskanaler och ventilationsdon.

21 olika AHU:s har analyserats i One Click LCA. Då en del av systemen har samma tillverkare och koldioxidutsläpp eller avviker sig för mycket har dessa förbisetts vid beräkning av medelvärde. Resterande 9 system redovisas i Tabell 21.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Tabell 21. FTX One Click LCA.

Air handling unit	Massa CO ₂ e/massa material	Vikt/kg	GWP _{A1-A3} /kg _{CO2e}
Air handling unit, with heat recovery through rotary heat exchanger, 50 000 m ³ /h (29428.9 ft ³ /min), 3838 kg/unit (8461 lbs/unit)	8,11	3838	31 126
Ventilation centralized (Air handling unit (AHU)), capacity: 10000 m ³ /h, 68 kg/unit	5,04	68	342,7
Ventilation centralized with heat recovery (Air handling unit (AHU)), capacity: 10 000 m ³ /h, 704 kg/unit	4	704	2816
Ventilation centralized with heat recovery (Air handling unit (AHU)), capacity: 1000 m ³ /h, 100 kg/unit	3,72	100	372
Double flow individual ventilation box with filters (Air handling unit (AHU)), with an average air flow of 141.25 m ³ /h and a power of 65 W, Caisson de ventilation individuelle double flux avec filtres (Uniclimate)	7,26	35	254,1
VMC dual flow auto adjustable (Air handling unit (AHU)), French average, Débits moyens = 90 et 165 m ³ /h, DONNEE PAR DEFAUT (DED)	5,07	30	152,1
Air handling unit (AHU), air input/extraction only, 38 kg/unit, 1170 m ³ /h, KMDT ECOWATT 12 DB Référence: 250231 (VIM)	3,46	38	131,5
Air handling unit (AHU), air input/extraction only, 77.2 kg/unit, 3400 m ³ /h, KSTD ECOWATT 45 DB Référence: 452265 (VIM)	3,45	77,2	266,3
Constant pressure extraction air handling unit (AHU), 700m ³ /h, 74W, MCC ECO 21 (MVN)	10,58	30,31	320,7
Total av 9 system	50,69		
Medelvärde	5,63		

Det genomsnittliga koldioxidutsläppet för en AHU ligger enligt Tabell 21 på 5,63 CO₂e/kg. Från produktblad från tillverkaren Östberg så går det att avläsa att en AHU för villan väger 66 kg (Östberg, 2022). Detta ger ett totalt koldioxidutsläpp för en AHU på:

$$66 \cdot 5,63 = 371,7 \text{ kg}_{CO2e}$$

Ventilationskanaler har analyserats i One Click LCA. Då dimensionerna på ventilationskanaler påverkar klimatbelastningen medförde detta en del begränsningar på data över ventilationskanalerna. De alternativ som dominerar var från Frankrike men på grund av språkproblem så användes de två alternativ där materialvalet förstods. Aktuell längd för respektive dimension är mätt enligt ritning och redovisas i Tabell 22 och 23. Detta resulterade i följande koldioxidutsläpp för de två alternativen:

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Tabell 22. Ventilationskanaler enligt One Click LCA.

Ventilationskanaler	GWP _{A1-A3} / (kg _{CO2e} /m)	Längd/m	GWP _{A1-A3} / kg _{CO2e}
Ventilation ducting, per m linear, D:100 mm (3.94 in)	10,18	20	203,6
Ventilation ducting, per m linear, D:125 mm (3.94 in)	12,36	28	346,1
Summa			549,7

Tabell 23. Ventilationskanaler enligt One Click LCA.

Ventilationskanaler	GWP _{A1-A3} / (kg _{CO2e} /kg _{material})	Vikt per längd/(kg _{material} /m)	Längd/m	GWP _{A1-A3} / kg _{CO2e}
Circular ventilation duct, 100 mm	3,12	1,14	20	71,16
Circular ventilation duct, 125 mm	3,86	1,41	28	108,1
Summa				179,2

Koldioxidutsläppets medelvärde för de två alternativen beräknas följande:

$$GWP_{A1-A3} = \frac{549,68 + 179,2}{2} = \frac{728,9}{2} = 364,5 \text{ kg}_{CO2e}$$

För värmebatteriet och ventilationsdon så hittas inga värden på One Click LCA. Bedömning görs att koldioxidutsläpp för dessa komponenter endast görs av tillverkningsmaterialet. Värmebatteriet antas vara uppbyggda enbart av stål (SSAB EMEA AB, 2020). För värmebatteriet så antas vikten för ett SDHW 125 mm batteri från Swegon, se Tabell 24 (SWEGON, U.Å.).

Tabell 24. Värmebatteri till FTX.

Värmebatteri	GWP _{A1-A3} / (kg _{CO2e} /kg _{material})	Vikt produkt/kg	GWP _{A1-A3} / kg _{CO2e}
Värmebatteri SDHW 125 mm	2,42	5,2	12,58

För att ta fram en vikt för de olika donen används Lindab KVB frånluftsdon (Lindab, U.Å.A) och VTTB tilluftsdon (Lindab, U.Å.B). Materialen antas vara helt av stål, se Tabell 25 (SSAB EMEA AB, 2020).

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Tabell 25. Ventilationsdon enligt One Click LCA.

Don	GWP _{A1-A3} /(kg _{CO2e} /kg _{material})	Vikt produkt/kg	Antal/st	GWP _{A1-A3} /kg _{CO2e}
Tilluftsdon 100 mm	2,42	0,44	7	7,45
Frånluftsdon 125 mm	2,42	0,36	5	4,36
Summa				11,8

Totala koldioxidutsläpp för alla komponenter i ett FTX-system blir då:

$$GWP_{A1-A3} = 371,7 + 364,5 + 11,8 + 12,6 = 760,6 \text{ kg}_{CO2e}$$

FTX-system från EPD

För ventilationssystemet har aggregatet HERU 100 T EC från leverantören Östberg använts. Materialet för systemet är stål och enligt EPD för stålen som används för aggregatet är utsläppen för faserna A1-A3 2,42 kg CO_{2e}/kg (SSAB EMEA AB, 2020). Ett HERU aggregat väger cirka 66 kg. Antaganden görs att det inte blir några extra utsläpp vid tillverkning av aggregatet, då skulle klimatavtrycket mätt i kg CO_{2e} bli följande:

$$GWP_{A1-A3} = 66 * 2,42 = 159,7 \text{ kg}_{CO2e}$$

För rörkanalerna antas att ventilationskanalerna är från Lindab, som tillhandahåller färdiga EPDer för deras system. Resultatet blir likt det som fanns på One Click LCA då ett av de tillgängliga systemen var just dessa, se Tabell 26 (Lindab, 2021).

Tabell 26. Ventilationskanaler enligt EPD:er.

Ventilationskanaler	GWP _{A1-A3} /(kg _{CO2e} /kg _{material})	Vikt per längd/(kg/m)	Längd/m	GWP _{A1-A3} /kg _{CO2e}
Circular ventilation duct, 100 mm	3,12	1,14	20	71,16
Circular ventilation duct, 125 mm	3,86	1,41	28	108,1
Summa				179,2

Klimatpåverkan för ventilationsdon och värmebatteri hämtas från Tabell 24 och 25 då dessa inte finns i One Click LCA och samma antagande görs för EPD:er.

Don:

$$11,8 \text{ kg}_{CO2e}$$

Värmebatteri:

$$12,6 \text{ kg}_{CO2e}$$

De totala CO_{2e} för ett uppbyggt FTX-system med EPDer blir enligt Tabell 27.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Tabell 27. Sammanställning FTX enligt EPD:er.

Ventilationsaggregat	159,7 kg _{CO2e}
Ventilationskanaler	179,2 kg _{CO2e}
Don	11,8 kg _{CO2e}
Värmebatteri	12,6 kg _{CO2e}
Summa	363 kg_{CO2e}

3 Resultat

3.1 Resultat från simuleringar i IDA ICE

För att få fram ett resultat för energibehov i IDA ICE har följande parametrar valts att simuleras:

- Delivered Energy
- AHU energy
- Input data report

För att få fram ett resultat för komforten i IDA ICE har följande parametrar valts att expoterar från programmet:

- Thermal comfort (EN-15251, without cooling)
- AHU temperatures
- Fanger's comfort indices
- Main temperatures

Resultatet för komfort blev nästan identiskt i alla husets zoner. Programmet hade inga svårigheter att värma rummen, problem uppkom istället med övertemperaturer som blev dimensionerande. Rummet med störst problem avseende övertemperatur var vardagsrummet och kommer därför att redovisas.

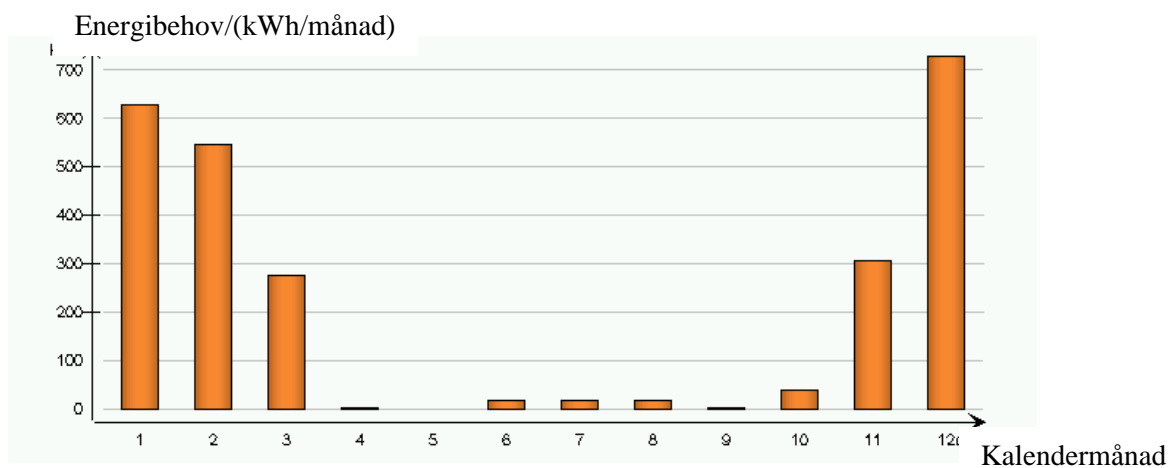
Resultat för FTX-system med ventilationsflöde 65 l/s

Den totala energianvändningen för luftburen värme med ventilationsflödet 65 l/s är enligt Tabell 28 2581,7 kWh för uppvärmning och värmeväxlaren skulle kunna utnyttja 7832 kWh gratis energi genom värmeväxling enligt Figur 6. Hur den simulerade fördelningen är för uppvärmning över de olika uppvärmningsmånaderna under 1 år är redovisad i Tabell 28 och Figur 6.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Tabell 28. Energibehov över kalendermånaderna.

Månad	Zonuppvärmning/kWh
Januari	629
Februari	547
Mars	277
April	2,5
Maj	0
Juni	17,0
Juli	17,6
Augusti	17,5
September	0,9
Oktober	38
November	306
December	729
Total	2582



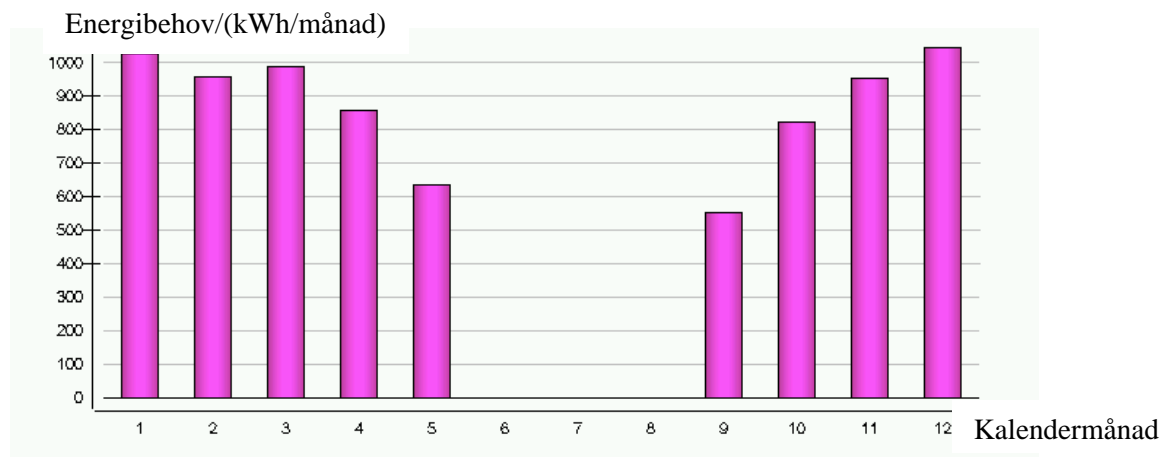
Figur 6. Energianvändningen för ventilationsflödet 65 l/s under 1 år i stapeldiagram.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Hur fördelningen är för gratis energi genom värmeväxling är över de olika uppvärmningsmånaderna under 1 år är visad i Tabell 29 och Figur 7.

Tabell 29. Energi utnyttjad genom värmeväxling för ventilationsflödet 65 l/s under kalendermånader.

Månad	AHU värmeåtervinning/kWh
Januari	1026
Februari	956
Mars	986
April	856
Maj	635
Juni	0
Juli	0
Augusti	0
September	552
Oktober	824
November	951
December	1046
Total	7832



Figur 7. Energi utnyttjad genom värmeväxling för ventilationsflödet 65 l/s under 1 år i stapeldiagram.

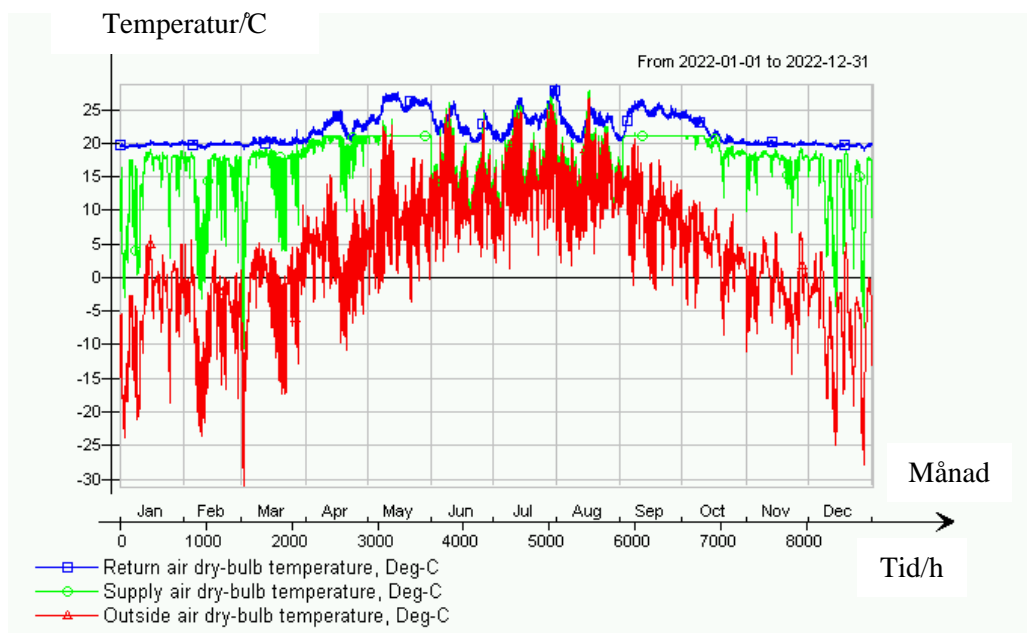
Tabell 30 redovisar procentfördelning av övertemperatur och termiskt missnöje enligt IDA ICE för ventilationsflödet 65 l/s.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Tabell 30. Fördelning av övertemperatur och termiskt missnöje för ventilationsflödet 65 l/s.

Andel timmar då operativ temperatur är över 27 °C i värsta zonen	7 %
Andel timmar när operativ temperatur är över 27 °C i medelzon	5 %
Andel av totalt antal passagerartimmar med termiskt missnöje	13 %

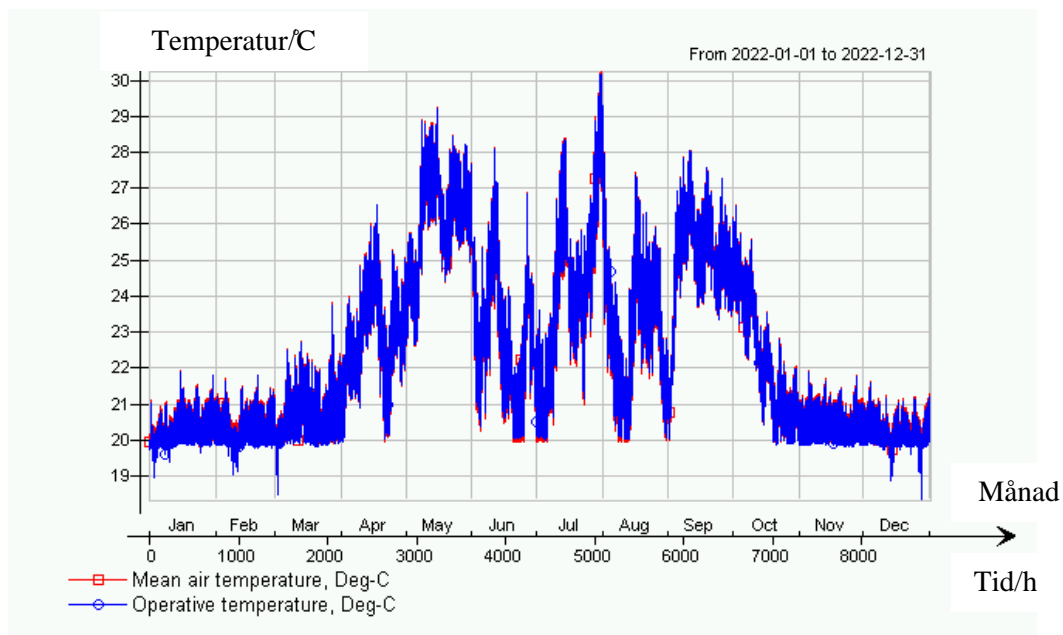
Figur 8 redovisar aktuell utomhustemperatur, vilken tilluftsvärme som utnyttjas genom värmeväxling samt aktuell frånluftstemperatur under 1 år.



Figur 8. Utomhustemperatur, tilluftvärme och frånluftstemperatur under 1 år.

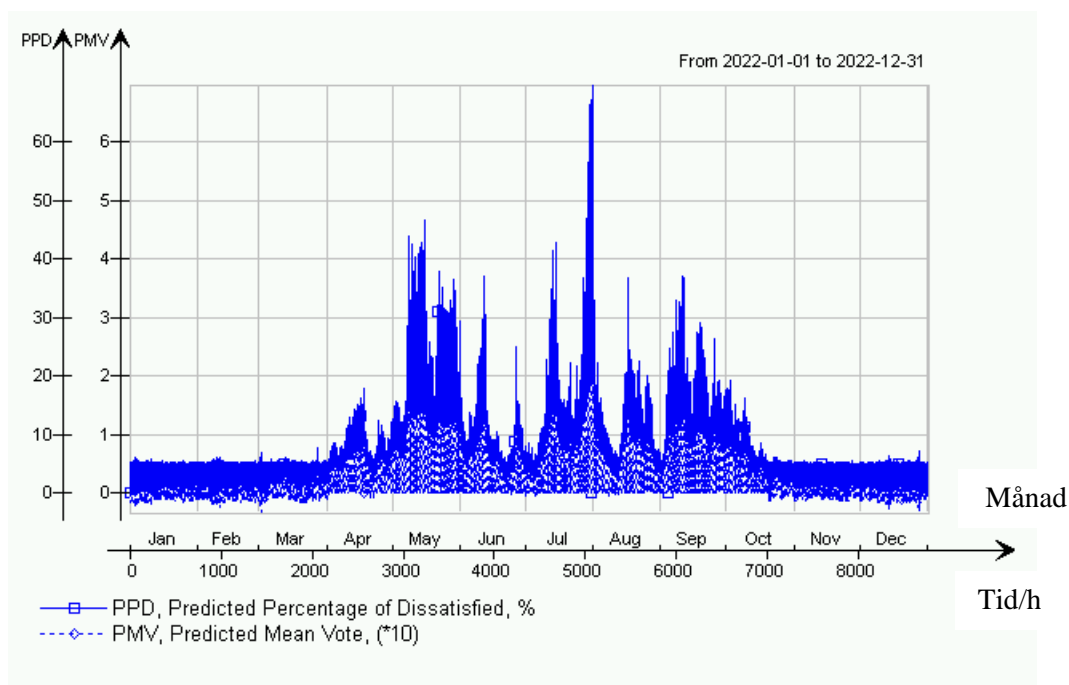
I Figur 9 redovisas hur den operativa temperaturen i vardagsrummet varierar under 1 år.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus



Figur 9. Operativ temperatur i vardagsrum för ventilationsflödet 65 l/s under 1 år.

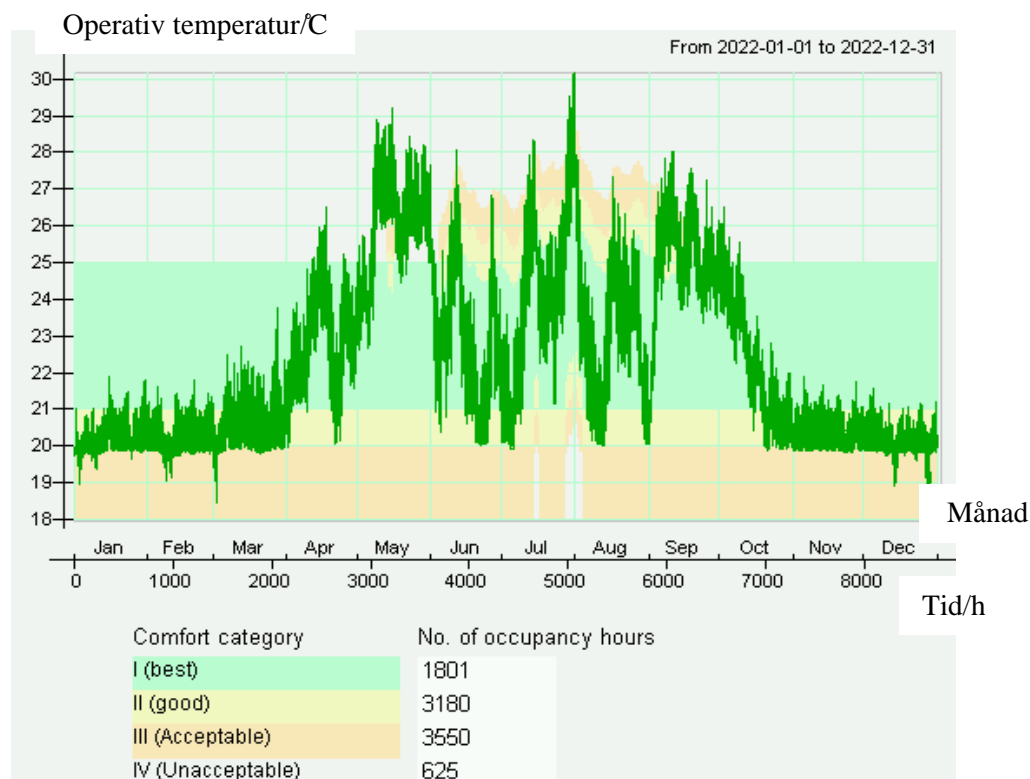
I Figur 10 redovisas hur PPD och PMV varierar under 1 år.



Figur 10. Fördelning av PPD och PMV under 1 år.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Enligt Figur 11, som redovisar operativ temperatur i vardagsrummet, så sker simuleringen över 9156 timmar. Inställningen i IDA ICE är att simuleringen ska vara från 1 januari till 31 december. För komfortkategorin i IDA ICE så uppfylls kategori 1 (Best) cirka 20% av tiden. Kategori 2 (Good) uppfylls cirka 35% av tiden. Kategori 3 (Acceptable) uppfylls cirka 39% av tiden. Slutligen hamnar cirka 7% av tiden på kategori 4 (Unacceptable).



Figur 11. Operativ temperatur i vardagsrum under 1 år enligt IDA ICE:s komfortkategorier.

Resultat för FTX-system med ventilationsflöde 37,6 l/s

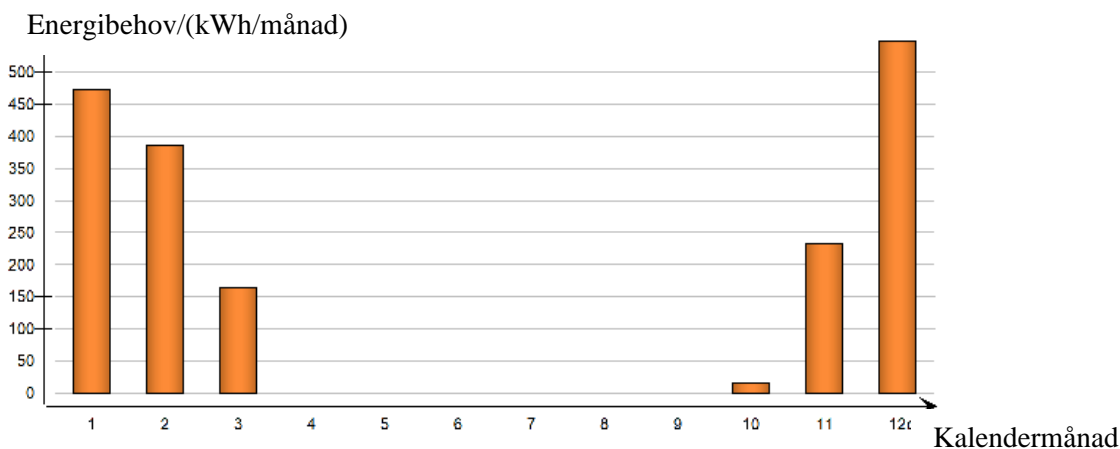
Den totala energianvändningen för luftburen värme med ventilationsflödet 37,6 l/s är enligt Tabell 31, 1820,2 kWh för uppvärmning och värmeväxlaren skulle kunna utnyttja 4649 kWh genom värmeväxling enligt Figur 12.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Hur fördelningen är för uppvärmning under de olika uppvärmningsmånaderna är visade i Tabell 31 och Figur 12.

Tabell 31. Energibehov över kalendermånader.

Månad	Zonuppvärmning/kWh
Januari	472
Februari	386
Mars	164
April	0,4
Maj	0
Juni	0
Juli	0
Augusti	0
September	0
Oktober	15,5
November	233
December	549
Total	1820



Figur 12. Energianvändningen för ventilationsflödet 37,6 l/s under 1 år i stapeldiagram.

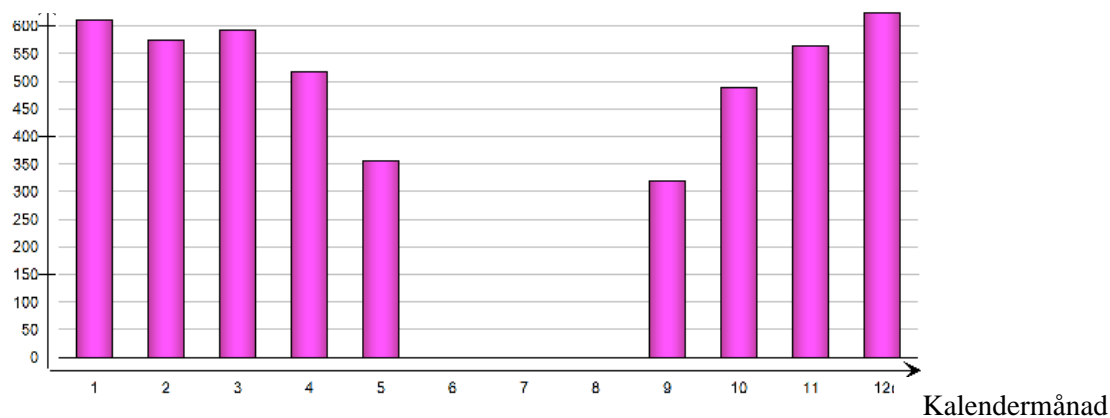
Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Hur fördelningen är för energiåtervinning genom värmewäxling över de olika uppvärmningsmånaderna visas i Tabell 32 och Figur 13.

Tabell 32. Energi utnyttjad genom värmewäxling för ventilationsflödet 37,6 l/s under kalendermånader.

Månad	AHU värmeåtervinning/kWh
Januari	612
Februari	575
Mars	592
April	518
Maj	355
Juni	0
Juli	0
Augusti	0
September	320
Oktober	490
November	563
December	625
Total	4649

Energibehov/(kWh/månad)



Figur 13. Energi utnyttjad genom värmewäxling för ventilationsflödet 37,6 l/s under 1 år i stapeldiagram.

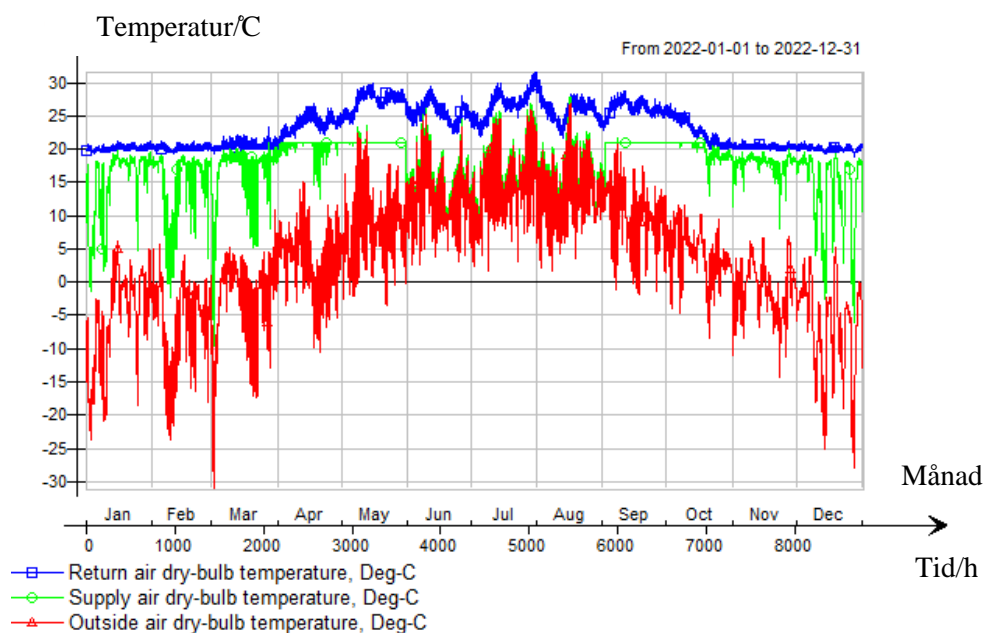
Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Tabell 33 redovisar procentuell fördelning av övertemperatur och termiskt missnöje enligt IDA ICE för ventilationsflödet 37,6 l/s.

Tabell 33. Fördelning av övertemperatur och termiskt missnöje för ventilationsflödet 37,6 l/s.

Andel timmar då operativ temperatur är över 27 °C i värsta zonen	24 %
Andel timmar när operativ temperatur är över 27 °C i medelzon	18 %
Andel av totalt antal passagerartimmar med termiskt missnöje	15 %

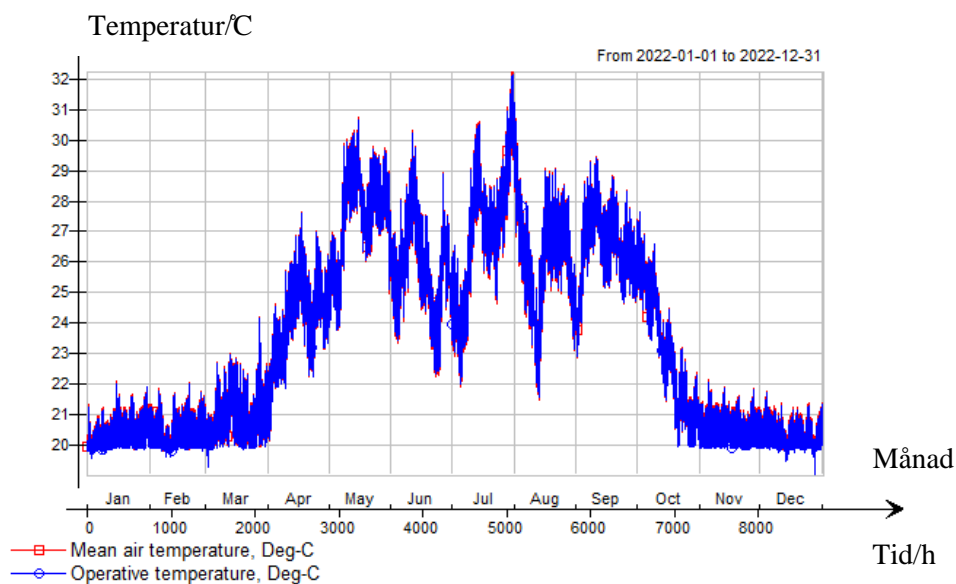
Figur 14 redovisar aktuell utomhustemperatur, vilken tilluftsvärme som utnyttjas genom värmeväxling samt aktuell frånluftstemperatur under året.



Figur 14. Utomhustemperatur, tilluftvärme och frånluftstemperatur under 1 år.

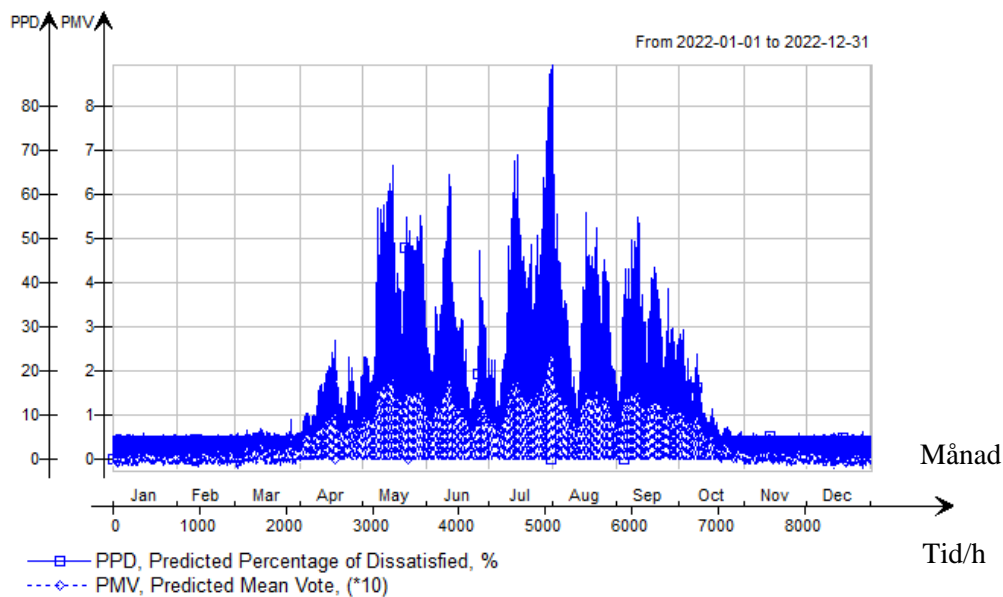
Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

I Figur 15 redovisas hur den operativa temperaturen i vardagsrummet varierar under 1 år.



Figur 15. Operativ temperatur i vardagsrum för ventilationsflödet 37,6 l/s under 1 år.

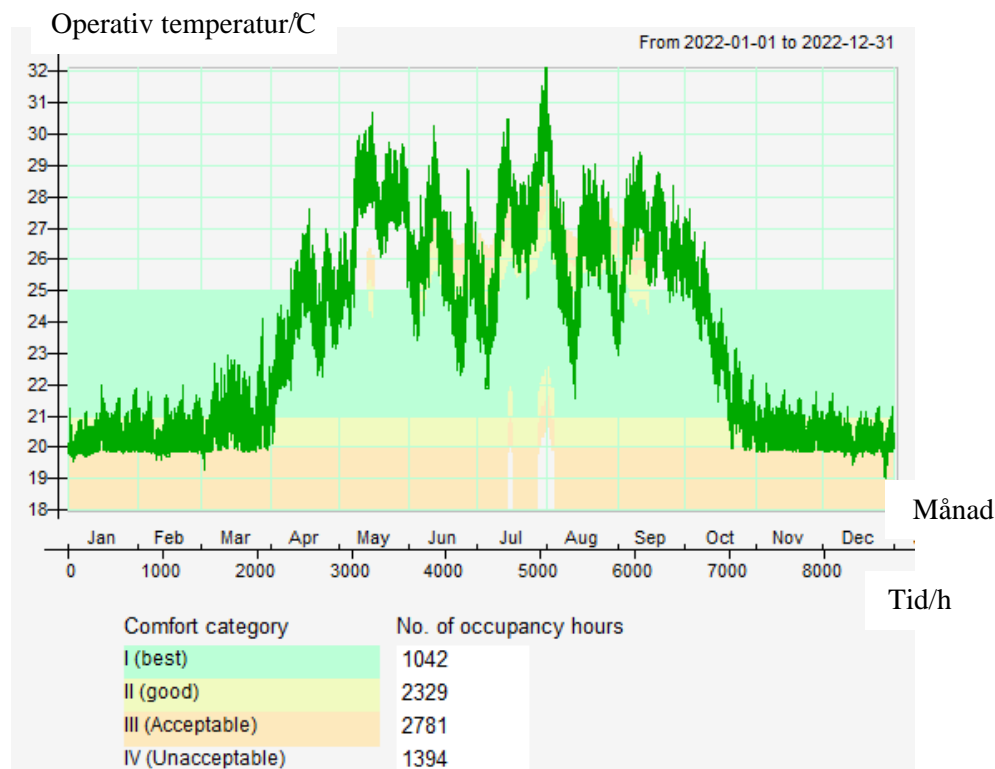
I Figur 16 redovisas hur PPD och PMV varierar under 1 år.



Figur 16. Fördelning av PPD och PMV under 1 år.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Enligt Figur 17 så sker simuleringen över 7546 timmar, vilket skiljer sig åt från tidigare redovisad simulering som var på 9156 timmar. Inställningen i IDA ICE är dock samma, att simuleringen ska vara från 1 januari till 31 december. För komfortkategorin i IDA ICE så uppfylls kategori 1 (Best) cirka 14% av tiden. Kategori 2 (Good) uppfylls cirka 31% av tiden. Kategori 3 (Acceptable) uppfylls cirka 37% av tiden. Slutligen hamnar cirka 18% av tiden på kategori 4 (Unacceptable).



Figur 17. Operativ temperatur i vardagsrum under 1 år enligt IDA ICE:s komfortkategorier.

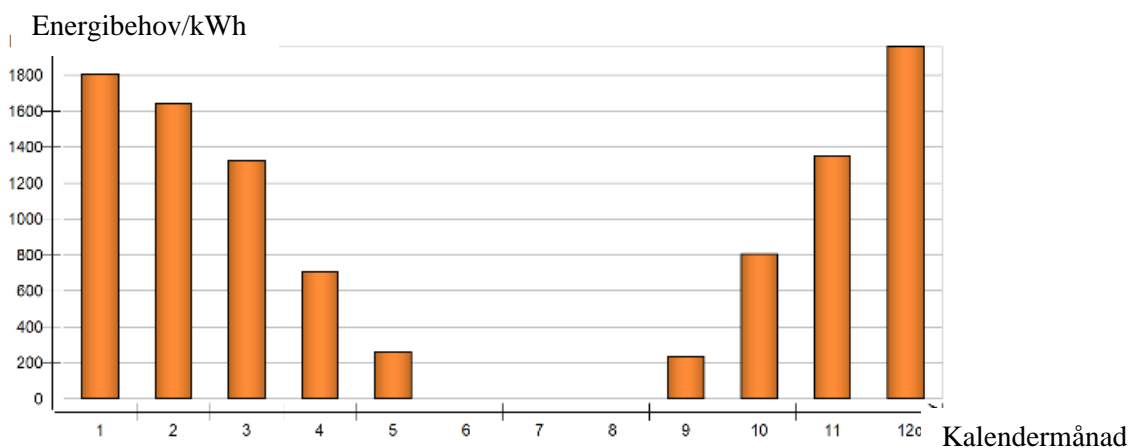
Resultat för golvvärmesystem med ventilationsflöde 65 l/s

Den totala energianvändningen för golvvärme med ventilationsflödet 65 l/s är enligt Tabell 34 10 087,5 kWh. Hur fördelningen är över de olika uppvärmningsmånaderna är redovisad i Tabell 34 och Figur 18.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Tabell 34. Energibehov för kalendermånader.

Månad	Zonuppvärmning/kWh
Januari	1803
Februari	1643
Mars	1328
April	706
Maj	259
Juni	0
Juli	0
Augusti	0
September	237
Oktober	804
November	1349
December	1958
Total	10 088



Figur 18. Energibehov för golvvärmsystem med tilluftsflöde 65 l/s under 1 år i stapeldiagram.

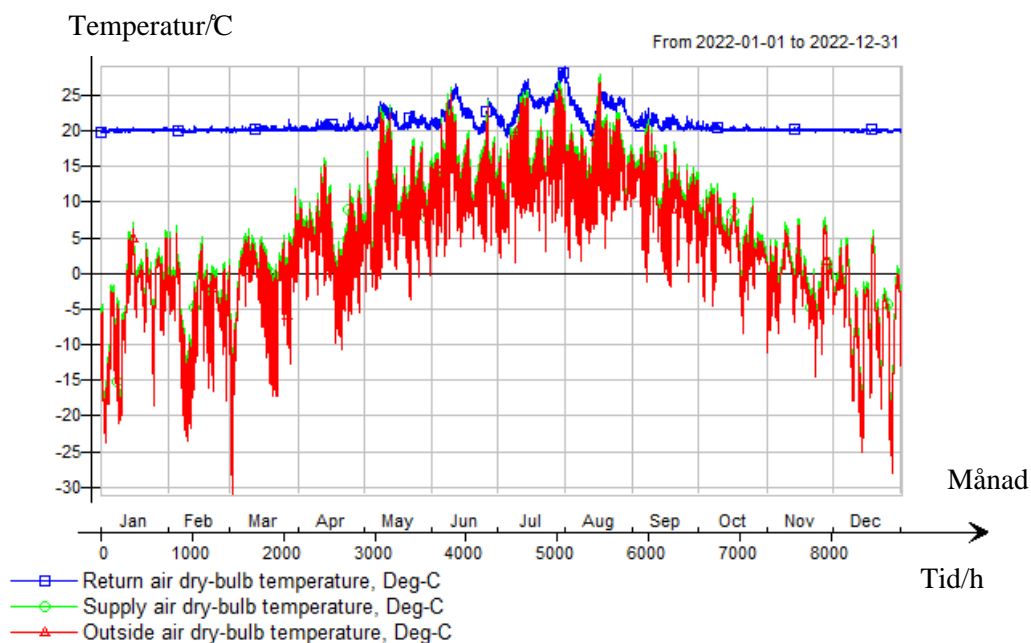
Tabell 35 redovisar procentfördelning av övertemperatur och termiskt missnöje enligt IDA ICE för golvvärme med ventilationsflödet 65 l/s.

Tabell 35. Fördelning av övertemperatur och termiskt missnöje för ventilationsflödet 65 l/s.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Andel timmar då operativ temperatur är över 27 °C i värsta zonen	3 %
Andel timmar när operativ temperatur är över 27 °C i medelzon	2 %
Andel av totalt antal passagerartimmar med termiskt missnöje	14 %

Figur 19 redovisar aktuell utomhustemperatur, tilluftstemperatur samt aktuell frånluftstemperatur under året.

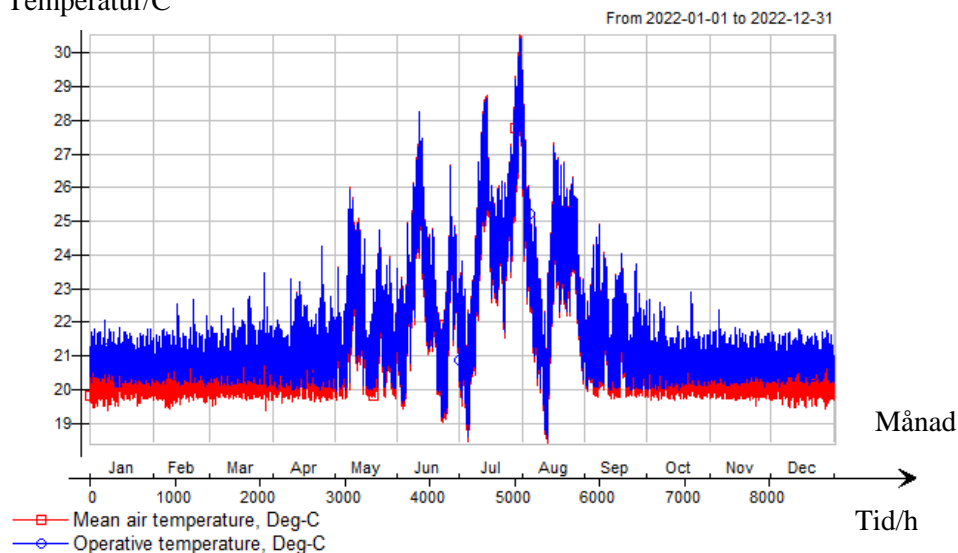


Figur 19. Utomhustemperatur, tilluftvärme och frånluftstemperatur under 1 år.

I Figur 20 redovisas hur den operativa temperaturen i vardagsrummet varierar under 1 år.

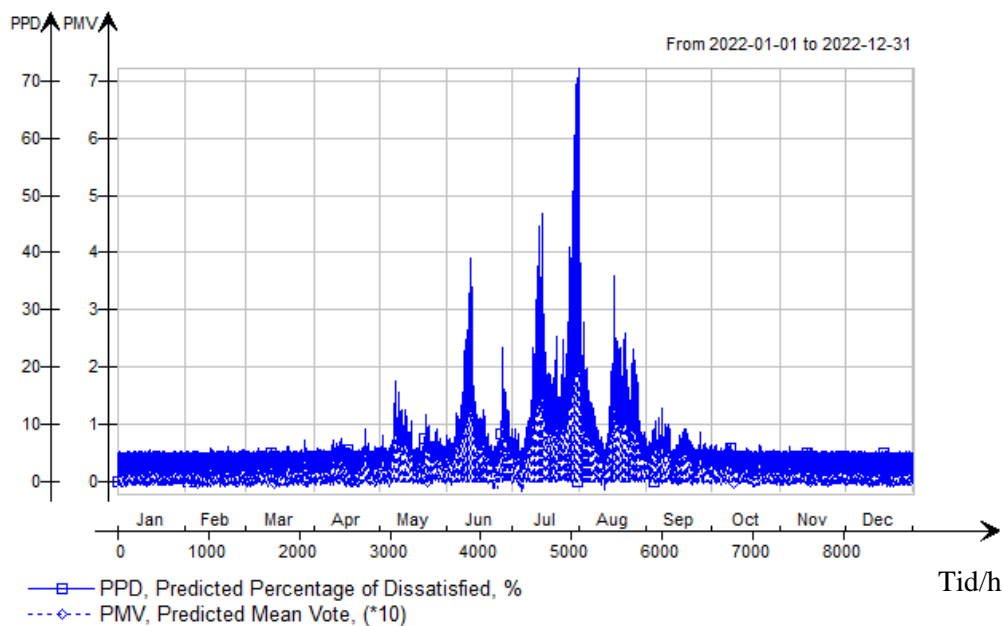
Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Temperatur/C



Figur 20. Operativ temperatur i vardagsrum för ventilationsflödet 65 l/s under 1 år.

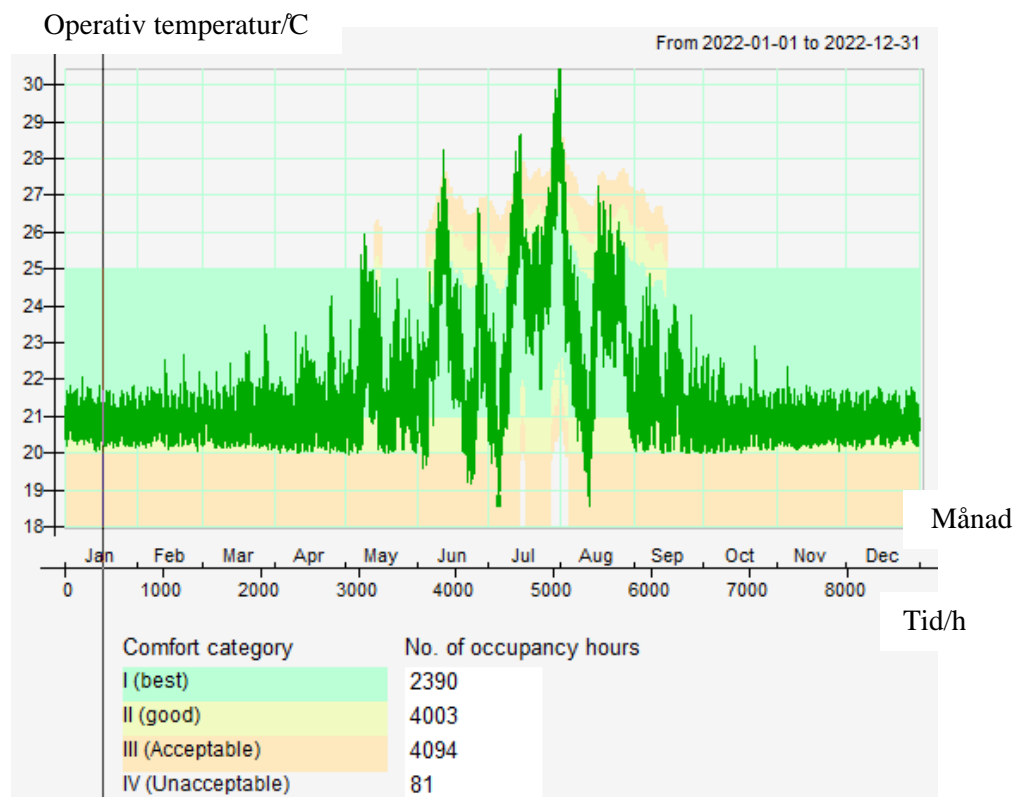
I Figur 21 redovisas hur PPD och PMV varierar under 1 år.



Figur 21. Fördelning av PPD och PMV under 1 år.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Enligt Figur 22 så sker simuleringen över 10 568 timmar, vilket skiljer sig åt från tidigare simuleringar. Inställningen i IDA ICE är dock lika som i båda föregående simuleringar att simuleringen ska vara från 1 januari till 31 december. För komfortkategorin i IDA ICE så uppfylls kategori 1 (best) cirka 23 % av tiden. Kategori 2 (good) uppfylls cirka 38% av tiden. Kategori 3 (Acceptable) uppfylls cirka 39% av tiden. Slutligen hamnar cirka 1% av tiden på kategori 4 (Unacceptable).



Figur 22 . Operativ temperatur i vardagsrum under 1 år enligt IDA ICE:s komfortkategori.

Resultat för golvvärmesystem med ventilationsflödet 37,6 l/s

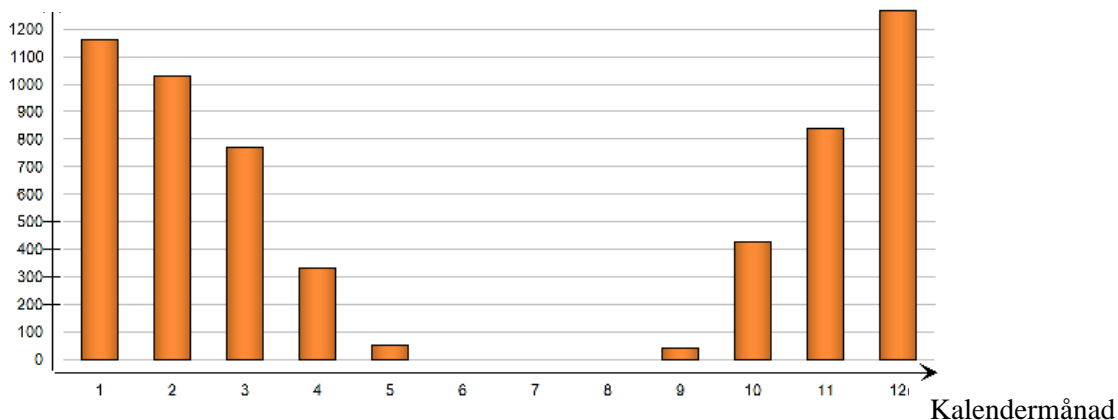
Den totala energianvändningen för golvvärme med ventilationsflödet 37,6 l/s är enligt Tabell 36 5913,6 kWh. Hur fördelningen är över de olika uppvärmningsmånaderna är visad i Tabell 36 och Figur 23.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Tabell 36. Energibehov för kalendermånader.

Månad	Zonuppvärmning/kWh
Januari	1159
Februari	1031
Mars	769
April	329
Maj	49
Juni	0
Juli	0
Augusti	0
September	41
Oktober	426
November	841
December	1269
Total	5914

Energibehov/kWh



Figur 23. Energibehov för golvvärme med ventilationsflödet 37,6 l/s under 1 år i stapeldiagram.

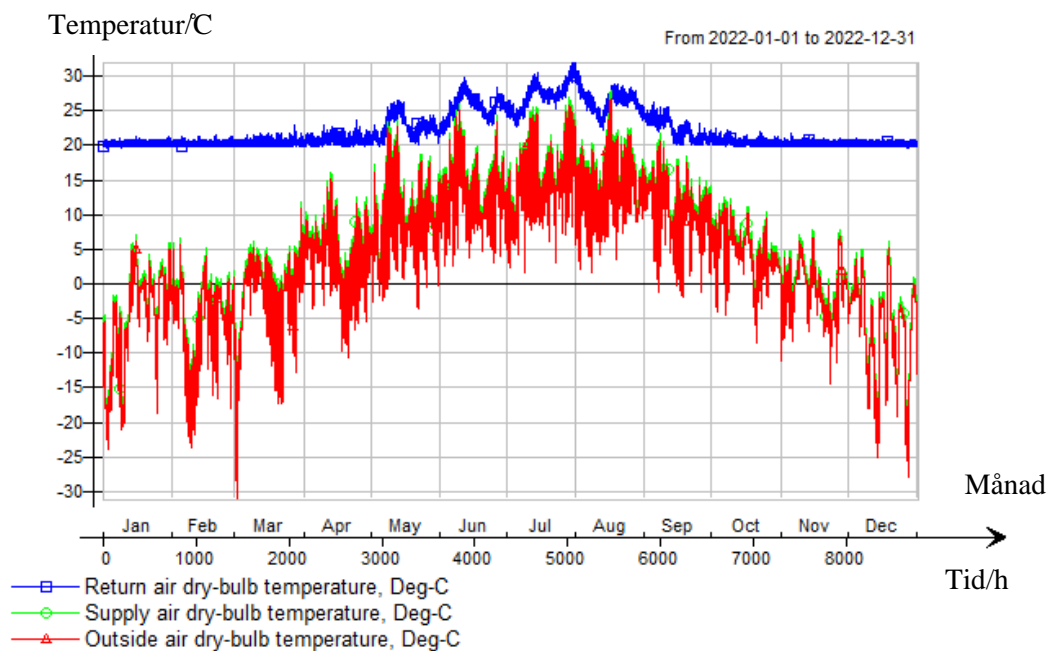
Tabell 37 redovisar procentfördelning av övertemperatur och termiskt missnöje enligt IDA ICE för golvvärme med ventilationsflödet 37,6 l/s.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Tabell 37. Fördelning av övertemperatur och termiskt missnöje för ventilationsflödet 37,6 l/s.

Andel timmar då operativ temperatur är över 27 °C i värsta zonen	15 %
Andel timmar när operativ temperatur är över 27 °C i medelzon	11 %
Andel av totalt antal passagerartimmar med termiskt missnöje	15 %

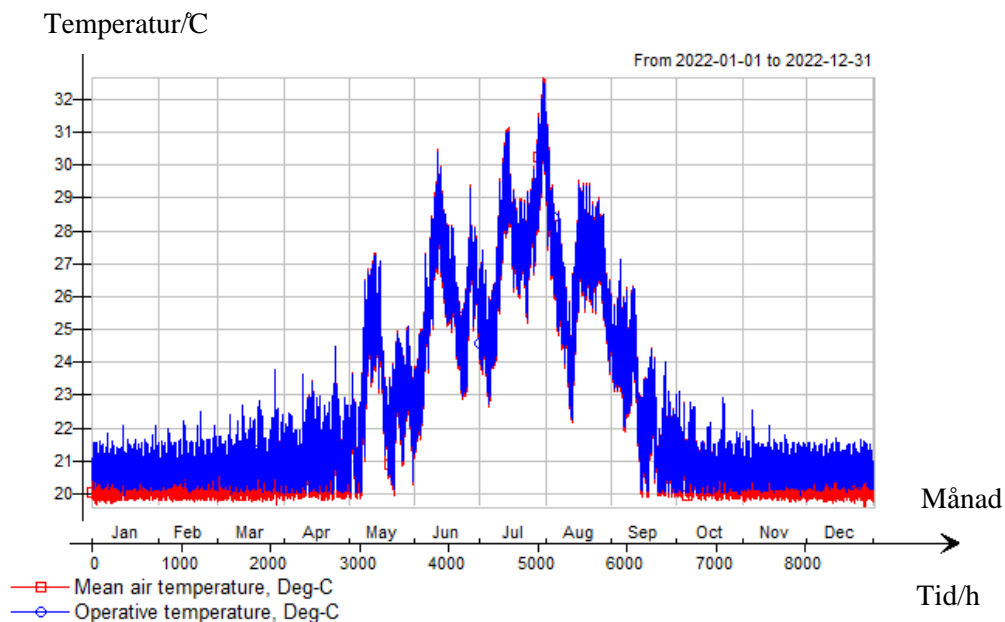
Figur 24 redovisar aktuell utomhustemperatur, tilluftstemperatur samt aktuell frånluftstemperatur under året.



Figur 24. Utomhustemperatur, tilluftvärme och frånluftstemperatur under 1 år.

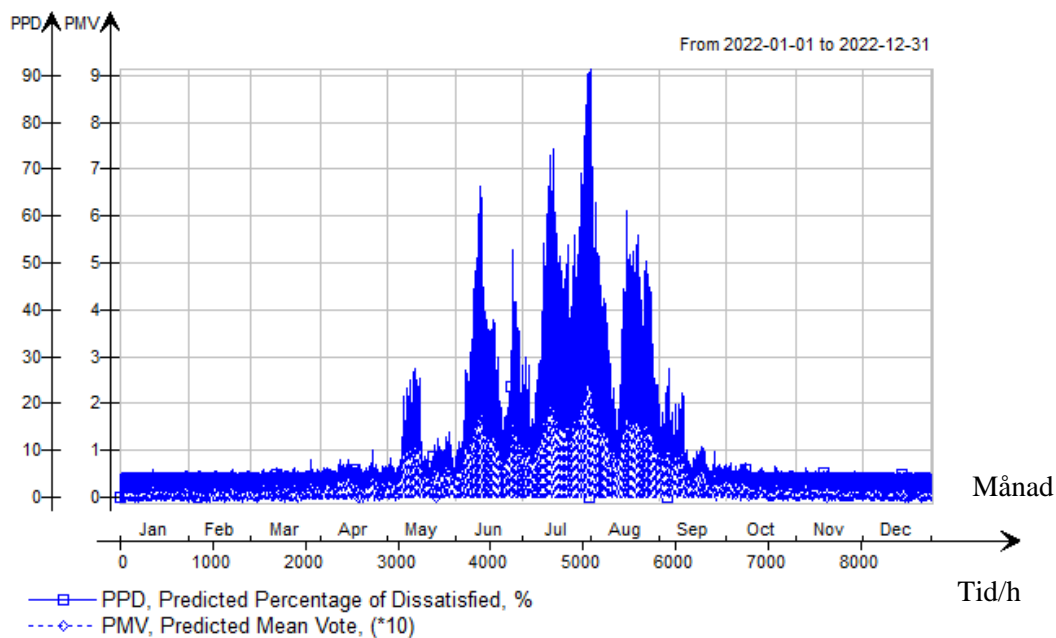
I Figur 25 redovisas hur den operativa temperaturen i vardagsrummet varierar under 1 år.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus



Figur 25. Operativ temperatur i vardagsrum för ventilationsflödet 37,6 l/s under 1 år.

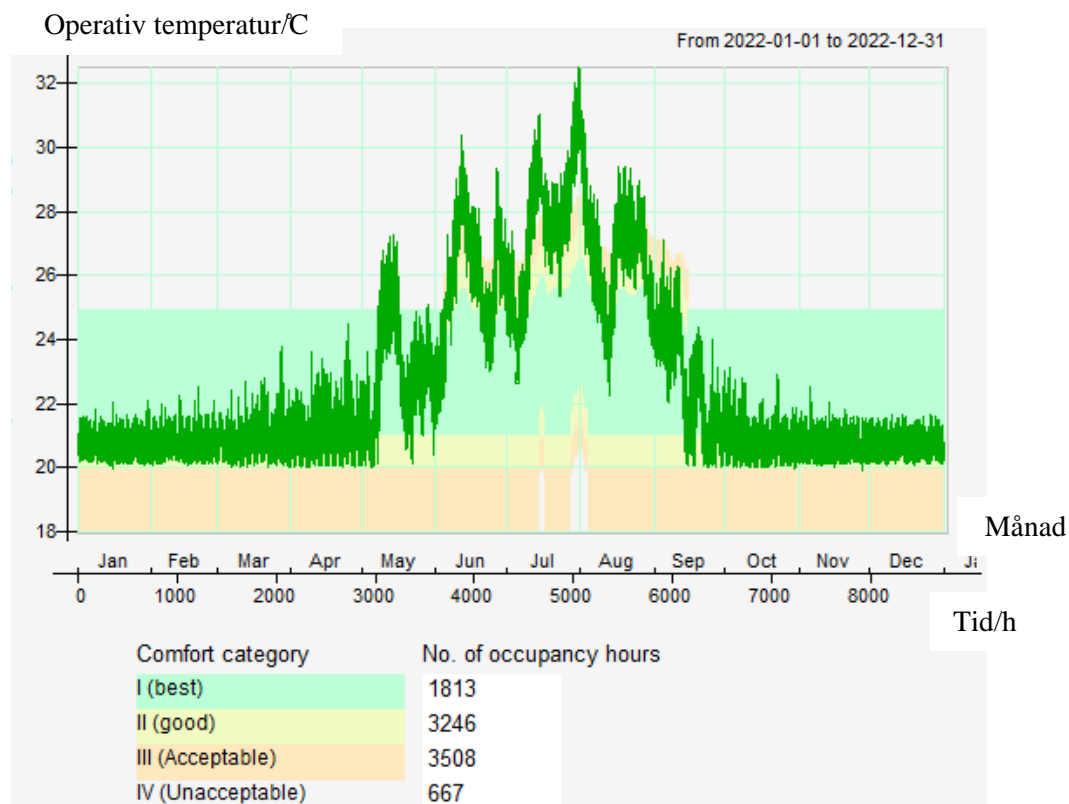
I Figur 26 redovisas hur PPD och PMV varierar under 1 år.



Figur 26. Fördelning av PPD och PMV under 1 år.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Enligt Figur 27 så sker simuleringen över 9234 timmar, vilket skiljer sig åt från tidigare simuleringar. Inställningen i IDA ICE är dock fortfarande att simuleringen ska vara från 1 januari till 31 december. För komfortkategorin i IDA ICE så uppfylls kategori 1 (best) cirka 20% av tiden. Kategori 2 (good) uppfylls cirka 35% av tiden. Kategori 3 (Acceptable) uppfylls cirka 38% av tiden. Slutligen hamnar cirka 7% av tiden på kategori 4 (Unacceptable).



Figur 27. Operativ temperatur i vardagsrum under 1 år enligt IDA ICE:s komfortkategorier.

3.2 Resultat för klimatkalkyl

Golvvärme enligt One Click LCA

Sammanställning av koldioxidekvivalenter från golvvärmesystem med hjälp av One Click LCA:s databas redovisas i Tabell 38.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Tabell 38. Resultat för golvvärme enligt One Click LCA.

Fall	GWP _{A1-A3} /kgCO _{2e}
Medelvärde från One Click LCA	1075
Liknande system 9 meter rör/m ²	1059
c/c 160 mm	824
c/c 320 mm	412

Golvvärme enligt EPD:er

Sammanställning av koldioxidekvivalenter från golvvärmesystem med hjälp av EPD:er redovisas i Tabell 39.

Tabell 39. Resultat för golvvärme enligt EPD:er.

Kombination	GWP _{A1-A3} /kgCO _{2e}
GWP-GHG1 c/c 320	2337
GWP-GHG1 c/c 160	2374
GWP-total c/c 320	581
GWP-total c/c 160	618

FTX-system enligt One Click LCA

Sammanställning av koldioxidekvivalenter från FTX med hjälp av One Click LCA:s databas redovisas i Tabell 40.

Tabell 40. Resultat för FTX enligt One Click LCA.

Del	GWP _{A1-A3} /kgCO _{2e}
Air Handling Unit	371,7
Pipes/rör	364,5
Don	11,8
Värmebatteri	12,6
Summa	761

FTX-system enligt EPD:er

Sammanställning av koldioxidekvivalenter från FTX med hjälp av EPD:er redovisas i Tabell 41.

Tabell 41. Resultat för FTX enligt EPD:er.

Del	GWP _{A1-A3} /kgCO _{2e}
Ventilationsaggregat	159,7
Ventilationskanaler	179,2
Don	11,8
Värmebatteri	12,6
Summa	363

4 Analys

För att få en förståelse av vilka resultat som kommit fram i rapporten, förklaras en del av de tidigare processerna av programmen och problem som behövts ta i beaktning.

Ett problem vid utvärdering av komfort är att IDA ICE antar att det råder perfekt omblandning för luften i zonerna vilket gör att inget fullständigt resultat kan åstadkommas med hänsyn till komfort. Hur människor upplever drag, olika temperaturer vid golv och tak och så vidare är en viktig parameter med avseende på komfort. För att kunna göra komfortberäkningar i IDA ICE krävs det också att zonerna är rektangulära vilket inte alltid är fallet i verkligheten eller i aktuell byggnad.

4.1 Jämförelse av olika till- och frånluftsflöden

Enligt beräkningar kapitel 2.4.2 så blev ventilationsflödet 65 l/s dimensionerande enligt de äldre kraven från Boverket, ett större ventilationsflöde ger ett större energibehov för uppvärmning. Största totala beräknade energibehov blir för ett FTX-system med ventilationsflödet 65 l/s. Efter värmeväxling så har golvvärme vid ett till- och frånluftsflöde på 65 l/s störst energianvändning, detta är exklusive värmepump, se Tabell 42.

Då golvvärme antagligen inte används i kombination med mekanisk till- och frånluft utan värmeväxling i en liknande villa så bör det höga ventilationsflödet på 65 l/s inte uppnås, men anses fortfarande som en intressant simulering.

Från flödessimuleringarna avläses att ett FTX-system med en hög värmeväxling är mindre känslig för flödesförändring gällande energibehovet. Energibesparingen från värmeväxlingen ökar enligt IDA ICE för ett större till- och frånluftsflöde med cirka 3 %. Utan ytterligare simuleringar är det svårt att dra någon slutsats om detta är ett mönster. Nedan redovisas totala energibehovet, den procentuella energibesparingen och ej värmeväxlad energi per ventilationsflöde och för 65 l/s och 37,6 l/s för ett FTX.

FTX ventilationsflöde 65 l/s:

$$\text{Totalt energibehov} = 2582 + 7832 = 10\,414 \text{ kWh}$$

$$\text{Procentuell energibesparing} = \frac{7832}{10414} = 75,2\%$$

$$\frac{\text{Ej värmeväxlad energi}}{\text{flöde}} = \frac{2582}{65} = 39,7 \text{ kWh/(l/s)}$$

FTX ventilationsflöde 37,6 l/s:

$$\text{Totalt energibehov} = 1820,2 + 4649 = 6469,2 \text{ kWh}$$

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

$$\text{Procentuell energibesparing} = \frac{4649}{6469,2} = 72\%$$

$$\frac{\text{Ej värmeväxlad energi}}{\text{flöde}} = \frac{1820}{37,6} = 48,4 \text{ kWh/(l/s)}$$

Samma beräkning görs för golvvärme med samma ventilationsflöden enligt följande.

Golvvärme 65 l/s:

$$\frac{\text{Ej värmeväxlad energi}}{\text{flöde}} = \frac{10087,5}{65} = 155,2 \text{ kWh/(l/s)}$$

Golvvärme 37,6 l/s:

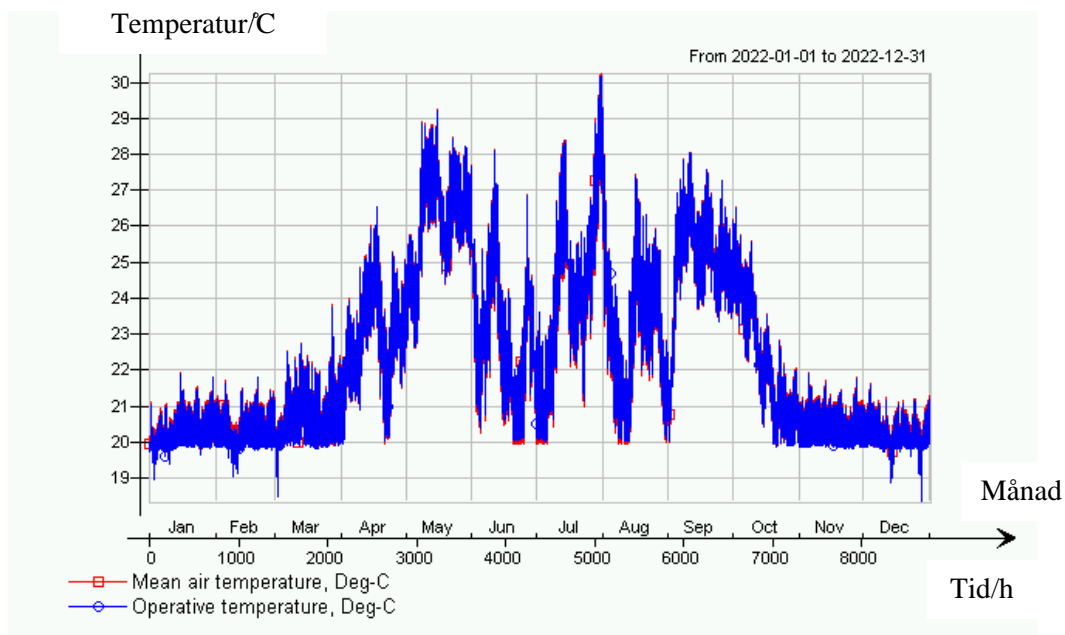
$$\frac{\text{Ej värmeväxlad energi}}{\text{flöde}} = \frac{5913,6}{37,6} = 157,3 \text{ kWh/(l/s)}$$

För golvvärme blir tillskottet/minskningen på energibehovet ungefär 156 kWh för varje l/s som ventilationsflödet ökar/minskar. Från resultaten går det att tolka det som att komforten blir bättre för de månader vi anser relevanta (ej juni-augusti) för ett högre ventilationsflöde för golvvärmen. Då energiökningen är konstant för ökat ventilationsflöde får en övervägning av komfort mot energiförbrukning göras för golvvärme.

FTX är svårare att analysera, det ser ut som att energianvändningen skulle kunna vara linjär, där det totala energibehovet per l/s blir lägre om ventilationsflödet höjs. Även i fallet med FTX så går det från resultaten att tolka att komforten under de undersökta månaderna skulle bli något bättre för ett högre ventilationsflöde. För FTX finns det andra indata som måste undersökas för att komforten skulle gå att undersöka bättre än vad som redovisas i denna studie.

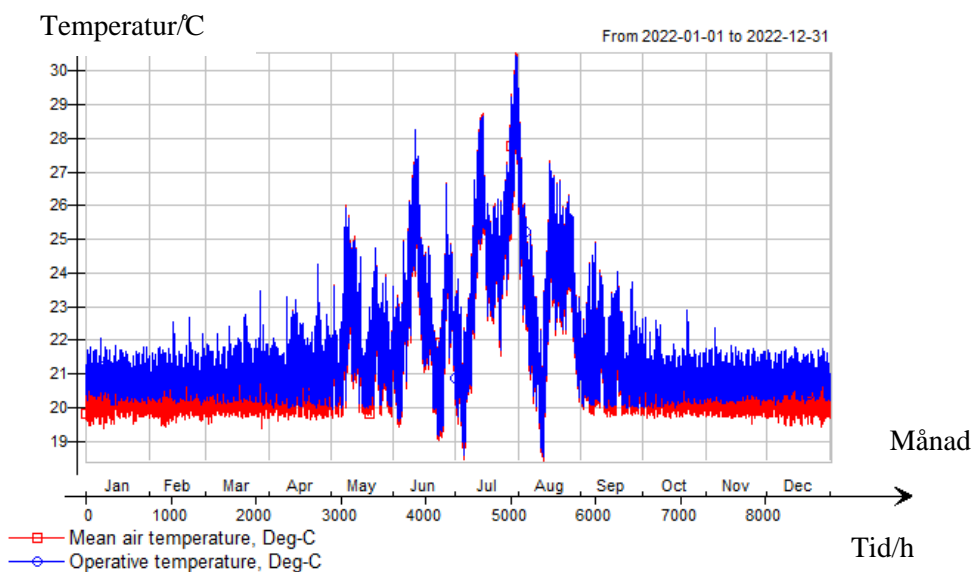
Även om värmeväxlingen sparar energi så går det genom komfortsimuleringarna att se att det skulle krävas en större kunskap för FTX-systemet vid inställningarna över året än vad det skulle göra för ett golvvärmesystem. Redan i april visar det sig att FTX-system har en operativ temperatur på över 26 °C enligt Figur 28. Figur 28 visar även stor temperaturvariation i övergången från maj till juni. Detta bör vara på grund ut av att värmeväxlingen stängs av i juni. Inställningar över schema för värmeväxling och vilken tilluftstemperatur som värmeväxlingen skall uppnå bör analyseras ytterligare.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus



Figur 28. Operativ temperatur i vardagsrum för FTX 65 l/s under 1 år.

Jämförs operativa temperaturen för ett golvvärmesystem och FTX med ett till- och frånluftsflöde på 65 l/s, så går det tyda att även om energin ökar för golvvärmen så blir det en behagligare temperatur i rummet. Se Figur 29 för golvvärme.



Figur 29. Operativ temperatur i vardagsrum för golvvärme 65 l/s under 1 år.

4.2 Energibehov

Resultaten för det beräknade energibehovet över de olika systemen under ett år redovisas i Tabell 42.

Tabell 42. Sammanställning av energibehov.

System och ventilationsflöde	Energibehov/kWh	Återvunnen energi i värmeväxlare/kWh	Totalt energibehov/kWh
FTX ventilationsflöde 65 l/s	2582	7832	10 414
FTX ventilationsflöde 37,6 l/s	1820	4649	6469
Golvvärme ventilationsflöde 65 l/s vardagsrum	10 088		10 088
Golvvärme ventilationsflöde 37,6 l/s vardagsrum	5914		5914

Det beräknade energibehovet för uppvärmning med ett FTX-system med ventilationsflöde 65 l/s blir 2582 kWh under 1 år. Från Tabell 28 går det att avläsa att energibehovet är som störst från november till mars. Resterande månader är energibehovet nästan obefintlig jämfört med dessa värden. Under sommarmånaderna juni, juli och augusti är värmeväxlaren avstängd. Värmeväxlaren bidrar med mest återvunnen energi under vintermånader november till mars. Men procentuell återvinning blir störst i april, maj, september, oktober då det inköpta energibehovet är nära noll.

Vidare blir energibehovet för uppvärmning med ett FTX-system med ventilationsflöde 37,6 l/s, 1820 kWh under 1 år. Här gäller samma förutsättningar som för ventilationsflödet 65 l/s att månaderna november till mars sticker ut som de månader där mest energi krävs. Samma analys gäller för värmeväxlingen som fallet för större ventilationsflöden.

För golvvärme med ventilationsflödet 65 l/s blir det totala energibehovet för uppvärmning 10 088 kWh. Energibehovet är som störst under vintermånaderna där december sticker ut som en särskilt energikrävande månad. För golvvärme med ett installerat ventilationsflöde på 37,6 l/s blir det totala beräknade energibehovet 5914 kWh. Samma förutsättningar gäller här angående energibehovet.

Det lägsta totala beräknade energibehovet under ett år vid simuleringar i IDA ICE blir med ett golvvärmesystem med ett ventilationsflöde på 37,6 l/s. Lägsta beräknade energibehovet för uppvärmning med hänsyn till värmeväxlad energi blir för FTX som har ett ventilationsflöde på 37,6 l/s. Då systemen är modellerade på samma sätt var det väntat att FTX hade ett lägre energibehov för uppvärmning med hänsyn till värmeväxling. Orsaken till att den totala energibehovsdifferensen är märkbar mellan

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

systemen antas vara på grund av att under vår och höst värmer återvunnen energi upp huset även om de inte behövs.

Enligt uppgifter från Villazero är värmebatteriet kopplat till en värmepump. Värmepumpar har olika Coefficient of performance- (COP) tal beroende på vilken framledningstemperatur som behöver uppnås, en lägre framledningstemperatur skulle leda till ett högre COP-tal. Luftburen värme skulle en kall dag behöva värma tilluften till cirka 50 °C för ett ventilationsflöde på 65 l/s och till cirka 60 °C för ett ventilationsflöde på 37,6 l/s enligt kapitel 2.4.2. Framledningstemperaturen för golvvärmen en normal dag ligger enligt Holmberg (2018) på 30 °C. En kall dag antas framledningstemperaturen för golvvärme uppnå 35 °C, en ungefärlig differens på 15 °C skulle ge en energibesparing på 17–22 % där värmebehovet var 20 W/m².

4.3 Värmepumpens inverkan

Enligt LK Systems så förändras COP med cirka 3 % för varje grad som värmepumpen behöver höja eller sänka temperaturen (ökar vid temperaturminskning) (LK Systems , U.Å. B). Beroende på vilket till- och frånluftsflöde som ventilationssystemet är dimensionerat för, Boverkets äldre eller nyare krav, så skulle framledningstemperaturen mellan de två olika uppvärmningssystemen skilja sig med allt från 0–30 °C.

Som en analys av vad som skulle vara mer rimligt att kolla på för data görs en snabb beräkning för värsta fallen. Om luftburna värmen skulle behöva värma tilluften till cirka 45 °C och golvvärmen till 30 °C (Holmberg, 2018). Skulle differensen med giva antagna värden för analysen bli 15 °C.

$$15 \cdot 3 = 45\%$$

COP-talet för värmeväxlingen för det olika systemet skiljer sig då 45 %. Anta att golvvärmen använder sig av en värmepump med ett COP-tal på 4, behovet för golvvärmesystemet med 65 l/s som från- och tilluft, får ett energibehov på:

$$\frac{\text{Energibehov}}{(\text{COP} - \text{tal} + 1)} = \frac{10\,000}{(4 + 1)} = 2000 \text{ kWh}$$

Den utnyttjade ”gratis energin” skulle då bli 2000·COP:

$$2000 \cdot 4 = 8000 \text{ kWh}$$

För FTX-systemet så skulle COP-talet vara följande för värsta fallet:

$$4 \cdot 0,45 \approx 2$$

Energianvändningen för systemet och dess ”gratis energi” skulle då bli:

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

$$\frac{\text{Energibehov}}{(\text{COP} - \text{tal} + 1)} = \frac{2600}{(2 + 1)} = 866 \text{ kWh}$$

$$866 \cdot 2 = 1732 \text{ kWh}$$

Skillnad med COP-tal:

$$2000 - 866 = 1134 \text{ kWh}$$

Skillnaden på systemen blir då cirka 1100 kWh, vilket är betydligt mindre. Som nämnts tidigare är detta för 65 l/s och samma antaganden skulle kunna gå att göra för 37,6 l/s. Analysen gjordes för värsta fallen och mer exakta COP och temperaturskillnader skulle behöva analyseras men för rapportens utfall ansågs det viktigt att nämna.

Då båda systemen har simulerats med samma ventilationssystem i IDA ICE förutom att värmeväxling inte använts för golvvärme så gjordes även en simulering för att se skillnaden med att använda golvvärmesystemet i kombination med FTX. Energibehovet skulle då bli detsamma som värmebatteriet på 2600 kWh. Utnyttjas samma COP-tal som ovan och densamma ekvationer så skulle golvvärmesystemet ha en total energianvändning på:

$$\frac{2600}{(4 + 1)} = 520 \text{ kWh}$$

En emissionsfaktor (Sandgren & Nilsson, 2021) multipliceras med energibesparingen vilket ger utsläppts besparingen per år, för kombinationen golvvärme med FTX följande

$$0,09 \cdot (866 - 520) \approx 31,1 \text{ CO}_2\text{e/år}$$

4.4 Komfort

I Tabell 43 redovisas en sammanställning av Figurer 11, 17, 22 och 27.

Tabell 43. Sammanställning av Figurer 11, 17, 22, och 27.

System och ventilationsflöde	Oacceptabel	Acceptabel	Bra	Bäst
FTX ventilationsflöde 65 l/s vardagsrum	7 %	39 %	35 %	20 %
FTX ventilationsflöde 37,6 l/s vardagsrum	18 %	37 %	31 %	14 %
Golvvärme ventilationsflöde 65 l/s vardagsrum	1 %	39 %	38 %	23 %
Golvvärme ventilationsflöde 37,6 l/s vardagsrum	7 %	38 %	35 %	20 %

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

I Tabell 44 redovisas en sammanställning av Tabellerna 30, 33, 35 och 37.

Tabell 44. Sammanställning av Tabellerna 30, 33, 35 och 37.

System och ventilationsflöde	Över 27 °C i värsta zonen	Över 27 °C i genomsnittliga zonen	Totala timmar med termiskt missnöje
FTX ventilationsflöde 65 l/s	7 %	5 %	13 %
FTX ventilationsflöde 37,6 l/s	24 %	18 %	15 %
Golvvärme ventilationsflöde 65 l/s	3 %	2 %	14 %
Golvvärme ventilationsflöde 37,6 l/s	15 %	11 %	15 %

Operativ temperatur FTX

För Figurerna 9 och 15 för FTX med ventilationsflöde 65 l/s och 37,6 l/s går det att avläsa hur den operativa temperaturen varierar över året. Det går att se ett nästan identiskt mönster för den operativa temperaturen för de olika ventilationsflödena, med skillnaden att det är någon grad varmare för det lägre ventilationsflödet under vår och höst men fördelningen över dagarna är densamma. För månaderna oktober till mars ligger temperaturen mellan 20–23 °C. Däremot under resterande del av året överstiger temperaturen 25 °C majoriteten av tiden vilket registreras som oacceptabelt enligt programmet. För folkhälsomyndighetens rekommenderade värden för inomhustemperatur ska temperaturen ligga mellan 20–23 °C. Som beskrivet blir den operativa temperaturen lägre under april, maj och september för ett högre till- och frånluftsflöde för FTX.

Fangers komfortindex FTX

Rekommenderat värde för PPD är att den ska ligga under 10 %. Från Figur 10 och 16 avläses att för ventilationsflödet 65 l/s och 37,6 l/s ligger PPD under 10% från oktober till mars. PMV bör ligga runt $\pm 0,5$. Detta uppfylls för de olika ventilationsflöden från oktober till mars. Under resterande del av året överstiger PPD och PVM rekommenderade värden majoriteten av tiden.

Operativ temperatur golvvärme

Vid analys av Figurerna 20 och 25 för golvvärme med ventilationsflöde 65 l/s respektive 37,6 l/s går det att avläsa hur även den operativa temperaturen varierar över året. Figurerna är nästintill identiska från september till maj där temperaturen ligger mellan 20–23 °C. Däremot går det att avläsa att när det blir toppar i diagrammen ligger temperaturen minst 1 °C högre för det lägre ventilationsflödet.

Fangers komfortindex golvvärme

Från Figur 21 och 26 avläses att för golvvärme med ventilationsflödet 65 l/s och 37,6 l/s ligger PPD under 10% från september till april. PMV bör ligga runt $\pm 0,5$. Detta uppfylls även för de olika ventilationsflöden från september till april. Under resterande del av året överstiger PPD och PVM rekommenderade värden majoriteten av tiden.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Operativ temperatur FTX jämfört med golvvärme

Vid användning av golvvärme håller sig temperaturen på en bättre och jämnare nivå än FTX för en större del av året.

Enligt Tabell 44 har golvvärme med ventilationsflöde 65 l/s lägst procentuell andel över 27 °C i värsta och genomsnittliga zonen. För totala timmar med termiskt missnöje är resultatet nästan identiskt men FTX med ventilationsflöde 65 l/s ligger lägst. En anledning till att alla är så lika är för att de tre sommarmånaderna juni, juli och augusti är det alltid för varmt vilket drar upp procentsatsen. Simuleringarna dessa månader skulle kräva någon kylning eller användning av vädring som är effektivt i IDA ICE.

Då installationerna i programmet är inställda på att kunna prestera på ett så bra sätt som möjligt utan några begränsningar så klarar de båda årssimuleringar att värma rummen så att den operativa temperaturen är över 20 °C. Problemet för det isolerade huset blir istället övertemperatur då utomhustemperaturen och solstrålning kommer fortsätta värma huset. Ett högre ventilationsflöde hanterar övertemperatur bättre enligt simuleringarna. För FTX så skulle det antagligen vara bättre komfortmässigt att utnyttja en lägre tilluftstemperatur och att stänga av värmeväxlingen tidigare än vad som gjorts i rapporten men att ha igång reheat coil alla månader. När termometern känner av att rummet blir för kallt värms luften upp och en jämnare temperatur skulle antagligen blivit resultatet. Energianvändningen skulle öka men resultatet för komforten enligt IDA ICE skulle blivit bättre.

Ett problem som uppstår i välisolerade hus utan något kylsystem är övertemperatur. I rapporten är resultatet för energianvändningen som går till uppvärmning det viktiga vilket gör att problem med övertemperatur ligger under en annan kategori som är avgränsad från denna rapport men är ett känt problem för välisolerade hus.

I avsnittet om golvvärme tas det upp att en av de huvudsakliga fördelarna med golvvärme är att det sprider värme på ett effektivt sätt då hela golvet jämt fördelar värme till rummet. Att det är varmt och skönt för fötterna är uppskattat av brukare vilket medför att resterande del av rummet inte behöver vara lika varmt. Jämförelsen här mellan golvvärme och FTX i IDA ICE blir inte representativ för verkligheten eftersom programmet inte tar hänsyn till omblandning och vart luften förs in i rummet. Högsta tilluftstemperaturen bör inte överstiga 52°C, för att undvika pyrolys av damm. Enligt beräkningar kapitel 2.4.2 så blir tilluftstemperaturen vid kallaste dagen högre än 52°C vilket kan leda till dammförkolning i tilluften och eventuell i eller på tilluftskanalerna, det vill säga dammpartiklar skulle glöda på heta ytor och producerar oönskade lukter (Schnieders & Hermelink, 2006).

4.5 Global Warming Potential

I Tabell 45 redovisas en sammanställning av koldioxidekvivalenter för respektive system.

Tabell 45. Sammanställning koldioxidekvivalenter.

System	GWP _{A1-A3} /kgCO _{2e}
Golvvärme One Click LCA	1075
Golvvärme EPD c/c 320	2337
Golvvärme EPD c/c 160	2734
FTX-system One Click LCA	761
FTX-system EPD	363

I programmet One Click LCA hittas färdiga "air handling units", dock var data svårtolkat avseende storlek och uppbyggnad, då det inte var färdigställda EPD:er utan bara angav ett värde för Boverkets moduler A1-A3. För golvvärmen var det lättare att hitta färdiga golvvärmesystem som även angav vilka material som använts. Svårigheten att hitta vilka system som exakt användes medförde att det i denna studie valdes att även kontrollera material-EPD:er och att försöka bygga upp systemen med dessa. Resultatet visade tydligt att för "air handling units" var det en stor skillnad om enbart materialet för systemet användes och sattes ihop, jämfört med de färdigbyggda systemen som låg i One Click LCA, se Tabell 45.

För golvvärmen så kunde det med hjälp av material-EPD:er snabbt konstateras att det var materialen runt omkring rören för golvvärmen som var de stora källorna för utsläppen av CO_{2e}. Resultaten från One Click LCA där dividering med antal rör per meter genomfördes, kommer därför inte generera ett rimligt svar. Från de olika EPD:erna för färdiga system jämfört med EPD:er för enskilda material så blev resultatet att rören bestod av några få procent av de totala utsläppen. Vilket medförde att c/c-avståndet på rören inte alls hade så stor påverkan. Materialet för spårskivan för hela byggnaden gav ett utsläpp på cirka 640 CO_{2e}. Detta skulle nästan motsvara hela FTX-systemet. Samtidigt så skulle spårskivan bidra till isolering för byggnaden, vilket leder till frågan om spårskivan då räknas in till klimatskärmen och bör ingå i Boverkets klimatdeklaration eller ingår det speciellt för golvvärmens CO_{2e} utsläpp. Hade däremot indikatorn GWP-biogenic använts för att analysera golvvärmesystemet hade koldioxidutsläppet varit 580,8 CO_{2e} för c/c 320 respektive 618,2 CO_{2e} för c/c 160 vilket är mindre än utan hänsyn till GWP-biogenic. GWP-biogenic tar enligt hänsyn till att trä binder kol vilket hade ett nettopositivt koldioxidutsläpp i faserna A1-A3 men förväntas släppas ut igen i ett senare skede.

Det största utsläppet för golvvärmen är från värmefördelningsplåt tillverkat av aluminium. En värmefördelningsplåts utsläpp av CO_{2e} skulle bli 1658 vilket motsvarar nästan 2–4 hela FTX-system, beroende på om det jämförs med One Click LCA eller EPD:er. Skillnaden om man skulle kunna använda sig av återvunnen aluminium är 96 %

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

förminskning av utsläppen. Går det att säkra att aluminium man använder är återvunnet så skulle resultatet av utsläppen av systemen bli jämna. Speciellt om man kan spåra direkt i isoleringen.

Som analyseras i avsn 4.3, skulle fallet i villan vara att det enbart behöver läggas golvvärmerör så hade tillskottet av golvvärmens CO₂e nästan sparats in på ett år då rörläggning med c/c avstånd 320 mm hade en påverkan med cirka 40 CO₂e.

Enligt Tabell 45 så kommer FTX systemen vara mest fördelaktigt ur koldioxidutsläppsynpunkt i båda alternativen enligt One Click LCA och EPD:er. Resultatet tar ej hänsyn återvunnet material eller hur trä binder koldioxid.

5 Diskussion

Energibehovet för en byggnad med samma parametrar borde ge samma energibehov för båda systemen, varför det totala energibehovet är större för FTX vid simuleringar antas vara på grund av inställningarna för värmeväxlingen. För jämförelse mellan de två systemen i en verklig byggnad så skulle det vara intressant att ha ytterligare information angående hur stor skillnad det skulle bli på värmepumpens COP-tal. Golvvärmen anses kunna utnyttja ett högre COP-tal för en värmepump. Fördelningen på årets temperaturer och fördelningstemperaturens vattentemperaturbehov skulle behöva analyseras över året i en Excel-fil eller liknande för att jämförelsen ska vara tillförlitlig.

Det hade varit intressant att lyckas modellera huset så att golvvärme hade ett annat ventilationssystem än det som var FTX. Ett exempel skulle vara självdrag eller mekanisk frånluft. Det är oklart om detta skulle påverka resultaten i programmet men för att det skulle bli mer verklighetstroget. Som det är modellerat nu blir den största skillnaden att det ena systemet utnyttjar värmeväxling och det andra värmer upp all kall luft i rummet.

Intressant hade varit att bygga ett liknande hus men med golvvärme i stället där golvvärmeföretaget som LK Systems till exempel kan utnyttja den isolering som läggs i byggnaden utan att behöva lägga en extern spårskiva, som enligt beräkningar hade en stor klimatpåverkan av CO₂e. En yttligare orsak till stora koldioxidutsläpp var värmefördelningsplåten där det hade varit intressant att fråga brukare om de märker någon skillnad om man använder med eller utan plåten. Om detta hade varit fallet så hade både en kombination och ett hus med enbart golvvärme varit roligt att se för att sedan kunna utvärdera mot dagens Villazero.

Värmefördelningsplåten som antogs för golvvärmesystemet hämtades från Boverkets klimatdatabas och hade en klimatpåverkan på 12,5 kg CO₂e/kg_{material}. Detta blir i beräkningarna den största påverkan från ett enskilt material i systemet. För att minska utsläppen för produkter går det utnyttja återvunnet material. För aluminium kan utsläppen minska med 96% om man använder sig av återvunnet material. Enligt LK systems använder deras värmefördelningsplåtar återvunnen aluminium vilket hade inneburit en lägre klimatpåverkan än vad resultatet visar. Att använda sig av återvunna material borde också kunna appliceras på andra delar av båda systemen vilket hade kunnat sänka klimatpåverkan ytterligare.

Om fossila bränslen blir svårare att få tag i och den förnybara energin fortsätter bli mer dominerande i samhället blir det intressant i framtiden hur energianvändningen över året kommer se ut. Med dagens förnybara energi så kanske inte energin för vår, höst och sommar kommer vara den som ska vara den dimensionerande för en byggnads val av uppvärmning. I spekulering så kanske det kommer vara hur man ska klara av de värsta dagarna på året när det kommer behöva mest energi i hela landet. All energikonsumtion skulle kanske ”spika” denna dag och de förnybara energitillgångarna som solceller, vattenkraft, vindkraft ej klara av att försörja oss denna dag. Summan av detta kan vara

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

att vi behöver få tillgång till energi som ej är lika bra för klimatet, till exempel förbränning av fossila bränslen. Ska uppvärmningssystem dimensioneras för energibehovet dessa dagar med ett högt COP-tal under dessa förhållanden eller ej. Det är ingen som kan ge svar för detta i dagsläget men jämför vi ett COP-tal på 5 och en energianvändning på 1200 kWh för en decembermånad för ett golvvärmesystem och ett COP-tal på 2 för ett FTX system på 550 kWh, så kanske det i framtiden kommer vara fördelaktigt att ha golvvärme eller en kombination med värmeåtervinning för större utnyttjande av COP-tal dessa värsta dagar.

FTX är ett effektivt system för att minska energianvändningen och utnyttja tillförd värme i luften. Från de simuleringar som gjorts funderades det över hur ett FTX-system skulle kunna fungera bättre genom att stänga av och sätta på värmväxlingen efter behov även om det finns fler faktorer utanför det som simulerats som kommer påverka. Speciellt i månader med övertemperatur som april, maj och september.

5.1 Framtida studier

Intressant hade varit att analysera hur COP-tal för en värmepump varierar över ett år, om man då på ett bättre sätt kan täcka energibehovet med ett FTX-system med golvvärme. Delvis genom att det går att utnyttja ett högre COP-tal under värsta dagarna på året när alla energibolagen har det svårare att generera ”förnybar energi”. Skulle det vara värt de extra CO₂e vid tillverkning för att göra besparing på systemet under dess livslängd.

Något som framstod tydligt var att vissa återvunna material medförde stor klimatbesparing. Det hade varit intressant att se hur tillgången till återvunnet material var och analysera den aspekten mer för hela hus.

6 Slutsats

För att beräkna energi- och effektbehov för en villa kommer de olika parametrarna att ha en påverkan. I rapporten tas det hänsyn till två olika fall. Ett fall där uppvärmningen kommer ske via ett luftburet system med värmeväxling och ett med golvvärme. Simuleringarna görs med ett högre och ett lägre till- och frånluftsflöde. Det lägsta effektbehovet blir för ett FTX-system med ett ventilationsflöde på 37,6 l/s. Energibehovet för samma system är även det de lägsta på 1820 kWh. Ser man däremot på totala energibehovet och räknar med den återvunna energin så har golvvärme med ett ventilationsflöde på 37,6 l/s lägst energibehov. I verkligheten skulle systemen ha olika COP-tal för värmepumpar som anses vara en viktig parameter för verklig energianvändning.

För att undersöka om det var någon märkbar komfortskillnad mellan systemen användes IDA ICE komfortverktyg. Från resultaten går det inte att tyda några tydliga komfortskillnader under vintertid. Små komfortskillnader gick att tyda under vår och höst då FTX-systemet använde sig av värmeväxling på tilluften till cirka 20 °C, vilket resulterade i något varmare inomhustemperatur. Sommartid var båda systemen avstängda och markant övertemperatur kunde avläsas. Ett effektivt sätt att få ner temperaturen i simuleringarna var att utnyttja verktyget vädring i programmet, vilket ej redovisas men testades.

Färdiga installationssystem var begränsade att hitta som EPD:er. Det var lättare att hitta data för materialen som används men det finns en viss osäkerhet hur mycket ett påslag från att utvinna ett material till att sen även tillverka en produkt av det skulle bli. Tydligt blev det för FTX där enbart materialet för ”air handling unit” skulle generera halva utsläppen jämfört med de färdiga system som fanns i One Click LCA. En nackdel för golvvärme är att de i sin uppbyggnad för det fall som anges i rapporten skulle rekommendera ett ytterligare material ovanför isoleringen som har spår för golvvärmerör. Detta extra material plus värmefördelningsplåt är de huvudsakliga orsakerna till höga koldioxidutsläpp för systemet. Byggs ett hus och golvvärme är tänkt att användas är möjligen de extra materialen inte nödvändiga, eller räknas som delar av klimatskärmen och därför inte medför utsläpp för golvvärmesystemet. Med de givna delarna som var med från start av rapporten utan hänsyn till återvunnet material skulle FTX ge ett lägre koldioxidutsläpp för Boverkets moduler A1-A3.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Referenser

- E.ON Energilösningar, 2021. *Hur mycket ström drar din hemelektronik?*. [Online] Available at: <https://www.eon.se/el/guider-tips/hemelektronik> [Använd 24 April 2022].
- Abel, E. & Elmroth, A., 2016. *Byggnaden som system*. 4:1 red. Lund: Studentlitteratur AB.
- Bokalders, V. & Block, M., 2014. *Byggekologi Kunskaper för ett hållbart byggande*. 3:a red. Göteborg: AB Svensk Byggtjänst.
- Borglund, A.-s., 2020. *Energieffektiva småhus – kombinerade värme- och ventilationssystem*. [Online] Available at: https://www.e2b2.se/forskningsprojekt-i-e2b2/varme-och-ventilation/energieffektiva-smahus/?fbclid=IwAR0J1SLktVpEyX4S5mwxxXabdpBhxSnvAN-H_gR3Xh2XpjbVZh2WUKfudpo [Använd 4 Februari 2022].
- Boverket, 2011. *Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd*, BBR, Karlskrona: Boverket.
- Boverket, 2012. *Handbok för energihushållning enligt Boverkets byggregler*, Karlskrona: Boverket.
- Boverket, 2015. *Förslag till svensk tillämnning av nära-nollenergibyggnader*, Karlskrona: Boverket.
- Boverket, 2017. *Öppna data - Dimensionerande vinterutetemperatur (DVUT 1981-2010) för 310 orter i Sverige*. [Online] Available at: <https://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/oppna-data/dimensionerande-vinterutetemperatur-dvut-1981-2010/> [Använd 09 03 2022].
- Boverket, 2019. *Introduktion till livscykelanalys (LCA)*. [Online] Available at: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/> [Använd 28 Januari 2022].
- Boverket, 2020A. *Konsoliderad version av Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd*. [Online] Available at: https://www.boverket.se/resources/constitutiontextstore/bbr/PDF/konsoliderad_bbr_2011-6.pdf#6_412_definitioner_beteckningar [Använd 29 Januari 2022].
- Boverket, 2020B. *Utveckling av regler om klimatdeklaration av byggnader*, Karlskrona: Boverket.
- Boverket, 2020C. *Övriga energihushållningskrav*. [Online] Available at: <https://www.boverket.se/sv/byggande/bygg-och-renovera-energieffektivt/energi-hushallningskrav/ovriga-energi-hushallningskrav/> [Använd 2 Februari 2022].
- Boverket, 2021A. *Allmänt om handboken*. [Online] Available at: <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/om->

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

klimatdeklaration/handboken/

[Använd 28 Januari 2022].

Boverket, 2021B. *Beräkning av byggnadens energiprestanda.* [Online] Available at: <https://www.boverket.se/sv/energideklaration/for-energiexperter/berakning-av-byggnadens-energianvandning/>

[Använd 24 02 2022].

Boverket, 2021C. *Bygg- och fastighetssektorns energianvändning uppdelat på förnybar energi, fossil energi och kärnkraft.* [Online] Available at: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/energianvandning/>

[Använd 26 Januari 2022].

Boverket, 2021D. *Klimatdeklarationens omfattning.* [Online] Available at: <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/gor-sa-har/omfattning/>

[Använd 31 03 2022].

Boverket, 2021E. *Termiskt klimat.* [Online] Available at: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/termiskt-klimat/>

[Använd 27 Januari 2022].

Boverket, 2022. *Byggedelar som ingår.* [Online] Available at: <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/gor-sa-har/byggedelar-som-ingar/>

[Använd 10 03 2022].

Bramevik, H., 2022. *Kvalitets- och miljöchef* [Intervju] (20 03 2022).

Brass & Fittings, S.L., 2021. *Underfloor heating system from Brass & Fittings, S.L., Zaragoza – España:* EPD International AB.

Byggelit Sverige AB, 2020. *Environmental Product Declaration In accordance with ISO 14025 and EN 15804:2012+A2:2019 for: Particle board P2 and P6,* Stockholm: EPD International AB.

Elskling AB, U.Å.. *Energispartips i köket.* [Online] Available at: <https://www.elskling.se/energispartips/koket/>

[Använd 25 04 2022].

Elskling, U.A. *Energispartips i köket.* [Online] Available at: <https://www.elskling.se/energispartips/koket/>

[Använd 5 April 2022].

Energi Företagen, 2021. *Fjärrvärme.* [Online] Available at: <https://www.energiforetagen.se/energifakta/fjarrvarme/>

[Använd 28 Januari 2022].

Energimyndigheten, 2002. *Grundtips för golvvärme,* Eskilstuna: Energimyndigheten.

Energimyndigheten, 2020. *Välj rätt lampa.* [Online] Available at: <https://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/jag-vill-energieffektivisera-hemma/inkop-av-produkter/belysning/valj-ratt-lampa/>

[Använd 09 03 2022].

Energimyndigheten, 2021. *Energiläget 2021 En översikt,* Eskilstuna: Energimyndigheten.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

- Erlandsson, M., Ekvall, T., Lindfors, L.-G. & Jelse, K., 2014. *Robust LCA: Typologi över LCA-metodik – två kompletterande systemsyner*, Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet AB.
- Erlandsson, M., Ekvall, T., Lindfors, L.-G. & Jelse, K., 2014. *Robust LCA: Typologi över LCA-metodik – två kompletterande systemsyner*. [Online] Available at: <https://www.ivl.se/download/18.343dc99d14e8bb0f58b766d/1449742857063/B2122.pdf> [Använd 28 Januari 2022].
- European Commission, U.Å. *European Platform on Life Cycle Assessment (LCA)*. [Online] Available at: <https://ec.europa.eu/environment/ipp/lca.htm> [Använd 04 02 2022].
- Everhill, P., 2020. *Kraftvärme*. [Online] Available at: <https://www.krafttringen.se/globalassets/krafttringen/media/dokument/folder-och-broschyr/kraftvarmeskriften-2020.pdf> [Använd 28 Januari 2022].
- Farsäter, K., 2022. *Doktorand vid Avdelningen för Installations- och klimatiseringslära, Lunds Tekniska Högskola* [Intervju] (30 03 2022).
- Farsäter, K., Wahlström, Å. & Johansson, D., 2021. *Uncertainty analysis of climate change potential assessments of five building energy renovation measures in Sweden*, Lund: Department of Building and Environmental Technology, Division of Building Services, Lund University.
- Fiskarhedenvilla, 2020. *Utvecklingsprojektet - Villazero*. [Online] Available at: <https://fiskarhedenvillan.se/inspiration/klimatneutralt-hus-villazero/> [Använd 8 Februari 2020].
- Folkhälsomyndigheten, 2014. *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus*, Solna: Folkhälsomyndigheten.
- Fransson, V., 2022. *Biträdande universitetslektor vid Avdelningen för Installations- och klimatiseringslära* [Intervju] (20 03 2022).
- H Ivarsson, C. & Modig, S., 1993. *Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd)*, Karlskrona: Boverket.
- Heat Pump Centre, U.Å.. *Why heat pumps are a technology for the future*. [Online] Available at: <https://heatpumpingtechnologies.org/market-technology/heat-pumping-technology/> [Använd 15 05 2022].
- Hesaraki, A., 2015. *Low-Temperature Heating and Ventilation for Sustainability in Energy-Efficient Building*, Stockholm: KTH Royal Institute of Technology.
- Hillman, K., Damgaard, A., Jonsson, D. & Fluck, L., 2015. *Climate Benefits of Material Recycling*, Köpenhamn: Nordic Council of Ministers .
- Holmberg, S., 2018. *Lågtemperatursystem ger stor energibesparing*, Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan.
- Janson, U., 2010. *Passive houses in Sweden*, Lund: Lund University.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

- Janson, U., 2022. *Universitetslektor vid Avdelningen för Installations- och klimatiseringslära, Lunds Tekniska Högskola* [Intervju] (10 04 2022).
- Jerléus, K., 2020. *Ett ventilationssystems miljöpåverkan*, Kalmar Växjö: Linnéuniversitetet.
- Karlsson, H. & Ståhl, F., 2012. *Termisk komfort i lågenergihus och passivhus*, Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- Larsson, T. & Berggren, B., 2015. *Undvik fel och fällor med köldbryggor*, Stockholm: Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF).
- Lindab, 2021. *Environmental product declaration*. [Online] Available at: https://www.lindab.se/globalassets/commerce/lindabwebproductsdoc/pdf/documentatio n/ads/lindab/certificates/epd_circular_ventilation_duct_folded_sweden_grevie.pdf?v=1651556921 [Använd 3 Maj 2022].
- Lindab, U.Å.A. *Frånluftsventil KVB*. [Online] Available at: <https://www.lindab.se/globalassets/commerce/lindabwebproductsdoc/pdf/documentatio n/ads/se/technical/kvb.pdf?v=1648714156> [Använd 3 Maj 2022].
- Lindab, U.Å.B. *Tillluftsdon VTTB*. [Online] Available at: <https://www.lindab.se/globalassets/commerce/lindabwebproductsdoc/pdf/documentatio n/ads/se/technical/vttb.pdf?v=1648714208> [Använd 3 Maj 2022].
- LK Systems AB, U.Å. 2022].
- Mason-Delmotte, V. o.a., 2021. : *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press: IPCC.
- Myhren, J. A. & Bergdahl, M., 2019. *Varsam energieffektiv renovering – Tjärna Ängar*, Stockholm: E2B2 C/O IQ Samhällsbyggnad.
- Nationalencyklopedin, U.Å. *koldioxidekvivalent*. [Online] Available at: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/koldioxidekvivalent> [Använd 16 03 2022].
- Naturvårdsverket, U.Å.. *El och fjärrvärme, utsläpp av växthusgaser*. [Online] Available at: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatfakta/> [Använd 1 Februari 2022].
- Naturvårdsverket, U.Å. *Naturvårdsverket*. [Online] Available at: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomställningen/omraden/klimatet-och-energin/energieffektivisering/energieffektivisering-i-bostader-och-lokaler/> [Använd 04 02 2022].
- Naturvårdsverket, U.Å.. *Jordens klimat blir allt varmare och fortsatta utsläpp innebär fortsatt stigande temperatur..* [Online]

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

- Available at: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatfakta/#E530445663>
[Använd 26 Januari 2022].
- Nilsson, L., 2020. *Ny statistik över Energianvändningen i småhus, flerbostadshus och lokaler*. [Online]
Available at: <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2020/ny-statistik-over-energianvandningen-i-smahus-flerbostadshus-och-lokaler/>
[Använd 01 04 2022].
- Petrovic, B. o.a., 2019. *Life Cycle Assessment of Building Materials for a Single-family House in Sweden*, http://du.diva-portal.org/smash/get/diva2:1306048/FULLTEXT01.pdf?fbclid=IwAR3qnLp4nHi56_NYQtwxcJ-n3Gf18cqawnID8Cq80m6yahQM_iUUmWSJOdU: Elsevier Ltd..
- Sandgren, A. & Nilsson, J., 2021. *Emissionfaktor för nodisk elmix med hänsyn till import och export*, Norrköping: Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut.
- Schnieders, J. & Hermelink, A., 2006. *CEPHEUS results: measurements and occupants' satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building*, u.o.: USA: Elsevier Science Ltd.
- Scotte, A., 2022. *Hållbarhetspecialist* [Intervju] (24 03 2022).
- SSAB EMEA AB, 2020. *Metal coated steel sheets and coils*, Borlänge: SSAB EMEA AB.
- Structor, 2022. *VillaZero – Sveriges första koldioxidneutrala villa*. [Online]
Available at: <https://www.structor.se/projekt/villazero-sveriges-forsta-koldioxidneutrala-villa/>
[Använd 8 Februari 2022].
- Sveby, 2012. *Brukarindata bostäder*, Stockholm: Sveby.
- Sveriges Allmännyttan, 2016. *Regeringen har beslutat om kraven på naranollenergibygnader*. [Online]
Available at: <https://www.sverigesallmannytta.se/regeringen-har-beslutat-om-kraven-pa-nara-nollenergibygnader/>
[Använd 27 Januari 2022].
- Sveriges Miljömål, 2021. *Utsläpp av växthusgaser till år 2030*. [Online]
Available at: <https://www.sverigesmiljomal.se/etappmalen/utslapp-av-vaxthusgaser-till-ar-2030/>
[Använd 4 Februari 2022].
- SWEGON, U.Å. *SWEGON CASA SDHW250F*. [Online]
Available at: https://www.swegon.com/siteassets/product-documents/home-ventilation/accessories/sv/smart_kanalbatteri_se_p.pdf
[Använd 31 Mars 2022].
- Teli, D. o.a., 2021. *Beteende och värmebehov i bostäder*, Eskilstuna: Energimyndigheten .
- Trä- och Möbelföretagen (TMF), 2021. *Slutrapport KlivPå*, Stockholm: Trä- och Möbelföretagen (TMF).
- Vadiee, A., Dodoo, A. & Jalilzadehazhari, E., 2019. *Heat Supply Comparison in a Single-Family House with Radiator and Floor Heating Systems*, Västerås, Sweden: School of Business, society and engineering, Mälardalens högskola.

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

- Vattenfall, 2020. *Så fungerar golvvärme.* [Online]
Available at: <https://www.vattenfall.se/fokus/tips-rad/sa-fungerar-golvvarme/>
[Använd 1 Februari 2022].
- Wahlström, Å., 2021. *Guide: FTX.* [Online]
Available at: <https://byggkoll.byggstjanst.se/artiklar/2021/februari/guide-ftx/>
[Använd 28 Januari 2022].
- Warfvinge, C. & Dahlblom, M., 2010. *Projektering av VVS-installationer.* 1:15 red.
Lund: Studentlitteratur AB.
- Weiguo, L. o.a., 2017. *Analysis of the Global Warming Potential of Biogenic CO2 Emission in Life Cycle Assessments,* u.o.: Nature.
- Östberg, 2022. *HERU 100 T EC.* [Online]
Available at: <https://fsp.ostberg.com/products/4397/heru-100-t-ec?region=se&lang=se>
[Använd 29 Januari 2022].

Bilaga 1 Byggnadsdelar materialdata och uppbyggnad

- Golv mot platta

MATERIAL	VÄRME-KONDUKTIVITET/(W/(m K))	DENSITET /(kg/m ³)	SPECIFIK VÄRMEKAPACITET /(J/(kg K))
FURUGOLV (WOOD)	0,14	500	2300
ÅNGBROMS SIGA WET GARD 200			
KL-TRÄ L3S (WOOD)	0,14	500	2300
CELLPLAST EPS S100 (Light insulation IDA ICE)	0,036	20	750
PE-FOLIE			
CELLPLAST EPS 100 (Light insulation IDA ICE)	0,036	20	750

Från inne mot mark läggs:

25 mm furugolv

100 mm KL-trä

100 mm cellplast EPS S100

300 mm cellplast EPS 100

- Yttervägg

MATERIAL	VÄRME-KONDUKTIVITET /(W/(m K))	DENSITET /(kg/m ³)	SPECIFIK VÄRMEKAPACITET /(J/(kg K))
PANEL (WOOD)	0,14	500	2300
SIGA MAJCOAT 150 ÅR DIFFUSIONSÖPPEN REGNSKYDD DUK			
25 HUNTON VINDTÄT PLUS	0,05	235	2100
Hunton Nativo Träfiberisolering, skivor	0,038	50	2100
SIGA MAJREX ÅR ÅNGSPÄRR			
FIBERGIPS	0,22	970	1090

Utsidavägg och inåt:

- Panel 22 mm
- Luftspalt 34 mm
- Panel 28 mm
- Hunton vindtät plus 25 mm

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

- Hunton Nativo träfiberisolering 600 mm
- Hunton Nativo träfiberisolering 145 mm
- Hunton Nativo träfiberisolering 45 mm
- Fibergips 13 mm

- Tak

MATERIAL	VÄRME-KONDUTIVITET /(W/(m K))	DENSITET /(kg/m ³)	SPECIFIK VÄRMEKAPACITET /(J/(kg K))
STRÖLÄKT (WOOD)	0,14	500	2300
BÄRLÄKT	-	-	-
STRÖLÄKT (WOOD)	0,14	500	2300
SIGA MAJCOAT 150	-	-	-
RÅSPONT	-	-	-
Hunton Nativo Träfiberisolering, skivor	0,038	50	2100
SIGA MAJREX ÅR ÅNGBROMS	-	-	-
GUSTAFS LAMELLOW (WOOD)	0,14	500	2300

- Isolering i tak ”långsida”

Utsida och inåt:

Ströläkt 45 mm
 Luftspalt 45 mm
 Ströläkt 28 mm
 Råspont 22 mm
 Hunton Nativo träfiberisolering 720 mm
 Luftspalt 45 mm
 Gustafs Lamellow 22 mm

- Isolering i tak ”kortsida”

Utsida och inåt:

Takpanel 22 mm
 Luftspalt 45 mm
 Ströläkt 28 mm
 Råspont 22 mm
 Luftspalt 300 mm (denna la vi aldrig in)
 Ströläkt 28 mm
 Hunton Nativo träfiberisolering 700 mm
 Luftspalt 45 mm
 Gystafs Lamellow 22 mm

- Ingen isolering tak ”långsida”

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Utsida och inåt

Ströläkt 45 mm

Luftspalt 45 mm

Ströläkt 28 mm

Råspont 22 mm

- Ingen isolering tak ”kortsida”

Utsida och inåt

Takpanel 22 mm

Luftspalt 45 mm

Ströläkt 28 mm

Råspont 22 mm

- Isolering mellan höjdskillnad tak

MATERIAL	VÄRME-KONDUKTIVITET /(W/(m K))	DENSITET /(kg/m ³)	SPECIFIK VÄRMEKAPACITET /(J/(kg K))
FIBERGIPS	0,14	500	2300
Hunton Nativo Träfiberisolering, skivor	0,038	50	2100
SIGA MAJREX ÅR ÅNGBROMS	-	-	-
SIGA MAJCOAT 150	-	-	-

Inside mot kall vind:

Fibergips 13 mm

Träfiberisolering 45 mm

Träfiberisolering 45 mm

Träfiberisolering 400 mm

- Isolering mellanbjälklag

Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive luftvärme i småhus

Utsida och inåt

Träfiberisolering 700 mm

Luftspalt 28 mm

Fibergips 13 mm

MATERIAL	VÄRME-KONDUTIVITET /(W/(m K))	DENSITET /(kg/m ³)	SPECIFIK VÄRMEKAPACITET /(J/(kg K))
STRÖLÄKT	0,14	500	2300
BÄRLÄKT	-	-	-
STRÖLÄKT	0,14	500	2300
SIGA MAJCOAT 150	-	-	-
RÅSPONT	-	-	-
Hunton Nativo Träfiberisolering, skivor	0,038	50	2100
SIGA MAJREX ÅR ÅNGBROMS	-	-	-
FIBERGIPS	0,22	970	1090

- Våtrum

MATERIAL	VÄRME-KONDUTIVITET /(W/(m K))	DENSITET /(kg/m ³)	SPECIFIK VÄRMEKAPACITET /(J/(kg K))
FIBERGIPS	0,22	970	1090
PANEL(WOOD)	0,14	500	2300
Hunton Nativo Träfiberisolering, skivor	0,038	50	2100
SIGA MAJREX ÅR ÅNGBROMS	-	-	-

Fibergips 13 mm

Plywood 15 mm

Träfiberisolering 45 mm

- Innerväggar

MATERIAL	VÄRME-KONDUTIVITET /(W/(m K))	DENSITET /(kg/m ³)	SPECIFIK VÄRMEKAPACITET /(J/(kg K))
FIBERGIPS	0,22	970	1090
GLASULL (Light insulation IDA ICE)	0,036	20	750


Energibehovssimulering, klimatkalkyl och termisk komfort för golvvärme respektive
luftvärme i småhus

SIGA MAJREX ÄR ÅNGBROMS	-	-	-
----------------------------	---	---	---

- Innervägg 100 mm'
Fibergips 26 mm
Glasull 45 mm
Fibergips 26 mm

- Innervägg 200 mm
Fibergips 26 mm
Glasull 120 mm
Fibergips 26 mm

Bilaga 2 Klimatfil IDA ICE

Location  Malung_024100 (ASHRAE 2013) ▼ ▶


Position

Country

City

Latitude ° Elevation m

Longitude ° Time zone h

 Climate description ▼ ▶

Design day data

Design data file User-defined design days

	Winter	Summer	
Dry-bulb min	<input type="text" value="-25.6"/>	<input type="text" value="10.1"/>	°C
Dry-bulb max	<input type="text" value="-16.7"/>	<input type="text" value="26.4"/>	°C
Wet-bulb max	<input type="text" value="-17.0"/>	<input type="text" value="16.9"/>	°C
Wind direction	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="180"/>	°
Wind speed	<input type="text" value="0.7"/>	<input type="text" value="2.1"/>	m/s
Clear-sky tau_b	<input type="text" value="0.331"/>	<input type="text" value="0.32"/>	
optical depth tau_d	<input type="text" value="2.378"/>	<input type="text" value="2.466"/>	

Object

Name

Description

Bilaga 3 Simuleringsalternativ

<p>Diagrams - Building Level</p> <ul style="list-style-type: none"><input checked="" type="checkbox"/> AHU temperatures<input checked="" type="checkbox"/> AHU air flows<input type="checkbox"/> Plant temperatures<input checked="" type="checkbox"/> Total heating and cooling<input type="checkbox"/> Wind speed<input type="checkbox"/> Plant details<input type="checkbox"/> Occupancy	<p>Reports - Building Level</p> <ul style="list-style-type: none"><input checked="" type="checkbox"/> Delivered Energy<ul style="list-style-type: none"><input checked="" type="checkbox"/> Log sources<ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Log detailed sources<input type="checkbox"/> Log per energy carrier<input type="checkbox"/> Lost work<input checked="" type="checkbox"/> AHU energy<ul style="list-style-type: none"><input checked="" type="checkbox"/> Log sources<ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Log detailed sources<input checked="" type="checkbox"/> Input data report <p>Reference floor area for reports <input type="text" value="107.428"/> m²</p>
<p>Diagrams - Zone Level</p> <ul style="list-style-type: none"><input checked="" type="checkbox"/> Main temperatures<input checked="" type="checkbox"/> Heat balance<input type="checkbox"/> Air temperatures at floor and ceiling*<input checked="" type="checkbox"/> Fanger's comfort indices<input type="checkbox"/> Indoor Air Quality<input type="checkbox"/> Daylighting<input type="checkbox"/> Directed operative temperatures*<input type="checkbox"/> Air flow in zone<input type="checkbox"/> Airborne heat flow into zone<input type="checkbox"/> Surface temperatures<input type="checkbox"/> Surface heat fluxes<input type="checkbox"/> Convective heat fluxes<input checked="" type="checkbox"/> Ventilation air flows<input type="checkbox"/> Shading control<input type="checkbox"/> Occupancy	<p>Reports - Zone Level</p> <ul style="list-style-type: none"><input checked="" type="checkbox"/> Energy<ul style="list-style-type: none"><input checked="" type="checkbox"/> Log sources (energy table)<ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Log detailed sources<input checked="" type="checkbox"/> Log sources (transmission table)<ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Log detailed sources<input type="checkbox"/> Thermal comfort (EN-15251, with cooling)<input checked="" type="checkbox"/> Thermal comfort (EN-15251, without cooling)

In addition, any model variable can be logged at the Advanced level. Find instructions [here](#).

* Only available for 'Climate' zone model fidelity. See [Defaults](#).