



SAMHÄLLSBYGGNAD  
BYGGTEKNIK



## Hållbarhetsutvärdering av byggnader - Case Ripan i Kiruna

Karin Sandberg, Anna Pousette & Joakim Norén  
**RISE**

Marcus Sandberg, Thomas Olofsson & Jani Mukkavaara  
**Luleå tekniska universitet**

# Hållbarhetsutvärdering av byggnader - Case Ripan i Kiruna

Karin Sandberg, Anna Pousette & Joakim Norén  
**RISE**

Marcus Sandberg, Thomas Olofsson & Jani Mikkavaara  
**Luleå tekniska universitet**

# Abstract

## **Sustainability evaluation of buildings - the Ripan Case in Kiruna**

Sustainability includes several parameters, and these can be measured and valued in many different ways. This study focuses on balancing the various parts to achieve sustainability by minimizing energy for heating and energy to produce the materials used in the building as well as minimizing cost for material investment and cost for heating using optimization techniques. This is balanced together with the environmental impact. This report describes an initial study for sustainability optimization of a smaller building. The goal is to develop a comprehensive approach to provide a broader basis of decisions for new construction.

The calculation included the building envelope (exterior walls, roof and floors), interior walls and stabilizing elements for different frames of wood (timber frame and CLT).

The result from the Ripan Case shows that the timber frame design has the lowest embodied energy and operating energy, and lowest cost for investment and heating during the operating phase. The environmental impact of the timber frame design was also low.

Key words: Sustainability, low energy house, energy optimization, LCA, timber house

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE rapport 2018:79

ISBN:978-91-88907-33-2

Skellefteå

# Innehåll

<b>Inledning</b>	6
Översikt över metod för att utvärdera ekonomisk och ekologisk hållbarhet	7
Case Ripan	7
<b>Energikrav idag och i framtiden</b>	7
<b>Miljömärkningssystem</b>	9
<b>Metod för att utvärdera ekonomisk och ekologisk hållbarhet</b>	9
Optimering av inbyggd- och driftsenergi samt livscykelkostnader	10
Metod för miljöbedömning	11
<b>Case Ripan</b>	12
Camp Ripan i Kiruna	12
Byggnaden	13
Analyserade byggsystem	14
Optimering av inbyggd- och driftsenergi samt livscykelkostnader	15
Uppställning	15
Resultat	16
Miljöbedömning	17
<b>Diskussion</b>	19
Case ripan	19
Utvärdering av föreslagen metod	20
<b>Slutsats</b>	20
<b>Referenser</b>	22
<b>Bilaga 1 - Indata till optimeringen</b>	23
<b>Bilaga 2 - Resultat från optimeringen</b>	28
<b>Bilaga 3 - Datakällor för material, aktiviteter och processer i studien</b>	32

# Förord

Denna rapport är en del av projektet “Innovationsplattform Kiruna - samhällsplaneringsprocessen” som är finansierat av Vinnova och koordineras av Kiruna kommun Stadsbyggnadsförvaltningen. Vissa delar av rapporten har genomförts inom projektet “Kiruna Sustainability Center (KSC)” som är finansierat av Tillväxtverket med stöd ur den Europeiska regionala utvecklingsfonden.

Bakgrunden till projekten är flytten av Kiruna, en stad som ligger 200 km norr om polcirkeln i ett subarktiskt klimat. Under staden driver LKAB världens största underjordsgruva. Staden måste flyttas på grund av att gruvbrytningen förorsakar sprickor i marken allt eftersom gruvan kommer närmare stadskärnan.

Detta skapar en stor möjlighet att ställa om Kiruna till ett hållbart samhälle. Genom projekten kan nya idéer tas fram och testas och utarbetas i samarbete mellan kommun, forskning och näringsliv.

Case Ripan utgör en inledande studie inom “Hållbart byggande” där en metod att hållbarhetsoptimera en byggnad har utvecklats och testats. Fokus har varit på energi, miljö och kostnad för att utvärdera olika träbyggsystem till en mindre byggnad.

# Sammanfattning

Hållbarhet innefattar flera parametrar och dessa kan mätas och värderas på många olika sätt. Att väga ihop de olika delarna för att uppnå hållbarhet genom att minimera förbrukad energi för uppvärmning och energi för att producera material till bygget samt investeringskostnader för material och kostnader för uppvärmning är fokus i denna rapport. Detta vägs samman med miljöpåverkan. En inledande studie för hållbarhetsoptimering av en mindre byggnad är genomförd med målet är att utveckla en övergripande metod för att ge bredare beslutsunderlag vid nybyggnad.

Beräkningar av inbyggd energi, driftsenergi, investerings- och uppvärmningskostnader har genomförts för ett planerat hus på Camp Ripan i Kiruna. I beräkningen av byggnaden inkluderades klimatskärm (ytterväggar, stomstabiliserande element och grund) för två olika stommar av trä (träregelstomme och KL-trä). För miljöberäkningarna användes främst indata från EPDer och resultatet redovisas i form av klimatpåverkan, CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

Den utvecklade metoden ger potential för bättre ekologisk och ekonomisk hållbarhet genom ett optimerat val av byggnadsmaterial för byggnader. Optimeringsalgoritmen ger förslag på byggnadsmaterial med minst energiåtgång vid produktion, den sk inbyggda energin, samt vid uppvärmning under driftsfasen samt lägst kostnader. Miljöaspekten vägs också in i bedömningen för att få ett mer heltäckande beslutsunderlag för beställare och projektörer. Metoden är tänkt att i fortsatta studier vidareutvecklas för användning på mer komplexa byggnader som till exempel flerbostadshus.

Resultatet från Case Ripan visar att regelkonstruktionen har lägst inbyggd energi, driftsenergi, investeringskostnad samt kostnad för uppvärmning under driftsfasen. Även miljöpåverkan från regelkonstruktionen var låg.

# 1 Inledning

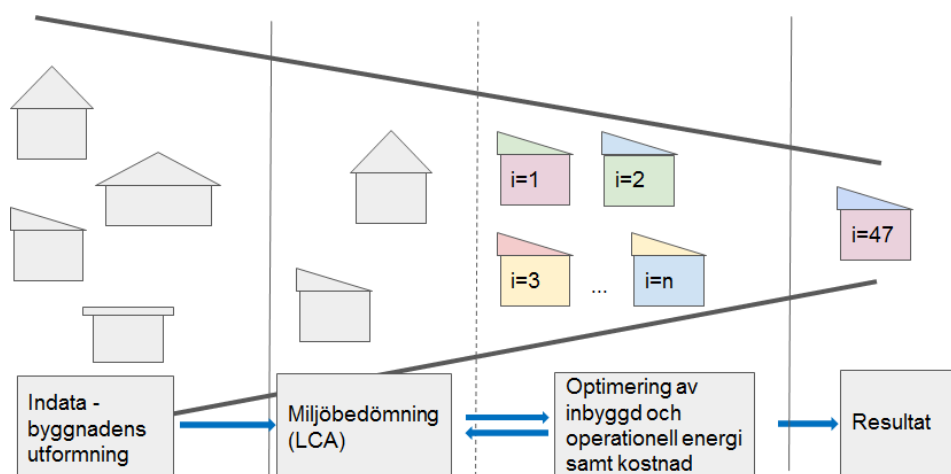
Kiruna stad ska flyttas på grund av gruvans utvidgning på djupet under stan, hus ska rivras eller flyttas och nya ska byggas. I den här stadsomvandlingen vill Kiruna kommun utveckla ett hållbart byggande genom att bland annat ta fram och testa nya metoder. Den här rapporten beskriver en metod för att utvärdera hållbarheten hos nya byggnader. Syftet är att bygga hus som får liten energiåtgång, låg kostnad och liten miljöpåverkan både under byggtiden och användningstiden.

Byggandet i Kiruna har speciella förutsättningar med arktiskt klimat som påverkar energibehovet för uppvärmning och långa avstånd för transporter av flertalet byggvaror. Husen ska möta alla byggnadskrav och önskemål och samtidigt ha så liten miljöpåverkan som möjligt. Välisolerade hus är en förutsättning för låg energiåtgång. Ur ett socialt perspektiv vill man undvika dyrt boende med segregering som följd.

Hållbar utveckling innebär att hållbarheten i ekosystemen knyts ihop med samhällets sociala och ekonomiska utmaningar. Hållbarhet brukar delas upp i tre dimensioner:

- Social hållbarhet, som handlar om att sträva mot ett samhälle där grundläggande mänskliga rättigheter uppfylls.
- Miljömässig hållbarhet, som handlar om att hushålla med naturresurser för människor och andra organismer och att inte skada miljön på lång sikt.
- Ekonomisk hållbarhet, som handlar om att motverka fattigdom, och att alla ska ha råd att tillgodose sina grundläggande behov i relation till jordklotets ändliga resurser.

Det finns med andra ord flera sätt att uppnå hållbarhet som kan vara olika beroende på klimatförhållanden, geografiska placeringar och byggnader och byggnadstyper etc. Arbetet med metoden i denna rapport syftar till att optimera hållbarheten men också tydliggöra vilka val som kan göras under projekteringsarbetet, se Figur 1. Metoden går ut på att "tratta ned" de val som finns för byggnaden genom att i iterativa cykler utvärdera energi, kostnader samt miljö.



Figur 1. Principskiss för metoden att bedöma hållbarhet för byggnader.

# 1.1 Översikt över metod för att utvärdera ekonomisk och ekologisk hållbarhet

Metoden är tänkt som övergripande utvärdering i tidig projektering och har tre delar:

- 1) välj designparametrar samt sök indata för byggnaden,
- 2) beräkna och optimera samt
- 3) utvärdera resultatet.

Metoden förutsätter att beställaren har en arkitekt- eller konstruktionsskiss, gärna som CAD- eller byggnadsinformationsmodell (BIM). I första delen behöver beställaren intervjuas för att få djupare förståelse för behov av ekologisk och ekonomisk hållbarhet, t ex vilken som väger tyngst. Därefter utvärderas arkitekt- eller konstruktionsskissen för att identifiera kritiska delar av konstruktionen. Om stomlösningar inte är valda ges förslag på sådana samt bestäms material för väggar, bjälklag och tak i klimatskalet. Data för investerings- och driftskostnad, inbyggd energi, driftsenergi, värmeledningstal m fl. behöver inhämtas för de aktuella materialen. Gärna från möjliga byggdelsleverantörer i regionen.

I andra delen finns två underdelar: optimering och miljöbedömning. I optimeringsdelen skapas först modeller: BIM, parametrisk modell (kan vara integrerad med BIM), kostnadsmodell samt energimodell(er). Sedan bestäms vilket spann av värden som variablerna (vägg tjocklek, väggmaterial, etc.) kan ha. Sist genereras lösningar där optimeringsalgoritmen strävar efter att minska inbyggd- och driftsenergi samt livscykelkostnad. I miljöbedömningsdelen tas mängder från BIM samt ett antal optimala lösningar (som har anpassats till köpbara dimensioner) från optimeringen och miljöbedömning görs enligt excel-fil.

I sista delen granskas resultatet från optimeringen och miljöbedömningen genom att använda kriterier från Boverkets byggregler (BBR), certifieringssystem som Miljöbyggnad och/eller Feby för att se vilka lösningar som uppfyller guld, silver etc. Valet av lösning balanseras sedan med övriga krav på byggnaden t ex. estetik, social hållbarhet. Vid behov går man tillbaka till första eller andra delen och repeterar tills man är nöjd. För detaljerad beskrivning av metoden se avsnitt 4.

## 1.2 Case Ripan

För att demonstrera och testa metoden användes en stuga som planeras att byggas på Camp Ripan i Kiruna 2019. Camp Ripan har hotell-, restaurang-, konferensverksamhet med hotellrum i stugor med egen ingång, dusch och toalett. Anläggningen ligger i utkanten av Kiruna stad med nära tillgång till natur, skidspår mm.



## 2 Energikrav idag och i framtiden

Enligt europeiska energidirektivet från 2010 ska alla nya byggnader i Europeiska unionen vara nära-noll-energibyggnader från 2021. Vidare kan den erforderliga energiprestandan för en nära-noll-energibyggnad beräknas med olika metoder på nationell och regional nivå. Det innebär att definitionen kan vara ganska annorlunda från medlemsstat till medlemsstat. Boverket presenterade 2017 en svensk definition av nära-noll-energibyggnader (Ruud, 2018). Ett slutligt fastställande av faktorer som ska användas från och med 2021 återstår dock.

Dagens svenska energikrav återfinns i BBR 27 (2018). Kraven för en byggnads energiprestanda uttrycks som ett primärenergital som utgörs av byggnadens energianvändning, där energi till uppvärmning har korrigerats med en geografisk justeringsfaktor multiplicerat med en primärenergifaktor för typen av energibärare och fördelat på  $A_{temp}$  dvs. arean av samtliga uppvärmda utrymmen som begränsas av klimatskärmens insida ( $kWh/m^2$  och år).

Varje kommun har tilldelats en geografisk justeringsfaktor för att kompensera för olika klimatförhållanden. De geografiska justeringsfaktorerna ligger i intervallet från 0,8 i söder till 1,9 i norr och 1,9 gäller för Kiruna. I BBR 27 är den primära energifaktorn för el satt till 1,6 och för all annan energi är den 1,0. Boverket föreslog 2017 att primärenergifaktorn från och med 2021 ska sättas till 2,5 för el och för all annan energi vara kvar på 1,0.

I en studie av Ruud (2018) har de primära energifaktorer som Boverket föreslog för 2021 använts såväl som det föreslagna maximala primärenergitalen. För enfamiljshus är det föreslagna maximala primärenergitalen  $90 kWh/m^2$  om den uppvärmda arean är över  $130 m^2$ , linjärt ökat till  $110 kWh/m^2$  då den uppvärmda arean minskas till  $90 m^2$  och  $110 kWh/m^2$  om den uppvärmda arean är under  $90 m^2$ . Utöver ovanstående krav har byggnadsbestämmelserna också krav på maximal installerad elenergi för uppvärmning, ventilation och varmvattenproduktion, och eftersom energikraven blir strängare kommer kraven på maximal installerad elenergi i de flesta fall inte att vara dimensionerande. Ett tredje krav i byggnadsbestämmelserna är klimatskärmens genomsnittliga värmeövergångskoefficient, den blir inte heller dimensionerande eftersom i nästan alla fall krävs en mycket bättre klimatskärm för att uppfylla föreslagen maximal primärenergi.

I studien (Ruud, 2018) undersöktes nio olika värme- och ventilationssystem: jordvärmepump och ventilation med eller utan värmeåtervinning; luft-vattenvärmepump och ventilation med eller utan värmeåtervinning; elvärme med solvärme och ventilation med värmeåtervinning; luftvärmepump med extra elvärme vid behov; luftvärmepump med extra fjärrvärme vid behov; biobränsle med solenergi och ventilation med värmeåtervinning. Byggnader som studerades var: kompakta enfamiljshus, extremt välisolerade och lufttäta hus av olika storlekar, mindre kompakt enfamiljshus med en vinkelutbyggnad och med olika isolerings- och lufttäthetsstandard; 1½-vånings enfamiljshus med vinkeltak och med olika isolerings- och lufttäthetsstandard; 2-våningshus mycket kompakt enfamiljshus med olika isolerings- och lufttäthetsstandard.

De viktigaste slutsatserna från studien var att klimatskärmen i de flesta fall måste förbättras jämfört med dagens befintliga standard och att direkt elvärme inte kommer att vara ett alternativ. Även om klimatskärmen förbättras kommer det att vara svårt att uppfylla de hårdare energikraven med luftvärmepumpar, särskilt för enplanshus. Med jordvärmepumpar kan kraven klaras även med befintliga klimatskärmar och även med enbart ventilation utan värmeåtervinning. Även luft-vatten-värmepumpar kombinerade med värmeåtervinning kan tillgodose kraven.

### 3 Miljömärkningssystem

Miljömärkning av byggnader blir allt vanligare. Svenska och utländska fastighetsägare vill ofta kvalitetssäkra sina hus genom att miljömärka dem. Banker och finansinstitut ger mer fördelaktiga villkor till miljömärkta byggnader och många kunder/hyresgäster kräver att vara lokaliserade i miljömärkta byggnader. Miljömärkningssystemen ställer också krav på byggbranschen att snabba på utvecklingen av miljöanpassade och energieffektiva byggnader.

Det finns ett flertal nationella miljöklassningssystem, exempelvis Miljöbyggnad ([www.sgbc.se](http://www.sgbc.se)), Feby ([www.feby.se](http://www.feby.se)) och Svanen ([www.svanen.se](http://www.svanen.se)). I Sverige används också det amerikanska systemet LEED och det brittiska systemet BREEAM med svenska anpassningar. Båda systemen hanteras av Sweden Green Building Council ([www.sgbc.se](http://www.sgbc.se)). I tabell 1 sammanställs vad som ingår i de olika miljöklassningssystemen.

I rapporten har resultatet av optimeringen av energianvändningen under driftsfasen jämförts med kraven på värmeeffektbehov enligt Miljöbyggnad i syfte att se vilken nivå (brons, silver, guld) som en optimerad version av Case Ripan skulle kunna nå upp till.

Tabell 1. En sammanställning av vilka områden som ingår för respektive miljöklassningssystem (Arnell J, Martinsson F, 2013).

	Energi	Markanv. & yttre miljö	Vatten	Material	Innemiljö	Buller	Radon
<b>Miljöbyggnad</b>	X	-	-	X	X	X	X
<b>BREEAM</b>	X	X	X	X	X	X	-
<b>LEED</b>	X	X	X	X	X	-	-

# 4 Metod för att utvärdera ekonomisk och ekologisk hållbarhet

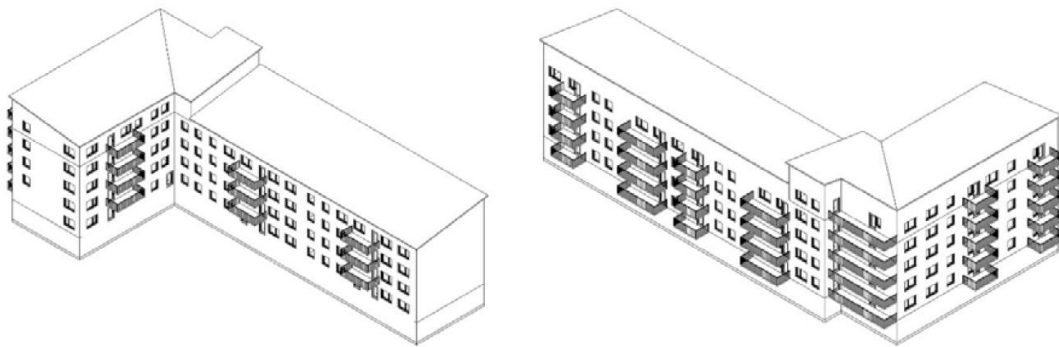
## 4.1 Optimering av inbyggd- och driftsenergi samt livscykelkostnader

Bakgrunden till modelleringsmetoden som beskrivs nedan är att den inbyggda energin är viktig att inkludera vid energiutvärderingar av byggnader eftersom det kan gå åt mer energi att producera nya byggdelar och material än den reduktion som fås i energiförbrukning under byggnadens drift. Därför är det viktigt att minimera både inbyggd och operationell energi. I inbyggd energi ingår den energi som går åt till att producera byggdelar och material. Den operationella energin innehåller energin som går åt för drift av byggnaden fram till renoveringsbehov/rivning (rivning/renovering är alltså ej inkluderat).

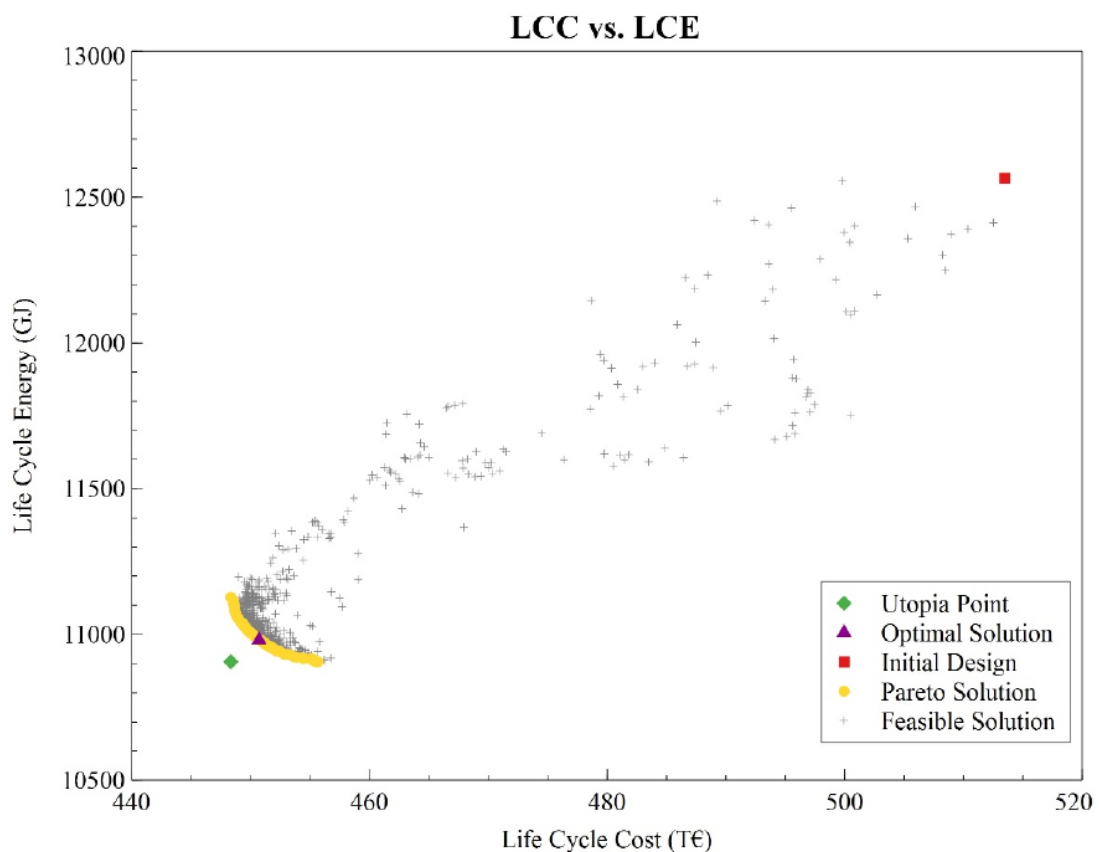
En beräkning av livscykelkostnader (LCC) omfattar vanligen investeringskostnad samt drift- och underhållskostnader. Indata till LCC är samma underlag av mängder och avstånd som för LCA (se avsnitt 4.2), samt dessutom kostnader för material och byggande vilka ofta uppskattas enligt erfarenhetsdata. Energi- och underhållskostnader är svåra att uppskatta och kan variera med åren men antas ofta vara desamma. I vår beräkning har vi inkluderat investeringskostnad samt kostnad för tillförd energi för uppvärmning under driftfasen.

Modelleringsmetoden börjar med att en BIM-modell (Revit) tas fram som beskriver ytterväggar med fönster och dörrar, tak, bjälklag, grundsula samt innerväggar. Dimensioner t ex. tjocklekar samt material för isolering ingår i BIM-modellen. Geometrin från BIM-modellen extraheras och översätts till ett format, innehållande byggdelar och zoner, som kan läsas av mjukvarorna för energiberäkningarna (EnergyPlus för operationell energi och Archsim för inbyggd energi). Inställningar för optimeringen görs genom att bestämma designvariabler och dess begränsningar samt målfunktion (t ex. minimera summan av operationell och inbyggd energi samt livscykelkostnaden) och dess begränsningar. Sedan körs optimeringen och paretokurvor fås efter vilka alla optimala lösningar finns. Lösningarna presenteras i en Excel-fil där dimensioner och materialtyper framgår. Sedan behöver någon av de optimala lösningarna väljas.

Ett exempel på modelleringsmetoden presenterades av Sandberg et al. (2019) där de studerar val av isolering och fönster för ett flerbostadshus, se Figur 2. I Figur 3 syns genererade möjliga lösningar som gråa punkter medan de optimala lösningarna bildar en paretokurva av gula punkter för samma byggnad.



Figur 2. Representation av det studerade flerbostadshuset byggt av NCC i Uppsala (Sandberg et al., 2019).



Figur 3. Jämförelse mellan livscykelenergi (summan av inbyggd och driftsenergi) samt livscykelkostnaden (Sandberg et al., 2019).

## 4.2 Metod för miljöbedömning

En livscykelanalys (LCA) kan användas för att bedöma en byggnads miljöpåverkan över dess livscykel. Ett antal metodologiska val måste beaktas när en LCA görs. Dessa val kan få en betydande inverkan på slutresultatet. De viktigaste metodologiska problemen är valet av funktionell enhet, systemgränser och vilken typ av data som används. Den funktionella enheten blir särskilt viktig när olika studier jämförs. Val och antaganden om

systemets gränser är ofta avgörande för resultatet av en LCA. Kvaliteten på resultaten beror också på valet av data.

Hur man utför beräkningar av byggnaders miljöprestanda anges i standarden EN 15978 (SS-EN 15978:2011). Dessutom finns det standard EN 15804 (SS-EN 15804:2012+A1:2013) som ger produktkategori-regler (PCR) för alla byggprodukter och byggrelaterade tjänster. I dessa standarder delas byggnadens livscykel upp i moduler (A, B, C och D). Dessa är i sin tur uppdelade i delmoduler (A1, A2, ..., B1, B2, ... etc.). Modulerna A1 till C4 täcker miljöpåverkan som är direkt relaterad till aktiviteter som sker inom byggnadens systemgränser och beskriver byggnadens livscykel, den så kallade modulariteten. Detta innebär att miljöpåverkan av varje modul kan presenteras separat, t.ex. från produktion av material, transport till byggplats etc.

Vid miljöbedömningen av Case Ripan följer LCA-beräkningen uppdelningen av livscykeln i moduler enligt EN 15804. I inventeringen av Ripan ingår följande delar av byggnadens livscykel:

- Produktionsfasen, A1-3 (resursuttag, transporter och produktion av material)
- Byggprocess, A4 (transport av material till byggplats)

Den funktionella enheten för Case Ripan har valts till 1 m<sup>2</sup> BOA (bostadsyta).

Miljöpåverkan för Case Ripan omfattar utsläpp av klimatgaser uttryckt i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Vid jämförelsen av olika konstruktiva utformningar har systemgränserna varit lika vilket är en förutsättning för en robust jämförelse.

Indata till LCA: Material och produkter som ingår, materialmängder, tillverkningsställen, transportavstånd, byggmetoder, driftenergi, underhåll mm. Miljödata för material och olika produkter. Olika material och materialmängder kan jämföras för byggnad med samma funktion t ex isoleringsmaterial, tjocklekar

Utdata från LCA: Mängden av resurser och utsläpp, vanligen klimatgaser (CO<sub>2</sub>) m fl, och energianvändning i form av fossil och biobaserad energi.

## 5 Case Ripan

### 5.1 Camp Ripan i Kiruna

Camp Ripan som ligger i Kiruna har hotell-, restaurang-, konferensverksamhet med hotellrum i stugor med egen ingång, dusch och toalett. Anläggningen ligger i utkanten av Kiruna stad med nära tillgång till natur, skidspår mm. Nu vill man bygga ytterligare stugor. Figur 4 visar var campingen ligger.

Camp Ripan arbetar med fokus på det hållbara samhället och att minimera negativ miljöpåverkan och är Svanenmärkt hotell-, restaurang-, konferensverksamhet. Hänsyn till miljön tas bland annat vid valet av leverantörer och råvaror till restaurangen, vid inredning av anläggningen och vid val av rengöringsmedel mm.

De nya stugorna ska placeras i närheten av befintliga stugor. De ska vara extra rymliga samt moderna och exklusiva med high-tech-lösningar. De ska ha stora fönster för gäster

som vill uppleva norrskenet under den mörka årstiden. Inspirerat av traditionella hus ska det finnas en farstu som skiljer på inomhusvärme och utomhuskyla på vintern, och där man kan ta av sig blöta eller snöiga kläder och skor. Stugan ska också ha ett rejält badrum och bastu. Grundläggning görs på plintar, på grund av ojämn mark och lite ingrepp i naturen.

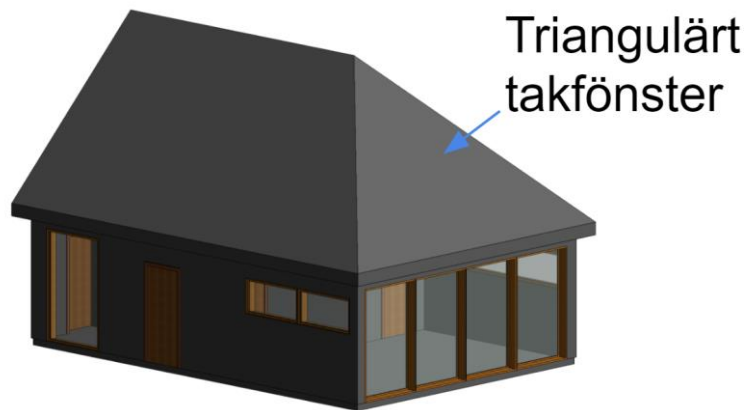
Camp Ripan är anslutet till Kirunas fjärrvärmenät och det är därför naturligt att även nya stugor ansluts dit för värme och varmvatten. Idag framställs värmen från sopförbränning i Kiruna, men i framtiden är planen att utnyttja spillvärme från gruvan. Eventuellt kan solceller användas för att producera el.



Figur 4. Karta över Camp Ripan, Kiruna.

## 5.2 Byggnaden

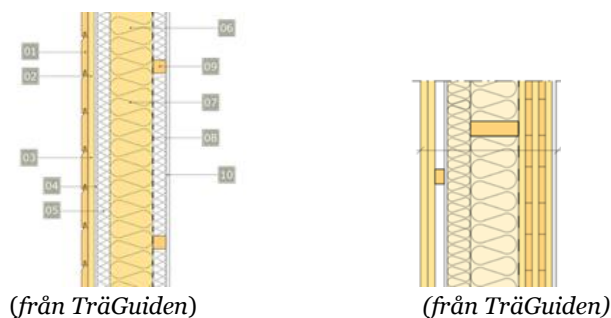
En arkitektskiss gjordes av Mats Öhman, MAF-arkitekter, baserat på diskussion med bland annat beställaren Dennis Lind från Camp Ripan. Stugan är ritad med plintgrund, trästomme, fjällpanel, papptak och ett stort takfönster. Bruttoarean är ca 62 m<sup>2</sup>. I Figur 5 visas en förenklad BIM-modell där taket saknar ett glasparti bestående av 6 fönster som fyller hela den triangulära delen av taket. Dimensionerna för alla byggdelar är approximativa. Denna modell användes mest som diskussionsunderlag för deltagande forskare. Mängdavgivningen för miljöbedömningen baserades på arkitektskissen samt för optimeringen skapades en egen modell.



Figur 5. Förenklad BIM-modell av arkitektskissen.

## 5.3 Analyserade byggsystem

Analyserade byggsystem är regelvägg av konstruktionsvirke och KL-trä med isolering, se figur 6.



Figur 6. Exempeltvärnsnitt av ytterväggar för analyserade byggsystem i Case Ripan.

Analysen omfattar:

- Ytterväggar
- Innerväggar
- Tak
- Bjälklag
- Limträstomme

Grunden, fönster, dörrar, ytskikt och installationer mm som kan antas vara lika i de olika alternativen ingår inte i analysen. Två alternativ för grunden studerades dock separat i LCA-beräkningen, och för optimeringen ingick två alternativa fönster.

Som indata för beräkningarna har byggsystemen valts så att de ska uppfylla energikraven enligt BBR (BBR 27) men någon energiberäkning av hela byggnaden har inte genomförts.

## 5.4 Optimering av inbyggd- och driftsenergi samt livscykelkostnader

För att undersöka hur olika konstruktionslösningar presterar jämfört med varandra så genomfördes en optimering av Case Ripan inom denna studie. Optimeringen som genomfördes är en så kallad ”multi-objective optimization” där ett antal parametrar varieras med syftet av att närma sig flera mål. Parametrarna i denna studie berör val av material och tjocklekar på material inom de huvudsakliga byggnadselementen. Målen i denna studie riktar sig mot driftenergi, inbyggd energi och kostnader. En detaljerad genomgång av uppställningen för optimeringen presenteras i kommande kapitel och Bilaga 1 och 2. Efterföljande kapitel (och Bilagor) presenterar resultaten och en diskussion av resultaten.

### Uppställning

Totalt testades två olika scenarion i denna studie:

1. Konstruktion med träreglar
2. Konstruktion med KL-trä

Varje scenario består utav en sammanställning av alternativa lösningar för följande byggnadselement:

- *YV01* – Den huvudsakliga ytterväggslösningen
- *IV01* – Innerväggar på bottenplan
- *IV02* – Innervägg mot loft
- *TK01* – Isolerat tak
- *TK02* – Oisolert tak
- *BJK01* – Bottenbjälklag
- *BJK02* – Bjälklag mot loft
- *FOX* – Fönster

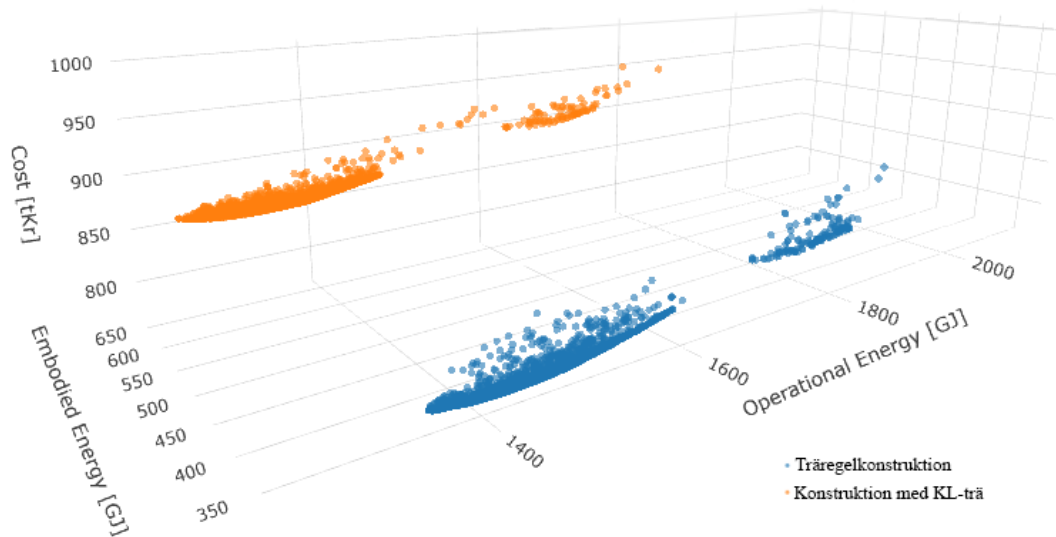
För varje byggnadselement togs materialegenskaper fram från källor som bland annat Inventory of Carbon & Energy (ICE), EPD Norge, BidCon, materialproducenters hemsidor samt återförsäljare. En genomgång av samtliga byggnadselement med tillhörande materialegenskaper följer nedan.

Beräkningar i sig inkluderar inbyggd energi från produktion av ingående material, kostnad för material, driftenergi för uppvärmning av byggnaden samt kostnaden för driftenergin. Livslängden som beräkningarna är genomförda på är 50 år. Dessa beräkningar inkluderar inte kostnader eller energi för montering och produktion av byggnaden i sig eller övriga faktorer under drift, renovering eller rivning av byggnaden. I Bilaga 1 presenteras alternativen för samtliga byggnadselement som användes under optimeringarna. Bland de data som presenteras i tabellerna finns en hög osäkerhet i värdena för träfiberisolering gällande inbyggd energi och materialkostnad där svårighet fanns att få tillgång till lämpliga data.



## Resultat

Optimeringen av de två scenarierna resulterade i totalt drygt 6000 lösningar. En sammanställd graf över samtliga resultat från de två olika scenarierna visas i Figur .7



Figur 7. Samtliga resultat från optimeringen av de två scenarierna.

Resultat för två utvalda punkter presenteras i Tabell 2 och Tabell 3. Den första tabellen representerar den lösning från optimeringen där avståndet till origo är som minst (baserat på normaliserade värden för respektive axel). Den andra tabellen representerar den lösning där summan av driftenergin och den inbyggda energin är som lägst i respektive scenario. Tabellerna presenterar även den procentuella skillnaden mot träregelkonstruktionen. Driftenergin samt driftkostnaden är beräknad i dessa resultat över en livslängd på 50 år.

Tabell 2. Resultat från lösningar närmast origo för respektive scenario.

	Konstruktion	
	Träregel	KL-trä
Driftsenergi (GJ)	1439	1352 (-6,1%)
Inbyggd energi (GJ)	344	594 (+72,7%)
Materialkostnad + driftkostnad (kr/m <sup>2</sup> )	12 800	14 284 (+11,6%)
U <sub>m</sub> (W/(m <sup>2</sup> K))	0,346	0,370
Uppfyller BBR	Ja	Ja
Miljöbyggnad (värmeeffektbehov)	Silver	Silver

Tabell 3. Resultat från lösningar med lägst summa av drift- och inbyggd energi.

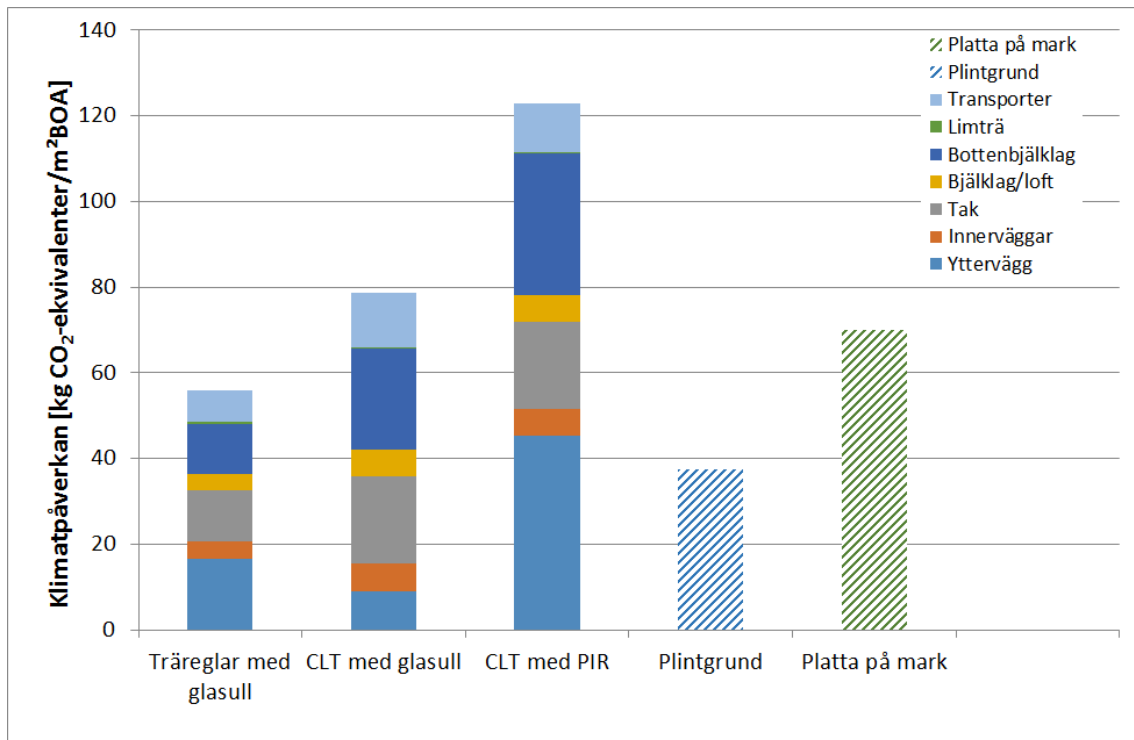
	Konstruktion	
	Träregel	KL-trä
Driftenergi (GJ)	1360	1263 (-7,1%)
Inbyggd energi (GJ)	356	609 (+71,1%)
Materialkostnad + driftkostnad	12 759 kr/m <sup>2</sup>	14 290 kr/m <sup>2</sup> (+12,0%)
U <sub>m</sub> (W/(m <sup>2</sup> K))	0,273	0,267
Uppfyller BBR	Ja	Ja
Miljöbyggnad (värmeeffektbehov)	Silver	Silver

I Tabellerna 20–21 i Bilaga 2 presenteras konstruktionslösningarna som är relaterade till resultaten i Tabell 2 för respektive scenario. I Tabellerna 22–23 i Bilaga 2 presenteras konstruktionslösningarna som är relaterade till resultaten i Tabell 3 för respektive scenario.

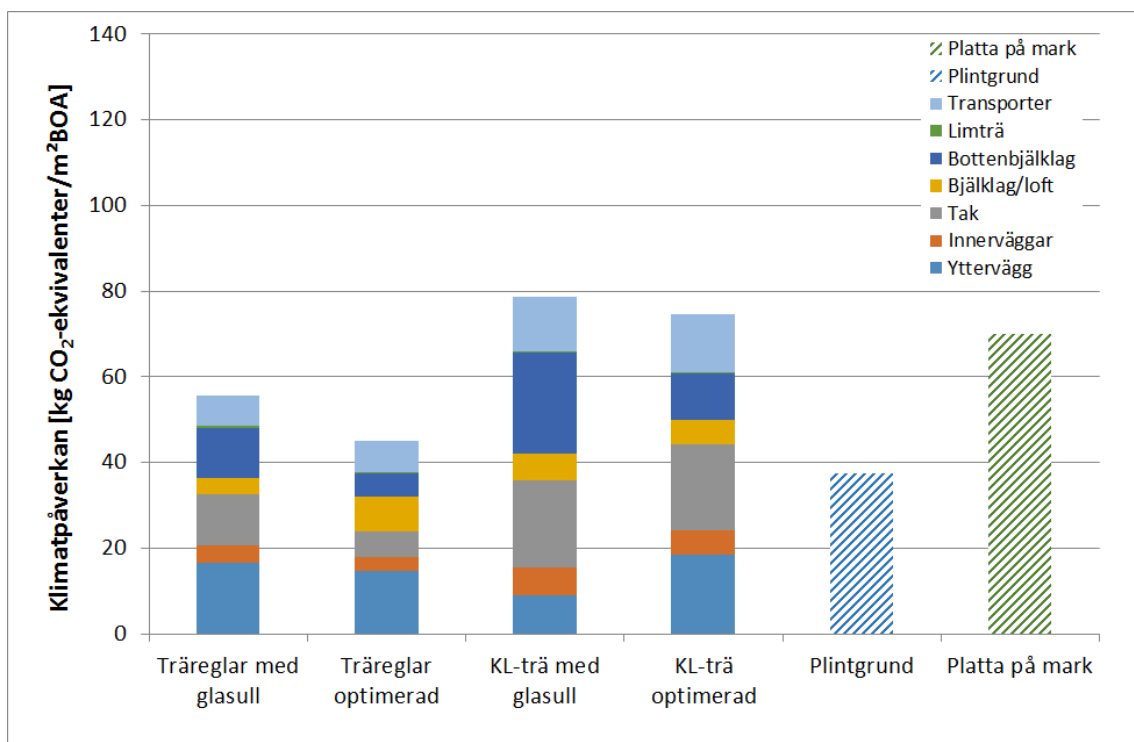
## 5.5 Miljöbedömning

Miljöberäkningarna har genomförts med indata enligt Bilaga 3. Miljöbedömningen av de olika byggnadssystemen redovisas i figur 8. I figur 9 jämförs resultaten före och efter optimering för byggnadssystemen i figur 6. Av resultaten framgår att materialvalet i byggnadsdelarna har störst inverkan på klimatpåverkan. Detta framgår tydligt i KL-trä konstruktionen som har isolering av PIR som är oljebaserad och därför ger ett stort bidrag till klimatpåverkan. För olika stomsystem med samma isolering är skillnaden liten.

Som jämförelse ges även miljöpåverkan för två olika utförande av husgrunden, plintgrund och platta på mark utförda i betong med isolering anpassad till Kirunas klimat. Grunden motsvarar ungefär stomsystemens miljöpåverkan med undantag för KL-trä med PIR. Av figur 9 framgår att miljöpåverkan blir något lägre efter optimeringen vilket främst beror på att mineralullen ersatts med cellulosafiber i alla byggnadsdelar utom i ytterväggen. Båda figurerna visar att transporterna utgör en betydande del av miljöpåverkan och bör därmed beaktas vid inköp av byggnadsmaterial.



Figur 8. Klimatpåverkan för Case Ripan vid olika utförande av stomme och isolering. Resultatet avser det icke optimerade fallet med ursprungliga konstruktioner som har valts med avseende på likvärdiga U-värden hos de olika byggnadsdelarna.



Figur 9. Jämförelse av klimatpåverkan för Case Ripan vid ursprungligt och optimerat utförande för två olika stomalternativ.

# 6 Diskussion

## 6.1 Case ripan

Resultaten från Figur 7 visar att lösningarna med träregelkonstruktion presterar bra gällande samtliga tre faktorer. Både den inbyggda energin och kostnaden är lägre än för samtliga lösningar för KL-trä. Detta resultat behöver dock vägas mot felmarginalen som kan komma från indata gällande både kostnad och inbyggd energi för KL-trä.

De utvalda lösningarna vars avstånd till origo var som minst visar på att KL-trä presterade bäst i form utav driftenergi medan träregelkonstruktionen presterade bäst gällande inbyggd energi och kostnad, se Tabell 2. Båda scenarier uppfyller BBR:s krav på energianvändning och träregelkonstruktionen samt KL-trä uppfyller nivå Silver för värmeeffektbehov hos Miljöbyggnad. Ett sätt att nå guld skulle vara att använda andra isoleringsmaterial, men detta kan påverka inbyggd energi, investeringskostnaden och miljöbelastningen negativt. För att nå Uppfylld av både BBR:s krav och nivåer hos Miljöbyggnad ska dock endast ses som indikationer och inte som garanterade resultat. För att verifiera detta måste utvald lösning beräknas individuellt och utvärderas enligt uppställda kriterier.

Ser man till de utvalda lösningarna vars summa utav driftenergi och inbyggd energi är den lägsta (se Tabell 3) så är mönstret detsamma som för tidigare lösning. Dessa lösningar bortser från kostnaden och då ser man att det finns en potential till att minska driftenergin på bekostnad av en lösning med högre material- och driftkostnad. Noterbart är att trots att dessa resultat visar lösningar där summan utav driftenergin och den inbyggda energin är som lägst så är den inbyggda energin i dessa lösningar högre än för tidigare presenterade lösningar. Detta kan härledas till att förhållandet mellan driftenergi och inbyggd energi för denna konstruktion är sådan att driftenergin är i storleksordningen 2–4 gånger större och har därav en större inverkan på detta resultat.

Konstruktionslösningarna i Tabellerna 20-23 visar att träfiberisoleringen till stora delar är det dominanta valet bland samtliga lösningar. Generellt gäller detta förutom i ytterväggen YV01 där mineralull alltid är det valda alternativet. Detta kan bero av den yttre isolerskivan som i fallet av träfiber har en väsentligt högre inbyggd energi än dess alternativ i mineralull. I sig kan detta även härledas till indata för träfiberisolering vilket var svåråtkomligt och kan därav ha en roll i att bidra till en potentiell felkälla. Utöver detta så kan det utläsas att både bjälklaget och väggen som angränsar mot loftet generellt sett premieras med tjock isolering framför de andra konstruktionselementen. För samtliga lösningar presenterade i Tabellerna 20-23 så framgår det att 3-glasfönster är att föredra. Bland samtliga lösningar som uppfyller BBR så finns det exempel där 2-glasfönster används. Dessa lösningar kan bland annat ses i Figur 7 där det finns kluster av lösningar för respektive scenario där det mindre klustret i regel innefattar lösningar med 2-glasfönster.

Generellt sett så går det att säga att det indata man väljer har stor inverkan på slutresultatet och därav behöver resultatet också granskas utifrån det. Priset, den inbyggda energin och materialegenskaperna skiljer sig åt både mellan tillverkare men även inom tillverkares egna produktutbud. Detta påverkar samtliga tre aspekter som

undersökts i denna studie (driftenergi, inbyggd energi och kostnad). Därför ska resultaten även ses mer som riktlinjer och potentiella trender kan gå att utläsa. En mer detaljerad och noggrann beräkning behövs ifall respektive alternativa prestanda ska utvärderas mer utförligt.

## 6.2 Utvärdering av föreslagen metod

Den utvecklade metoden möjliggör identifiering av ekologisk och ekonomisk hållbarhet och optimala val av byggmaterial för en byggnads klimatskal. Optimeringsalgoritmen genererar flera tusen olika lösningar i jakten på de lösningar som har minst livscykelenergi samt livscykelkostnad. De bästa lösningarna används sedan i en miljöbedömning för att bestämma CO<sub>2</sub>-avtryck. De designparametrar som kan ändras är tjocklekar och materialval för klimatskalet. Metoden är övergripande och innehåller ingen djupare analys av U-värden samt innehåller antaganden där data saknades. Även om EPD:er funnits för byggmaterialen finns det idag kritik om bristfällig bakgrund till EPD-data, (De Wolf et al., 2017). Därför behöver resultaten från optimeringen och miljöbedömning bedömas därefter och bör endast användas för övergripande bedömning av olika konstruktionslösningar.

Metoden är tänkt att kunna hjälpa beställare, projektörer och andra samhällsplanerare att ta mer informerade beslut. Användandet av prototypen kräver idag dock expertkunskap inom LCA och BIM och programmering. Livscykelenergi och livscykelkostnad kan bedömas mer i detalj genom att ta in fler aspekter t ex. byggfasen, renovering och rivning. Sen behöver resultatet vägas samman med andra aspekter som social hållbarhet, estetik, etc. Just användandet av optimeringsresultat i avvägning mot andra aspekter är idag ett område som behöver fler studier. Därför ser vi det som en naturlig fortsättning att vidareutveckla metoden i andra case för flerbostadshus. Rent praktiskt torde det inte finnas några hinder att använda metoden rakt av. Speciellt för mer konventionella flerbostadshus där stor repetition finns mellan våningsplanen.

## 7 Slutsats

En metod för utvärdering av ekonomisk och ekologisk hållbarhet har utvecklats i samarbete mellan RISE och LTU i projekten Kiruna Sustainability Center och Innovationsplattform Kiruna. Metoden har utvecklats och testats på Case Camp Ripan där nya exklusiva stugor planeras att byggas. Med hjälp av metoden kan hållbarheten gällande förbrukad energi för uppvärmning och energi för att ta fram material till bygget vägas ihop tillsammans med kostnader och byggnadens miljöpåverkan.

Resultatet från Case Ripan visar att regelkonstruktions-alternativet har lägst inbyggd energi, driftsenergi, investeringskostnad samt kostnad för uppvärmning under driftsfasen. Även miljöpåverkan från regelkonstruktionen var låg. Det gick inte att nå högre än Miljöbyggnad silver för de föreslagna lösningarna. Ett sätt att nå guld (för

värmeeffektbehovet) skulle vara att använda andra isoleringsmaterial, men detta kan påverka inbyggd energi, investeringskostnaden och miljöbelastningen negativt.

Den utvecklade metoden är ett första steg i att väga samman hållbarhetsaspekterna. Sociala aspekter har inte studerats. Dock har det beaktats vid designen av byggnaden att turister som ska bo där ska känna sig trygga och njuta i en attraktiv hotellmiljö utan att tära på omgivande miljö.

# Referenser

Arnell J, Martinsson F. Miljöklassningssystem för fjärrvämeuppvärmda byggnader. IVL Rapport B2094. Oktober 2013.

BBR 27, 2018, Boverkets byggregler (BFS 2011:6) - föreskrifter och allmänna råd, BFS 2018:15.

De Wolf, C., Pomponi, F., & Moncaster, A. (2017). Measuring embodied carbon dioxide equivalent of buildings: A review and critique of current industry practice. *Energy and Buildings*, 140, 68-80.

Sandberg, M., Mukkavaara, J., Shadram, F., & Olofsson, T. (2019). Multidisciplinary Optimization of Life-Cycle Energy and Cost Using a BIM-Based Master Model. *Sustainability*, 11(1), 286.

Svein Ruud, 2018, Is it possible to build near zero energy single family buildings in very cold arctic climate?, Cold Climate HVAC 2018, The 9<sup>th</sup> International Cold Climate Conference, Sustainable new and renovated buildings in cold climates, Kiruna, Sweden, 12-15 March 2018.

SS-EN 15804:2012+A1:2013) Hållbarhet hos byggnadsverk - Miljödeklarationer - Produktspecifika regler. SIS 2013-11-25.

SS-EN 15978:2011 Hållbarhet hos byggnadsverk - Värdering av byggnaders miljöprestande - beräkningsmetod. SIS 2011-11-21.

# Bilaga 1 - Indata till optimeringen

Tabell 4. Materialegenskaper för YV01 med träregelstomme.

Material	Tjocklek	Lambdavärde	Inbyggd energi	Materialkostnad	
Fjällpanel	22 mm	-	246 MJ/m <sup>2</sup>	128 kr/m <sup>2</sup>	
Läkt + luftspalt	34 mm	-	26 MJ/m <sup>2</sup>	12 kr/m <sup>2</sup>	
Isolering	Mineralull	30-145 mm	0,030 W/(mK)	46-221 MJ/m <sup>2</sup>	93-447 kr/m <sup>2</sup>
	Träfiber	30-145 mm	0,038 W/(mK)	152-736 MJ/m <sup>2</sup>	80-385 kr/m <sup>2</sup>
Vindskiva	9,5 mm	0,238 W/(mK)	82 MJ/m <sup>2</sup>	146 kr/m <sup>2</sup>	
Träreglar + Isolering	Mineralull	170-220 mm	0,043 W/(mK)	208-269 MJ/m <sup>2</sup>	158-205 kr/m <sup>2</sup>
	Träfiber	170-220 mm	0,047 W/(mK)	182-235 MJ/m <sup>2</sup>	130-168 kr/m <sup>2</sup>
Ångspärr	0,2 mm	-	15 MJ/m <sup>2</sup>	6 kr/m <sup>2</sup>	
Träreglar	45 mm	-	35 MJ/m <sup>2</sup>	19 kr/m <sup>2</sup>	
Träpanel	16 mm	-	179 MJ/m <sup>2</sup>	141 kr/m <sup>2</sup>	
<b>Totalt</b>			837-1554 MJ/m <sup>2</sup>	662-1104 kr/m <sup>2</sup>	

Tabell 5. Materialegenskaper för YV01 med KL-trä.

Material	Tjocklek	Lambdavärde	Inbyggd energi	Materialkostnad	
Fjällpanel	22 mm	-	246 MJ/m <sup>2</sup>	128 kr/m <sup>2</sup>	
Läkt + luftspalt	34 mm	-	26 MJ/m <sup>2</sup>	12 kr/m <sup>2</sup>	
Isolering	Mineralull	30-145 mm	0,030 W/(mK)	46-221 MJ/m <sup>2</sup>	93-447 kr/m <sup>2</sup>
	Träfiber	30-145 mm	0,038 W/(mK)	152-736 MJ/m <sup>2</sup>	80-385 kr/m <sup>2</sup>
Vindskiva	9,5 mm	0,238 W/(mK)	82 MJ/m <sup>2</sup>	146 kr/m <sup>2</sup>	
Träreglar + Isolering	Mineralull	170-220 mm	0,043 W/(mK)	208-269 MJ/m <sup>2</sup>	158-205 kr/m <sup>2</sup>
	Träfiber	170-220 mm	0,047 W/(mK)	182-235 MJ/m <sup>2</sup>	130-168 kr/m <sup>2</sup>
Ångspärr	0,2 mm	-	15 MJ/m <sup>2</sup>	6 kr/m <sup>2</sup>	
KL-trä	120 mm	0,14 W/(mK)	1301 MJ/m <sup>2</sup>	695 kr/m <sup>2</sup>	
Träpanel	16 mm	0,14 W/(mK)	179 MJ/m <sup>2</sup>	141 kr/m <sup>2</sup>	
<b>Totalt</b>			2103-2820 MJ/m <sup>2</sup>	1338-1780 kr/m <sup>2</sup>	

Tabell 6. Materialegenskaper för IVO1 med träregelstomme.

Material	Tjocklek	Lambdavärde	Inbyggd energi	Materialkostnad	
Träpanel	16 mm	-	179 MJ/m <sup>2</sup>	141 kr/m <sup>2</sup>	
Plywood	12 mm	-	236 MJ/m <sup>2</sup>	82 kr/m <sup>2</sup>	
Träreglar + Isolering	Mineralull	95 mm	-	116 MJ/m <sup>2</sup>	83 kr/m <sup>2</sup>
	Träfiber	95 mm	-	102 MJ/m <sup>2</sup>	67 kr/m <sup>2</sup>
Träreglar + Isolering	Mineralull	95 mm	-	116 MJ/m <sup>2</sup>	83 kr/m <sup>2</sup>
	Träfiber	95 mm	-	102 MJ/m <sup>2</sup>	67 kr/m <sup>2</sup>



Plywood	12 mm	-	236 MJ/m <sup>2</sup>	82 kr/m <sup>2</sup>
Träpanel	16 mm	-	179 MJ/m <sup>2</sup>	141 kr/m <sup>2</sup>
<b>Totalt</b>			1034-1059 MJ/m <sup>2</sup>	580-612 kr/m <sup>2</sup>

Tabell 7. Materialegenskaper för IVO1 med KL-trä.

Material	Tjocklek	Lambdavärde	Inbyggd energi	Materialkostnad
KL-trä	120 mm	0,14 W/(mK)	1301 MJ/m <sup>2</sup>	695 kr/m <sup>2</sup>
<b>Totalt</b>			1301 MJ/m <sup>2</sup>	695 kr/m <sup>2</sup>

Tabell 8. Materialegenskaper för IVO2 med träregelstomme.

Material	Tjocklek	Lambdavärde	Inbyggd energi	Materialkostnad	
Isolering	Mineralull	30-400 mm	0,035 W/(mK)	15-193 MJ/m <sup>2</sup>	17-178 kr/m <sup>2</sup>
	Träfiber	30-400 mm	0,039 W/(mK)	10-126 MJ/m <sup>2</sup>	11-150 kr/m <sup>2</sup>
Plywood	12 mm	0,13 W/(mK)	236 MJ/m <sup>2</sup>	82 kr/m <sup>2</sup>	
Träreglar + Isolering	Mineralull	95 mm	0,043 W/(mK)	116 MJ/m <sup>2</sup>	83 kr/m <sup>2</sup>
	Träfiber	95 mm	0,047 W/(mK)	102 MJ/m <sup>2</sup>	67 kr/m <sup>2</sup>
Ångspärr	0,2 mm	-	15 MJ/m <sup>2</sup>	6 kr/m <sup>2</sup>	
Plywood	12 mm	0,13 W/(mK)	236 MJ/m <sup>2</sup>	82 kr/m <sup>2</sup>	
Träpanel	16 mm	0,14 W/(mK)	179 MJ/m <sup>2</sup>	141 kr/m <sup>2</sup>	
<b>Totalt</b>			778-975 MJ/m <sup>2</sup>	389-572 kr/m <sup>2</sup>	

Tabell 9. Materialegenskaper för IVO2 med KL-trä.

Material	Tjocklek	Lambdavärde	Inbyggd energi	Materialkostnad	
Isolering	Mineralull	30-400 mm	0,035 W/(mK)	15-193 MJ/m <sup>2</sup>	17-178 kr/m <sup>2</sup>
	Träfiber	30-400 mm	0,039 W/(mK)	10-126 MJ/m <sup>2</sup>	11-150 kr/m <sup>2</sup>
Ångspärr	0,2 mm	-	15 MJ/m <sup>2</sup>	6 kr/m <sup>2</sup>	
KL-trä	120 mm	0,14 W/(mK)	1301 MJ/m <sup>2</sup>	695 kr/m <sup>2</sup>	
<b>Totalt</b>			1326-1509 MJ/m <sup>2</sup>	712-879 kr/m <sup>2</sup>	

Tabell 10. Materialegenskaper för BJK01 med träregelstomme.

Material	Tjocklek	Lambdavärde	Inbyggd energi	Materialkostnad
Spontad panel	27 mm	0,14 W/(mK)	302 MJ/m <sup>2</sup>	158 kr/m <sup>2</sup>
Ångspärr	0,2 mm	-	15 MJ/m <sup>2</sup>	6 kr/m <sup>2</sup>

Vindskiva		9,5 mm	0,238 W/(mK)	82 MJ/m <sup>2</sup>	146 kr/m <sup>2</sup>
Träreglar + Isolering	Mineralull	220 mm	0,043 W/(mK)	269 MJ/m <sup>2</sup>	205 kr/m <sup>2</sup>
	Träfiber	220 mm	0,047 W/(mK)	235 MJ/m <sup>2</sup>	168 kr/m <sup>2</sup>
Isolering	Mineralull	30-300 mm	0,035 W/(mK)	15-145 MJ/m <sup>2</sup>	17-134 kr/m <sup>2</sup>
	Träfiber	30-300 mm	0,039 W/(mK)	10-95 MJ/m <sup>2</sup>	11-113 kr/m <sup>2</sup>
<b>Totalt</b>				644-813 MJ/m <sup>2</sup>	487-649 kr/m <sup>2</sup>

Tabell 11. Materialegenskaper för BJK01 med KL-trä.

Material		Tjocklek	Lambdavärde	Inbyggd energi	Materialkostnad
KL-trä		120 mm	0,14 W/(mK)	1301 MJ/m <sup>2</sup>	695 kr/m <sup>2</sup>
Ångspärr		0,2 mm	-	15 MJ/m <sup>2</sup>	6 kr/m <sup>2</sup>
Isolering	Mineralull	30-300 mm	0,035 W/(mK)	15-146 MJ/m <sup>2</sup>	17-134 kr/m <sup>2</sup>
	Träfiber	30-300 mm	0,039 W/(mK)	10-95 MJ/m <sup>2</sup>	11-113 kr/m <sup>2</sup>
<b>Totalt</b>				1326-1462 MJ/m <sup>2</sup>	712-835 kr/m <sup>2</sup>

Tabell 12. Materialegenskaper för BJK02 med träregelstomme.

Material		Tjocklek	Lambdavärde	Inbyggd energi	Materialkostnad
Isolering	Mineralull	30-600 mm	0,035 W/(mK)	15-290 MJ/m <sup>2</sup>	17-268 kr/m <sup>2</sup>
	Träfiber	30-600 mm	0,039 W/(mK)	10-189 MJ/m <sup>2</sup>	11-225 kr/m <sup>2</sup>
Spontad panel		27 mm	0,14 W/(mK)	302 MJ/m <sup>2</sup>	158 kr/m <sup>2</sup>
Träreglar + Isolering	Mineralull	220 mm	0,043 W/(mK)	269 MJ/m <sup>2</sup>	205 kr/m <sup>2</sup>
	Träfiber	220 mm	0,047 W/(mK)	235 MJ/m <sup>2</sup>	168 kr/m <sup>2</sup>
Ångspärr		0,2 mm	-	15 MJ/m <sup>2</sup>	6 kr/m <sup>2</sup>
Träpanel		16 mm	0,14 W/(mK)	179 MJ/m <sup>2</sup>	141 kr/m <sup>2</sup>
<b>Totalt</b>				741-1055 MJ/m <sup>3</sup>	484-778 kr/m <sup>3</sup>

Tabell 13. Materialegenskaper för BJK02 med KL-trä.

Material		Tjocklek	Lambdavärde	Inbyggd energi	Materialkostnad
Isolering	Mineralull	30-600 mm	0,035 W/(mK)	15-290 MJ/m <sup>2</sup>	17-268 kr/m <sup>2</sup>
	Träfiber	30-600 mm	0,039 W/(mK)	10-189 MJ/m <sup>2</sup>	11-225 kr/m <sup>2</sup>
Ångspärr		0,2 mm	-	15 MJ/m <sup>2</sup>	6 kr/m <sup>2</sup>
KL-trä		120 mm	0,14 W/(mK)	1301 MJ/m <sup>2</sup>	695 kr/m <sup>2</sup>
<b>Totalt</b>				1326-1606 MJ/m <sup>2</sup>	712-969 kr/m <sup>2</sup>

Tabell 14. Materialegenskaper för TKO1 med träregelstomme.

Material	Tjocklek	Lambdavärde	Inbyggd energi	Materialkostnad	
Takpapp	-	-	30 MJ/m <sup>2</sup>	134 kr/m <sup>2</sup>	
Takboard	30 mm	0,033 W/(mK)	50 MJ/m <sup>2</sup>	162 kr/m <sup>2</sup>	
Underlagsspont	20 mm	0,14 W/(mK)	224 MJ/m <sup>2</sup>	116 kr/m <sup>2</sup>	
Träreglar + Isolering	Mineralull	220 mm	0,043 W/(mK)	269 MJ/m <sup>2</sup>	205 kr/m <sup>2</sup>
	Träfiber	220 mm	0,047 W/(mK)	235 MJ/m <sup>2</sup>	168 kr/m <sup>2</sup>
Träreglar + Isolering	Mineralull	70 mm	0,043 W/(mK)	86 MJ/m <sup>3</sup>	62 kr/m <sup>3</sup>
	Träfiber	70 mm	0,047 W/(mK)	75 MJ/m <sup>3</sup>	50 kr/m <sup>3</sup>
Ångspärr	0,2 mm	-	15 MJ/m <sup>2</sup>	6 kr/m <sup>2</sup>	
Träpanel	16 mm	0,14 W/(mK)	179 MJ/m <sup>2</sup>	141 kr/m <sup>2</sup>	
<b>Totalt</b>			808-853 MJ/m <sup>2</sup>	777-826 kr/m <sup>2</sup>	

Tabell 15. Materialegenskaper för TKO1 med KL-trä.

Material	Tjocklek	Lambdavärde	Inbyggd energi	Materialkostnad	
Takpapp	-	-	30 MJ/m <sup>2</sup>	134 kr/m <sup>2</sup>	
Takboard	30 mm	0,033 W/(mK)	50 MJ/m <sup>2</sup>	162 kr/m <sup>2</sup>	
Underlagsspont	20 mm	0,14 W/(mK)	224 MJ/m <sup>2</sup>	116 kr/m <sup>2</sup>	
Träreglar + Isolering	Mineralull	220 mm	0,043 W/(mK)	269 MJ/m <sup>2</sup>	205 kr/m <sup>2</sup>
	Träfiber	220 mm	0,047 W/(mK)	235 MJ/m <sup>2</sup>	168 kr/m <sup>2</sup>
Träreglar + Isolering	Mineralull	70 mm	0,043 W/(mK)	86 MJ/m <sup>3</sup>	62 kr/m <sup>3</sup>
	Träfiber	70 mm	0,047 W/(mK)	75 MJ/m <sup>3</sup>	50 kr/m <sup>3</sup>
Ångspärr	0,2 mm	-	15 MJ/m <sup>2</sup>	6 kr/m <sup>2</sup>	
KL-trä	120 mm	0,14 W/(mK)	1301 MJ/m <sup>2</sup>	695 kr/m <sup>2</sup>	
<b>Totalt</b>			1930-1975 MJ/m <sup>2</sup>	1331-1380 kr/m <sup>2</sup>	

Tabell 16. Materialegenskaper för TKO2 med träregelstomme.

Material	Tjocklek	Lambdavärde	Inbyggd energi	Materialkostnad
Takpapp	-	-	30 MJ/m <sup>2</sup>	134 kr/m <sup>2</sup>
Underlagsspont	20 mm	-	224 MJ/m <sup>2</sup>	116 kr/m <sup>2</sup>
Träreglar	220 mm	-	171 MJ/m <sup>2</sup>	92 kr/m <sup>2</sup>
Ångspärr	0,2 mm	-	15 MJ/m <sup>2</sup>	6 kr/m <sup>2</sup>
Träpanel	16 mm	0,14 W/(mK)	179 MJ/m <sup>2</sup>	141 kr/m <sup>2</sup>
<b>Totalt</b>			619 MJ/m <sup>2</sup>	489 kr/m <sup>2</sup>

Tabell 17. Materialegenskaper för TKO2 med KL-trä.

Material	Tjocklek	Lambdavärde	Inbyggd energi	Materialkostnad
Takpapp	-	-	30 MJ/m <sup>2</sup>	134 kr/m <sup>2</sup>
Underlagsspont	20 mm	-	224 MJ/m <sup>2</sup>	116 kr/m <sup>2</sup>
Träreglar	220 mm	-	171 MJ/m <sup>2</sup>	92 kr/m <sup>2</sup>
Ångspärr	0,2 mm	-	15 MJ/m <sup>2</sup>	6 kr/m <sup>2</sup>
KL-trä	120 mm	-	1301 MJ/m <sup>2</sup>	695 kr/m <sup>2</sup>
<b>Totalt</b>			1741 MJ/m <sup>2</sup>	1043 kr/m <sup>2</sup>

Tabell 18. Materialegenskaper för FOX.

Material	Tjocklek	U-värde	Inbyggd energi	Materialkostnad
Fönster	2-glas	-	1,7 W/(m <sup>2</sup> K)	3727 kr/m <sup>2</sup>
	3-glas	-	1,2 W/(m <sup>2</sup> K)	5377 kr/m <sup>2</sup>
<b>Totalt</b>			1520-1618 MJ/m <sup>2</sup>	3727-5377 kr/m <sup>2</sup>

Kombinationen av de olika byggnadselementen och dess alternativ för respektive scenario presenteras i Tabell 19. Dessa två scenarion optimeras individuellt för att sedan utvärderas i jämförelse med varandra.

Tabell 19. Sammansättning av alternativ för respektive scenario.

Konstruktion med träreglar	Konstruktion med KL-trä
YV01 med träregelstomme	YV01 med KL-trä
IV01 med träregelstomme	IV01 med KL-trä
IV02 med träregelstomme	IV02 med KL-trä
TK01 med träregelstomme	TK01 med KL-trä
TK02 med träregelstomme	TK02 med KL-trä
BJK01 med träregelstomme	BJK01 med KL-trä
BJK02 med träregelstomme	BJK02 med KL-trä
FOX	FOX

## Bilaga 2 - Resultat från optimeringen

Tabell 20. Konstruktionslösningar för resultat av konstruktion med träreglar närmast origo.

YV01	IV01	IV02	BJK01
Fjällpanel 22 mm	Träpanel 16 mm	Isolering Träfiber 398 mm	Spontad panel 22 mm
Läkt + Luftspalt 34 mm	Plywood 12 mm	Plywood 12 mm	Ångspärr 0,2 mm
Isolering Mineralull 72 mm	Träreglar + Träfiber 95 mm	Träreglar + Träfiber 95 mm	Vindskiva 9,5 mm
Vindskiva 9,5 mm	Träreglar + Träfiber 95 mm	Ångspärr 0,2 mm	Träreglar + Träfiber 220 mm
Träreglar + Mineralull 219 mm	Plywood 12 mm	Plywood 12 mm	Isolering Träfiber 31 mm
Ångspärr 0,2 mm	Träpanel 16 mm	Träpanel 16 mm	
Träreglar 45 mm			
Träpanel 16 mm			
BJK02	TK01	TK02	FOX
Isolering Träfiber 359 mm	Takpapp	Takpapp	3-glas
Spontad panel 27 mm	Takboard 30 mm	Underlagsspont 20 mm	
Träreglar + Träfiber 220 mm	Underlagsspont 20 mm	Träreglar 220 mm	
Ångspärr 0,2 mm	Träreglar + Träfiber 220 mm	Ångspärr 0,2 mm	
Träpanel 16 mm	Träreglar + Träfiber 70 mm	Träpanel 16 mm	
	Ångspärr 0,2 mm		
	Träpanel 16 mm		

Tabell 21. Konstruktionslösningar för resultat av konstruktion med KL-trä närmast origo.

YV01	IV01	IV02	BJK01
Fjällpanel 22 mm	KL-trä 120 mm	Isolering Träfiber 400 mm	KL-trä 120 mm
Läkt + Luftspalt 34 mm		Ångspärr 0,2 mm	Ångspärr 0,2 mm
Isolering Mineralull 46 mm		KL-trä 120 mm	Isolering Träfiber 107 mm
Vindskiva 9,5 mm			
Träreglar + Mineralull 220 mm			
Ångspärr 0,2 mm			
KL-Trä			
Träpanel 16 mm			
BJK02	TK01	TK02	FOX
Isolering Träfiber 578 mm	Takpapp	Takpapp	3-glas
Ångspärr 0,2 mm	Takboard 30 mm	Underlagsspont 20 mm	
KL-trä 120 mm	Underlagsspont 20 mm	Träreglar 220 mm	
	Träreglar + Träfiber 220 mm	Ångspärr 0,2 mm	
	Träreglar + Träfiber 70 mm	KL-trä 120 mm	
	Ångspärr 0,2 mm		
	KL-trä 120 mm		

Tabell 22. Konstruktionslösningar för resultat av konstruktion med träreglar med minsta summa av drift och inbyggd energi.

YV01	IV01	IV02	BJK01
Fjällpanel 22 mm	Träpanel 16 mm	Isolering Träfiber 400 mm	Spontad panel 22 mm
Läkt + Luftspalt 34 mm	Plywood 12 mm	Plywood 12 mm	Ångspärr 0,2 mm
Isolering Mineralull 145 mm	Träreglar + Träfiber 95 mm	Träreglar + Träfiber 95 mm	Vindskiva 9,5 mm
Vindskiva 9,5 mm	Träreglar + Träfiber 95 mm	Ångspärr 0,2 mm	Träreglar + Träfiber 220 mm
Träreglar + Mineralull 220 mm	Plywood 12 mm	Plywood 12 mm	Isolering Träfiber 157 mm
Ångspärr 0,2 mm	Träpanel 16 mm	Träpanel 16 mm	
Träreglar 45 mm			
Träpanel 16 mm			
BJK02	TK01	TK02	FOX
Isolering Träfiber 590 mm	Takpapp	Takpapp	3-glas
Spontad panel 27 mm	Takboard 30 mm	Underlagsspont 20 mm	
Träreglar + Träfiber 220 mm	Underlagsspont 20 mm	Träreglar 220 mm	
Ångspärr 0,2 mm	Träreglar + Träfiber 220 mm	Ångspärr 0,2 mm	
Träpanel 16 mm	Träreglar + Träfiber 70 mm	Träpanel 16 mm	
	Ångspärr 0,2 mm		
	Träpanel 16 mm		

Tabell 23. Konstruktionslösningar för resultat av konstruktion med KL-trä med minsta summa av drift och inbyggd energi.

YV01	IV01	IV02	BJK01
Fjällpanel 22 mm	KL-trä 120 mm	Isolering Träfiber 392 mm	KL-trä 120 mm
Läkt + Luftspalt 145 mm		Ångspärr 0,2 mm	Ångspärr 0,2 mm
Isolering Mineralull 46 mm		KL-trä 120 mm	Isolering Träfiber 280 mm
Vindskiva 9,5 mm			
Träreglar + Mineralull 220 mm			
Ångspärr 0,2 mm			
KL-Trä			
Träpanel 16 mm			
BJK02	TK01	TK02	FOX
Isolering Träfiber 592 mm	Takpapp	Takpapp	3-glas
Ångspärr 0,2 mm	Takboard 30 mm	Underlagsspont 20 mm	
KL-trä 120 mm	Underlagsspont 20 mm	Träreglar 220 mm	
	Träreglar + Mineralull 220 mm	Ångspärr 0,2 mm	
	Träreglar + Mineralull 70 mm	KL-trä 120 mm	
	Ångspärr 0,2 mm		
	KL-trä 120 mm		



## Bilaga 3 - Datakällor för material, aktiviteter och processer i studien

Tabell 24. Klimatpåverkan för material och transporter som används i miljöbedömningen av Case Ripan.

Material Transport	Deklarerad enhet	Klimatpåverkan [kg CO <sub>2</sub> -ekv/enhet]	Referens
Produktion A1-A3			
Gipsskiva	1 m <sup>2</sup> Plaster board 12,5 mm thick	2,83	EPD Gyproc Normal – Standard Plasterboard. The International EPD® System EPD Nr. S-P-00388
Glasull	1 m <sup>2</sup> with a thermal resistance of 1.0 K m <sup>2</sup> W <sup>-1</sup> with a thickness of 33 mm	0.62	ISOVER UNI-skiva 33 The Norwegian EPD Foundation NEPD-1434-457-EN
Plastfolie, PE	1 kg	1,95	Ecoinvent 3,0 data (HDPE)
Ångbroms	1 kg	1,95	Ecoinvent 3,0 data (HDPE)
Takpapp	1 m <sup>2</sup>	3,68	European Waterproofing Association AISBL The Norwegian EPD Foundation NEPD00271E
XPS	1 m <sup>2</sup> XPS isolering med 34 mm tjocklek och termisk resistans R=1 Km <sup>2</sup> /W	6.6	Jackofoam® isoleringsskiva The Norwegian EPD Foundation NEPD-264-138-NO
PIR isolering	1 kg	2.9	PU Europe, Factsheet n° 13/1 Environmental impacts of 1kg naked foam
Träfiberisolering	1 kg	0,17	Svensk tillverkning av jungfrulig cellulosafiber, RISE
Sågat trä	1 kg	0,04	Miljöfakta om trä och träprodukter, Kontenta 0009032 (Trätek, 1999)
Plywood	1 kg	0,21	Miljödeklaration Vänerply Nr 9709079 (Trätek, 1997)
Limträ 430 kg/m <sup>3</sup> vid 12% fuktkvot	1m <sup>3</sup>	39	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner NEPD-346-246-NO
KL-trä 430 kg/m <sup>3</sup> vid 12% fuktkvot	1m <sup>3</sup>	60	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner NEPD-345-236-NO
Transport lastbil 40 t	1 tonkm	0.05	Ntm
Transport lastbil 20 t	1 tonkm	0,14	Ntm

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,200 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 200 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB  
Laboratorgränd 2, 931 77 SKELLEFTEÅ  
Telefon: 010-516 50 00  
E-post: [info@ri.se](mailto:info@ri.se), Internet: [www.ri.se](http://www.ri.se)

Byggteknik  
RISE Rapport :2018:79  
ISBN:978-91-88907-33-2



EUROPEISKA UNIONEN  
Europeiska regionala  
utvecklingsfonden

