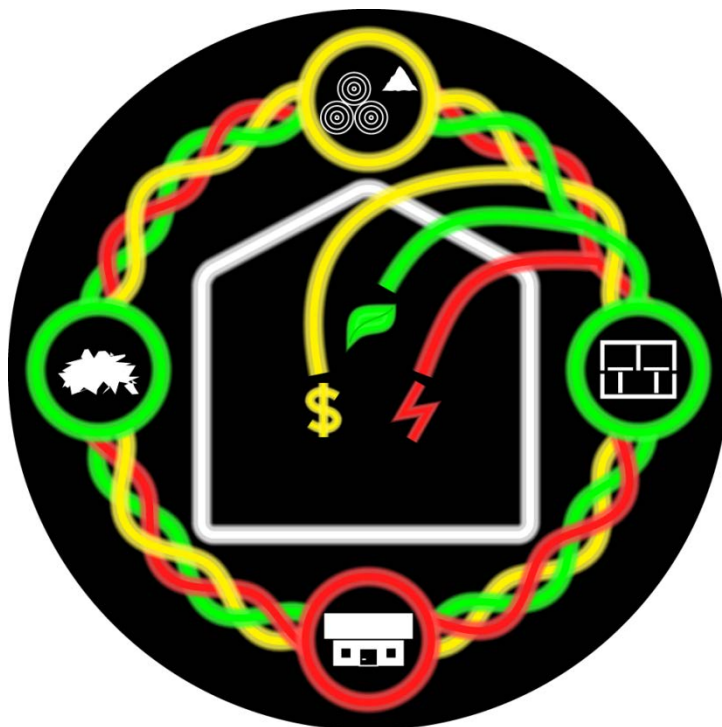


# Optimera byggnader ut ett livscykelperspektiv

---



## Förord

Projektet har varit ett samarbete mellan representanter från FoU-Väst, LTH och SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Det har finansierats av SBUF och Energimyndigheten.

Syftet med arbetet har dels varit att finna praktiska slutsatser beträffande hur man ska finna optimala designalternativ utifrån kostnad och miljöpåverkan under hela byggnadens livscykel, som är direkt tillämpbara vid utformning av byggnader, dels att penetrera frågeställningarna i detalj baserat på vetenskapliga metoder och förfaranden.

Projektgruppen har varit indelad i en arbetsgrupp och en referensgrupp enligt följande:

### *Arbetsgrupp*

Linda Martinsson	Skanska Sverige AB
Jesper Arfvidsson	LTH
Kristina Mjörnell	SP
Johanna Berlin	SP
Peter Ylmén	SP

### *Referensgrupp*

Pär Åhman	Sveriges Byggindustrier
Johnny Kellner	Konsult
Rolf Jonsson	Wästbygg
Lars Tirén	Eksta Bostads AB

I den här rapporten beskrivs projektet översiktligt. Mer information finns i artiklarna i publikationslistan.

## Innehållsförteckning

Förord	1
Innehållsförteckning	3
Sammanfattning	4
Summary	5
Inledning	6
Genomförande	6
Resultat	6
Diskussion	7
Publikationslista	7
Referenser	8

## Sammanfattning

Det finns en ökande medvetenhet om att miljöpåverkan från produktionsfasen av byggnader ökar jämfört med driftsfasen när man bygger mer energieffektiva hus. Det är därför viktigt att ta hänsyn till hela livscykeln vid energieffektiviseringsåtgärder, till exempel genom livscykelanalys (LCA) och beräkningar av livscykelkostnad (LCC). I byggnader kommer designalternativ i många fall att påverka byggnadsdelar utanför den avsedda förändringen i designalternativet, med andra ord sekundära effekter. Studier som i tillräcklig omfattning tar hänsyn till sekundära effekter är ovanligt, i själva verket har få liknande studier som inkluderat sekundära effekter utförts tidigare. Konsekvensen av att inte inkludera sekundära effekter i optimeringsstudier kan vara att man drar slutsatser som är baserade på missvisande beräkningsresultat och därmed fattar beslut om designalternativ som inte är de mest optimala.

Målet med det här projektet var att utveckla och utvärdera en procedur som möjliggör jämförelser mellan olika designalternativ för byggnader avseende miljöpåverkan och kostnader där sekundära effekter tas med.

För att få tillförlitliga resultat i en undersökning är det avgörande att fastställa korrekt systemgräns, men det är ofta svårt att överblicka komplexa system som består av många olika konstruktioner, material och produkter på grund av de kaskadeffekter som kan uppstå även vid små förändringar. I det här arbetet har en metod som bygger på eneffekt och konsekvensutvärdering introducerats för att systematiskt identifiera och organisera effekter och konsekvenser vid förändringar av delar av ett komplext system. Metoden tillämpas i en fallstudie av optimering av isoleringstjocklek i klimatskalet vid nyproduktion av en byggnad för att undersöka vikten av korrekta systemgränser. Samtidigt undersöks i detalj hur sekundära effekter kan påverka optimeringsstudier. Vid utförandet används LCA och LCC i en parameterstudie av isoleringstjocklek i klimatskalet för ett flerbostadshus. Sammanlagt 64 kombinationer av isolertjocklek i yttertak, yttervägg och bottenplatta har utvärderats med hjälp av LCA och LCC med och utan sekundära effekter.

Iakttagelser från den här studien visar att sekundära effekter i stor omfattning påverkar systemgränsen, algoritmarkitektur, resultat och slutsatserna om optimal design. Det är därför viktigt att ta hänsyn till dem vid utförande av optimeringsstudier för byggnaders utformning. Resultaten från det här projektet utpekar en procedur för precisa jämförelser mellan olika designalternativ för byggnader. Det kommer att underlätta vid val av olika designval så att alternativet med lägst total miljöpåverkan till en rimlig kostnad kan väljas.

## Summary

There is an increasing awareness that the environmental impact from the building construction phase is growing compared to the operation phase. Therefore, it is important to consider the complete life cycle of energy improvement measures, for example through life cycle assessment (LCA) and life cycle cost analysis (LCCA). In buildings a design option will in many cases affect building parts outside the induced change in the design option, in other words secondary effects. So far previous studies fully addressing secondary effects are rare, and in fact none were found. The consequences of not including secondary effects in optimization studies can be conclusions based on misleading calculation results.

The aim of the current project was to develop and evaluate a procedure that makes it possible to compare different options for building design with regard to environmental impact and cost.

To get reliable results it is crucial to set up correct system boundaries for the investigation, but it is often difficult to understand complex product systems because of the cascade effects of consequences that can be induced by even small changes. In this work the effects and consequences evaluation (ECE) method is introduced to systematically identify and organize the effects and consequences of a design change in parts of a complex system. The method is applied in a case study of building envelope insulation for a new building to investigate the importance of correct system boundaries, as well as examine in detail how secondary effects will affect optimization studies. This is done by using LCA and LCCA in a parameter study of the insulation thickness in the building envelope of a concept apartment house. Altogether 64 combinations of insulation thickness for the external wall, slab and roof are evaluated using LCA and LCCA with and without secondary effects.

Findings from this study show that secondary effects influence the system boundary, algorithm architecture, results and the final conclusions of optimal building design. Therefore, it is important to take them into consideration when performing optimization studies of building design options. The findings from this project outline a procedure that will allow for just comparisons between different design options for buildings. This will help facilitate the choice between different building design solutions in order to choose the option with the lowest total environmental impact and a reasonable cost.

## Inledning

Byggsektorn i Sverige har länge fokuserat på ett mer hållbart byggande, där energianvändning har ansetts extra viktigt ur ett miljöperspektiv. Med syftet att minska miljöpåverkan har mer isoleringsmaterial och energieffektiva installationer blivit standard för nya byggnader. Detta har fått till följd att utsläppen och kostnaderna i produktionskedet har ökat. De senaste åren har medveten kring miljöpåverkan för byggnadens hela livscykel ökat, t.ex. visar [1] att utsläppen från produktions- och användarskedet är i samma storleksordning. Detta innebär att hela byggnadens hela livscykel behöver beaktas för att producera byggnader med lägst total miljöpåverkan till rimlig kostnad. Lämpliga metoder för att hantera dessa aspekter är livscykelkostnad (LCA) och livscykelkostnadsberäkningar (LCC).

I många fall kommer en förändring av byggnadens utformning påverka byggnadsdelar utanför designalternativet. Sådana effekter kallas sekundära effekter. Ett exempel på en sekundär effekt är att när tjockare isolering används i ytterväggarna kan mellanbjälklagen behövas förlängas för att bära väggarna. Att förlänga bjälklagen är inte direkt inkluderat i designalternativet utan en konsekvens av det. Tidigare forskningsstudier tar inte hänsyn till dessa sekundära effekter, faktum är att ingen sådan studie har påträffats. Detta kan innebära att fel slutsatser dras när LCA och LCC används utan att inkludera sekundära effekter.

I det här projektet undersöktes hur man kan jämföra olika designalternativ avseende miljöpåverkan och kostnader. Arbetet har fokuserat kring att identifiera sekundära effekter så att korrekta systemgränser kan fastställas vid utförande av LCA och LCC.

## Genomförande

En teoretisk fallstudie utfördes på en konceptbyggnad i form av ett flerbostadshus placerat i Göteborg.

En metodik togs fram för att fastställa systemgränser där sekundära effekter inkluderas på ett systematiskt vis. Metodiken användes sedan för att fastställa systemgränsen i en parameterstudie av isolertjocklek i klimatskalet.

I parameterstudien beräknades global uppvärmningspotential och livscykelkostnader för olika isoleringsalternativ med hjälp av dynamiska energiberäkningar, LCA och LCC. Den funktionella enheten var  $1 \text{ m}^2 A_{\text{temp}}$  som uppfyller Boverkets byggregler (BBR) i 50 år.

## Resultat

Data och resultat finns beskrivna i [2] och [3].

Det togs fram en metodik för att fastställa systemgränser i LCA och LCC som inkluderar sekundära effekter.

Resultaten från projektet visar att utelämnade sekundära effekter kan resultera i systemgränser som inte är tillräckligt omfattande. Detta kan påverka optimeringsstudier av designalternativ på följande vis:

- Storleksordningen av miljöpåverkan och kostnader kan bli felaktig.
- Skillnaden i miljöpåverkan och kostnader mellan olika designalternativ kan bli felaktig.
- Som en konsekvens kan slutsatsen av vilken lösning som är optimal bli felaktig.

I projektet beskrivs översiktligt en procedur som möjliggör för rättvisa jämförelser mellan olika designalternativ avseende miljöpåverkan och kostnader. Detta underlättar valet mellan olika designalternativ så att alternativen med lägst miljöpåverkan till en rimlig kostnad kan väljas.

## Diskussion

Resultaten från projektet visar vikten av att ta hänsyn till hela systemet när olika designalternativ utvärderas. En alltför snäv avgränsning innebär att det utförs suboptimeringar, vilka kan leda till en högre total miljöpåverkan med onödigt höga kostnader. Ett exempel på detta är att tjockare isolering i klimatskalet kan leda till ökad miljöpåverkan även om energianvändningen i byggnaden minskar. Om trenden med energiförbättringar av byggnader och energisystem med mindre utsläpp ska fortsätta är det viktigt att minska utsläppen från produktion av byggnadsmateriel. I annat fall kan energiförbättringsåtgärderna bli kontraproduktiva.

Den föreslagna metodiken möjliggör för fler projekt inom byggsektorn att fatta korrekta beslut rörande utformning av byggnader så att den totala miljöbelastningen minimeras till en rimlig kostnad. Metodiken är i sig inte begränsad till byggsektorn utan kan tillämpas inom andra områden där komplexa system behöver analyseras.

I en utveckling av metoden vore det intressant att undersöka hur man kan minska tid och resurser för att hantera de stora datamängderna som uppstår i byggprojekt på grund av att byggnader innehåller så många olika byggprodukter. En annan problematik är de långa framtidsscenarioer med stora osäkerheter som uppstår under byggnadens livscykel.

## Publikationslista

P. Ylmén, J. Berlin, K. Mjörnell, J. Arfvidsson 2016, The importance of including secondary effects when defining the system boundary with life cycle perspective: case study for design of an external wall, *Journal of Cleaner Production* 143, 1105-1113, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.009>

P. Ylmén, K. Mjörnell, J. Berlin, J. Arfvidsson, The Influence of Secondary Effects on Global Warming and Cost Optimization of Insulation in the Building Envelope, *Building and Environment* [submitted]

P. Ylmén, K. Mjörnell, J. Berlin, J. Arfvidsson 2016, Välj rätt systemgräns vid designoptimering, *Husbyggaren* nr 5, 32-34

## Referenser

1. Larsson, M., Erlandsson, M., Malmqvist, T., Kellner, J., 2016.  
Livscykelberäkning av klimatpåverkan för ett nyproducerat flerbostadshus med massiv stomme av trä.  
<http://www.ivl.se/download/18.29aef808155c0d7f05063/1467900250997/B2260.pdf>
2. P. Ylmén, J. Berlin, K. Mjörnell, J. Arfvidsson 2016, The importance of including secondary effects when defining the system boundary with life cycle perspective: case study for design of an external wall, Journal of Cleaner Production 143, 1105-1113, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.009>
3. P. Ylmén, K. Mjörnell, J. Berlin, J. Arfvidsson, The Influence of Secondary Effects on Global Warming and Cost Optimization of Insulation in the Building Envelope, Building and Environment [submitted]