



Renobuild Miljökalkyl – miljöbedömning vid renovering

Anna Boss, Markus Lindahl

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Renobuild Miljökalkyl - miljöbedömning vid renovering

Anna Boss, Markus Lindahl

Abstract

During the planning of a building renovation there is a need to evaluate different renovation options from a sustainability perspective. In order to get the whole picture one needs to include the environmental, as well as the economic and the social perspective in the evaluation. In the Reonbuild project a methodology for including all three parameters has been develop. This report is a subreport to the project and describes the calculation tool for environmental evaluation.

The tool calculates the change in environmental impact from a lifecycle perspective, which includes material and transports for renovation, changes in yearly energy consumption, changes in how the heating is produced and finally the end of life treatment of the material. Up to ten different alternatives, including various renovation measures, can be analyzed and compared. The tool includes data and calculation models for a number of renovation measures in the heating system, building envelope, ventilation and piping. The result is shown as global warming potential (CO₂-equivalents) and use of primary energy compared to a reference case where no renovation is made. The tool also shows the shares of environmental impact originating from the different stages of the lifecycle as well as the environmental pay-back time for the different alternatives.

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2014:71
ISBN 978-91-88001-16-0
ISSN 0284-5172
Borås 2014

Innehållsförteckning

Abstract	3
Innehållsförteckning	4
Sammanfattning	5
1 Inledning	6
2 Utdata och resultatpresentation i verktyget	7
3 Indata till verktyget	8
4 Systemgränser	9
4.1 Livscykelerspektiv	9
4.2 Tidsgränser	9
4.3 Geografiska gränser	10
4.4 Begränsningar	10
4.5 Miljödata	10
4.6 Miljöpåverkanskategorier	10
5 Bakgrundsdata	10
5.1 Produktion av material till renovering	10
5.1.1 Byte av uppvärmningsform	10
5.1.2 Cirkulationspump	12
5.1.3 Isolering	13
5.1.4 Fasadsystem	13
5.1.5 Fönster	14
5.1.6 Dörrar	14
5.1.7 Ventilationssystem	14
5.1.8 Radiatorer	15
5.1.9 Rör	15
5.1.10 Elledningar	16
5.2 Transport till byggplatsen	16
5.3 Användningsfasen	16
5.3.1 Förändrad energianvändning	16
5.3.2 Energiproduktion	17
5.4 Avfallshantering	17
5.4.1 Avfallshantering av material	18
6 Referenser	19
Bilaga 1 Manual till Renobuild Miljökalkyl	21
1 Grundförutsättningar	21
2 Resultat, ändring i miljöpåverkan	22
3 Värmesystem	22
4 Klimatskal	23
5 Ventilation	23
6 Radiatorer, rör och el	23

Sammanfattning

Inför renovering av en byggnad finns behov av att utvärdera olika alternativ ur hållbarhetsperspektiv och ta ett helhetsgrepp om miljömässiga, ekonomiska och sociala aspekter. En metodik för detta har utvecklats inom projektet Renobuild. Den här rapporten är en delrapport i projektet och beskriver det beräkningsverktyg för miljöbedömning som tagits fram.

Verktyget beräknar förändring i miljöpåverkan i ett livscykelperspektiv, vilket omfattar material och transporter för renovering, ändring i årlig energianvändning och energislag efter renovering samt avfallshantering av material efter produkternas livstid. Upp till tio olika alternativ bestående av valfritt antal åtgärder kan analyseras och jämföras.

Verktyget innehåller data och beräkningsmodeller för diverse åtgärder i värmesystem, klimatskal, ventilation och rör. Resultat ges som ändringar i potentiell klimatpåverkan (CO₂-ekvivalenter) och primärenergianvändning jämfört med referensfallet att ingen renovering genomförs. Det redovisar även hur miljöeffekterna fördelas mellan olika livscykelphaser och hur lång miljömässig pay-back-tid alternativen har.

1 Inledning

Det finns ett stort behov av att renovera befintlig bebyggelse, inte minst flerbostadshus byggda mellan 1950-1975. Nationella och europeiska krav på minskad energianvändning och emissioner av växthusgaser står ofta i kontrast med fastighetsägares ekonomiska mål och vilja att minimera kostnader. Dessutom bör olika sociala aspekter vägas in. I projektet Renobuild, som finansieras av Formas, har en metodik för att analysera och väga samman dessa tre hållbarhetsaspekter – miljö, ekonomi och sociala effekter – utvecklats.

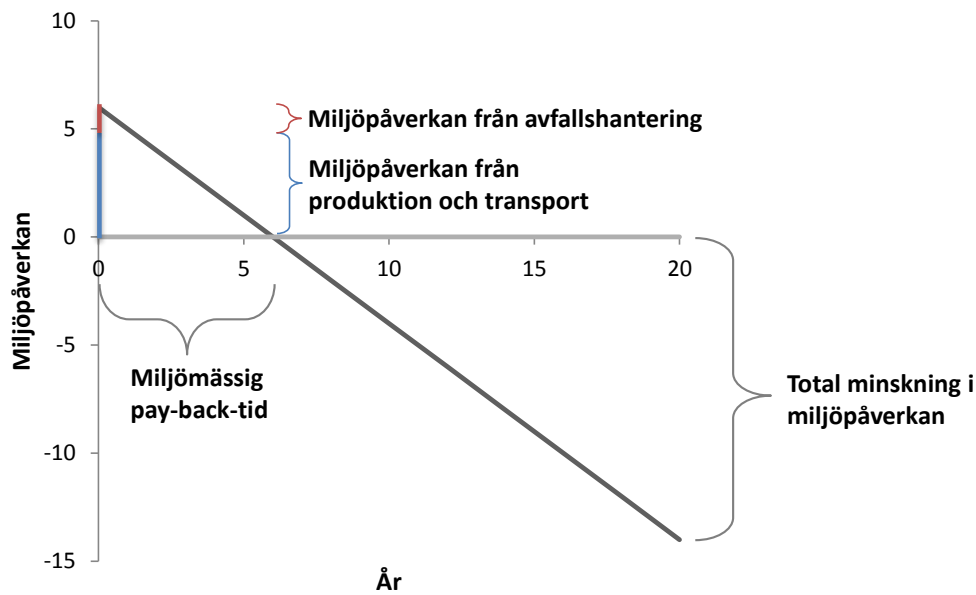
Metodikerna är främst tänkt att användas i tidiga skeden inför en kommande renovering, för att kunna jämföra olika alternativa renoveringslösningar. En utförligare beskrivning av den här metodiken finns i projektets huvudrapport *Renobuild – en beslutsmetodik för hållbar renovering* av Kristina Mjörnell, Linus Malmgren m.fl. [29].

Som en del i metodiken har SP utvecklat ett beräkningsverktyg för bedömning av miljöpåverkan *Renobuild Miljökalkyl*, vilket beskrivs i den här delrapporten.

För byggnader står användningsfasen normalt för den dominerande miljöpåverkan och ofta är det bara den årliga energianvändning och därtill kopplade emissioner som diskuteras när miljöfrågor och miljökrav för byggnader diskuteras. Med minskande energianvändning och ökande materialanvändning i byggnaden (isolering, ny utrustning etc.) kommer produktionsfasens andel av de totala utsläppen öka. Det finns därför anledning att även inkludera produktionsfasen, d.v.s. material, transporter och arbete vid renoveringen, och avfallshantering, d.v.s. avfall och restprodukter efter produkternas livstid. I *Renobuild Miljökalkyl* tas ett livscykelperspektiv.

Verktyget är i första hand anpassat för flerbostadshus och man kan jämföra upp till tio olika renoveringsalternativ. Tyngdpunkten ligger på åtgärder som minskar energianvändningen eller miljöpåverkan, t.ex. tilläggsisolering eller byte av uppvärmningsform. Verktyget är baserat på MS Excel.

De olika renoveringsalternativen värderas i termer av förändring i potentiell klimatpåverkan och primärenergianvändning jämfört med ett referensfall. Referensfallet är den befintliga byggnaden utan att några renoveringar görs, med samma energianvändning och uppvärmningsform som i dagsläget under hela livscykeln. Beräkningarna kan schematiskt illustreras med ett exempel enligt Figur 1. Under år 0 genomförs en renovering för att minska byggnadens energianvändning. Produktion av byggnadsmaterial och transport ger en ökning i emissioner och energianvändning jämfört med referensfallet, där ingen åtgärd skett. Efter renoveringen är byggnaden mer energieffektiv och för varje år minskar den sammanlagda miljöpåverkan i jämförelse med referensfallet. Under sista året leder, i detta exempel, avfallshanteringen till en mindre ökning i miljöpåverkan.



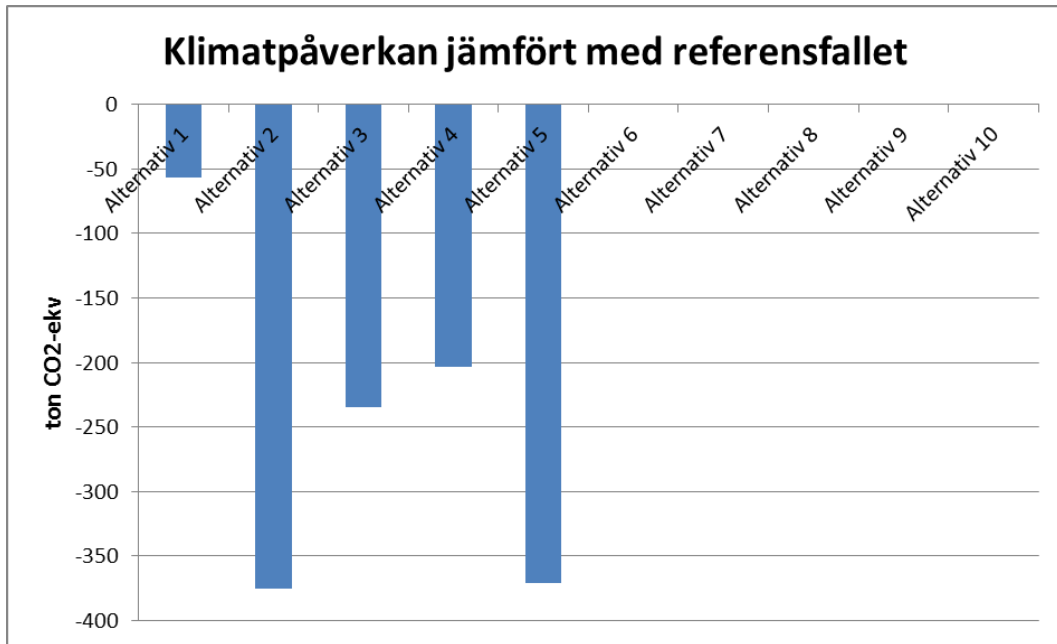
Figur 1. Miljöpåverkan för ett renoveringsalternativ jämfört med referensfallet.

2 Utdata och resultatpresentation i verktyget

Miljöpåverkan i två kategorier – potentiell klimatpåverkan (ton CO₂-ekvivalenter) och primärenergianvändning (MWh primärenergi) – beräknas och presenteras i tabeller samt visualiseras i diagram. Resultaten är alltid en ändring jämfört med referensfallet där inga renoveringar görs.

Total ändring i miljöpåverkan beräknas som summan av påverkan under hela livscykeln (produktion, transport, användning och avfallshantering) för varje åtgärd under en tid (beräkningsperiod) som användaren själv anger. Resultaten visas både som denna summa och fördelat på vardera livscykelfas (produktion, transporter, användning och avfallshantering). Dessutom presenteras miljömässig pay-back-tid, dvs. tiden det tar innan renoveringen i termer av miljöpåverkan från produktions- och avfallshanteringsfaserna ”återbetalas” genom minskad miljöpåverkan i användningsfasen, se Figur 1.

Total miljöpåverkan och pay-back-tid för alla alternativ visas också i diagram. Figur 2 och Figur 3 visar exempel på detta. I Figur 2 exemplifieras förändring i potentiell klimatpåverkan i ton CO₂-ekvivalenter för fem renoveringsalternativ och i Figur 3 exemplifieras miljömässig pay-back-tid i termer av klimatpåverkan i antal år för samma alternativ. Samma typ av diagram ges för primärenergi.



Figur 2. Exempel på resultatdiagram, potentiell klimatpåverkan för fem renoveringsalternativ jämfört med referensfallet.



Figur 3. Exempel på resultatdiagram, miljömässig pay-back-tid i termer av klimatpåverkan för fem renoveringsalternativ.

3 Indata till verktyget

Användaren kan ange mellan ett och tio renoveringsalternativ som vardera kan bestå av en eller flera åtgärder. Till att börja med krävs ett antal generella data: Beräkningsperiod (under vilken tid total miljöpåverkan ska summeras), antal lägenheter och, rekommenderat om fjärrvärme används, lokal miljöpåverkansdata för fjärrvärme som kan hittas genom länk till Svensk Fjärrvärmes hemsida [16][17].

För varje renoveringsalternativ krävs att man anger uppvärmningsform – bergvärmepump, fjärrvärme, pelletspanna, oljepanna, elpanna eller direktel – före och

efter renovering och, i alternativ där byte av uppvärmningsform ingår, årligt uppvärmningsbehov efter renovering. Därefter kan en eller flera renoveringsåtgärder i följande system väljas:

- Värmesystem
 - Byte av uppvärmningsform
 - Byte av cirkulationspump
- Klimatskal
 - Tilläggsisolering
 - Nytt fasadsystem
 - Fönster
 - Dörrar
- Ventilationssystem
 - Ventilationskanaler
 - Luftflödesaggregat
 - Don och dämpare
- Radiatorer, rör och el
 - Radiatorer
 - Rör
 - Relining av rör
 - Elledningar

Några alternativ ges för var och en av dessa grupper, t.ex. olika material. Mängder, transportavstånd, transportmedel och förväntad praktisk livslängd anges av användaren. För åtgärder som förbättrar byggnadens energiprestanda ska också förväntad förändring i värmebehov och i vissa fall även elbehov anges.

Mer detaljer finns i manualen för verktyget, se bilaga 1.

4 Systemgränser

4.1 Livscykelperspektiv

Verktyget inkluderar miljöpåverkan från produktion av material som används i renoveringen, transport av material till byggnaden, förändrad energianvändning under byggnadens användningsfas samt avfallshantering av materialen.

Data för material och energislag som används i modellen inkluderar livscykeln från vaggan fram till grinden.

4.2 Tidsgränser

I verktyget anger användaren själv för hur lång beräkningsperioden för analysen av renoveringens miljöpåverkan ska vara. Om användare anger en kortare livslängd för någon utrustning/renoveringsåtgärd räknar modellen med att återinvesteringar av samma utrustning sker. Det medför att om man i miljökalkylen anger att analysen ska göras på 50 år men att livslängden för en åtgärd bara är 20 år så kommer totalt 3 nyinvesteringar behövas under beräkningsperioden (år 0, 20 och 40). Miljödata representerar nutida teknik, även för eventuella återinvesteringar längre fram i tiden och för avfallshanteringen.

4.3 Geografiska gränser

Fokus ligger på renovering av flerbostadshus i Sverige och bakgrundsdata för svenska förhållanden har i första hand använts. I vissa fall, för produktion av material har inte representativa data för den svenska marknaden funnits tillgänglig och typiska europeiska data har då använts istället. I huvudsak används genomsnittliga data för produktionsfasen. Energidata för användningsfasen och data för slutanvändning har ett starkare Sverigefokus. När det gäller fjärrvärme kan man också välja lokala (nätspecifika) miljödata.

4.4 Begränsningar

Kyla (komfortkyla) inkluderas inte och inte heller hushållsel och belysning. Verktuget är i möjligaste mån anpassat efter svenska förhållanden och språket i verktuget är svenska.

4.5 Miljödata

Miljödata för material, energi mm har hämtats från olika rapporter, databaser och beräkningsprogram. Mer detaljer för respektive process ges i efterföljande avsnitt. Beräkningar av miljöpåverkan har i de flesta fall gjorts i LCA-verktuget SimaPro [12].

4.6 Miljöpåverkanskategorier

Två miljöpåverkanskategorier är inkluderade i miljökalkylen, klimatpåverkan och primärenergianvändning.

Klimatpåverkan (ton CO₂-ekvivalenter) för respektive material och uppvärmningsalternativ har beräknats enligt metoden ReCiPe Midpoint (H) V1.04 / Europe ReCiPe H [26]. Primärenergianvändning (MWh primärenergi) har beräknats enligt Cumulative Energy Demand incl total energy demand V1.05 / Cumulative energy demand [27]. Beräkningarna av både klimatpåverkan och primärenergianvändning är beräknad i SimaPro och därefter inlagd i Renobuild Miljökalkyl.

5 Bakgrundsdata

5.1 Produktion av material till renovering

5.1.1 Byte av uppvärmningsform

Produktionsdata för utrustning till nytt uppvärmningssystem har hämtats från olika källor och korrigerats för att passa i modellen. Följande utrustning ingår:

- Bergvärmepump – värmepump och borrhål
- Fjärrvärme – fjärrvärmecentral och anslutning till nät
- Pelletspanna – panna, förvaringssilo och skorsten
- Oljepanna – panna och oljetank
- Elpanna
- (Direktel – elradiatorer, se kapitel 5.1.8)

I miljökalkylen finns möjlighet beräkna miljökonsekvenserna av att byta uppvärmningssystem. Man har möjlighet att byta fritt mellan de sex alternativen ovan.

I modellen utvärderas förutom miljöpåverkan under framtida användning, också produktion och installation av det nya värmesystemet. Data för produktion/installation av systemet baseras på uppskattningar och enstaka livscykelanalyser, men betydelsen i ett livscykelperspektiv är generellt relativt liten jämfört med användarfasen. Data finns för

vissa kapaciteter. För andra effektbehov extrapoleras eller interpoleras dessa data proportionellt mot dimensionerande effekt eller vikt.

Bergvärmepump

Data för borrning och produktion av värmepump kommer från en schweizisk studie och finns i databasen Ecoinvent [1]

- *Borehole heat exchanger 150 m/CH/I U* – Inkluderar de viktigaste materialen, energi, vatten och transport för produktion och borrning.
- *Heat pump, brine-water, 10kW/CH/I U* – Inkluderar de viktigaste materialen för produktion samt transport, energi och vatten. Även emissioner av köldmedium R134a vid produktion och skrotning.

Övrigt indata kopplat till bergvärmepump

- Utsläpp och primärenergianvändning från produktion av värmepumpen är relaterat till dess vikt som anges som indata till beräkningarna.
- Miljöpåverkan för borrhålet är baserat på dess djup. Miljöpåverkan från borrhålet räknas bara med en gång, oavsett hur många gånger värmepumpen behöver bytas ut.

Fjärrvärme

Data för produktion och installation av fjärrvärme består dels av rör och rörläggning fram till byggnaden (anslutning till fjärrvärmenätet), dels av fjärrvärmecentral i byggnaden.

För rör och rörläggning har data hämtats från IEA-DHC-projektet *The potential for increased primary energy efficiency and reduced CO₂ emissions by district heating and cooling: method development and case studies*[13] Data avser miljöpåverkan för genomsnittlig rörproduktion och läggning samt avfallshantering i ett typiskt fjärrvärmenät med linjetäthet 3 MWh/m. Från detta fås en uppskattning av miljöpåverkan för anslutning till nätet i förhållande till årlig energianvändning. Miljöpåverkan för anslutningen till fjärrvärmenätet räknas bara med en gång, oavsett hur många gånger fjärrvärmecentralen behöver bytas ut under beräkningsperioden. Eventuell miljöpåverkan från avfallshandlingen av anslutningen är inte inkluderad i beräkningen.

Miljöpåverkan från produktion av fjärrvärmecentral har approximerats med produktion av de viktigaste materialen utifrån en uppskattning av normalmaterialsammansättningen i en fjärrvärmecentral. Miljöpåverkan är beräknad per kg fjärrvärmecentral, vilket gör att vikten på fjärrvärmecentralen måste anges som indata till beräkningarna. Materialdata för fjärrvärmecentralen kommer från Ecoinvent [1] och består av följande:

- Copper, at regional storage/RER U
- Stainless steel hot rolled coil, annealed & pickled, elec. arc furnace route, prod. mix, grade 304 RER S
- Brass, at plant/CH U
- Sheet rolling, chromium steel/RER S
- Steel, low-alloyed, at plant/RER U
- Welding, gas, steel/RER U
- Zinc coating, 11um, pieces/RER U
- Tube insulation, elastomere, at plant/DE U
- Aluminium, production mix, at plant/RER U
- Sheet rolling, aluminium/RER S
- Electronics for control units/RER U

Där *Sheet rolling* och *Stainless steel hot rolled coil* är de två huvudkomponenterna och tillsammans står för ungefär 2/3 av fjärrvärmecentralens vikten.

Pelletspanna

Data för produktion och installation av pelletspanna kommer från Ecoinventdatabasen [1], via SimaPro [12]. Följande två dataset har använts som underlag: *Furnace, pellets, 15kW/CH/I U* och *1 p Furnace, pellets, 50kW/CH/I U*. Datauppsättningen inkluderar de viktigaste materialen för produktion av panna, skorsten, pelletsförvaring och matningssystem samt transport och energi för produktion.

Ur dataseten har miljöpåverkan för skorsten och pelletsförvaring brutits ut och redovisas separat eftersom dessa antas ha en längre livslängd än själva pannan. Miljöpåverkan från skorsten och förvaring har approximerats med miljöpåverkan från betongproduktionen vilken är en förenkling.

Miljöpåverkan från produktionsfasen beräknas som en linjär funktion av den dimensionerande effekten baserat på de två dataseten för 15 respektive 50 kW pelletspanna.

Oljepanna

Data för produktion och installation av oljepanna kommer från Ecoinventdatabasen [1]. Följande två dataset har använts som underlag: *1 p Oil boiler 10kW/CH/I U* och *1 p Oil boiler 100kW/CH/I U*. Datauppsättningen inkluderar de viktigaste materialen för produktion av pannan inklusive elektrisk utrustning. .

Miljöpåverkan från produktionsfasen beräknas som en linjär funktion av den dimensionerande effekten baserat på data från de två dataseten för 10 respektive 100 kW oljepanna.

Vid installationen antas att man också installera en oljetank, med miljöpåverkan från produktionsfasen baserad på datasetet *1 p Oil storage 3000l/CH/I U* från Ecoinvent. Beräkningarna antar att samma oljetank kan användas under hela beräkningsperioden, dvs om oljepannan tekniska livsländ tar slut och en ny måste installeras, antas den installerade oljetanken kunna fortsätta att användas.

Elpanna

Data för produktion och installation av en elpanna kommer från ett modifierat dataset från Ecoinvent [1]. I projektet har utgått från data för en 10 kW värmepump där miljöpåverkan kopplad till köldmediet har exkluderats. Följande dataset har använts som underlag: *1 p Heat pump, brine-water, 10kW/CH/I U*.

En 10 kW elpannan har en uppskattad vikt på 64 kg (vikten baserad på uppgifter från tillverkarnas hemsidor [20][21]). Miljöpåverkan från produktionsfasen beräknas vara proportionell mot elpannans vikt.

Direktel

Ingen panna eller annan installationsutrustning antas behövas. En eventuell installation av nya radiatorer hanteras separat, se kapitel 5.1.8 nedan.

5.1.2 Cirkulationspump

Om byte av cirkulationspump inkluderas antas att gammal pump byts ut mot en modernare med varvtalsreglering för att uppfylla krav på energieffektivitet. Uppgifter om materialinnehåll kommer från en studie på Aalborgs universitet [10]. Miljödata baseras på följande Ecoinventprocesser [1]:

- Cast iron, at plant/RER U

- Steel, low-alloyed, at plant/RER U
- Copper, at regional storage/RER U
- Aluminium, production mix, at plant/RER U
- Polystyrene, general purpose, GPPS, at plant/RER U
- Silicon, electronic grade, at plant/DE U
- Injection moulding/RER U
- Wire drawing, copper/RER U
- Sheet rolling, steel/RER U
- Sheet rolling, aluminium/RER U

5.1.3 Isolering

Det ges fyra alternativ för isoleringsmaterial. I beräkningsarket finns möjlighet att lägga in två sorters isoleringsmaterial. Data kommer från följande datauppsättningar i Ecoinvent [1]:

- **Cellulosafibrer:** *Cellulose fibre, inclusive blowing in, at plant/CH S* – Inkluderar energi, material, transporter och emissioner för produktion, även förpackning och energi för montering i byggnad, data från en tillverkare i Schweiz.
- **Glasull:** *Glass wool mat, at plant/CH S* – Inkluderar energi, material, transporter och emissioner för produktion, data från en tillverkare i Schweiz.
- **Stenull:** *Rock wool, at plant/CH S* - Inkluderar energi, material, transporter och emissioner för produktion, data från en tillverkare i Schweiz.
- **Cellplast:** *Polystyrene foam slab, at plant/RER U* – Inkluderar produktion och termoformning av EPS, genomsnitt av EPS-produktion i Europa, data från två schweiziska fabriker för termoformning – modifierad: enbart CO₂-blåst.

5.1.4 Fasadsystem

Miljödata för fasadsystem har beräknats genom att summera miljöpåverkan från ingående komponenter för system av olika typ, från olika tillverkare och med olika isolertjocklek. Beräkningarna är gjord i SimaPro och huvuddelen av bakgrundsdata är hämtat från Ecoinvent [12][1].

Fasadsystemen har avidentifierats då syftet inte är att jämföra miljöpåverkan av olika system på markanden utan att inkludera data för olika typlösningar. Alternativen ges enligt följande struktur: Systembeteckning\Putstjocklek intervall i mm\Ventilerad eller ej ventilerad\Isolermaterial\Isolertjocklek i mm:

- A\8-15mm\Ej ventilerad\EPS\200mm
- B\4-8mm\Ventilerad\Stenull\50mm
- B\4-8mm\Ventilerad\Stenull\80mm
- B\4-8mm\Ventilerad\Stenull\100mm
- C\8-12mm\Ej ventilerad\EPS\50mm
- C\8-12mm\Ej ventilerad\EPS\80mm
- C\8-12mm\Ej ventilerad\EPS\100mm
- D\20-mm\Ej ventilerad\Stenull\50mm
- D\20-mm\Ej ventilerad\Stenull\80mm
- D\20-mm\Ej ventilerad\Stenull\100mm
- E\10-15mm\Ej ventilerad\Stenull\50mm
- E\10-15mm\Ej ventilerad\Stenull\80mm

- E\10-15mm\Ej ventilerad\Stenull\100mm
- E\10-15mm\Ej ventilerad\Stenull, PIR\50+150mm
- F\4-8mm\Ventilerad\Stenull\80mm
- F\4-8mm\Ventilerad\Stenull\100mm

5.1.5 Fönster

Fyra alternativ finns inlagda för fönster. Data kommer från följande datauppsättningar i Ecoinvent [1]:

- **Fönster, Al-ram:** *Window frame, aluminium, $U=1.6$ W/m²K, at plant/RER S*
- **Fönster, PVC-ram:** *Window frame, plastic (PVC), $U=1.6$ W/m²K, at plant/RER S*
- **Fönster, trä/metall-ram:** *Window frame, wood-metal, $U=1.6$ W/m²K, at plant/RER S*
- **Fönster, trä-ram:** *Window frame, wood, $U=1.5$ W/m²K, at plant/RER S*

Samtliga datauppsättningar inkluderar material, transporter och produktion av fönsterram och kommer från Tyskland och Schweiz.

5.1.6 Dörrar

För dörrar ges två alternativ för ytterdörrar samt ytterligare två för balkongdörrar:

- **Dörr trä/aluminium:** *Door, outer, wood-aluminium, at plant/RER S [1]*
- **Dörr trä/glas:** *Door, outer, wood-glass, at plant/RER S – Dörrkarm består av stål och dörr av 62 % trä och 38 % glas. [1]*
- **Balkongdörr glas trä-ram:** *EPD NorDan Ntech Balcony security door 105/80 (NEPD 00258E)[5]*
- **Balkongdörr glas trä/alu-ram:** *EPD NorDan Ntech Balcony security door 105/80 (NEPD 00258E)[5]*

Datauppsättningarna för dörrar inkluderar material, transporter, produktion och installation av 1 m² dörr, som sedan justerats med avseende på dörrarean(0,8·2 m) så att data i verktyget avser en dörr. Data kommer från producenter i Schweiz men sägs kunna representera europeisk produktion.

Balkongdörrarna baseras på en EPD utförd av den norska tillverkaren NorDan AS. Dörren mäter 1,23·2,18 m och har 3-glasfönster.

5.1.7 Ventilationssystem

För ventilationssystem innehåller modellen data för de (miljömässigt) viktigaste komponenterna i ett centraliserat ventilationssystem. Data kommer från följande Ecoinventprocesser [1]:

Ventilationskanaler

- **Stål:** *Ventilation duct, steel, 100x50 mm, at plant/RER S* – ventilationskanal av stål, inkluderar de viktigaste materialen för produktion samt energi och transporter, produktion i Tyskland, vikt 1,5 kg/m
- **Polyetenplast:** *Ventilation duct, PE corrugated tube, DN 75, at plant/RER S* – ventilationskanal av polyetenplast, produktion i Frankrike, vikt 0,33 kg/m

Luftflödesaggregat

- Frånluftsaggregat (centralt): *Ventilation equipment, central, 600-1200 m³/h, at plant/RER U* – medelvärde av två ventilationsaggregat med maximalt luftflöde 700 respektive 1200 m³/h, inkluderar de viktigaste materialen för produktion samt energi och transporter, data representativa för Västeuropa. Miljöpåverkan för byte av luftflödesaggregat räknas proportionellt mot dimensionerande luftflöde.
- FTX-aggregat (centralt): Miljöpåverkan för tillverkning av ett FTX-aggregat antags vara 2,5 gånger så stor som för ett frånluftsaggregat [22]. Data baserat på Ecoinventprocessen för frånluftsaggregat.

Don och dämpare

Data anges per lägenhet och antas inkludera två stycken don à 9,5 kg och 2 stycken ljuddämpare à 8,3 kg per lägenhet. Följande Ecoinventprocesser [1] har använts:

- *Air distribution housing, steel, 120 m³/h, at plant/CH S* - inkluderar de viktigaste materialen för produktion samt energi och transporter, produktion i Schweiz, antagande i modellen 2 st per lägenhet
- *Silencer, steel, DN 125, at plant/CH S* – produktion i Schweiz, antagande i modellen 2 st per lägenhet

5.1.8 Radiatorer

Två typer av radiatorer kan väljas i beräkningsmodellen: För vattenburet värmesystem eller för direktel. Data på materialinnehåll i radiatorerna kommer från tillverkare, medan miljödata för materialen baseras på Ecoinventprocesser:

- Vattenburet: Byggvarudeklaration BVD 3, Epecon modul compact [7]. Miljödata baserat på Ecoinventprocesserna [1]:
 - Steel, low-alloyed, at plant/RER U
 - Coating powder, at plant/RER U
- Direktel: Miljödeklaration Radiator PAX 3000 [11]. Miljödata baserat på Ecoinventprocesserna [1]:
 - Polycarbonate, at plant/RER U
 - Light fuel oil, at regional storage/RER U
 - Steel, low-alloyed, at plant/RER U
 - Coating powder, at plant/RER U

5.1.9 Rör

Fem typer av rör kan väljas av olika material och för olika ändamål. Miljödata har hämtats från branschföreningar och tillverkare. I vissa fall i kombination med data från Ecoinvent [1].

- Koppar: European copper institute, A ‘cradle-to-gate’ life-cycle assessment for copper tube [23]
- PEX: Miljövarudeklaration från branschförening [18] och LCA från institutet Vito[15]. Representerar typisk europeisk produktion av PEX-rör för varm- och kallvattenrör i byggnader. Data för produktionsfasen (fr.o.m utvinning av råmaterial) har använts från denna studie.
- PP (Polypropen): Miljövarudeklaration från branschförening [19] och LCA från institutet Vito [14]. Representerar typisk europeisk produktion av PP-rör för

avloppsvatten i byggnader. Data för produktionsfasen (fr.o.m utvinning av råmaterial) från denna studie används.

- Gjutjärn: Uppgifter om ingående material, densitet och beläggning från tillverkare [9] samt miljödata från Ecoinventprocesserna [1] *Cast iron, at plant/RER U*, *Epoxy resin, liquid, at plant/RER U* och *Degreasing, metal part in alkaline bath/RER U* har använts.
- Galvaniserad stål: Materialdata från tillverkare [8] samt miljödata från Ecoinventprocesserna *Steel, low-alloyed, at plant/RER U*, *Welding, gas, steel/RER U* och *Zinc coating, 11um, pieces/RER U* [1].

Relining av rör genom att belägga rören invändigt med polyester förstärkt med glasflingor har inkluderats med Ecoinventprocessen *Glass fibre reinforced plastic, polyester resin, hand lay-up, at plant/RER U* [1]

5.1.10 Elledningar

Miljödata för elledningar kommer från Ecoinventprocessen *Cable, connector for computer, without plugs, at plant/GLO U* [1].

5.2 Transport till byggplatsen

För vart och ett av de material som finns angivna i miljökalkylen får användaren ange vikt på det använda materialet samt hur det har transporterats från fabrik till byggarbetsplatsen. Detta för att kunna beräkna miljöpåverkan kopplad till transporten av materialet. Det finns tre transportslag inlagda i modellen, lastbil, tåg och båt. För vart och ett av dessa får användaren ange hur många kilometer materialet har transporterats. Data för miljöpåverkan är hämtad från Ecoinvent [1] och bygger på följande dataset:

- Lastbil: Transport, lorry >32t, EURO4/RER S
- Tåg: Transport, freight, rail/RER U (Modifierad med nordisk medelel för driften)
- Fartyg: Transport, barge/RER S

Miljöpåverkan från tågtransporter är anpassad till svenska förhållanden genom att den el som används är utbytt mot nordisk medelel.

5.3 Användningsfasen

5.3.1 Förändrad energianvändning

Miljöpåverkan i användningsfasen påverkas av de renoveringar som genomförs, se kapitel 5.1. De flesta renoveringsalternativ som är inkluderade i miljökalkylen leder till ett ändrat värme- eller elbehov.

Vid renovering av klimatskal (isolering, fönster etc.) anger användaren hur värmebehovet väntas ändras till följd av respektive renoveringsåtgärd.

Vid åtgärder i ventilationssystemet kan både värmebehov och elbehov förändras, t.ex. leder byte till ett luftflödesaggregat med värmeåtervinning till minskat behov av tillförd värme, men ofta också till en mindre ökning i elanvändning. Dessa förändringar ska anges av användaren.

Byte av uppvärmningsform leder till en annan miljöpåverkan även om inte energianvändningen i byggnaden förändras. Detta beskrivs utförligare i kapitel 5.3.2.

Görs byte till en mer energieffektiv cirkulationspump för värmesystemet minskar elanvändningen. Dock kommer behovet av värme öka på grund av att man får mindre spillvärme kopplat till pumpens elanvändning, men eftersom miljöpåverkan för värme normalt är lägre än för el minskar miljöpåverkan vid byte till effektivare cirkulationspumpar. Data på förändring i energianvändning för cirkulationspumparna kommer från provning av pumpar på SP för Energimyndigheten [6].

Byte av radiatorer, rör och elledningar anses inte i sig leda till några i sammanhanget kvantifierbara miljömässiga förändringar i användningsfasen.

5.3.2 Energiproduktion

Data på miljöpåverkan för värmeproduktion används för att beräkna miljöeffekterna dels av ett minskat värmebehov till följd av åtgärder i klimatskalet och dels av ett eventuellt byte av uppvärmningsform.

I miljö-kalkylen används en genomsnittlig miljöpåverkan för att producera värme med de olika uppvärmningsalternativen. Data för el, pellets och olja har tagits ifrån Miljöfaktaboken 2011 [3]. För kraftvärme har allokering gjorts enligt alternativproduktionsmetoden. Dessutom gäller följande för respektive uppvärmningsform:

- Bergvärmepump: Värmepumpens årsvärmefaktor antas vara 3,5, baserad på rapporten *Nuvarande status och framtidsutsikter för värmepumpar, solvärme och pellets på den svenska värmemarknaden* [28]. Elen som värmepumpen använder under användarfasen antas vara nordisk elmix. Även köldmedieutsläpp på 2% årligen är inkluderade [24].
- Fjärrvärme: Ett defaultvärde motsvarande genomsnittlig svensk produktion enligt Svensk Fjärrvärme [16] är förinställt i miljö-kalkylen. Dock rekommenderas att användare själv lägger in data för aktuell ort, då skillnaderna i produktionsmix är mycket stora beroende på var byggnaden ligger. Länk till dessa data [17] finns i beräkningsarket.
- Pelletspanna: Verkningsgrad har antagits vara 90 %, vilket motsvarar en nyare pelletspanna [25].
- Oljepanna: Verkningsgrad har antagits vara 75 %, vilket motsvarar en typiskt äldre oljepanna [25].
- Elpanna och direktel: Nordisk elmix.

5.4 Avfallshantering

Miljö-påverkan kopplad till avfallshanteringen av byggmaterialet är främst baserad på IVLs rapport *Miljö-påverkan från avfall* [4]. För de material (pellets- och oljepanna) där avfallshanteringen av materialet är inkluderat i data från Ecoinvent [1] har även den tagits med i bedömningen. I IVLs studie har miljöpåverkan för avfallshanteringen av olika avfallsfraktioner beräknats. Som påpekas i studien ska man se den som en ”Screeningstudie” där man har gjort en schablonmässig bedömning av miljöpåverkan för de olika avfallskategorierna.

Vår bedömning är dock att kvalitén på resultaten från IVLs studie är tillräckligt god för att kunna användas i Renobuilds miljö-kalkyl, där även indata för produktion av byggmaterial, transporter och energianvändning bygger på generella data. IVL studie är gjord som en bokförings-LCA där man jämför olika avfallsslag. I en bokförings-LCA används genomsnittsdata för produktion av material och energi. Detta stämmer överens

med vår studie. Miljönyttan av materialutvinning och energiutvinning ur avfallen har bedömts genom att göra en systemutvidgning där utvunnet material och energi antas ersätta genomsnittlig produktion av motsvarande material och energi.

5.4.1 Avfallshantering av material

Miljöpåverkan och primärenergianvändning från respektive avfallsfraktion är hämtad ur bilaga 3 i IVLs rapport [4]

Samtliga material inkluderade i produktionssteget har kopplats till en eller flera av de definierade avfallsfraktionerna i rapporten.

Följande antaganden är gjorda för respektive material:

Materialtyp	Material	Avfallsfraktion
Isolering	Cellulosafiber	Pappers- och pappavfall
	Glasull	Mineralavfall
	Mineralull	Mineralavfall
	Cellplast	Plastavfall
Fönster	Fönster, Al-ram	60% Glasavfall 40% Metallavfall
	Fönster, PVC-ram	30% Glasavfall 70% Plastavfall
	Fönster trä/metall-ram	40% Glasavfall 30% Träavfall 30% Metallavfall
	Fönster, trä-ram	40% Glasavfall 60% Träavfall
Dörrar	Dörr trä/aluminium	50% Metallavfall 50% Glasavfall
	Dörr trä/glas	90% Träavfall 10% Glasavfall
Ventilation	Metallkanal	Metallavfall
	Plastkanal	Plastavfall
	Frånluftsaggregat	80% Metallavfall 20% Mineralavfall
	FTX-aggregat	80% Metallavfall 20% Mineralavfall
	Don och ljuddämpare	Metallavfall
Uppvärmning	Bergvärmepump	Kasserad utrustning (FA)*
	Fjärrvärmecentral	Kasserad utrustning (FA)*
	Pelletspanna	Kasserad utrustning (FA)*
	Oljepanna	Kasserad utrustning (FA)*
	Elpanna	Kasserad utrustning (FA)*
Rör	Kopparrör	Metallavfall
	PEX-rör	Plastavfall
	PP-rör	Plastavfall
	Stål- / järnrör	Metallavfall

* FA = Farligt avfall

6 Referenser

- [1] Ecoinvent Centre, Ecoinvent data v2.0, Ecoinvent reports No. 1-25, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Duebendorf, Switzerland, (2007)
- [2] EFFEKTIV, Effem Kalkyl, (2008)
- [3] Gode, J., F. Martinsson, et al. *Miljöfaktaboken 2011 Uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter*. Stockholm (2011)
- [4] Sundqvist Jan-Olov, Palm David, *Miljöpåverkan från avfall Underlag för avfallsprevention och förbättrad avfallshantering*, IVL Svenska Miljöinstitutet, IVL rapport B1930, (2010)
- [5] NorDAn AS, NorDan Ntech Balcony security door 105/80, Environmental Product Declaration, NEPD 00258E, (2014)
- [6] Anna Boss, *Provning av cirkulationspumpar*, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (2011)
- [7] Epecon, *Byggvarudeklaration BVD 3 Epecon modul compact* (2012)
- [8] Geberit, Geberit online catalogue. *Product data sheet. Geberit Mapress system pipe carbon steel outside zinc-plated (not for sprinkler applications)*, (2013)
- [9] Gustavsberg Rörssystem, *Produktkatalog MA-systemet och övrigt gjutjärn*, (2008)
- [10] Mikkel Thrane and Arne Remmen, *Life cycle thinking - the case of Grundfos*, Aalborg University, Denmark, (2010)
- [11] Pax Electro Products AB, *Miljödeklaration Radiator PAX 3000*, (2003)
- [12] PRé Consultants, SimaPro S Developer 8, (2014)
- [13] SP Technical Research Institute of Sweden, et al., *The potential for increased primary energy efficiency and reduced CO2 emissions by district heating and cooling: method development and case studies*, (2011)
- [14] Spirinckx, C., et al., *Life Cycle Assessment of a PP pipe system for soil and waste removal in the building (according to EN 1451) Final Third Party Report*. Belgium, Vito, (2011)
- [15] Spirinckx, C., et al., *Comparative Life Cycle Assessment of PEX versus, copper Hot & Cold water pipe systems Final Third Party Report*. Belgium, Vito. (2012)
- [16] Svensk Fjärrvärme, *Miljövärden 2013*, <http://www.svenskfjarrvarme.se/Fjarrvarme/Miljovardering-av-fjarrvarme/Miljovarden-2013/>, (2014-11-28)
- [17] Svensk fjärrvärme, *Fjärrvärmens-miljövärden-2013-140703*, MS Excelfil, (2014)
- [18] The european plastic pipes and fittings association, *Environmental product declaration Crosslinked polyethylene (PEX) pipe system for hot and cold water in the building*, (2011)
- [19] The european plastic pipes and fittings association, *Environmental product declaration Polypropylene (PP) pipe system for soil and waste removal in the building*, (2012)
- [20] Värmebaronen, <http://www.varmebaronen.se/>, (2014-12-01)
- [21] CTC, <http://www.ctc.se/>, (2014-12-01)
- [22] Ruud Svein, SP Sverigest Tekniska Forskningsinstitut, personlig kommunikation, (2013-11-27)
- [23] European Copper Institute, *The environmental profile of copper products, A'cradle-to-gate' life-cycle assessment for copper tube, sheet and wire produced*

- in Europe, Belgium*, Brochyr nedladdad från www.copperalliance.eu, (2014-12-02)
- [24] Zottl, Lindahl, Nordman, Rivière, Miara, *Evaluation method for comparison of heat pump systems with conventional heating systems*, SEPEMO-Build report, D4.3. Concept for evaluation of CO₂-reduction potential, (2011)
- [25] Persson Henrik, SP Sverigest Tekniska Forskningsinstitut, personlig kommunikation, (December 2013)
- [26] Goedkoop et.al. , *ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level*, First edition (version1.08), Netherlands, (2013)
- [27] Frischnecht R., Jungbluth N., et.al. , *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods.Data v2.0*, ecoinvent report No. 3, Swiss Center for LCI, Duebendorf, Schweiz, (2007)
- [28] Karlsson, Kovács, Gustavsson, Persson, Haglund Stignor, *Nuvarande status och framtidsutsikter för värmepumpar, solvärme och pellets på den svenska värmemarknaden*, SP Rapport 2013:45, ISBN 978-91-87461-33-0, Borås, (2013)
- [29] Mjönell, Malmgren, Boss, Lindahl, Molnar, *Renobuild -en beslutsmetodik för hållbar renovering*, SP Rapport 2014:69, ISBN 978-91-88001-14-6, Borås (2014)

Bilaga 1 Manual till Renobuild Miljökalkyl

Renobuild Miljökalkyl används för att miljömässigt värdera olika alternativ inför en renovering. Användaren beskriver upp till tio renoveringsalternativ och får mått på hur dessa påverkar klimatet och primärenergianvändning i ett livscykelperspektiv för den renoverade byggnaden (produktion av material, transporter, användning och avfallshantering).

Beräkningsverktyget består av en Excelfil där första bladet innehåller frågeställningar till och resultatvisning för användaren. Övriga blad innehåller bakgrundsdata som inte kan ändras (och därför heller inte beskrivs i denna manual).

Beräkningsbladet innehåller dels frågeställningar om planerad renovering, dels tabeller och diagram med resultat av beräkningarna.

Som en kort sammanfattning gäller följande för indata och resultat:

- Alla åtgärder och resultat avser jämförelse mot ett referensfall där inga renoveringsåtgärder genomförs.
- En minskad energianvändning/miljöpåverkan anges som negativt tal.
- Indata anges i de grönmarkerade fälten och i rullisterna.
- För de åtgärder som ingår i ett renoveringssalternativ ska en ruta ”Inkludera” bockas i. (Lämnas rutan tom räknas inte denna åtgärd med i alternativet och det har ingen betydelse vilka data som är angivna.)

Mer detaljerade anvisningar följer nedan, enligt arkets uppdelning i följande avsnitt:

1. Grundförutsättningar
2. Resultat, ändring i miljöpåverkan under angiven beräkningsperiod jämfört med referensfallet utan renovering
3. Värmesystem
4. Klimatskal
5. Ventilation
6. Radiatorer, rör och el

1 Grundförutsättningar

I första avsnittet, *Grundförutsättningar*, anges allmänna uppgifter om byggnaden och de alternativ för renovering som undersöks.

1. *Allmänt*: Ange projektnamn, datum för analysen, ditt namn samt vilken beräkningsperiod som livscykelanalysen ska omfatta, d.v.s. hur många års framtida användning av byggnaden miljöanalysen ska avse.
2. *Miljödata för fjärrvärme*: Ange detta om fjärrvärme används i något alternativ före och/eller efter renovering. Miljöpåverkan från fjärrvärme skiljer mycket mellan olika platser. Ett grundvärde finns angivet, vilket gäller ett genomsnitt i Sverige, men det bör bytas ut mot värden specifika för aktuellt fjärrvärmenät/stad. Följ länken i verktyget till Svensk Fjärrvärmes Lokala miljövärden, <http://www.svenskfjarrvarme.se/Fjarrvarme/Miljovardering-av-fjarrvarme/Miljovarden-2013/>, och välj det fjärrvärmenät/stad där byggnaden ligger. Fyll i dessa värden i arket. För klimatpåverkan ska emission av

växthusgaser från "förbränning" och "transport och produktion av bränslen" summeras.

3. *Kort beskrivning av alternativen:* Bocka i rutorna *Aktivera* för så många alternativ som ska analyseras. Namnge dem gärna och ge ev. en kort beskrivning.
4. *Storlek på byggnad:* Ange för varje alternativ area (*Atemp*) och antal lägenheter för byggnaden.

2 Resultat, ändring i miljöpåverkan

Resultatavsnittet redovisar miljöpåverkan för de olika alternativen jämfört med referensfallet, d.v.s. att ingen renovering görs.

1. *Total ändring i miljöpåverkan:* Ändring i potentiell klimatpåverkan och primärenergianvändning totalt under den beräkningsperiod som angetts för beräkningarna i första avsnittet. Negativa tal visar på en minskad miljöpåverkan.
2. *Klimatpåverkan fördelat på delprocesser:* Ändring i potentiell klimatpåverkan fördelat på de olika livscykelstadierna produktion, transporter, användning och avfallshantering.
3. *Användning av primärenergi fördelat på delprocesser:* Ändring i primärenergianvändning fördelat på de olika livscykelstadierna.
4. *Pay-back-tid (miljö):* Miljömässig pay-back-tid, tiden det tar innan renoveringen i termer av miljöpåverkan från produktions- och avfallshanteringsfaserna "återbetalas" genom minskad miljöpåverkan i användningsfasen. Tiden beräknas utifrån renoveringstillfället och inkluderar inte eventuella återinvesteringar som kan krävas för de använda produkterna, varför en beräknad pay-back-tid större än investeringarnas praktiska livslängd inte blir helt korrekt, medan det också innebär att denna specifika åtgärd inte är en miljömässig vinst. Pay-back-tider större än beräkningsperioden betyder att renoveringsalternativet inte ger någon miljömässig besparing. Resultatet 999 betyder egentligen oändlig tid (därmed ingen miljömässig besparing), p.g.a. att miljöpåverkan under användningstiden inte minskar.
5. *Resultatdiagram:* Samma resultat som ovan presenterat i olika diagram. Observera att negativa staplar betyder minskad miljöpåverkan.

3 Värmesystem

I avsnittet *Värmesystem* anges vilka åtgärder som planeras i byggnadens värmesystem.

1. *Energi för uppvärmning:* Välj uppvärmningsform före respektive efter renovering i rullistor, oavsett om ändringar sker eller ej. Ange årligt uppvärmningsbehov efter renovering om byte av uppvärmningsform ingår.
2. *Byte av uppvärmningsform:* Bocka i rutan "Inkludera" för alternativ där byte ingår. För dessa alternativ anges efterfrågade variabler i de gröna rutorna, investeringens praktiska livslängd och transport för alla uppvärmningsformer. Dimensionerande värmeeffekt krävs då byte sker till pelletspanna eller oljepanna. Vikt krävs för alla byten utom till direktverkande el. För byte till bergvärmepump krävs också djup på borrhål.
3. *Cirkulationspump värmesystem:* Bocka i rutan "Inkludera" om byte till energieffektiv pump för värmesystemet (byte från gammal oreglerad pump till ny varvtalsreglerad / som uppfyller Energieffektiviseringsdirektivet) ingår i

alternativet. För dessa alternativ anges också praktisk livsängd, dimensionerande tryckhöjd och flöde, vikt och transport. Typ av flödesreglering för den nya pump väljs som Konstant eller Variabelt i rullist.

4 Klimatskal

I avsnittet om *Klimatskal* anges ändringar av *Isolering* (upp till två olika isoleringsmaterial kan anges, var för sig), installation av nytt (prefabricerat) *Fasadsystem* samt byte av *Fönster* och *Dörrar*. I stort sett samma typer av parametrar anges för alla varianter. Rutan ”Inkludera” bockas i för alla åtgärder som ingår i respektive alternativ. För inkluderade åtgärder fylls de gröna rutorna i och val görs i rullisterna. Observera att ändring i årligt värmebehov till följd av respektive åtgärd ska anges som ett negativt värde om det avser en minskning.

Alternativen i rullisten för val av fasadsystem står för beskrivning enligt strukturen: Systembeteckning\Putstjocklek intervall i mm\Ventilerad eller ej ventilerad\Isolermaterial\Isolertjocklek i mm. Välj det som närmast motsvarar aktuellt alternativ.

5 Ventilation

Avsnittet *Ventilation* samlar renoveringar av olika komponenter i ventilationssystemet. Bocka i rutan ”Inkludera” för de åtgärder som ingår för respektive alternativ och fyll i de gröna rutorna och välj alternativ i rullisterna.

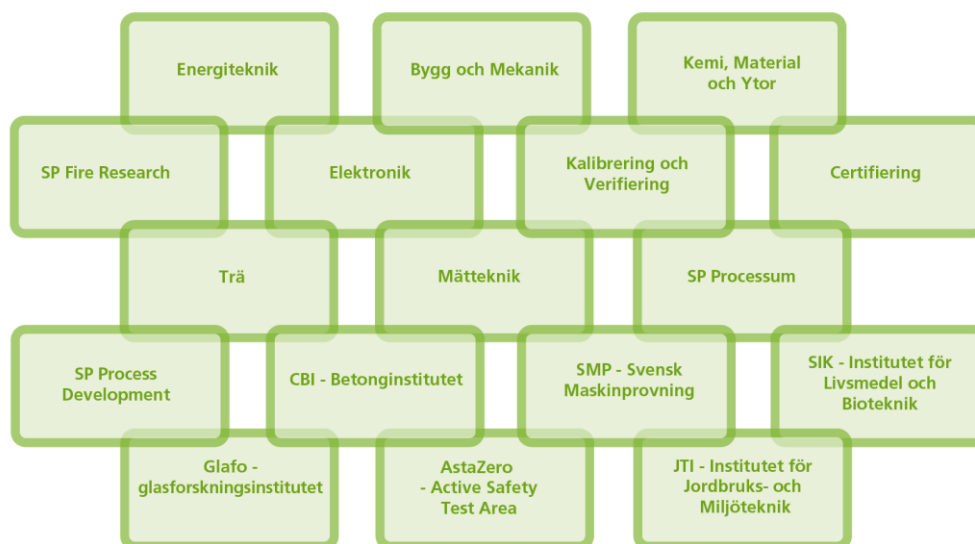
1. *Ventilationskanaler*
2. *Luftflödesaggregat*
3. *Don och dämpare*
4. *Ändring i energianvändning*: Ange här ändring i årligt värmebehov respektive elbehov till följd av renovering av ventilationssystem, sammanlagt för alla komponenter. Observera att ändringen ska anges som ett negativt värde om det avser en minskning

6 Radiatorer, rör och el

Avsnittet *Radiatorer, rör och el* samlar åtgärder som inte direkt ändrar miljöpåverkan i användningsfasen, men som ofta relaterar till sådana åtgärder och som orsakar miljöpåverkan vid produktion och avfallshantering: *Radiatorer*, *Rör* (uppdelat på olika material så att flera kan kombineras), *Relining av rör* och *Elledningar*. Bocka i rutan ”Inkludera” för de åtgärder som ingår för respektive alternativ och fyll i de gröna rutorna och välj alternativ i rullist (endast för radiatorer).

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Vi arbetar med innovation och värdeskapande teknikutveckling. Genom att vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling har vi stor betydelse för näringslivets konkurrenskraft och hållbara utveckling. Vår forskning sker i nära samarbete med universitet och högskolor och bland våra cirka 10000 kunder finns allt från nytänkande småföretag till internationella koncerner.



SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Box 857, 501 15 BORÅS

Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02

E-post: info@sp.se, Internet: www.sp.se

www.sp.se

Mer information om SP:s publikationer: www.sp.se/publ

SP Rapport 2014:71

ISBN

ISSN 0284-5172