

LVS³

Hållbarhetsbedömning av stålkonstruktioner

BAKGRUNDSDOKUMENT

Februari 2014

Alster av ett projekt som genomförts med ekonomiskt bidrag
från Research Fund for Coal and Steel of the European Community
(RFCS)



Backgrundsdokument

Trots att alla försiktighetsåtgärder har vidtagits för att säkerställa tillförlitlighet och kvalitet i denna publikation och den information den innehåller, avsäger sig projektdeltagarna och förlaget ansvaret för eventuella materiella eller kroppsliga skador som kan bli följden av användningen av denna publikation och informationen däri. Kopiering för icke-kommersiellt syfte är tillåtet förutsatt att källan anges och projektsamordnaren meddelats. Allmänhetens förfogande genom distribution av denna publikation utöver webbplatser nedan kräver förhandstillstånd av projektdeltagarna. Begäran skall ställas till projektsamordnaren: ArcelorMittal Belval & Differdange SA, Rue de Luxembourg 66, Esch-sur-Alzette, Luxemburg. Detta dokument med anknytning till spridningsprojektet (RFS2-CT-2013-00016) LVS3 - Large Valorisation on Sustainability of Steel Structures, har samfinansierats genom Research Fund for Coal and Steel of the European Community (RFCS).

Rapport 268:1 November 2014

Helena Gervásio, Paulo Santos, Luís Simões da Silva, Olivier Vassart, Anne-Laure Hettinger and Valérie Huet
February 2014

CONTENTS

1	INTRODUKTION	5
2	LIVSCYKELANALYS AV BYGGNADER	6
2.1	LIVSCYKELTÄNKANDE	6
2.2	METODER OCH VERKTYG FÖR BEDÖMNING AV BYGGNADERS HÅLLBARHET	7
2.3	NORMATIV RAM FÖR LCA	9
2.3.1	Definition av mål och omfattning	9
2.3.2	Livscykelinventeringsanalys	11
2.3.3	Miljöpåverkansbedömning	11
2.3.4	Livscykeltolkning	20
2.3.5	Exempel	20
2.4	EUROPEISKA STANDARDER FÖR LIVSCYKELANALYS AV BYGGNADER	22
2.4.1	CEN/TC350	22
2.4.2	Byggnadsnivå (EN 15978)	23
2.4.3	Produktnivå (EN 15804)	28
2.5	ANDRA STANDARDER OCH BESTÄMMELSER (HUVUDSAKLIGEN FÖR BRUKSSKEDET)	29
3	FÖRENKLADE METODER FÖR UTVÄRDERING AV BYGGNADER	30
3.1	INTRODUKTION	30
3.2	ALGORITM FÖR LIVSCYKELANALYS BASERAD PÅ MAKROKOMPONENTER	31
3.2.1	Allmänt	31
3.2.2	Tilldelning av återvinningsmaterial	34
3.2.3	Karaktärsiering av makrokomponenter	39
3.2.4	Exempel på hopsättning av makrokomponenter	40
3.3	ALGORITM FÖR ENERGIKVANTIFIERING (BRUKSSKEDE)	44
3.3.1	Introduktion	44
3.3.2	Byggnadens läge och klimat	44
3.3.3	Metod för beräkning av energibehov	48
3.3.4	Kalibrering av algoritmen	71
4	VALIDERING AV ANTAGNA METODER	79
4.1	VALIDERING AV MAKROKOMPLEMENTMETODEN	79
4.1.1	Beskrivning av fallstudien	79
4.1.2	Val av makrokomponenter	80
4.1.3	Tillämpning av makrokomponentmetoden	82
4.1.4	Jämförelse med detaljerad livscykelanalys	83
4.2	VALIDERING AV METODEN FÖR BERÄKNING AV ENERGIBEHOVEN	84
4.2.1	Klimatdata och markens termiska egenskaper	84
4.2.2	Nyttjandeschema	85
4.2.3	Installationssystem	85

4.2.4 Driftsegenskaper för fönster och solavskärmningar.....	85
4.2.5 Opakt byggnadsskal	86
4.2.6 Resultaten för byggnadens energiprestanda	86
4.2.7 Jämförelse med avancerad numerisk simulering.....	86
4.3 SLUTLIGA KOMMENTARER	88
<i>REFERENSer</i>	89
<i>Bilaga 1 – DATABASer för MAKRO-kOMPONENTer</i>	92

1 INTRODUKTION

Syftet med detta dokument är att förmedla djupgående information om utveckling och validering av livscykelmetoder med fokus på livscykelanalys av stålkonstruktioner. Det här dokumentet är skapat inom ramen för spridningsprojektet **LVS³: Large Valorisation on Sustainability of Steel Structures** (RFS2-CT-2013-00016).

Dokumentet fokuserar på två kompletterande metoder:

- (i) makro-komponentmetoden, som fokuserar på utvärderingen av en byggnads livscykel och/eller byggnadskomponenter men exkluderar kvantifieringen av energi under byggnadens bruksskede;
- (ii) ett perspektiv som fokuserar på byggnadens bruksskede och möjliggör kvantifiering av en byggnads driftsenergi.

De båda metoderna har utvecklats och validerats inom ramen för det europeiska RFCS-projektet *SB_Steel: Sustainability of Steel Buildings* (SB_Steel, 2014). De antagna metoderna implementerades i tillgängliga mjukvaruverktyg inom ramen för det nuvarande projektet LVS3. Den förra implementerades i *LCA calculator*, ett verktyg utvecklad för iPad- och iPhone-applikationer, av University of Coimbra (Portugal) tillsammans med ECCS; och i AMECO, ett verktyg utvecklat av ArcelorMittal och CTICM. Den senare metoden implementerades av CTICM i AMECO.

Det här dokumentet är uppdelat i tre huvuddelar. I den första delen (kapitel 2) ges en kort introduktion till tänkandet kring livscykler, som sedan följs av en presentation av olika metoder för hållbarhetsbedömningar av byggnader och en beskrivning av den allmänna ramen för livscykelanalys enligt internationella standarder. Sedan, i dokumentets andra del (kapitel 3) ges en detaljerad beskrivning av de antagna metoderna för bedömningen av livscykeln miljöpåverkan och för utvärderingen av en byggnads energibehov under dess brukstid. En fallstudie introduceras slutligen i dokumentets sista del (kapitel 4). Denna studie användes för valideringen av de antagna approacherna.

2 LIVSCYKELANALYS AV BYGGNADER

2.1 Livscykel tänkande

Livscykelanalys (LCA) är en objektiv process för att utvärdera miljöbelastningar associerade med en produktprocess eller aktivitet, och för att utvärdera och implementera möjligheter att möjliggöra miljöförbättringar.

Den identifierar och kvantifierar materialanvändning, energibehov, fast avfall, samt atmosfäriska och vattenburna utsläpp genom produktens livscykel (t.ex. från införskaffning av råmaterial till livscykelslut), vilket illustreras i figur 2.1.

Livscykelmetoder rekommenderas av den integrerade produktpolicyn (COM(2003)302) för bedömningen av potentiell påverkan från produkter.

Potentiella miljöpåverkningar sker genom alla stadier i en byggnads – eller annan konstruktions – livscykel. Den främsta fördelen med livscykel tänkande är att det undviker skifte av belastningen för en livscykelfas till en annan, från en geografisk plats till en annan och från ett miljömedium (till exempel luftkvalitet) till ett annat (exempelvis vatten eller land) (UNEP, 2004).

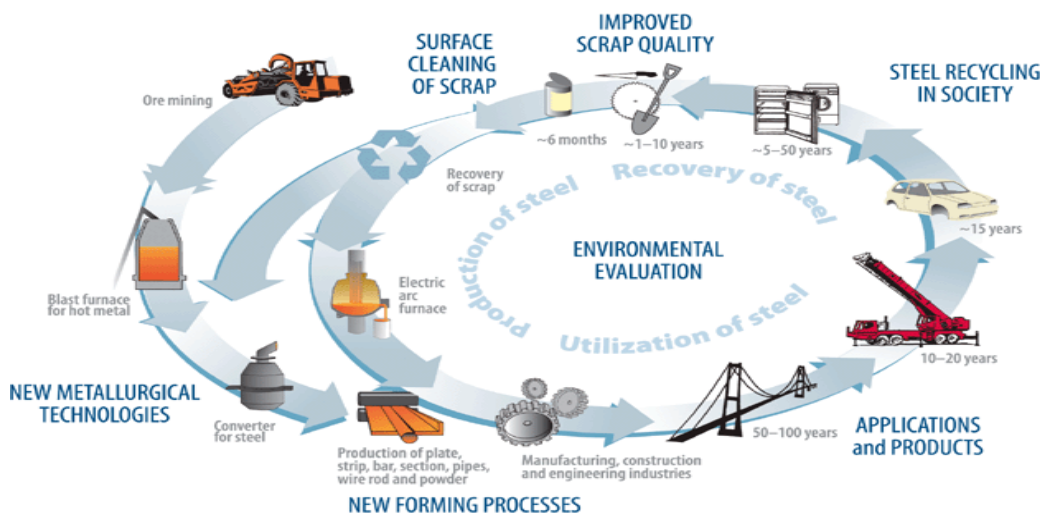


Fig. 2.1: Livscykelmetod (källa: stalkretsloppet.se)

Livscykelmetoder möjliggör också bättre val för längre sikt. Det betyder att alla i hela kedjan i en produkts livscykel, från vaggan till graven, har ett ansvar och en roll att spela, när alla relevanta miljöpåverkningar tas i beaktande. Genom att kvantifiera utsläppen till luft, vatten och mark som sker under varje livscykelfas, möjliggör livscykelmetoden identifiering av de mest kritiska processerna i ett

produkt- eller systemliv, och därmed ökar potentialen för miljöförbättring genom hela kedjan för en produkt.

Det finns dock nackdelar med den här sortens analys:

- ✓ LCA är vanligtvis tidsödande och dyr, ofta krävs expertkunskap;
- ✓ Det finns ingen allmänt accepterad metodologi för LCA;
- ✓ Vissa av de antaganden som görs i LCA kan vara subjektiva (exempelvis gränsdragningar, uppgiftskällor och valet av konsekvensanalys);
- ✓ Resultaten från LCA kan vara fokuserade på regional och nationell nivå, och är därmed inte lämpliga för lokal användning;
- ✓ Analysens noggrannhet är beroende på kvalitén och tillgängligheten av relevanta uppgifter.

De livscykelmetoder som tillämpats i detta projekt syftar till att överkomma några av nackdelarna som nämnts ovan. Detta beskrivs i nästa kapitel.

I kommande avsnitt i detta kapitel presenteras en kort sammanfattning av olika metoder och verktyg för bedömning av byggnaders hållbarhet.

2.2 Metoder och verktyg för bedömning av byggnaders hållbarhet

Byggsektorn är ansvarig för en stor del av industrisektorns miljöpåverkningar. Under de senaste åren har intresset för miljöbedömning av byggnader ökat. För närvarande finns det två sorters beräkningsverktyg för byggnadssektorn (Reijnders och Roekel, 1999):

- (i) Kvalitativa verktyg baserad på betyg och kriterier;
- (ii) Verktyg som använder en kvantitativ analys av in- och utdata baserat på livscykelmetoder.

Inom den första sortens verktyg finns det system såsom LEED (i USA), BREAM (i Storbritannien), GBTool (International Initiative for a Sustainable Built Environment (iiSBE)) etc. Dessa metoder, som också kallas klassificeringssystem, är vanligtvis baserade på revision av byggnader och genom tilldelning av poäng till redan definierade parametrar. Trots att parametrarna huvudsakligen är kvalitativa kan vissa också vara kvantitativa och även använda livscykelanalys (LCA), då främst för kvantifiering av poäng för materialanvändning. Vanligtvis används dessa system för att erhålla certifieringar för gröna byggnader och miljömärkningar. Denna typ av verktyg ligger dock utanför ramen för detta dokument och därför kommer fokus härnäst att ligga på den andra sortens verktyg, som baseras på livscykelapproacher.

LCA kan tillämpas direkt på byggnadssektorn. Men på grund av sina karakteristika finns det ytterligare problem med användningen av standardiserade livscyklar för byggnader och andra konstruktioner. De huvudsakliga orsakerna är (IEA, 2001):

- (i) Den förväntade livslängden för byggnader är lång och okänd och osäkerheterna är därför stora,
- (ii) Byggnader är platsberoende och många påverkningar är lokala,
- (iii) Byggprodukter är ofta gjorda av samverkande material vilket innebär att mer uppgifter måste samlas in och att även de tillhörande tillverkningsprocesserna bör beaktas,
- (iv) Energianvändningen under byggnadens bruksskede är mycket beroende på beteendet hos brukarna och verksamheten i byggnaden,
- (v) En byggnad är i stor utsträckning multi-funktionell vilket gör det svårt att välja en lämplig funktionsenhet,
- (vi) Byggnader är i hög grad integrerade med andra inslag i byggnadsmiljön, framförallt urban infrastruktur som vägar, rör, grönområden samt anläggningar för behandling och återvinning, och det kan vara mycket missledande att utföra en LCA på en isolerad byggnad.

I relation till livscykelanalys av byggnader och dess komponenter görs en skillnad mellan LCA-verktyg som utvecklats med syftet att utvärdera byggnadsmaterial och komponenter (exempelvis BEES (Lippiatt, 2002)) och LCA-metoder för att utvärdera byggnaden som en helhet (till exempel Athena (Trusty, 1997), Envest (Howard et al. 1999), EcoQuantum (Kortman et al, 1998)). Den senare är vanligtvis mer komplex eftersom byggnadens totala prestanda beror på interaktionerna mellan individuella komponenter och delsystem, likväl som interaktioner med användare och den naturliga miljön. Valet av ett lämpligt verktyg beror på projektets specifika miljömål.

Noggrannheten och relevansen för LCA-verktyg som hjälp i byggskedet analyserades i ett projekt utvecklat inom ramen för det europeiska tematiska nätverket PRESCO (Practical Recommendations for Sustainable Construction) (Kellenberger, 2005). I det här projektet jämfördes flera LCA-verktyg baserat på fallstudier, med det övergripande syftet att harmonisera LCA-baserade utvärderingsverktyg för byggnader. Andra komparativa analyser rörande verktyg för miljöberäkningar i byggsektorn finns hos Jönsson (2000) och Forsberg & von Malmberg (2004). Som redan omnämnt fokuserar det här dokumentet på LCA och främst på dess tillämpning på stålkonstruktioner. I de följande avsnitten introduceras den normativa ramen för LCA. Först presenteras de internationella standarderna ISO 14040 (2006) och ISO 14044 (2006) som utgör den allmänna ramen för livscykelanalys. Detta följs av de nya europeiska standarderna för hållbarhet av byggkonstruktioner. Notera att när den förra har en mer allmän

tillämpning, så fokuserar de europeiska standarderna på bedömning av byggnader och andra byggkonstruktioner.

2.3 Normativ ram för LCA

De internationella standarderna ISO 14040 (2006) och ISO 14044 (2006) specificerar den allmänna ramen, principerna och kraven för att utföra och rapportera livscykelanalyser. Enligt dessa standarder ska livscykelanalyser innehålla definitioner av mål och omfattning, inventeringsanalys, konsekvensanalys och tolkning av resultaten. Figur 2.2. visar att analysens olika faser är beroende av varandra och ibland är en iterativ process nödvändig för att uppfylla syfte och mål med studien. Analysens olika faser presenteras i mer detalj i följande avsnitt.

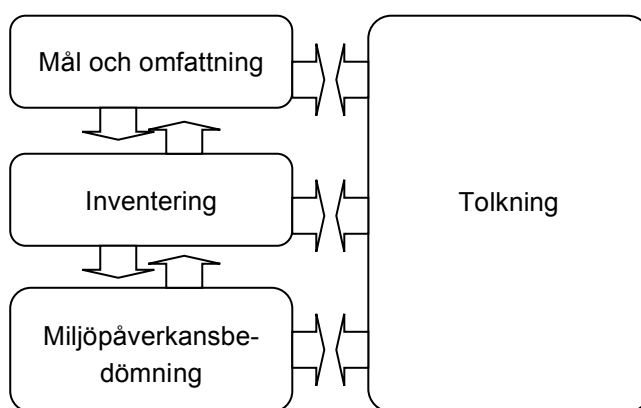


Fig. 2.2: Allmän ram LCA (ISO 14044:2006)

2.3.1 Definition av mål och omfattning

Målet med en LCA-studie bör tydligt ange avsedd tillämpning, anledningar för att utföra studien och avsedd målgrupp, det vill säga till vilka resultaten är riktade och avsedda att spridas till. Inom ramen för en LCA-studie är huvudfrågorna, som ska övervägas och beskrivas tydligt, den funktionella enheten och systemgränserna.

2.3.1.1 Funktion och funktionell enhet

I omfattningen av en LCA-studie bör funktionerna av systemet som undersöks klart framgå. En funktionell enhet är ett mått på produktsystemets funktionella prestation.

Det primära syftet med en funktionell enhet är att skapa en referens för vilken in- och utflöde är relaterade. Den här referensen är nödvändig för att säkra möjligheten till jämförelse mellan olika LCA-resultat. Jämförelse av resultat är

särskilt kritiskt när olika system bedöms för att säkerställa att sådana jämförelser görs på en gemensam grund.

2.3.1.2 Systemgränser

Systemgränserna bestämmer vilken enhetsprocess som ska inkluderas i LCA. För ett generiskt material täcker en LCA alla faser från råmaterialstillverkning till livscykelsslut, vilket illustreras i figur 2.3.

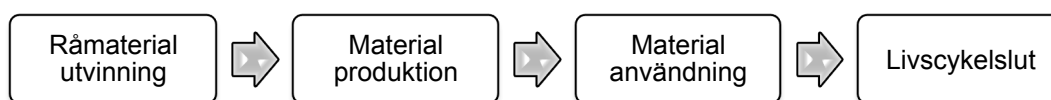


Fig. 2.3: Processer som beaktas i en LCA för ett generiskt material

När en LCA endast täcker de första faserna i materialtillverkningen kallas LCA för en vagga-till-grind-analys. Om en hel cykel används (från råmaterialstillverkning till livscykelsslut) kallas analysen för en vagga-till-grav-analys. När återvinningsprocesser övervägs i slutet av livscykeln och sekundära material undviker tillverkningen av nya material kallas analysen ofta för en vagga-till-vagga-analys.

Flera faktorer avgör systemgränserna, såsom den avsedda tillämpningen av studien, de antaganden som gjorts, uteslutningskriterier, uppgifts- och kostnadsbegränsningar, samt de avsedda mottagarna.

Valet av in- och utflöde, nivån av aggregering inom varje uppgiftskategori, och systemmodellen bör göras så att insats och prestation vid sina gränser är elementära flöden.

2.3.1.3 Kvalitetskrav för data

För att uppfylla målen och analysens omfattning anges följande krav i ISO 14044:

- tidsomfattning: uppgifternas ålder och minimumlängd för den tid som uppgifterna samlas in;
- geografisk omfattning: geografiskt område där uppgifter för enhetsprocesserna ska samlas;
- teknologisk omfattning: specifik teknik eller teknikblandning;
- noggrannhet: mått för variabiliteten av datavärden för varje uttryckt datakategori (exempelvis varians);
- fullständighet: procentandel av flödet som mäts eller uppskattas;

- representativitet: kvalitativ bedömning av i vilken grad uppgifter och data reflekterar sanningen;
- konsistens: kvalitativ bedömning av huruvida studiens metod tillämpas enhetligt för varje enskilt fall;
- reproducerbarhet: kvalitativ bedömning av i vilken grad information kring metod och datavärden tillåter en oberoende part att reproducera resultaten i studien.
- osäkerhet kring informationen (till exempel data, modeller och antaganden).

2.3.2 Livscykelinventeringsanalys

Inventeringsanalys innebär datainsamling och beräkningsprocesser för att kvantifiera relevanta in- och utflöden hos ett produktsystem. Dessa in- och utflöden kan inkludera användandet av resurser och utsläpp i luft, vatten och land som är associerade med systemet.

Den kvalitativa och kvantitativa datan ska samlas in för varje enhetsprocess för att ingå i inventeringen. Datainsamling kan vara en resurskrävande process. Praktiska begränsningar för datainsamling ska beaktas i tillämpningsområdet och dokumenteras i studiens rapport.

2.3.3 Miljöpåverkansbedömning

2.3.3.1 Allmän beräkningsmetod

Miljöpåverkansbedömningen i en LCA syftar till att utvärdera betydelsen av potentiella miljöpåverkningar genom att använda resultaten från inventeringsanalysen. Normalt sammankopplar analysen inventeringsuppgifter med specifika miljöpåverkningar och är uppdelad i två grupper:

- (i) Obligatoriska delar, så som klassificering och karaktärisering;
- (ii) Valfria delar, så som normalisering, gradering, gruppering och viktning.

Klassificeringen bygger på ett tidigare urval av lämpliga miljöpåverkanskategorier enligt studiens mål och tillämpningen av LCI-resultaten för dessa utvalda kategorier av miljöpåverkningar. Karaktäriseringsfaktorer används sedan för att representera det relativa bidraget från ett LCI-resultat till indikatorerna för miljöpåverkningar. Enligt denna metod är miljöpåverkningar linjära funktioner, dvs. karaktäriseringsfaktorer är oberoende av magnituden på miljöpåverkan, som visas i ekvation 2.1:

$$impact_{cat} = \sum_i m_i \times charact_factor_{cat,i}$$

Ekv. (2.1)

Där m_i och $charact_factor_{cat,i}$ är vikten respektive karaktäriseringsfaktorn för inventeringsflödet i för miljöpåverkanskategorin.

I relation till de valfria stegen i LCA brukar normalisering vara nödvändig för att visa i vilken utsträckning en viss miljöpåverkan bidrar till den övergripande miljöpåverkan. Vid viktning tillskrivs de normaliserade indikatorerna för varje miljöpåverkanskategori numeriska faktorer enligt deras relativa betydelse. Viktning baseras på värderingar snarare än naturvetenskap, och därför särskiljer ISO standard 14044 mellan interna och externa tillämpningar, och om resultaten är avsedda att jämföras och presenteras för allmänheten bör viktning därör inte användas.

Gruppering är ett annat valfritt steg i livscykelanalysen där miljöpåverkanskategorier grupperas i en eller flera uppsättningar. I det här fallet kan, enligt ISO 14044, två möjliga procedurer användas: sortering av kategoriindikatorer på en nominell basis, och ranking av kategoriindikatorer på en ordinal skala.

Det här dokumentet fokuserar på de obligatoriska stegen för LCA; därför nämns inte de ovanstående valfria delarna mer i denna text.

2.3.3.2 Beräkning av potentiella miljöpåverkningar

Syftet med LCA är att bedöma potentiella miljöpåverkningar associerade med identifierade in- och utflöden. I följande stycken ges en kortfattad introduktion till de vanligaste miljöpåverkanskategorierna i LCA, tillsammans med den beräkningsmetod som valdes för den förenklade metoden som beskrivs i detta kapitel.

2.3.3.2.1 Klimatpåverkan, global uppvärmningspotential (GWP)

“Växthuseffekten”, som visas i figur 2.4, orsakas av de infraröda (IR) aktiva gaserna, som finns naturligt i jordens atmosfär (exempelvis, H_2O , CO_2 och O_3) och som absorberar markbunden (infraröd) energi (eller strålning) som lämnar Jorden och reflekterar en del av denna värme tillbaka till Jorden, vilket bidrar till att ytan och den lägre atmosfären värms upp.

Koncentrationen av dessa gaser, som också kallas växthusgaser, har ökat sedan den industriella revolutionen och förstärker Jordens naturliga växthuseffekt, vilket

orsakar en temperaturökning på Jordens yta och skapar oro över eventuellt resulterande klimatförändringar.

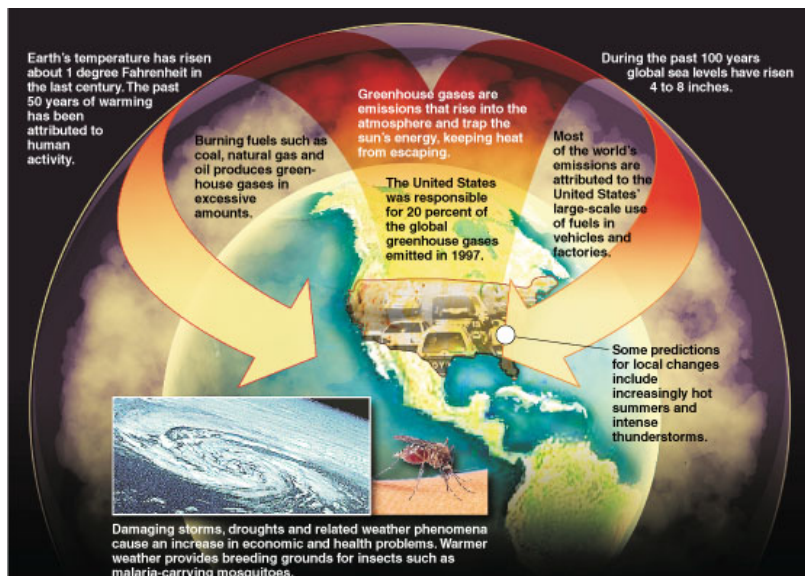


Fig. 2.4: Global uppvärmning (EPS, 2009)

Alla växthusgaser är inte likartade. Medan CO₂ är den vanligaste växthusgasen så finns det andra gaser som bidrar till klimatförändringar på samma sätt som CO₂. Effekten från olika växthusgaser definieras med hjälp av en global uppvärmningspotential (GWP).

GWP är ett relativt mått på mängden CO₂ som skulle behöva släppas ut i atmosfären för att få samma stråldrivningseffekt som ett utsläpp på 1 kg av växthusgaser under en viss tidsperiod. GWP är därmed ett sätt att kvantifiera den potentiella påverkningen på den globala uppvärmningen av en viss gas.

Globala uppvärmningspotentialer har beräknats av Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007) för de tre tidshorisonterna 20, 100 och 500 år och visas i tabell 2.1, där de tre viktigaste växthusgaserna och de tre tidshorisonterna anges.

Tabell 2.1 – GWPs för angivna tidshorisonter (i kg CO₂ ekv./kg) (IPCC, 2007)

	20 år	100 år	500 år
Koldioxid (CO ₂)	1	1	1
Metan (CH ₄)	62	25	7
Dikväveoxid (N ₂ O)	275	298	156

Indikatorn för global uppvärmning ges av ekvation (2.2),

$$Global\ Warming = \sum_i GWP_i \times m_i$$

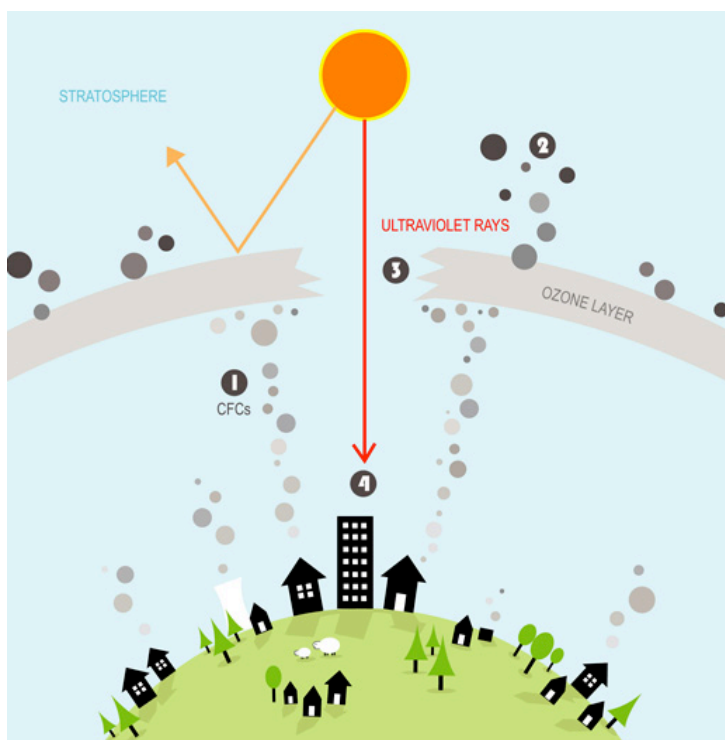
Ekv. (2.2)

där, m_i är vikten av substans i som släpps ut (i kg). Denna indikator uttrycks i *kg koldioxidekvivalent*.

I den antagna metoden övervägs endast 100 års tidshorisont.

2.3.3.2 Ozonnedbrytning, ozonnedbrytande potential (ODP)

Ozonnedbrytande gaser skadar det stratosfäriska ozonet eller "ozonlagret" genom att frigöra fria radikalmolekyler som bryter ner ozon(O_3).



Skador på ozonlagret reducerar dess kapacitet att förhindra att ultraviolett (UV) ljus kommer in i jordens atmosfär, och därmed ökar mängden av cancerframkallande UVB-ljus på jordens yta.

Detta resulterar i sin tur i hälsoproblem för människor såsom hudcancer och grå starr samt solrelaterade skador på odlingar och djur.

De främsta ozonnedbrytande gaserna är CFC, HCFC och halogener.

Fig. 2.5: Ozonnedbrytning (Blendspace, 2013)

Växande oro under 1980-talet ledde till världsomfattande försök att bromsa förstörelsen av ozonlagret, vilket kulminerade i Montrealprotokollet som förbjöd många av de mest ozonnedbrytande gaserna.

Ozonnedbrytande potential uttrycks som den globala förlusten av ozon orsakad av en substans jämförd med den globala förlusten av ozon på grund av referenssubstansen fluortriklormetan, CFC-11. Detta ger potentialen en referensenhets motsvarande ett kilogram fluortriklormetan (CFC-11) ekvivalent. Denna karaktäriseringsmodell har utvecklats av meteorologiska världsorganisationen och definierar den ozonnedbrytande potentialen hos olika gaser. Ozonnedbrytande potentialer vid steady state ges i tabell 2.2 för utvalda substanser (Heijungs et al, 1999).

Tabell 2.2 – Ozonnedbrytande potentialer för några substanser (i kg CFC-11 ekv./kg) (Heijungs et al., 1999)

	Steady-state (t ≈ z)
CFC-11	1
CFC-10	1.2

Halon 1211	6.0
Halon 1301	12.0

Den ozonnedbrytande potentialen ges av:

$$\text{Ozone Depletion} = \sum_i \text{ODP}_i \times m_i$$

Ekv. (2.3)

där, m_i är vikten av substans i som släpps ut (i kg). Denna indikator uttrycks i *kg CFC-11 ekvivalent*.

2.3.3.2.3 Försurning, försurningspotential (AP)

Försurning är en process där luftföroreningar (huvudsakligen ammoniak (NH_3), svaveldioxid (SO_2) och kvävedioxid (NO_x) omvandlas till sura ämnen, vilket illustreras i figur 2.6. Försurande substanser utsläppta i atmosfären transporteras med vind och deponeras som sura partiklar eller som surt regn eller snö. När detta regn faller, ofta på ett betydande avstånd från den ursprungliga källan till gasen, uppstår skador av varierande grad på ekosystemet, beroende på beskaffenheten hos landskapets ekosystem.

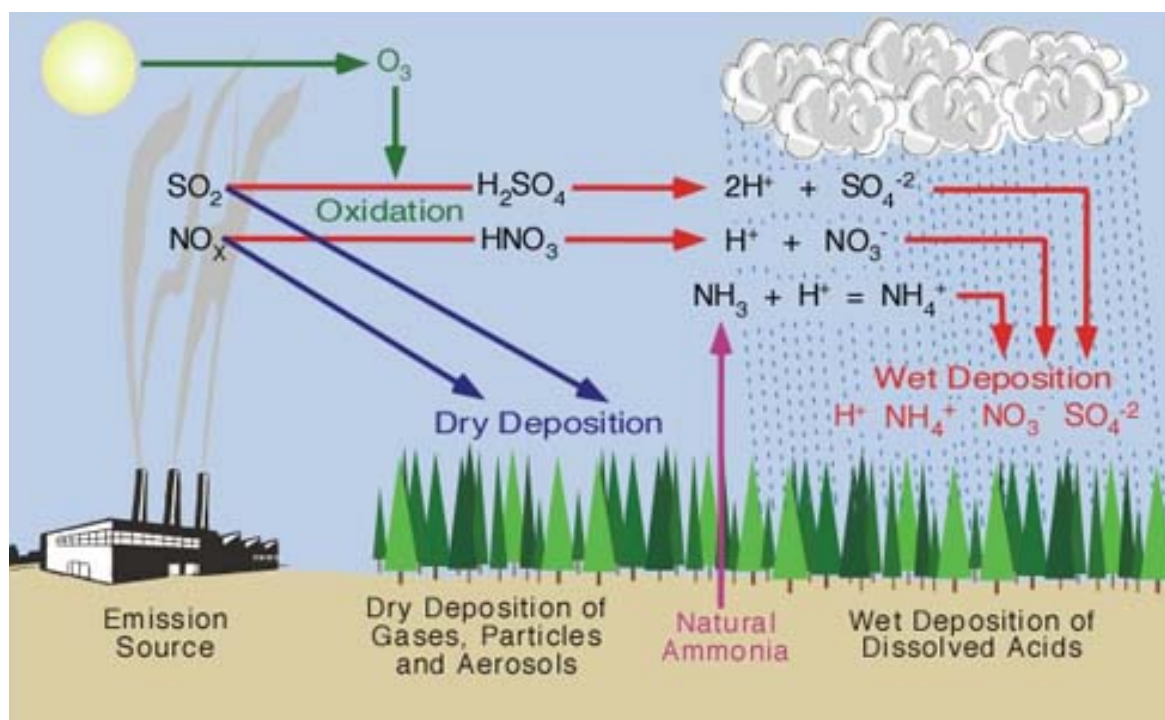


Fig. 2.6: Försurning (Källa: The energy library, 2013)

Försurningspotentialen är ett mått på en substans förmåga att frigöra H^+ joner, som är orsaken till försurningen. Den kan mätas relativt mot en likvärdig frigörelse

av svaveldioxid SO₂. De karaktäriseringsfaktorer som används i det här arbetet baseras på RAINS-LCA-modellen (Huijbregts, 2001). De genomsnittliga europeiska karaktäriseringsfaktorerna ges i tabell 2.3.

Tabell 2.4 – Försurningspotential (i kg SO₂ ekv.) (Huijbregts, 2001)

	Ammoniak (NH ₃)	Kväveoxid (NO _x)	Svaveldioxid (SO ₂)
AP _i	1.60	0.50	1.20

Indikatorn för försurning ges av,

$$Acidification = \sum_i AP_i \times m_i$$

Ekv. (2.4)

där m_i är vikten av substans i som släpps ut (i kg). Denna indikator ges i kg SO₂ ekvivalent.

2.3.3.2.4 Övergödningspotential (EP)

Näringsämnen, så som nitrater och fosfater, tillsätts vanligtvis i jorden genom gödsling för att stimulera tillväxt av växter och jordbruksprodukter. Dessa näringsämnen är essentiella för liv, men när de hamnar i känsliga naturliga vattendrag eller landområden kan denna oavsiktliga gödsling resultera i en överproduktion av växter eller alger, som, i sin tur, kan kväva andra organismer när de dör och börjar brytas ner.

Övergödning kan därför, som illustreras i figur 2.7, klassificeras som en överberikning av vattendrag. Dess förekomst kan skada ekosystem genom ökad dödlighet hos djur- och växtliv i vattenmiljöer och en förlust av arter som är beroende av miljöer med låga nivåer av näringsämnen. Detta leder till en total minskning av den biologiska mångfalden i dessa miljöer och ger även bieffekter på landlevande djur och människor som är beroende av dessa ekosystem.

Övergödning är ett mått på i vilken utsträckning ett ämne orsakar en förökning av alger i vattnet, med kväve eller fosfat som referenssubstans. Den anges i kg kväve eller som en fosfatekvivalent. De ämnen som till stor del bidrar till övergödning är kväveföreningar såsom nitrat, ammoniak och salpetersyra samt fosfatföreningar såsom fosfater och fosforsyra.

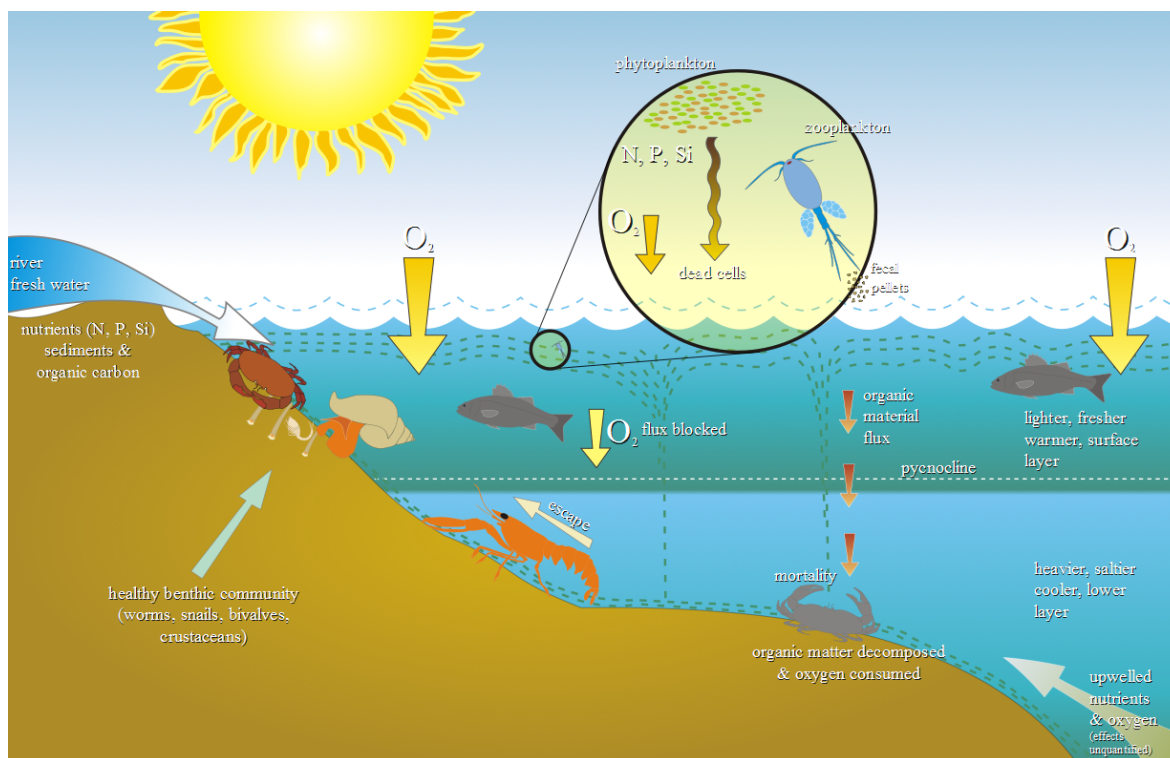


Fig. 2.7: Övergödningspotential (Källa: Wikipedia, 2013a)

Karaktäriseringsfaktorer med fosfat som referenssubstans ges i tabell 2.4 för några utvalda substanser (Heijungs et al., 1999).

Tabell 2.4 – Övergödningspotentialer (i kgPO_4^{3-} ekv.) (Heijungs et al., 1999)

	Ammoniak (NH_3)	Kväveoxid (NO_x)	Nitrat (N)	Fosfat (P)
EPI	0.35	0.13	0.10	1.00

Indikatorn för övergödning ges av:

$$Eutrofication = \sum_i EP_i \times m_i$$

Ekv. (2.3)

där m_i (kg) är vikten av substans i som släpps ut i vatten, luft eller jord. Denna indikator uttrycks i kg PO_4^{3-} ekvivalent.

2.3.3.2.5 Potential att fotokemiskt bilda marknära ozon (POCP)

Där luft innehåller kväveoxider (NO_x), en vanlig förorening, och lättflyktiga organiska föreningar (VOC:er) kan ozon och andra luftföroreningar bildas med hjälp av solljus. Trots att ozon är viktig i stratosfären som skydd mot ultraljusstrålning (UV), har marknära ozon olika negativa påverkningar i form av skördeskador och ökad förekomst av astma och andra luftvägssjukdomar.

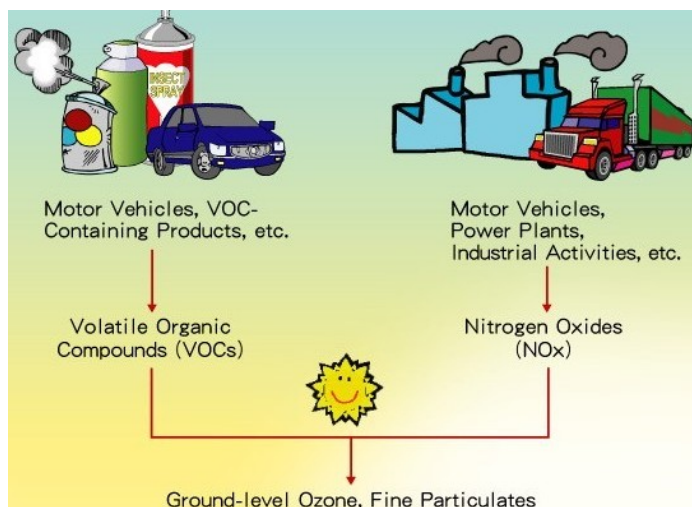


Fig. 2.8: Potential att fotokemiskt bilda marknära ozon (EPD, 2013)

Potentialen att fotokemiskt bilda marknära ozon är ett mått på den relativa förmågan hos en substans att bilda ozon i närvaro av NO_x och solljus. POCP uttrycks med hjälp av referenssubstansen eten. Karaktäriseringsfaktorer för POCP har utvecklats med hjälp av FN:s ekonomiska kommission för Europa (UNECE) prognosmodeller.

POCP:er har beräknats för två scenarier (Heijungs et al., 1999):

- (i) ett scenario med en relativt hög bakgrundskoncentration av NO_x ;
- (ii) ett scenario med en relativt låg bakgrundskoncentration av NO_x .

Dessa två karaktäriseringsfaktorer anges i tabell 2.5 för några utvalda substanser.

Tabell 2.1 – POCP:er för olika koncentrationer av NO_x och för olika substanser (i $\text{kg C}_2\text{H}_4$ ekv./kg) (Heijungs et al., 1999)

	Hög- NO_x POCP:er	Låg- NO_x POCP:er
Acetaldehyd (CH_3CHO)	0.641	0.200
Butan (C_4H_{10})	0.352	0.500
Kolmonoxid (CO)	0.027	0.040
Etyl (C_2H_2)	0.085	0.400
Metan (CH_4)	0.006	0.007
Kväveoxid (NO_x)	0.028	no data
Propen (C_3H_6)	1.123	0.600
Svaveloxid (SO_x)	0.048	no data
Toluen ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$)	0.637	0.500

Indikatorn för fotokemisk bildning av marknära ozon ges av:

$$\text{Photo-oxidant formation} = \sum_i \text{POCP}_i \times m_i$$

Ekv. (2.6)

där, m_i är vikten av substans i som släpps ut (i kg). Denna indikator ges i *kg eten (C_2H_4) ekvivalent*.

I den antagna metoden beaktas endast karaktäriseringsfaktorerna för scenariot med en hög bakgrundskoncentration av NO_x .

2.3.3.2.6 Potential för utarmning av abiotiska tillgångar

Indikatorer för abiotisk utarmning syftar till att fånga den minskade tillgängligheten av icke förnybara resurser som ett resultat av deras utvinning och underliggande brist. Två sorters indikatorer beaktas här:

- Abiotisk utarmning av grundämnen, som riktar sig mot utvinningen av knappa grundämnen (och deras malmer);
- Abiotisk utarmning av energi/fossila bränslen, som riktar sig mot användandet av fossila bränslen som bränsle eller råmaterial.



Fig. 2.9: Potential för utarmning av abiotiska tillgångar (Källa: Wikipedia, 2013b)

Potentialen för utarmning av abiotiska tillgångar för grundämnen ($ADP_{elements}$) bestäms för varje utvinning av grundämne baserat på de återstående reserverna och utvinningstakten. ADP baseras på ekvationen Tillverkning/Totala Reserver som jämförs med referensfallet Antimon (Sb) (Guinée et al., 2002). Olika mått använder antingen ekonomiska eller totala reserver i jordskorpan.

Det innebär att potentialen för abiotisk utarmning (ämnen) av resurs i (ADP_i) ges av förhållandet mellan den mängd resurs som utvunnits och de återvinnbara

reserverna av denna resurs, uttryckt i kg av referensresursen, Antimon. Karaktäriseringsfaktorerna för några utvalda resurser ges i tabell 2.6.

Tabell 2.6 – Potential för abiotisk utarmning av tillgångar för några ämnen (i Sb ekv./kg) (Guinée et al., 2002)

Resurs	ADP element
Aluminium	1.09E-09
Kadmium	1.57E-01
Koppar	1.37E-03
Järn	5.24E-08
Bly	6.34E-03

Indikatorn för abiotisk utarmning av tillgångar (ämnen) ges av

$$Abiotic\ Depletion = \sum_i ADP_i \times m_i$$

Ekv. (2.7)

där m_i är vikten av resurs i som utvinns (i kg). Denna indikator uttrycks i *kg antimon* (referensresurs).

Fossila bränslen mättes ursprungligen på samma sätt, men sedan 2010 har de beräknats på ett lite annat sätt. I det här fallet har ett absolut mått övervägts, baserat på energiinnehållet i det fossila bränslet (Guinée et al., 2002). Detta tar inte med den relativa bristen av olika fossila bränslen i beräkningen, eftersom fossila bränslen till stor del är överförbara resurser; i verkligheten skiljer det endast 17 % mellan kol (störst mängd) och gas (minst mängd). Indikatorn för abiotisk utarmning av fossila bränslen uttrycks i MJ.

2.3.4 Livscykeltolkning

Tolkning är det sista steget i en LCA, då resultaten från inventeringsanalysen och miljöpåverkansanalysen kombineras. Det huvudsakliga syftet i denna fas är att formulera slutsatser som kan dras från LCAs resultat. Vidare bör resultaten från tidigare stadier i LCA och de val som gjorts under hela processen analyseras. Antaganden, modeller, parametrar och data som använts i LCA bör överensstämma med studiens mål och omfattning.

2.3.5 Exempel

För att illustrera de olika stegen i av en LCA som beskrivits i tidigare stycken följer här ett litet exempel.

Antag att för tillverkningen av 1kg av ett generiskt isoleringsmaterial noterades följande utsläpp under inventeringsstadiet (se tabell 2.7):

Tabell 2.7 – Noterade utsläpp från tillverkningen av 1 kg isoleringsmaterial

Utsläpp	Värde (i kg)
kolmonoxid (CO)	0.12
koldioxid (CO ₂)	0.60
ammoniak (NH ₃)	0.01
metan (CH ₄)	0.05
kväveoxider (NO _x)	1.02
fosfor (P)	0.35
svaveldioxid (SO ₂)	0.10

I följande steg, miljöpåverkansanalysen, väljs exempelvis följande miljökategorier:

- (i) global uppvärmningspotential (GWP),
- (ii) försurningspotential (AP),
- (iii) övergödningspotential (EP).

I tabell 2.8 visas karaktäriseringsfaktorerna av varje utsläpp för respektive miljökategori.

Tabell 2.8 – Karaktäriseringsfaktorer för utvalda miljökategorier

	GWP	AP	EP
	(kg CO₂ ekv.)	(kg SO₂ kv.)	(kg PO₄- ekv.)
kolmonoxid (CO)	1.53	-	-
koldioxid (CO ₂)	1.00	-	-
ammoniak (NH ₃)	-	1.60	0.35
metan (CH ₄)	25.00	-	-
kväveoxider (NO _x)	-	0.50	0.13
fosfor (P)	-	-	3.06
svaveldioxid (SO ₂)	-	1.20	-

Därmed erhålls resultaten för varje miljökategori som produkterna av varje utsläpp gånger deras respektive karaktäriseringsfaktor (till exempel för GWP: $0.12 \times 1.53 + 0.60 \times 1.00 + 0.05 \times 23 = 1.93$ kg CO₂ eq.) vilket leder till de resultat som visas i tabell 2.9.

Tabell 2.9 – Slutliga resultat för de utvalda miljöindikatorerna

GWP (kg CO₂ eq.)	AP (kg SO₂ eq.)	EP (kg PO₄- eq.)
1.93	0.65	1.21

2.4 Europeiska standarder för livscykelanalys av byggnader

2.4.1 CEN/TC350

Den europeiska standardiseringskommittén (CEN) fick år 2004 i uppdrag att utveckla övergripande standardiserade metoder att bedöma integrerade miljöprestanda av byggnader.

CEN/TC350 utvidgade denna uppgift till hållbarhet och valde livscykelmetoden som underlag för deras bedömning. TC350 utvecklar därför standarder, tekniska rapporter och tekniska specifikationer för att tillhandahålla metodologier och indikatorer för hållbarhetsbedömning av byggnader.

Den normativa ramen för hållbarhetsbedömningar av byggnader, tillhandahållen av en serie standarder från CEN/TC350, omfattar miljömässiga, ekonomiska och sociala aspekter (EN 15643-1, 2010), som illustreras i figur 2.10.

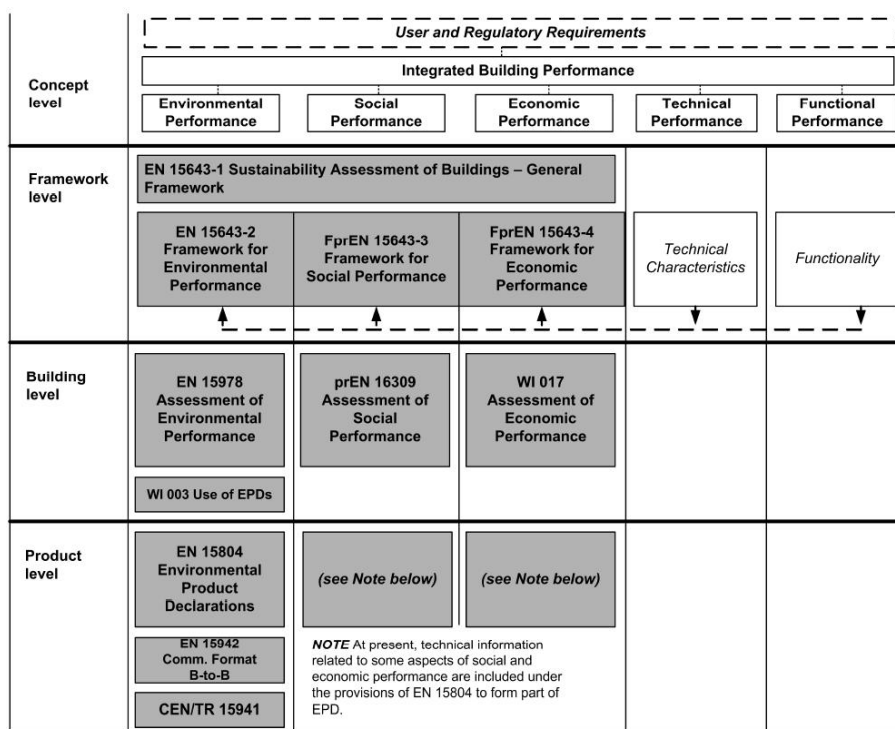


Fig. 2.10: Arbetsprogram för CEN/TC350 (EN 15643-1, 2010)

Som figur 2.10 visar arbetar den tekniska kommittén på fyra nivåer (koncept / regelverk / byggnad / produkt) och för fem olika sorters prestanda (miljö / social / ekonomisk / teknisk / funktion). Den miljömässiga bedömningen är den mest avancerade aspekten, med standarder utvecklade på byggnads- och produktnivå.

Den livscykelmetod för miljöbedömning som används i det här projektet följer de två standarder som behandlar värdering av byggnaders miljöprestanda: EN 15978 (2011) och EN 15804 (2012) för byggnads- respektive materialnivå.

2.4.2 Byggnadsnivå (EN 15978)

En 15978 (2011) ger regler för beräkningen av miljöprestandan för nya och existerande byggnader baserat på livscykelmetoden. Syftet är att stödja den beslutsfattande processen och dokumentationen av värderingen av en byggnads miljöprestanda.

För en fullständig överblick av metoden hänvisas till standarden. Detta avsnitt fokuserar på följande viktiga aspekter: funktionell ekvivalens, livscykelstadier och miljöindikatorer.

2.4.2.1 Funktionell ekvivalens

Funktionell ekvivalens definieras av standarden som de "kvantifierade funktionella kraven och/eller tekniska kraven för en byggnad eller ett monterat system (del av en konstruktion) för användning som grund vid jämförelse". Alltså godtas en jämförelse mellan byggnader eller system endast om de uppfyller samma funktioner. Åtminstone följande aspekter ska ingå i den funktionella ekvivalensen av en byggnad:

- (i) byggnadstyp (till exempel bostadshus, kontorshus etc);
- (ii) användningsmönster;
- (iii) relevanta tekniska och funktionella krav; och
- (iv) förväntad brukstid

2.4.2.2 Livscykelstadier

Systemgränserna fastställer omfattningen av livscykelanalysen – bestämmer vilka processer som tas med i beräkningen under analysen. Som det anges i standarden inkluderar miljöbedömningen "alla tidigare och senare processer som behövs för att fastställa och upprätthålla byggnadens funktion(er)".

Självklart krävs information om produkterna integrerade i byggnaden för att bedöma miljöprestandan på byggnadsnivå. Denna information ska vara konsekvent och följa kategorireglerna som definieras i EN 15804 (se nästa avsnitt).

I denna standard representeras byggnadens livscykel av ett modulkoncept som illustreras i figur 2.11.

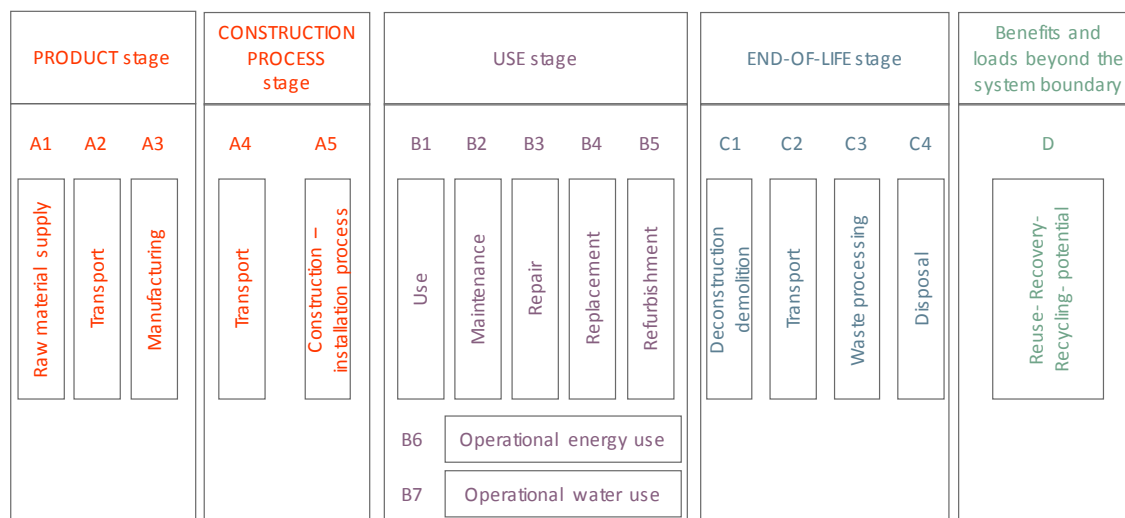


Fig. 2.3. Modulerna i en byggnads livscykel (EN 15978, 2011)

Tillverkningskedet inkluderar modulerna A1 till A3, byggskedet inkluderar moduler A4 och A5, bruksskedet B1 till B7, livscykelsslutet C1 till C4. Modul D inkluderar fördelar och belastningar utanför systemgränserna. I följande avsnitt ges en kort beskrivning av varje fas och motsvarande moduler.

2.4.2.2.1 Tillverkningskede

Tillverkningskedet inkluderar informationsmodulerna A1 till A4. Systemgränserna mot naturen är satta att inkludera de processer som tillhandahåller material och energi till systemet, och de följande tillverknings- och transportprocesserna fram till fabriksgrinden samt bearbetning av eventuellt avfall som skapas av dessa processer. Tillverkningskedet inkluderar:

- ✓ A1 – Utvinning och bearbetning av råmaterial; återanvändning av produkter och material från ett tidigare produktsystem; bearbetning av sekundära material som utgör inflödet under tillverkningen av produkten;
- ✓ A2 – Transport till fabriksgrinden och intern transport;
- ✓ A3 – Tillverkning av hjälpmaterial, tillverkning av produkter och biprodukter; samt tillverkning av emballage.

2.4.2.2.2 Byggskede

Byggskedet innehåller informationsmodulerna för

- ✓ A4 – Transport från tillverkningsgrind till byggsplats;
- ✓ A5 – Installation av produkten i byggnaden inklusive tillverkning och transport av hjälpmaterial och eventuell energi eller vatten som behövs för

installation eller drift på byggplatsen. Där ingår även behandling och bearbetning av produktens på plats.

2.4.2.2.3 *Bruksskede*

Bruksskedet inkluderar två typer av informationsmoduler. Modular relaterade till byggnadens struktur (moduler B1-B5) och modular relaterade till byggnadens drift (moduler B6-B7):

B1 – Användning av den installerade produkten i form av eventuella utsläpp i miljön, som uppkommer från byggnadskomponenter och bärverk vid normal (dvs. förväntad) användning;

B2 - Underhåll täcker kombinationen av alla planerade tekniska och tillhörande administrativa åtgärder under byggnadens livstid för att hålla byggnadens installerade produkter i ett sådant skick att de kan uppfylla deras funktionella och tekniska krav, men också för att bibehålla produkternas estetiska kvalitéer;

B3 – Reparationer täcker kombinationen av alla tekniska och tillhörande administrativa åtgärder under byggnadens livstid som är associerade till korrektiva eller reaktiva behandlingar av en byggprodukt eller dess installerade delar för att återfå denna till ett acceptabelt skick där dessa funktionella och tekniska krav uppfylls;

B4 – Utbyte täcker kombinationen av alla tekniska och tillhörande administrativa åtgärder under byggnadens livstid som är associerade till utbyte av ett helt byggelement för en byggprodukt ska återigen kunna uppfylla sina funktionella eller tekniska krav;

B5 - Renovering täcker kombinationen av alla tekniska och tillhörande administrativa åtgärder under en produkts livstid som är associerade till återförandet av en byggnad till ett skick där de förväntade kraven kan uppfyllas;

B6 – Energianvändning för driften av en byggnads integrerade tekniska system, tillsammans med dess associerade miljöaspekter och påverkningar inklusive bearbetning och transport av eventuellt avfall som uppkommer på plats på grund av energianvändningen;

B7 – Vattenanvändning för driften av en byggnads integrerade tekniska system, tillsammans med dess associerade miljöaspekter och påverkningar med hänsyn tagen till vattnets livscykel inklusive transport och rening av avloppsvatten.

2.4.2.2.4 *Livscykelsslut*

Livscykelsslutet för en byggnad inkluderar alla utflöden som har nått "end-of-waste" status, som ett resultat av nedmontering, demontering eller rivning av byggnaden.

Livscykelsslutet inkluderar följande valfria informationsmoduler:

C1 – Demontering, inklusive nedmontering eller rivning, av produkten från byggnaden, inklusive källsortering av material på plats;

C2 – Transport av den kasserade produkten som en del av avfallshanteringen, exempelvis till en återvinningsstation, och transport av avfall, exempelvis till en deponi;

C3 – Avfallshantering, exempelvis insamling av avfallsdelar från demontering och avfallshantering av materialflöden avsedda för återanvändning, återvinning och energiåtervinning.

C4 – Avfallsdeponering inklusive fysiska förbehandlings- och drift för deponin.

2.4.2.2.5 Fördelar och belastningar utanför systemgränserna

Informationsmodul D inkluderar alla nettofördelar och belastningar från återanvändningsbara produkter, återvunnet material och/eller användbara energikällor som lämnar ett produktsystem i form av exempelvis sekundära material eller bränslen.

2.4.2.3 Miljöpåverkansbedömning

Två miljö kategorier undersöks i miljöpåverkansbedömningen enligt EN 15978: miljöindikatorer som beskriver miljöpåverkningar och miljöindikatorer som beskriver in- och utflöden. Båda typerna av indikatorer beskrivs i följande avsnitt.

2.4.2.3.1 Indikatorer som beskriver miljöpåverkningar

Sex indikatorer finns tillgängliga för beskrivningen av påverkningar på den naturliga miljön, och de visas i tabell 2.10.

Tabell 2.2 – Indikatorer som beskriver miljöpåverkan (EN15978)

Indikator	Enhet
Global uppvärmningspotential, GWP	kg CO ₂ ekv.
Ozonnedbrytande potential, ODP;	kg CFC 11 ekv.
Försurningspotential för land och vatten; AP;	kg SO ₂ ⁻ ekv.
Övergödningspotential, EP;	kg (PO ₄) ³⁻ ekv.
Potential för fotokemiskt bildning av marknära ozon, POCP;	kg Eten ekv.
Potential för utarmning av abiotiska tillgångar för ämnen; ADP_elements	kg Sb ekv.

Potential för utarmning av abiotiska tillgångar för fossila bränslen; ADP_fossil fuels	MJ
--	----

Dessa indikatorer har redan presenterats tidigare i detta dokument.

2.4.2.3.2 Indikatorer som beskriver in- och utflöden

Ytterligare indikatorer är menade att beskriva in- och utflöden. Indikatorer som beskriver resursanvändning visas i tabell 2.11. Dessa indikatorer beskriver användandet av förnybar och icke förnybar primäre energi och vattenresurser, och de beräknas direkt utifrån inflöden från inventeringen.

Tabell 2.3 – Indikatorer som beskriver resursanvändning (EN15978)

Indikator	Enhet
Användning av förnybar primäre energi exklusive energiresurser som används som råmaterial	MJ, effektivt värmevärde
Användning av förnybar primäre energi som används som råmaterial	MJ, effektivt värmevärde
Användning av icke förnybar primäre energi exklusive primärenergiresurser som används som råmaterial	MJ, effektivt värmevärde
Användning av icke förnybara primärenergiresurser som används som råmaterial	MJ, effektivt värmevärde
Användning av sekundära material	kg
Användning av förnybara sekundära bränslen	MJ
Användning av icke förnybara sekundära bränslen	MJ
Användning av netto färskvatten	m ³

Även indikatorer som beskriver avfallskategorier och utflöden baseras direkt på inflöden från inventeringen. De tidigare visas i tabell 2.12 och de senare i tabell 2.13. Dessutom är olika scenarier fastställda för de lämpliga processerna och faserna för beräkning av dessa indikatorer.

Tabell 2.12 – Indikatorer som beskriver avfallskategorier (EN15978)

Indikator	Enhet
Omhändertagande av farligt avfall	kg
Omhändertagande av ofarligt avfall	kg
Omhändertagande av radioaktivt avfall	kg

Tabell 2.13 – Indikatorer som beskriver utflöden som lämnar systemet (EN15978)

Indikator	Enhet
Komponenter för återanvändning	kg

Material till återvinning	kg
Material till energiåtervinning (exkl. avfallsförbränning)	kg
Exporterad energi	MJ för varje energikälla

2.4.3 Produktnivå (EN 15804)

På produktnivå definierar EN 15804 reglerna för utarbetning av miljövarudeklarationer (EPD) för kategorier av byggprodukter. EPDs är miljödeklarationer Typ III enligt ISO 14025 (2006) och är ofta en bra källa för miljöuppgifter till en livscykelanalys.

En EPD är en särskild typ av LCA, utförd med hjälp av en definierad uppsättning av produktspecifika regler (Product Category Rules, PCR) som visas i figur 2.12. Många PCR kan användas för byggprodukter (CPA, 2012) men endast EPD som följer samma PCR kan jämföras.



Fig. 2.12: EPD-process som den beskrivs i CPA (2012)

Syftet med de gemensamma reglerna i EN 15804 är att tillhandahålla bedömare konsekvent, jämförbar och pålitlig information som tillåter aggregering på byggnadsnivå.

Beräkningsreglerna för LCA på materialnivå liknar dem som tidigare beskrivits för byggnadsnivå. Målet för en LCA på materialnivå kan vara lika med det på byggnadsnivå (se figur 2.11). Enligt EN 15804 är dock endast tillverkningskedets deklARATION (modul A1 till A3) obligatorisk. Deklarationer för andra livscykelfaser är valfria.

På samma vis utgör den funktionella enheten i denna standard en referens för vilken materialflöden i LCA för byggprodukter är normaliserade. Även en ytterligare enhet anges i denna standard: den deklarerade enheten. Den deklarerade

enheten kan användas istället för den funktionella enheten när produktens funktion på byggnadsnivå inte anges eller är okänd.

2.5 Andra standarder och bestämmelser (huvudsakligen för bruksskedet)

Som tidigare nämnt tillskriver EN 15978 (2011) alla potentiella miljöpåverkningar av alla aspekter relaterade till byggnaden genom dess livscykel i ett modulärt system (figur 2.11). Modul B6 motsvarar all driftsenergi i det här systemet, till exempel energi som används av byggnadsintegrerade tekniska system under driftsskedet.

Där ingår energianvändning för kylning, uppvärmning, tappvarmvatten, ventilation, belysning och hjälpenergi för pumpar, kontroller och automatisering. EN15978 ger inga regler för energiberäkning, men hänvisar till direktivet om byggnaders energiprestanda (EU 2002) och dess nationella implementeringar.

Direktivet om byggnaders energiprestanda (EPBD) är det viktigaste lagstiftningsinstrumentet på EU-nivå för att uppnå god energiprestanda i byggnader. De fyra huvudsakliga punkterna i EPBD som ska realiseras av medlemsländerna är följande (EU 2002):

- ✓ Gemensam metod för beräkning av byggnaders integrerade energiprestanda;
- ✓ Minimikrav för energiprestanda hos nya byggnader, och hos redan existerande byggnader som genomgår omfattande renovering;
- ✓ System för energicertifiering av nya och redan existerande byggnader och, för offentliga byggnader, tydlig visning av detta certifikat och annan relevant information.
- ✓ Regelbunden inspektion av värmepannor och centrala luftkonditioneringssystem i byggnader, och därutöver utvärdering av värmeinstallationer med värmepannor äldre än 15 år.

Omarbetningen av EPBD (från 2010) fastställer ett regelverk för uppgradering av nationella byggnormer och uppvisar en politik för nära-nollenergibyggnader, så att alla nya byggnader kommer att vara nära-nollenergibyggnader år 2020 (viktiga funktioner för byggnader utan koldioxidutsläpp visas i figur 2.13).

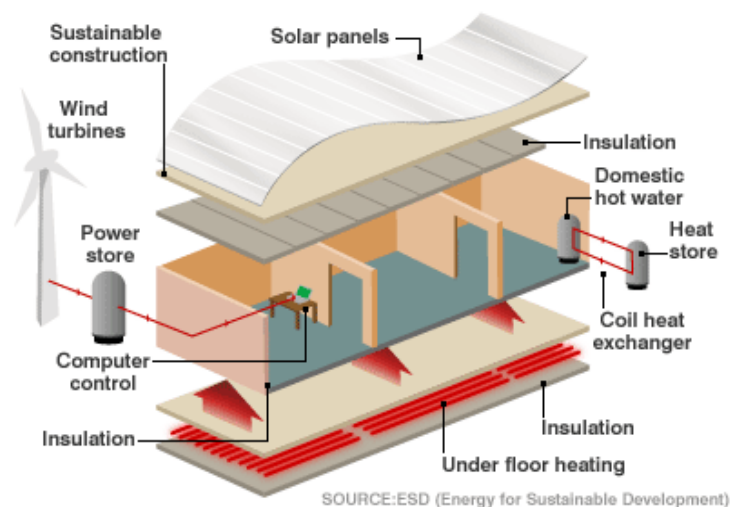


Fig. 2.13: Huvudsakliga funktioner hos byggnader utan koldioxidutsläpp

Trots de allmänna kraven i EPBD ges ingen beräkningsmetod och varje medlemsland i EU får själv välja hur kraven ska uppfyllas. De flesta länderna hävdar att de använder CEN-standarder eller andra internationella standarder till en viss grad. I detta avseende övervägs två ytterligare standarder i detta dokument.

- (i) ISO 13790 (2008) som omfattar alla aspekter av värmekomponenter som ingår i termiska beräkningar och tillhandahåller korrelationsfaktorer för beaktande av dynamiska termiska effekter i beräkningen,
- (ii) EN 15316-3-1 (2007) som tar upp energibehoven för produktion av tappvarmvatten (DHW).

3 FÖRENKLADE METODER FÖR UTVÄRDERING AV BYGGNADER

3.1 Introduktion

Byggsektorn är satt under ökat tryck på hållbarhet: miljövarudeklarationer, lågenergibyggnader, etc. Intressenterna har dock inte alltid rätt kunskande för att utvärdera byggprodukters miljöprestanda.

Termiska prestanda hos nya byggnader har sedan ett antal år omfattats av bestämmelser vilka kräver att arkitekter har god kontroll och kunskap om byggnaders bruksskede. I motsats till detta är inbäddad energi och koldioxidavtryck hos material mindre kända, trots att de gradvis ingår i

anbudsförfaranden. Få aktörer inom sektorn har rätt expertis att ta itu med båda aspekterna.

För att främja tillämpning av livscykelanalys inom byggsektorn introducerar detta kapitel två förenklade metoder:

- (i) en förenklad livscykelmetod baserad på makrokomponenter;
- (ii) en metod för beräkning av en byggnads energibehov för kylning och uppvärmning, inklusive energibehovet för tappvarmvattenproduktion.

De två metoderna har utvecklats inom ramen för det europeiska forskningsprojektet *SB_Steel* (2014) och bygger på principerna i de senaste europeiska standarderna EN 15978 och EN 15804. Först beskrivs metoden för livscykelanalys, följt av den förenklade metoden för energiberäkning och respektive kalibrering.

3.2 Algoritm för livscykelanalys baserad på makrokomponenter

Det yttre och inre byggnadsskalet spelar en stor roll för byggnadens beteende i termer av energianvändning och miljöpåverkan. Detta visade vägen för skapandet av prefabricerade lösningar för huvudkomponenter i en byggnad, dvs. makrokomponenter. Makrokomponenter är fördefinierade sammansättningar av olika material som i sin helhet utgör samma komponent i en byggnad (Gervásio et al., 2014).

För varje byggnadskomponent beaktades olika prefabricerade lösningar och modellen som användes för byggnadens livscykelanalys, baserad på makrokomponenter, presenteras i detalj i följande stycken.

3.2.1 Allmänt

3.2.1.1 Mål och omfattning

Verktygets mål är att kvantifiera miljöpåverkan från en enskild byggnad eller byggnadskomponenter (i m^2) genom att använda fördefinierade makrokomponenter. Därmed möjliggör metoden en bedömning på två olika nivåer: (i) komponentnivå; och (ii) byggnadsnivå.

3.2.1.1.1 Funktionell enhet

På byggnadsnivå är den funktionella enheten en byggnad av definierad typ (t.ex. bostadshus, kontorshus etc), konstruerad för en given livslängd (t.ex. 50 år) och som uppfyller alla standardkrav.

På komponentnivå är den funktionella enheten (i m^2) en byggnadskomponent av definierad typ (t.ex. externa väggar, interna plattor etc) som används under en

given tidsperiod (t.ex. 50 år). I det här fallet kan byggnadskomponentens funktion inkluderas eller inte (byggnadskomponentens funktion bör inkluderas vid jämförelser).

3.2.1.1.2 Systemgränser

Livscykelanalysen omfattar tillverkningsskedet (modul A1 till A3), byggskedet (modul A4), bruksskedet (modul B1 till B5), livscykelsslutet (modul C1 till C4) samt fördelar och belastningar orsakade av återvinningsprocesser (modul D), enligt tabell 3.1.

I denna metod beaktas inte modul B6. Aspekterna i denna modul behandlas däremot i metoden som presenteras i nästa avsnitt.

På samma sätt beaktas inte modulerna A5, B1 och B7. Vikten av påverkan från byggprocesser (modul 5) (inklusive användning av utrustning, byggplatsens drift och avfallsproducering) har visat sig vara försumbara på byggnadsnivå (Gervásio et al., 2014).

Modul B1 innefattar utsläppen orsakade av installerade material i byggnaden som inte övervägs i de kvarvarande modulerna för bruksskedet.

Tabell 3.1: Informationsmoduler för byggnadens livscykel (enligt EN 15643-2:2011)

Tillverknings-skede			Byggske de		Bruksskede							Livscykelsslut				
Råmaterial anskaffning	Transport	Tillverkning	Transport	Byggprocess	Användning	Underhåll	Reparationer	Utbyte	Renovering	Energianvändning	Vattenanvändning	Rivning	Transport	Avfallshantering	Deponering	Återbruk / Återvinning
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
x	x	x	x	-	-	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x

Denna modul har liten betydelse eftersom dagens byggmaterial har låga utsläpp tack vare strikta byggmaterialbestämmelser. Slutligen utelämnas kvantifiering av vattenanvändning (modul B7) eftersom den inte påverkas av byggnadsalternativ.

3.2.1.2 Livscykelinventering

Som tidigare påpekats är kvalitetskontroll av uppgifter ett krav enligt LCA standarder. Därför bör uppgifter och data om byggprodukter kontrolleras med hänsyn till (EN 15804):

- Tidsomfattning: uppgifter ska ha uppdaterats inom de senaste 10 åren för generisk data och inom de senaste 5 åren för producentspecifika data;
- Uppgifter ska baseras på årsmedelvärden;
- Geografisk omfattning: uppgifter ska reflektera det geografiska området för den deklarerade produkten eller produktgruppen;
- Teknisk omfattning: uppgifter ska reflektera den fysiska verkligheten för den deklarerade produkten eller produktgruppen.
- Fullständighet: uppgifter ska vara fullständiga i enlighet med systemgränserna inom begränsningar satta av uteslutningskriterier för in- och utflöde.

De flesta miljöuppgifter tillhandahålls av PE Internationals databas (2006), exklusive uppgifter om stål. Ståldata kommer från Worldsteel Association (2002) i samarbete med PE International, vilket gör metoden mycket lik föregående. Detta försäkrar god konsistens för material som används i makrokomponenterna vad gäller datainsamling och hantering, tilldelningsmetod och uteslutningskriterier, se tabell 3.2.

Tabell 3.2: Kvalitetskontroll för de viktiga materialen i makrokomponenterna.

	Tidsomfattning	Geografisk omfattning	Teknisk omfattning	Fullständighet
Stålprofil	2007, årligt genomsnitt	Europa	Europeiska producenter	> 99% av vikt och energi
Stålarmering	2007, årligt genomsnitt	Världen	Producenter, världen	> 99% av vikt och energi
Stålrullar	2007, årligt genomsnitt	Europa	Europeiska producenter	> 99% av vikt och energi
Betong C20/25	2011, årligt genomsnitt	Tyskland	Tyska producenter	> 99% av vikt och energi
OSB-skiva	2008, årligt genomsnitt	Tyskland	Tyska producenter	> 99% av vikt och energi
Gipskiva	2008, årligt genomsnitt	Europa	Europeiska producenter	> 95% av vikt och energi
Tegel	2011, årligt genomsnitt	Tyskland	Tyska producenter	> 95% av vikt och energi
Stenull	2011, årligt genomsnitt	Europa	Europeiska producenter	> 95% av vikt och energi

Expanderad polystyren, EPS	2011, inga uppgifter	Europa	Inga uppgifter	Inga uppgifter
Extruderad polystyren, XPS	2011, inga uppgifter	Tyskland	Tyska producenter	> 95% av vikt och energi
Styvt polyuretanskum, PUR	2011, årligt genomsnitt	Tyskland	Tyska producenter	> 95% av vikt och energi
Expanderad kork	2011, årligt genomsnitt	Tyskland	Tyska producenter	> 95% av vikt och energi
Glasull	2011, årligt genomsnitt	Europa	Europeiska producenter	> 95% av vikt och energi
Polyetenskum, PE	2011, årligt genomsnitt	Tyskland	Tyska producenter	> 95% av vikt och energi

3.2.1.3 Miljöpåverkansbedömning

De miljö kategorier som valts ut för att beskriva miljöpåverkan från byggnaderna anges i tabell 2.10 och motsvarar miljökategorierna i de europeiska standarderna för utvärdering av byggnaders miljöprestanda (EN 15643-2 och EN 15978).

Metoden använder det modulära konceptet från tidigare omnämnda standarder. Därför ges livscykelns utflöde för varje makrokomponent per modul eller som det sammanlagda värdet för varje fas. Miljöpåverkansbedömning för varje makrokomponent utfördes med GaBI software (PE International, 2012).

3.2.2 Tilldelning av återvinningsmaterial

Stål är 100% återvinningsbart och skrot kan omvandlas till samma stålqualität beroende på metallurgi och återvinningsväg (Worldsteel Association, 2009). Därför är det troligt att stålkonstruktioner demonteras vid deras livscykelsslut, och stålet sänds till återvinning eller återbruk (delvis eller fullständigt). Enligt uppgifter från Steel Recycling Institute (2009) i Nordamerika är återvinningsgraden ungefär 97.5%. Diagrammen i figur 3.1 visar respektive trend för återvinningsgraden av konstruktionsstål och armeringsstål inom byggsektorn.

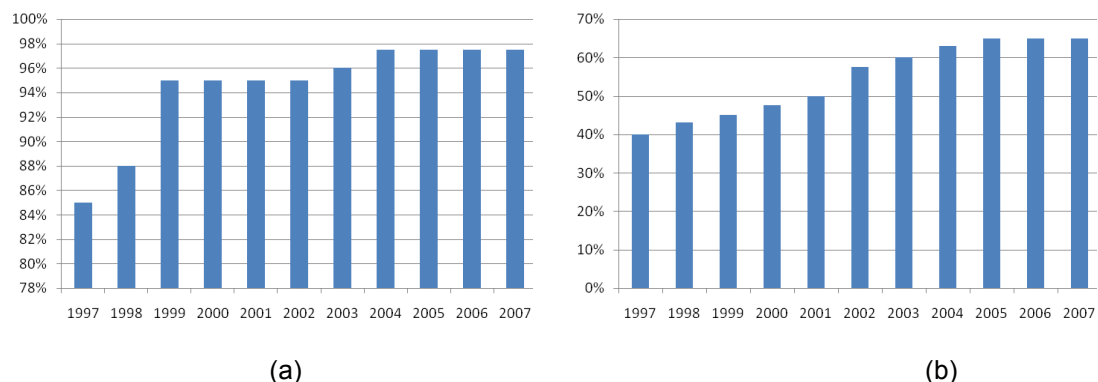


Fig. 3.1: Återvinningsgraden av (a) konstruktionsstål och (b) armeringsstål (Steel Recycling Institute, 2009)

Återbruk och återvinning av stål är en multifunktionell fråga som kräver en tilldelningsprocess, vilken beskrivs i följande text.

3.2.2.1 Introduktion

De flesta industriella processer är multifunktionella, det vill säga att deras utflöde innefattar mer än en produkt och inflödet för tillverkning av produkter inkluderar ofta mellanprodukter eller kasserade produkter. Ett tilldelningsproblem inträffar när ett lämpligt beslut behövs för att fördela in- och utflöden till den funktionella enheten tillhandahållen av produktsystemet som utreds.

Tilldelning definieras i ISO 14040 (2006) som "uppdelning av in- eller utflöden av en process eller ett produktsystem, mellan ett produktsystem under utredning och ett annat produktsystem". Alltså, en tilldelningsprocess behandlar uppdelningen av flöden mellan enhetsprocesser eller produktsystem.

Enligt ISO 14044 (2006) ska tilldelning undvikas antingen genom att dela upp enhetsprocesserna som ska tilldelas flöde i två eller fler underprocesser och samla in data om in- och utflöde relaterade till dessa underprocesser, eller genom att utvidga produktsystemet så att det inkluderar ytterligare funktioner relaterade till samprodukter (systemutvidgning). Systemutvidgning inkluderar den "avoided burden approach" (undvikna belastningar), vilken eliminerar överflödiga funktioner från de multifunktionella processerna genom att subtrahera likvärdiga mono-funktionella processer för att uppnå en mono-funktionell process.

Tilldelning är oundviklig när varken indelning av processer eller systemutvidgningar är möjliga för studiens omfattning och mål. I detta fall rekommenderas i ISO 14044 (2006) två alternativ: (i) indelningen av systemets in- och utflöde baseras på fysiska (eller kemiska eller biologiska) kausala samband; eller (ii) tilldelningen baseras på andra relationer (t.ex. produkternas ekonomiska värden).

Övervägandet av återbruk och återvinning är en multifunktionell fråga, vilket innebär användning av tilldelningsprocesser. Tilldelningens principer och metoder ovan gäller även för återvinnings- och återbrukssituationer, även om, i detta fall, förändringar i inneboende egenskaper hos materialet bör beaktas vid val av tilldelningsmetod (ISO 14044, 2006).

I detta fall kan tre situationer uppstå (Werner, 2005):

- i) Materialets inneboende egenskaper förändras inte av det tilltänkta produktsystemet och materialet återanvänds för samma tillämpning;
- ii) Materialets inneboende egenskaper förändras av det tilltänkta produktsystemet och materialet återanvänds för samma tillämpning;
- iii) Materialets inneboende egenskaper förändras av det tilltänkta produktsystemet och materialet används för andra tillämpningar.

I första fallet skapas ett slutet kretslopp där ersättningen av primärmaterial antas vara fullständig. Därför tillskrivs inte produktsystemet några miljöbelastningar för tillverkning av primärmaterial eller slutlig deponering. Det andra fallet motsvarar ett öppet kretslopp som antas vara slutet. I detta fall anses förändrade materialegenskaper irrelevanta och återvinningen anses skapa ett slutet kretslopp. Slutligen, i det tredje fallet, är det ett öppet kretslopp där ersättningen av primärmaterial anses vara partiell. I det här fallet måste miljöbelastningar orsakade av primärmaterialtillverkning eller slutlig deponering delvis fördelas till systemet under utvärdering.

Enligt ISO 14044 (2006) undviks tilldelningar vid slutna kretslopp eftersom användandet av sekundärmaterial ersätter användandet av råmaterial.

3.2.2.2 Att undvika tilldelning av skrot

Under stålets livscykel skapas skrot vid tillverkningsskedet, den slutliga bearbetningsskedet och vid livscykelslut (se figur 3.2). En tilldelningsmetod måste därför användas för beaktande av skrotutflöde under hela livscykeln. Dessutom produceras stål på olika sätt (detta beskrivs längre ner i texten), och tilldelningen av skrotinflöde i ståltillverkningen är en annan fråga som måste beaktas.

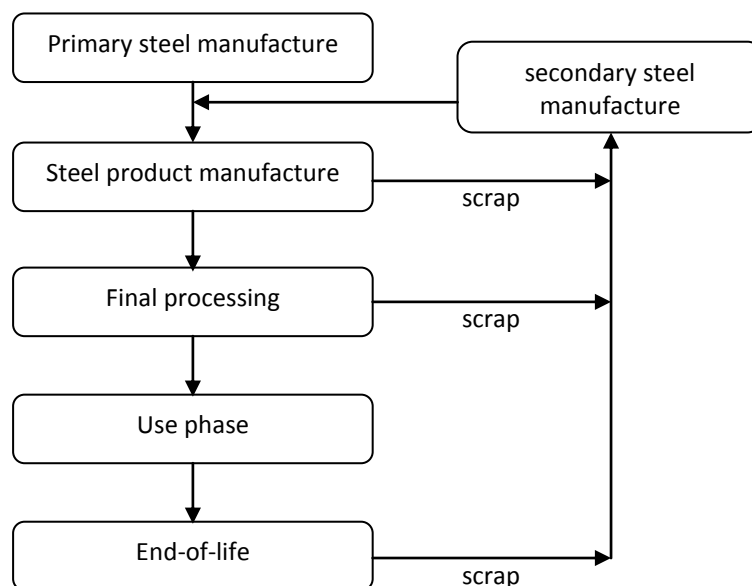


Fig. 3.2: Systemgränser för LCI inklusive uppgifter om livscykelsslut för skrot (LCI, 2002)

Slutligen kan stål återvinnas eller återanvändas många gånger och en lämplig tilldelningsmetod behövs för att hantera flera återvinningar och återanvändningar av stålkomponenter.

Därför används en tilldelningsmetod med slutet kretslopp som utvecklats av Worldsteel Association (LCI, 2002). Denna metod har utvecklats för att generera LCI-data för stålprodukter, inklusive återvinning vid livscykelsslut. Antagande om ett slutet kretslopp är berättigat eftersom skrot omsmälts för att producera nytt stål med liten eller ingen förändring i dess inneboende egenskaper. I detta fall undviks, enligt anvisningar i ISO 14044, behovet av tilldelning eftersom användandet av sekundärmaterial ersätter användandet av råmaterial.

Stål kan produceras på två huvudsakliga sätt: i en masugn eller i en ljusbågsugn. Den största skillnaden mellan de två processerna är inflödet av skrot: i en masugn produceras stål nästan exklusivt från råmaterial; medan tillverkning med ljusbågsugnar baseras nästan helt på skrot.

Om båda ståltillverkningsprocesserna beaktas, och LCI-data för ståltillverkning i masugn (med antagandet 100% råmaterial) ges av X_{pr} medan LCI-data för ståltillverkning i ljusbågsugn (med antagandet 100% sekundärt stål) ges av X_{re} , så ges LCI-data för skrot av ekvation (3.1)

$$LCI_{scrap} = \gamma(X_{pr} - X_{re})$$

Ekv. (3.1)

Där Y är metalliskt utbyte, vilket representerar effektiviteten hos sekundära processer av att konvertera skrot till stål. Enligt Worldsteel Association (LCI, 2002), behövs ca 1,05 kg skrot för att producera 1 kg sekundärt stål.

Vid tillverkning i masugn med 100% råmaterial och en återvinningsgrad (andel stål som samlas in som skrot under stålproduktens livstid) RR , så är nettotillverkningen av skrot vid livscykelsslut lika med RR . Därför är LCI-data för stål, inklusive livscykelsslut, given av LCI-data för primär tillverkning med ett avdrag för producerat skrot, enligt ekvation (3.2).

$$LCI = X_{pr} - RR[Y(X_{pr} - X_{re})]$$

Ekv. (3.2)

Å andra sidan, vid tillverkning i ljusbågsugn med sekundärt stål och en återvinningsgrad vid livscykelsslut RR så är nettoförbrukningen av skrot given med $(1/Y - RR)$. Därför är LCI-data, inklusive livscykelsslut, given av LCI-data för sekundär tillverkning med hänsyn till det förbrukade stålet enligt ekvation (3.3)

$$LCI = X_{re} + (1/Y - RR)[Y(X_{pr} - X_{re})]$$

Ekv. (3.3)

Ekvationer (3.2) och (3.3) är ekvivalenta, vilket visar att systemets LCI inte beror på materialets källa. Inventeringen beror på återanvinningsgraden vid stålets livscykelsslut och återvinningens processutbyte. Därför tillåter ekvation (3.3) en tilldelning av stålskrot oberoende av stålets tillverkningsprocess.

Tidigare ekvationer härleddes utifrån antagandet av 100% primärtillverkning eller 100% sekundärtillverkning. I praktiken kan även stål producerat i masugn inkludera en viss andel skrot, och stål producerat i ljusbågsugn kan också inkludera en liten del av råmaterial. I detta fall kan ekvation (3.1) ersättas med:

$$LCI_{scrap} = (RR - S) \times Y(X_{pr} - X_{re})$$

Ekv. (3.4)

där $(RR - S)$ är nettotillverkningen av skrot vid livscykelsslut. Om LCI-data för en färdig stålprodukt är X' , så ges LCI-data för produkten, inklusive återvinning vid livscykels slut, av:

$$LCI = X' - \left[(RR - S) \times Y (X_{pr} - X_{re}) \right]$$

Ekv. (3.5)

Ekvation (3.5) används i LCA-metoderna som presenteras i nästa kapitel för att producera LCI-data för stålprodukter, inklusive återvinning vid livscykelsslut.

3.2.3 Karaktersiering av makrokomponenter

Makrokomponenter har definierats för olika byggnadskomponenter enligt UniFormat classification scheme (amerikansk standard, 2010). Följande kategorier beaktas: (A) Grundkonstruktion, (B) Skal och (C) Interiör. Varje huvudkategori är ytterligare underindeld. Det detaljerade klassificeringssystemet visas i tabell 3.3.

Tabell 3.3: Klassificering av byggnadskomponenter (UniFormat, 2010)

(A) Grundkonstruktion	(A40) Platta på mark	(A4010) Standard platta på mark	
(B) Skal	(B10) Överbyggnad	(B1010) Golvkonstruktion	(B1010.10) Golvets bärande konstruktion
			(B1010.20) Golvplatta
		(B1020) Takkonstruktion	(B1020.10) Takets bärande konstruktion
			(B1020.20) Taktäckning
	(B20) Vertikalt yterskal	(B2010) Ytterväggar	(B2010.10) Ytterväggsbeklädnad
			(B2010.20) Ytterväggstomme
		(B2020) Ytterfönster	
		(B2050) ytterdörrar	
	(B30) Horisontellt yterskal	(B3010) Tak	
		(B3060) Horisontella öppningar	
(C) Interiör	(C10) Inre konstruktion	(C1010) Skiljeväggar	
	(C20) Inredning	(C2010) Väggarnas ytbehandling	
		(C2030) Golv	
		(C2050) Innertakets ytbehandling	

Inom varje byggnadskomponent (se tabell 3.3) har motsvarande makrokomponent samma funktion och liknande egenskaper. Den funktionella enheten för varje makrokomponent är 1 m² byggnadskomponent med liknande egenskaper, för att uppfylla en livslängd på 50 år.

Denna metod har utvecklats för bedömning av byggnader i ett tidigt skede av byggprocessen (Gervásio et al., 2014). För att hantera bristen på data i tidiga byggskedet, fördelas den bärande konstruktionen (för en varmvalsad konstruktion, en lätt stålkonstruktion eller en betongkonstruktion) till makrokomponenter för golvet (B1010.10) eller takets (B1020.10) bärande konstruktion per m².

Informationen från varje makrokomponent illustreras av exemplet i tabell 3.4. Utöver egenskaperna hos de olika lagren av material, så anges även värmegenomgångskoefficient (U-värde) (köldbryggor beaktas om lämpligt) och termisk tröghet (κ_m) för att möjliggöra kvantifieringen av byggnadens energianvändning.

Makrokomponenterna är sammanställda till en database, som finns tillgänglig i bilaga 1 i detta dokument.

3.2.4 Exempel på hopsättning av makrokomponenter

I vissa fall måste olika makrokomponenter beaktas samtidigt för att uppfylla funktionen av en byggnadskomponent. Ett exempel av ett inre bjälklag i ett bostadshus visas här.

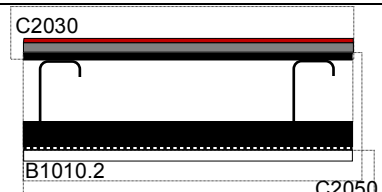
3.2.4.1 Hopsättning av makrokomponenter

Följande makrokomponenter väljs för ett inre bjälklag:

- (i) en makrokomponent för golvet (C2030),
- (ii) en makrokomponent för golvet bärande konstruktion (B1010.10),
- (iii) en makrokomponent för innertakets ytbehandling (C2050).

Den utvalda hopsättningen av makrokomponenter visas i tabell 3.4. I detta fall anges inte värdet för värmegenomgångskoefficienten (U), eftersom makrokomponenterna avser ett inre bjälklag som inte påverkar beräkningen av energibehoven.

Tabell 3.4: Hopsättning av makro-komponenter för ett inre bjälklag

Hopsättning av makro-komponenter	Makro-komponenter	Material	Tjocklek (mm)/ Densitet (kg/m ²)	U-värde (W/m ² . K)	κ_m (J/m ² . K)
	C2030 Golv	Keramiska plattor	31 kg/m ²		
		avjämnning smassa	13 mm		
	B1010.10	OSB	18 mm		

	golvet bärande konstruktion	Luftspalt	160 mm	-	61062
		Stenull	40 mm		
		Lättviktsstål	14 kg/m ²		
		Gipsskiva	15 mm		
	C2050 Innertakets ytbehandling	Färg	0.125 kg/m ²		

3.2.4.2 Funktionell enhet och uppskattad livslängd för material

Byggnadskomponentens funktionella enhet är ett inre bjälklag i ett bostadshus (per m²) med en förväntad livslängd på 50 år. De valda makrokomponenterna måste uppfylla samma livslängd som byggnadskomponenten. Därför måste de uppskattade livslängderna för de olika materialen tas med i beräkningen. Tabell 3.5 visar materialens uppskattade livslängder.

Tabell 3.5: Uppskattad livslängd för de olika materialen

Makrokomponent	Material	Enhet	Uppskattad livslängd [år]
Golv	Keramiska plattor	m ²	25
	Avjämningsmassa	m ²	50
Golvets bärande konstruktion	kalformat stål	kg/m ²	50
Golvplatta	Stenull	m ²	50
	OSB-skiva	m ²	50
	Gipsskiva	m ²	50
Innertakets ytbehandling	Färg	m ²	10

För att uppfylla den funktionella enheten måste några av materialen bytas ut eller renoveras enligt ett fördefinierat scenario.

3.2.4.3 Scenarier och antaganden

För att få ut fullständig information från alla moduler behövs vissa scenarier och antaganden.

Den funktionella enheten relateras till en livslängd på 50 år. Det betyder att varje material i makrokomponenten måste uppfylla det kravet. Alltså måste material med en förväntad livslängd som är kortare än 50 år underhållas eller bytas ut under denna period. Olika scenarier har därför skapats för varje material för att passa till analysens tidsomfattning. På samma vis, vid slutet av livscykeln har varje material olika destinationer beroende på deras inneboende egenskaper. Därmed har också varje material ett livscykelsslut-scenario som beaktar materialets alla egenskaper. Alla omnämnda scenarier har utarbetats i enlighet med anvisningarna i EN 15643-2 och EN 15978.

3.2.4.3.1 Scenarier för transport av material (Modul A4 och C2)

Transportsträckan mellan tillverkningsanläggningen och byggplatsen (modul A4) samt avståndet mellan rivningsplatsen och återvinningsanläggningen respektive deponin (modul C2) antas vara, som standardvärde, 20 km, och transporten utförs med lastbil med en nyttolast på 22 ton. konstruktören kan dock specificera andra avstånd, vilket möjliggör en känslighetsanalys med hänsyn till transport av olika material.

3.2.4.3.2 Scenarier för bruksskedet (Modul B1:B7)

Scenarier är redan definierade för de olika materialen för att uppfylla den efterfrågade livslängden på 50 år. Därför används följande scenarier för makrokomponenterna ovan:

- utbyte av keramiska plattor var 25:e år;
- målning av innertaket var 10:e år.

3.2.4.3.3 Scenarier för slutet av livscykeln (Modul C1:C4) och återvinning (Modul D)

Olika scenarier för slutet av livscykeln är specificerade för materialen enligt deras olika inneboende egenskaper, se tabell 3.6. OSB-skivor anses förbrännas (80%) i ett biomassakraftverk och krediter fås genom energiåtervinning. Stål återvinns, med antagandet om en återvinningsgrad på 90%, och krediter fås genom nettotillverkning av skrot i slutet av livscykeln. På samma sätt antas stenull återvinnas (80%). Men på grund av brist på data för återvinningsprocessen fås inga krediter förutom att den minskade mängden avfall behöver deponeras.

Table 3.6: EOL-alternativ för material

Material	Återvinning/Deponering	Krediter
Keramiska plattor	Deponi (100%)	-
Avjämningsmassa	Deponi (100%)	-
Gipsskivor	Deponi (100%)	-
Stenull	Återvinning (80%) + Deponi (20%)	-
OSB-skivor	Förbränning (80%) + Deponi (20%)	Krediter genom energiåtervinning
Lättviktsstål	Återvinning (90%) + Deponi (10%)	krediter genom netto tillverkning av skrot

Det antas att all övrigt material deponeras som inert material.

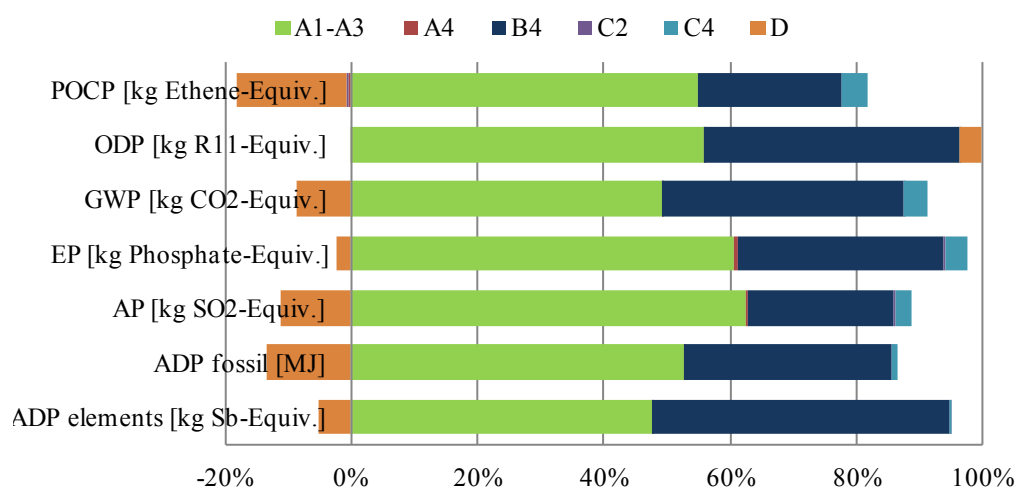
3.2.4.4 Bedömning av miljöpåverkan

Resultaten från hopsättningen av makrokomponenterna i tabell 3.4 visas i tabell 3.7, per m².

Tabell 3.1: Livscykelanalys av makrokomponenter (per m²)

Påverkans-kategori	A1-A3	A4	B4	C2	C4	D	TOTALT
ADP elem. [kg Sb-ekv.]	1.86E-03	6.59E-09	1.83E-03	5.76E-09	5.93E-07	-1.96E-04	3.49E-03
ADP fossil [MJ]	1.31E+03	2.45E+00	8.12E+02	2.14E+00	2.31E+01	3.35E+02	1.82E+03
AP [kg SO ₂ ekv.]	2.47E-01	7.91E-04	9.14E-02	6.85E-04	1.01E-02	-4.45E-02	3.05E-01
EP [kg PO ₄ ekv.]	2.61E-02	1.82E-04	1.40E-02	1.57E-04	1.54E-03	-1.01E-03	4.09E-02
GWP [kg CO ₂ ekv.]	8.38E+01	1.77E-01	6.48E+01	1.54E-01	6.80E+00	1.45E+01	1.41E+02
ODP [kg R11 ekv.]	2.80E-06	3.09E-12	2.04E-06	2.70E-12	1.27E-09	1.76E-07	5.01E-06
POCP [kg Eten ekv.]	3.41E-02	-2.58E-04	1.43E-02	-2.23E-04	2.62E-03	-1.07E-02	3.98E-02

Bidragsanalysen per modul visas i figur 3.3. Modul A1-A3 dominerar alla påverkanskategorier (över 50% för de flesta miljökategorierna), följt av Modul B4 med ett bidrag som varierar mellan 10% och 20%. Modul D har ett väsentligt bidrag (nära 10%) för de flesta påverkanskategorierna. Mindre viktigt är bidraget från Modul C4 (nära 5% i vissa fall), följt av kvarvarande moduler med en försumbar betydelse.

Fig. 3.3: Bedömning av miljöpåverkan för makrokomponenter (per m²)

Samtliga makrokomponenter beräknades på liknande sätt. Som redan noterats, möjliggör dessa makrokomponenter livscykelanalys på komponent- eller byggnadsnivå.

3.3 Algoritm för energikvantifiering (bruksskede)

3.3.1 Introduktion

Som tidigare nämnt tillskriver EN 15978 (2011) alla potentiella miljöpåverkningar av alla aspekter relaterade till byggnaden under dess livscykel (materialtillverkning, användning, livscykelslut och återanvändning, återvinningspotential) till ett modulärt system. Enligt detta system motsvarar Modul B6 byggnadens energianvändning.

Gränserna för Modul B6 måste vara kompatibla med EPBD genom användningen av EN 15603 (2008), och ska inkludera energianvändningen för uppvärmning, kylning, tappvarmvatten, ventilation och hjälpsystem.

Den förenklade metoden som antagits är baserad på byggnadens egenskaper och dess installerade utrustning. Den tar upp kvantifieringen av energibehov för uppvärmning och kylning av utrymmen och tappvarmvattenproduktion. Energinbehovet för den mekaniska ventilationen och belysning tas inte upp, eftersom de inte är direkt relaterade till byggsystemet som används för byggnaden. Beräkningen av uppvärmnings- och kylningsbehov följer metoden grundad på ett månatligt kvasistationärt tillstånd enligt ISO 13790 (2008). Denna standard omfattar alla aspekter av värmekomponenter som ingår i termiska beräkningar och tillhandahåller korrelationsfaktorer för beaktande av dynamiska termiska effekter i beräkningen. Energinbehovet för tappvarmvattenproduktionen beräknas enligt EN 15316-3-1 (2007).

3.3.2 Byggnadens läge och klimat

För att beräkna energianvändningen av en byggnad under dess bruksskede är det viktigt att beakta variablerna som påverkar det termiska beteendet och energieffektiviteten mest.

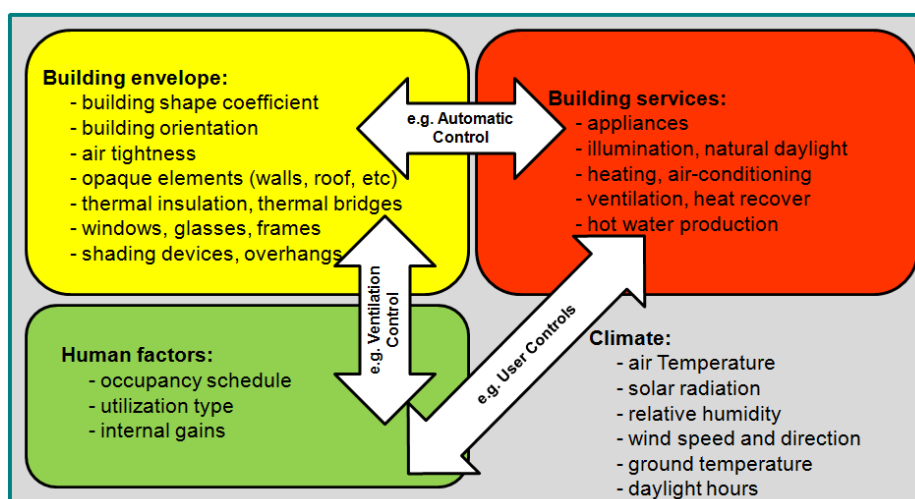


Fig. 3.4: De viktigaste nyckelfaktorerna som påverkar byggnadernas energianvändning (Santos et al., 2012)

Parametrarna kan delas in i fyra grupper: klimat, byggnadsskal, byggnadens funktioner och mänskliga faktorer, se figur 3.4. Många av dessa faktorer beaktas i algoritmen som beskrivs mer detaljerat i nästa avsnitt. Byggnadens läge vad gäller klimatförhållanden har en avgörande betydelse vid beräkning av det termiska beteendet (Santos et al., 2011, 2012). Angående denna fråga måste två huvudsakliga klimatparametrar definieras för att genomföra en beräkning av energibehovet:

- i) Lufttemperatur;
- ii) Solstrålning på en yta med angiven riktning.

Figur 3.5 illustrerar grafiskt den genomsnittliga månatliga datan för staden Timisoara i Rumänien.

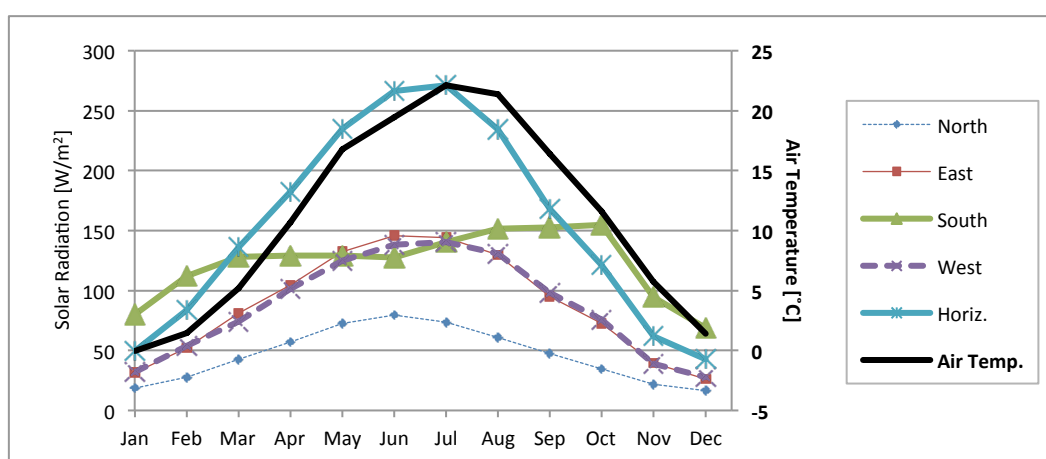
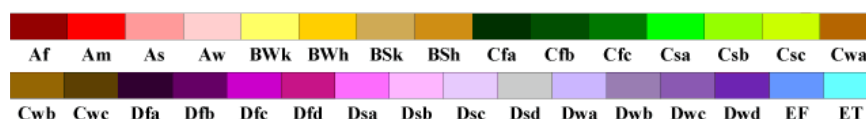
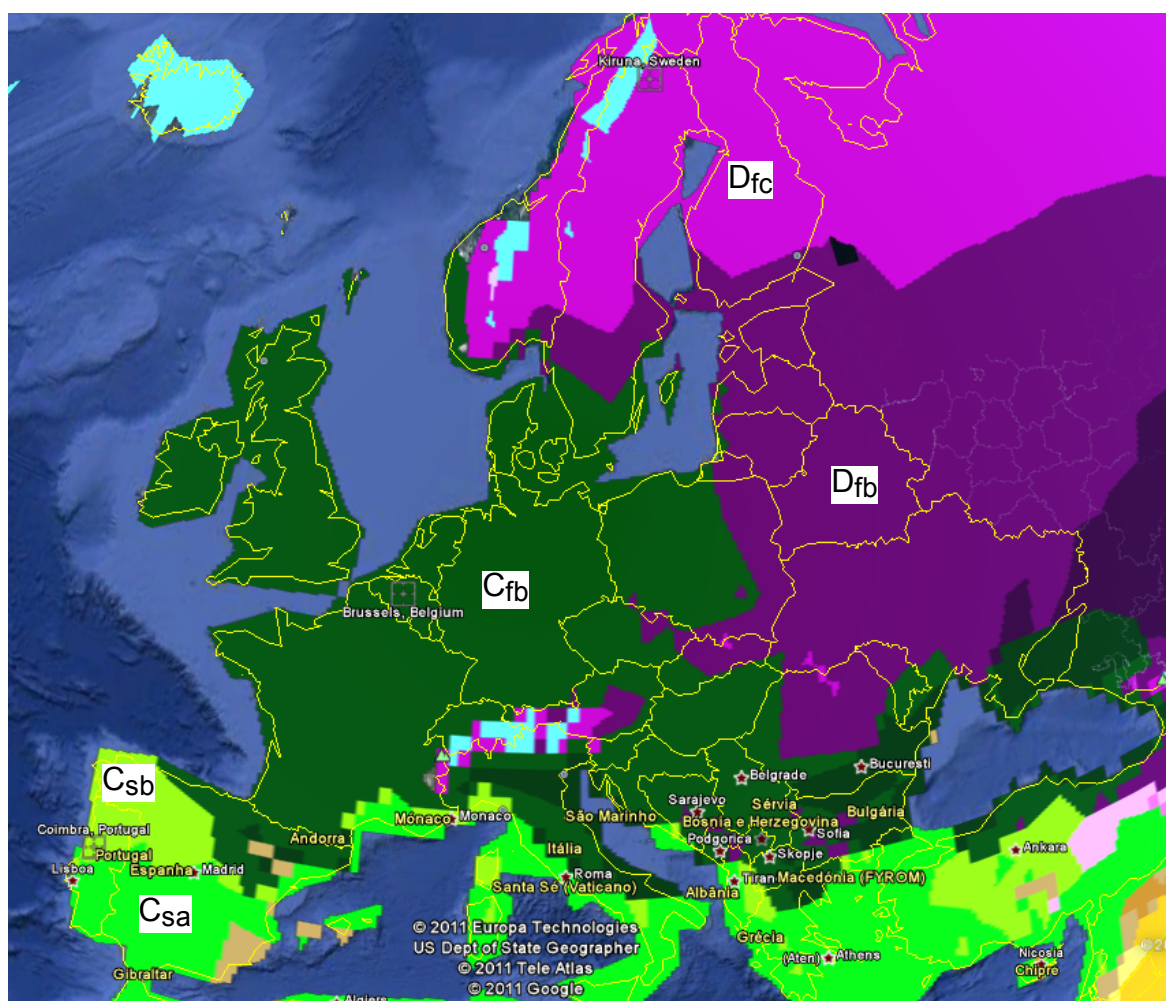


Fig. 3.5: Månatlig genomsnittlig yttre lufttemperatur och infallande solstrålning: Timisoara (RO)

Metoden är för närvarande kalibrerad för fem klimattyper enligt Köppens system: (i) Csa; (ii) CSB; (iii) Cfb; (iv) Dfb; (v) Dfc. Köppens system är ett av de mest använda klimatklassifikationssystemen (Kottek et al., 2006). Figur 3.6 visar Köppens klassifikation för Europa. Det är tydligt att latitud, höjd över havet och närhet till kust spelar en stor roll för klimatet i dessa regioner. I regioner med lägre latituder (under 45°N) (södra Europa, t.ex. medelhavsländer) kallas klimatet Csa och Csb, innebärande "C – varmt tempererat" med "S – sommartorka" och "a – het sommar" eller "b – varm sommar".

Över dessa latituder (mellan 45-55°N), i västra centraleuropeiska länder, är klimatet huvudsakligen kategoriserat som Cfb, innebärande "C – varmt tempererat" med "f – full fuktighet" och "b – varm sommar". I östra centraleuropeiska länder (långt från den atlantiska kusten) är klimatet benämnt Dfb, innebärande "D – snö" med "f – full fuktighet" och "b – varm sommar".

I regioner med ännu högre latitud (över 55°N), i nordiska europeiska länder, benämns klimatet oftast Dfc, innebärande “D – snö” med “f – full fuktighet” och “c – sval sommar”. Klimatet har vissa likheter med centraleuropiska länder i öst, men den huvudsakliga skillnaden är den svalare sommaren.



Main climates

A: equatorial
B: arid
C: warm temperate
D: snow
E: polar

Precipitation

W: desert
S: steppe
f: fully humid
s: summer dry
w: winter dry
m: monsoonal

Temperature

h: hot arid
k: cold arid
a: hot summer
b: warm summer
c: cool summer
d: extremely continental
F: polar frost
T: polar tundra

Fig. 3.6: Europeisk karta med Köppen-Geigers klimatklassifikation (Kottek et al., 2006; Google Earth, 2014).

En databas med väderuppgifter från olika platser i Europa kommer att implementeras. Tabell 3.8 består av en lista med 48 städer där denna information redan fanns tillgänglig. De flesta klimatuppgifterna har hämtats från EnergyPlus databas (EERE-USDoE, 2014) och de resterande tillhandahölls av projektpartners.

Tabell 3.8: Lista över platser med insamlad väderdata

Stad	Land	Klimatregion	Latitud
Amsterdam	Holland	Cfb	52
Ankara	Turkiet	Csb	39
Arhanglesk	Ryssland	Dfc	64
Athen	Grekland	Csa	37
Barcelona	Spanien	Csa	41
Berlin	Tyskland	Cfb	52
Bilbao	Spanien	Cfb	43
Bratislava	Slovakien	Cfb	48
Bryssel	Belgien	Cfb	50
Bukarest	Rumänien	Cfa	44
Coimbra	Portugal	Csb	40
Geneve	Italien	Csb	44
Graz	Österrike	Dfb	47
Hamburg	Tyskland	Cfb	53
Helsingfors	Finland	Dfb	60
Istanbul	Turkiet	Csa	40
Kiev	Ukraina	Dfb	50
Kiruna	Sverige	Dfc	67
La Coruña	Spanien	Csb	43
Lissabon	Portugal	Csa	38
Ljubljana	Slovenien	Cfb	46
London	England	Cfb	50
Madrid	Spanien	Csa	40
Marseille	Frankrike	Csa	43
Milano	Italien	Cfb	45
Minsk	Vitryssland	Dfb	53
Montpellier	Frankrike	Csa	43
Moskva	Ryssland	Dfb	55
München	Tyskland	Cfb	48
Nantes	Frankrike	Cfb	47
Nice	Frankrike	Csb	43
Oslo	Norge	Dfb	59
Östersund	Sverige	Dfc	63
Paris	Frankrike	Cfb	48
Porto	Portugal	Csb	41
Prag	Tjeckien	Cfb	50

Rom	Italien	Csa	41
Salamanca	Spanien	Csb	40
Sanremo	Italien	Csb	43
Sevilla	Spanien	Csa	37
Stockholm	Sverige	Dfb	59
Tammerfors	Finland	Dfc	61
Thessaloniki	Grekland	Cfa	40
Timisoara	Rumänien	Cfb	45
Wien	Österrike	Dfb	48
Vigo	Spanien	Csb	42
Warsawa	Polen	Dfb	52
Zurich	Schweiz	Cfb	47

3.3.3 Metod för beräkning av energibehov

Den antagna metoden möjliggör en beräkning av energibehov för uppvärmning, kylning och tappvarmvatten månadsvis. För att bestämma bidraget från varje del involverad i den termiska beräkningen är det nödvändigt att förlita sig på flera standarder, se figur 3.7, för uppvärmning och kylning.

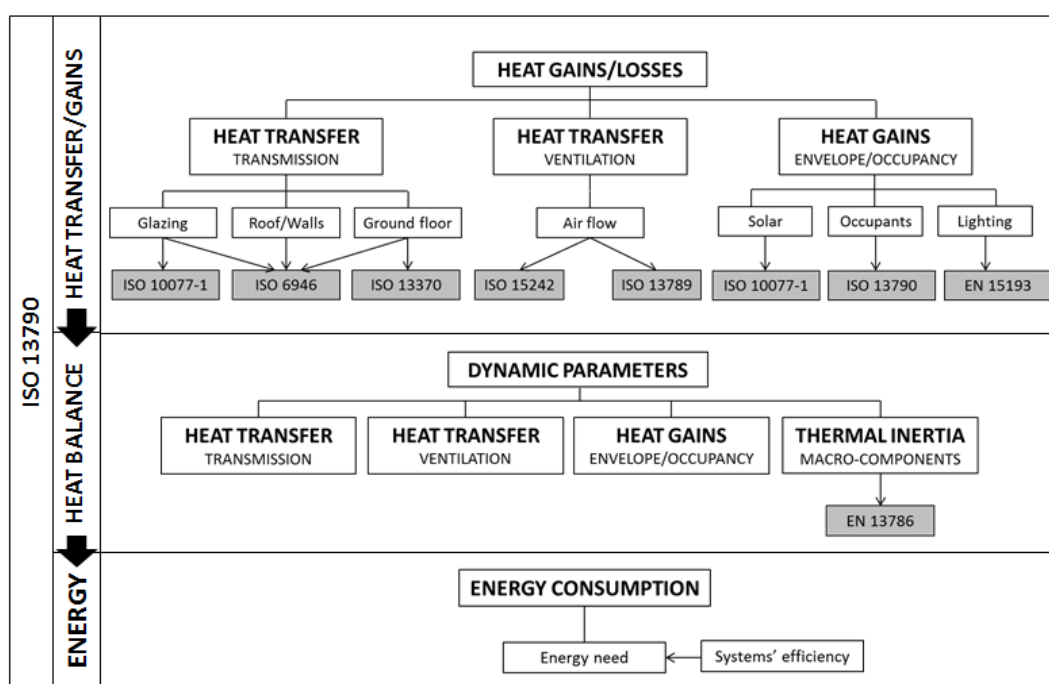


Fig. 3.7: Flödesschema för algoritmen och referens standarder för uppvärmning och kylning

Som visas i figur 3.7, är ISO 13790 (2008) den standard som huvudsakligen används, och de mer specifika beräkningarna använder andra standarder. Om man beaktar tappvarmvattenproduktion i beräkningen av byggnadens energianvändning, framförallt för bostadshus, är det också viktigt att uppskatta

dess andel. Som tidigare nämnt görs detta enligt anvisningar i EN 15315-3 (2007). Algoritmens metod och uppbyggnad visas i figur 3.8.

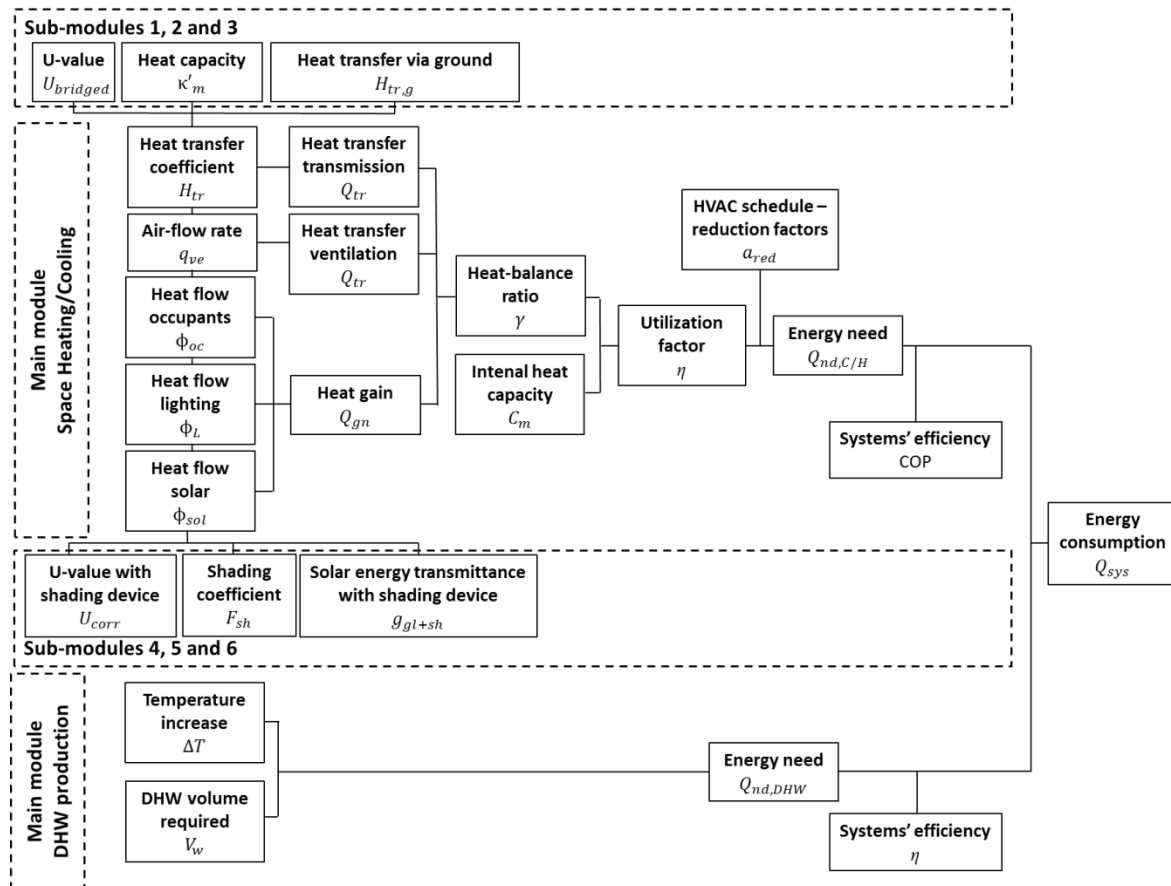


Fig. 3.8: Flödesschema för beräkning av en byggnads energianvändning

Undermodulerna 1 och 2 för skalelementens U-värde respektive värmekapaciteter, beräknades tidigare för makrokomponenterna som valts av användaren. Undermodul 3 behandlar värmeöverföringen genom marken. Undermodulerna 4, 5 och 6 tar upp underrutinerna för att beräkna effekterna av solavskärmningar och skuggning relaterad till våningsplanets utformning. Endast rektangulära våningar behandlas i den nuvarande versionen av AMECO.

3.3.3.1 Energibehov för uppvärmning och kylning av utrymmen

Ekvation (3.6) och (3.7) är de grundläggande och viktigaste ekvationerna som definieras i ISO 13790 (2008) för att kvantifiera det månatliga (m), energibehovet med antagandet av kontinuerlig, ($cont$), systemdrift (se ISO 13790 för beteckningar):

$$Q_{H,nd,cont,m} = (Q_{H,tr,m} + Q_{H,ve,m}) - \eta_{H,gn,m} \cdot Q_{H,gn,m}$$

Ekv. (3.6)

$$Q_{C,nd,cont,m} = Q_{C,gn,m} - \eta_{C,ls,m} \cdot (Q_{C,tr,m} + Q_{C,ve,m})$$

Ekv. (3.7)

där,

$Q_{H,nd}$, energibehov för uppvärmning (kWh);

$Q_{C,nd}$, energibehov för kylning (kWh);

Q_{tr} , total värmeöverföring genom ledning (transmission) (kWh);

Q_{ve} , total värmeöverföring genom konvektion (ventilation) (kWh);

$\eta_{H,gn}$, utnyttjandegrad för värmevinster (-);

$\eta_{C,ls}$, utnyttjandegrad för värmeförluster (-).

I följande stycken redovisas metoden som används för att beräkna dessa andelar av energibehovet.

3.3.3.1.1 VÄRMEÖVERFÖRING GENOM LEDNING (TRANSMISSION)

Byggnadens värmebalans inkluderar alla typer av värmeöverföring genom ledning

- (i) väggar;
- (ii) tak;
- (iii) yttergolv (om relevant);
- (iv) fönster (glas + ramar);
- (v) bottenbjälklag;

Värmeöverföringen genom ledning för typer (i) till (iv) antas ske utan masseffekter. Därmed är värmeförlusten eller vinsten proportionell till temperaturskillnaden mellan in- och utsida samt till värmegenomgångskoefficienten för byggelementet, enligt Ekv. (3.8), Ekv. (3.9) och Ekv. (3.10). Värmeöverföringen genom ledning i marken omfattar implicit effekterna av markens termiska tröghet. Detta innebär att värmeöverföringens koefficient beräknas med en annan metod än för de andra komponenterna: Ekv. (3.11).

$$Q_{tr} = H_{tr,adj}(\theta_{int,sec} - \theta_e) \cdot t$$

Ekv. (3.8)

$$H_{tr,adj} = H_{D,W} + H_{D,R} + H_{D,EF} + H_{D,Gl} + H_{GF}$$

Ekv. (3.9)

$$H_D = \sum_i A_i \cdot U_i$$

Ekv. (3.10)

$$H_{GF} = b_{tr,g} \cdot A_i \cdot U_{GF}$$

Ekv. (3.11)

där,

- Q_{tr} , total värmeöverföring genom ledning (transmission) (kWh);
 $H_{tr,adj}$, total värmeöverföringskoefficient (W/K);
 $\theta_{int,sec,H}$, börtemperaturer för uppvärmning av byggnadszonen (°C);
 $\theta_{int,sec,C}$, börtemperaturer för kylning av byggnadszonen (°C);
 t , månadslängd angiven i ISO 13790 (Ms);
 H_D , värmeöverföringskoefficient för överföring genom ledning till den yttre miljön (W/K), i: väggar, $H_{D,W}$; tak, $H_{D,R}$; yttergolv, $H_{D,EF}$; fönster, $H_{D,Gl}$;
 H_{GF} , värmeöverföringskoefficient för överföring genom ledning till marken (W/K);
 $b_{tr,g}$, månatlig justeringsfaktor för mark (W/K);
 A_i , byggelement yta (m²);
 U_i , värmegenomgångskoefficient för ett byggelement (W/m².K);
 U_{GF} , värmegenomgångskoefficient för bottenbjälklag och mark (W/m².K).

De tidsrelaterade parametrarna som har använts i beräkningarna har hämtats från ISO 13790 och visas i tabell 3.9.

Tabell 3.9: Tidsrelaterade värden

	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC
m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Månadslängd, t (Ms)	2.6784	2.4192	2.6784	2.5920	2.6784	2.5920	2.6784	2.6784	2.5920	2.6784	2.5920	2.6784
Månadsdag (dagar)	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
NrArbetsDagar (dagar)	23	20	21	22	23	20	23	22	21	23	21	22

Alla värmegenomgångskoefficienter, förutom den för värmeöverföring till marken, beräknas i enlighet med EN ISO 6946:2007.

Värmeöverföring till marken

Värmeöverföringen till marken kvantifieras på olika sätt för varje typ av grundsystem enligt figur 3.9.

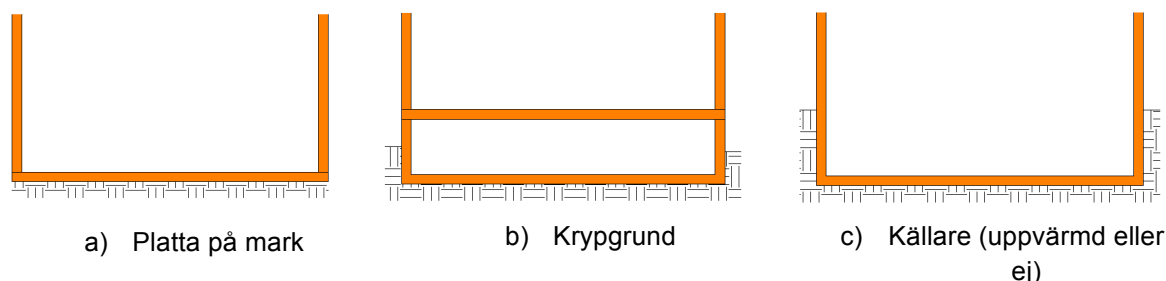


Fig. 3.9: Typer av grundsystem

Anvisningar i ISO 13370:2007 har använts. Värmemängden som överförs till (eller från) marken beräknas genom att modifiera värmegenomgångskoefficienten, detta för att beakta markens bidrag till isoleringen. Vidare modifieras även värmeöverföringskoefficienten för att ta hänsyn till det månatliga värmeflödet, vilket beräknas genom att ta med effekten av markens termiska tröghet i beräkningen. De antagna termiska egenskaperna hos marken visas i tabell 3.10.

Tabell 3.10: Markens termiska egenskaper (ISO 13370:2007)

	Värmeledningsförmåga λ [W/(m·K)]	Volymetriskt Värmekapacitet ρc [MJ/(m ³ ·K)]
Lera eller silt	1.5	3.00
Sand eller grus	2.0	2.00
Homogent berg	3.5	2.00
Standardvärde	2.0	2.00

Värmeöverföring genom fönster

Algoritmen innehåller en databas med genomsnittliga värden för optiska och termiska egenskaper för flera olika sorters fönster (EN 15193) som visas i tabell 3.11, där $g_{gl,n}$ är solenergitransmittansen för strålning vinkelrät mot glaset och U_{Gl} är fönstrets värmegenomgångskoefficient.

Tabell 3.11: Standardvärden för optiska och termiska egenskaper hos fönster

Öppningstyp	$g_{gl,n}$	U_{Gl}
Enkelglasfönster	0.87	5.8
Tvåglasfönster	0.78	2.9
Tvåglasfönster med låg emissivitet 1	0.72	1.7

Tvåglasfönster med låg emissivitet 2	0.67	1.4
Tvåglasfönster med låg emissivitet 3	0.65	1.2
Trippelglas	0.7	2.0
Trippelglas med låg emissivitet 1	0.5	0.8
Trippelglas med låg emissivitet 2	0.5	0.6

Värmeöverföring genom fönster beräknas med Ekv. (3.10). För att ta hänsyn till den positiva effekten av solavskärmningar som används nattetid är det dock nödvändigt att modifiera värmegenomgångskoefficienten. Den korregerade värmegenomgångskoefficienten, $U_{Gl,corr}$ i $W/m^2.K$ ges av:

$$U_{Gl,corr} = U_{Gl+shut} \cdot f_{shut} + U_{Gl} \cdot (1 - f_{shut})$$

Ekv. (3.12)

där,

- $U_{Gl+shut}$, värmegenomgångskoefficienten för fönster och fönsterlucka tillsammans ($W/m^2.K$);
- f_{shut} , dimensionslös andel av ackumulerad temperaturskillnad för perioden med fönsterlucka;
- U_{Gl} , värmegenomgångskoefficienten för fönster utan fönsterlucka ($W/m^2.K$);

Värmegenomgångskoefficienten för fönster med fönsterlucka, $U_{Gl+shut}$, ges av:

$$U_{Gl+shut} = \frac{1}{\frac{1}{U_{Gl}} + R_{sh} + \Delta R}$$

Ekv. (3.13)

där,

- R_{sh} , är värmeövergångsmotståndet för fönsterluckan ($m^2.K/W$);
- ΔR , är värmemotståndets tillskott vid specifik luftgenomsläpplighet för fönsterluckan ($m^2.K/W$).

I algoritmen tillhandahålls standardvärden för R_{sh} och ΔR , vilka är tagna från ISO 10077-1 (2007). Dessa värden är beroende av typen av material i fönsterluckan och dess luftgenomsläpplighet, som visas i Tabell 3.12.

Tabell 3.12 – Värmeövergångsmotstånd för fönsterluckor

Typ av fönsterlucka	R_{sh}	Luftgenomsläpplighet
---------------------	----------	----------------------

	[m ² .K/W]	Hög/Mycket hög	Normal	Tätt eller låg
		ΔR [m ² .K/W]		
Yttre jalousier av aluminium (ingen isolering)	0.01	0.00	0.12	0.00
Yttre opaka träluckor (ingen isolering)	0.10	0.00	0.16	0.00
Yttre jalousier av trä (ingen isolering)	0.10	0.00	0.16	0.00
Yttre jalousier av plast (ingen isolering)	0.10	0.00	0.16	0.00
Yttre persienner av trä	0.01	0.09	0.00	0.00
Yttre persienner av metal	0.01	0.09	0.00	0.00
Yttre opaka jalousier	0.01	0.09	0.00	0.00
Yttre genomskinliga jalousier	0.01	0.09	0.00	0.00
Inre luckor	0.01	0.00	0.00	0.24
Inre opaka gardiner	0.00	0.00	0.00	0.00
Inre genomskinliga gardiner	0.00	0.00	0.00	0.00
Inre opaka träluckor	0.10	0.00	0.00	0.31
Jalousier av plast med skumfyllning	0.15	0.00	0.19	0.00
Träluckor, med tjocklek på 25mm till 30mm	0.20	0.00	0.22	0.00

Den dimensionslösa andelen av den ackumulerade temperaturskillnaden för en period med fönsterlucka f_{shut} , som används i verktyget beräknades utifrån timvärden. Den ansågs vara lika med den nattliga tidsandelen (nattligt skydd).

3.3.3.1.2 VÄRMEÖVERFÖRING GENOM KONVEKTION (VENTILATION)

En typ av passiv kylnings-/uppvärmningsteknik är att använda de mest gynnsamma villkoren för ventilationen i byggnaden för att optimera byggnadens termiska prestanda. Under vintern är det fördelaktigt att reducera ventilationens luftflöde för att reducera värmeförlusterna, medan det under sommaren kan vara fördelaktigt att öka luftutbytet om den yttre temperaturen är gynnsam för att dra nytta av denna passiva teknik. Därför tillåter algoritmen att definiera olika luftflöden för uppvärmning och kylning.

Metoden för att beakta värmeöverföring genom konvektion föreskrivs i ISO 13790:2008, avsnitt 9.3 och visas i följande former,

$$Q_{ve} = H_{ve,adj}(\theta_{int,sec} - \theta_e) \cdot t$$

Ekv. (3.14)

$$H_{ve,adj} = \rho_a \cdot c_a \cdot \left(\sum_k b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,mn} \right)$$

Ekv. (3.15)

$$q_{ve,k,mn} = f_{ve,t,k} \cdot q_{ve,k}$$

Ekv. (3.16)

där,

$\rho_a \cdot c_a$, är den volymetriska värmekapaciteten för luft (J/m³.K);

$q_{ve,k,mn}$, är det genomsnittliga luftflödet för byggelement k (m³/s);

$b_{ve,k}$, är justeringsfaktorn för luftflödestemperatur för byggelement k (-).

Om det inte finns något system för förvärmning (t.ex. värmeväxlare) så är justeringsfaktorn, $b_{ve,k}$, lika med 1. I byggnader utrustade med en värmeväxlare:

$$b_{ve,k} = (1 - f_{ve,frac,k} \cdot \eta_{hru})$$

Ekv. (3.17)

där,

$f_{ve,frac,k}$, är andelen av luftflödet för byggelement k som går genom värmeväxlaren;

η_{hru} , är värmeväxlarens verkningsgrad.

3.3.3.1.3 INTERNA VÄRMEVINSTER

Värme som produceras av invånare och apparater beräknas som interna vinster. Det här är en viktig andel i en byggnads värmebalans. Algoritmen kan hantera användardata eller standardvärden (hämtade från ISO 13790:2008) som består av veckovis nyttjandeschema och motsvarande värmeflöden. Ekvationen som används för att beräkna vinster från interna värmekällor är:

$$Q_{int} = \left(\sum_k \Phi_{int,mn,k} \right) \cdot t + \left(\sum_k (1 - b_{tr,l}) \Phi_{int,mn,u,l} \right) \cdot t$$

Ekv. (3.18)

Där,

$\Phi_{int,mn,k}$, är det genomsnittliga värmeflödet från interna källor k (W);

$\Phi_{int,mn,u,l}$, är det genomsnittliga värmeflödet från interna källor l i intilliggande utrymme utan luftkonditionering (W);

$b_{tr,l}$, är reduktionsfaktorn för det intilliggande utrymmet utan luftkonditionering;

t , är månadens längd (Ms).

Interna värmeflöden i en byggnad kan härstamma från: i) invånare; ii) apparater. I tabell 3.13 presenteras referensvärden för värmeflöden från invånare och apparater.

Tabell 3.13 – Värmeflöde från invånare och apparater i bostadshus; scheman (från ISO 13790:2008)

Dagar	Timmar	Vardagsrum plus kök ($\phi_{int,oc} + \phi_{int,A}$)/ A_f [W/m ²]	Andra utrymmen (t.ex. sovrum) ($\phi_{int,oc} + \phi_{int,A}$)/ A_f [W/m ²]
Måndag till Fredag	07:00 to 17:00	8.0	1.0
	17:00 to 23:00	20.0	1.0
	23:00 to 07:00	2.0	6.0
Lördag till Söndag	07:00 to 17:00	8.0	2.0
	17:00 to 23:00	20.0	4.0
	23:00 to 07:00	2.0	6.0

3.3.3.1.4 SOLVÄRMEVINSTER

Denna typ av värmevinst är en annan betydande variabel i ekvationen för en byggnads värmebalans. Den allmänna ekvationen för att beräkna den är:

$$Q_{sol} = \left(\sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right) \cdot t + \left(\sum_k (1 - b_{tr,l}) \Phi_{sol,mn,u,l} \right) \cdot t$$

Ekv. (3.19)

där,

- $\Phi_{sol,mn,k}$, är det genomsnittliga värmflödet från solvärmekälla k (W);
- $\Phi_{sol,mn,u,l}$, är det genomsnittliga värmflödet från solvärmekälla l i intilliggande utrymme utan luftkonditionering (W);
- $b_{tr,l}$, är reduktionsfaktorn för det intilliggande utrymmet utan luftkonditionering;
- t , är månadens längd (Ms).

Det är nödvändigt att beräkna den effektiva arean för varje element som exponeras till solstrålning. Metoderna som presenteras i ISO13709 (2008) tillåter beaktande av effekter från solavskärmningar, skuggning på grund av byggnaden självt och andra klimatberoende fenomen. Detta behandlas i nästa avsnitt.

Värmeflödet från solvärmevinster ges av:

$$\Phi_{sol,mn,k} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} - F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k}$$

Ekv. (3.20)

där,

- $F_{sh,ob,k}$, är reduktionsfaktorn för skuggning från yttre hinder (-);
- $A_{sol,k}$, är den effektiva ytan för solvärmeinsamling för byggelement k (-);
- $I_{sol,k}$, är den infallande solinstrålningen per kvadratmeter effektiv yta för byggelement k (W/m²);
- $F_{r,k}$, är formfaktorn mellan byggelement k och himlen (-);
- $\Phi_{r,k}$, är det extra värmeflödet orsakat av termisk strålning till himlen från byggelement k (W/m²)

Reduktionsfaktorn för skuggning från yttre hinder, $F_{sh,ob,k}$, försummas i denna version av AMECO. Den effektiva ytan för solvärmeinsamling för fönster räknas ut med,

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p}$$

Ekv. (3.21)

där,

- $F_{sh,gl}$, är reduktionsfaktorn för rörliga solavskärmningar (-);
- g_{gl} , är den totala transmittansen för solinstrålning för elementets genomsnittliga del (-);
- F_F , är fönstrets ramandel (-);
- $A_{w,p}$, är projektionen av fönstrets totala yta (m²).

Det är möjligt att beakta den positiva effekten av solavskärmningar (t.ex när kylning behövs). Det är då nödvändigt att bestämma reduktionsfaktorn för dessa anordningar med:

$$F_{sh,gl} = \frac{(1 - f_{sh,with}) \cdot g_{gl} + f_{sh,with} \cdot g_{gl+sh}}{g_{gl}}$$

Ekv. (3.22)

där,

- g_{gl+sh} , är den totala transmittansen för solinstrålning för elementet när solavskärmningen används (-);
- $f_{sh,with}$, är tidsandelen under vilken solavskärmningen används.

De antagna värdena för transmittansen för solinstrålning när solavskärmningen används, g_{gl+sh} , visas i tabell 3.14 och hämtades från RCCTE (2006).

Tabell 3.14: Transmittans för solinstrålning när solavskärmningen används, g_{gl+sh}

Typ av solavskärmning	Solavskärmningens färg		
	Ljus	Medel	Mörk
Yttre opaka träluckor (ingen isolering)	0.03	0.05	0.06
Yttre jalousier av trä (ingen isolering)	0.04	0.05	0.07
Yttre jalousier av aluminium (ingen isolering)	0.04	0.07	0.09
Yttre jalousier av plast (ingen isolering)	0.04	0.07	0.09
Yttre persienner av trä	0.08	0.08	0.08
Yttre persienner av metal	0.09	0.09	0.09
Yttre opaka jalousier	0.04	0.06	0.08
Yttre genomskinliga jalousier	0.16	0.18	0.2
Inre luckor	0.47	0.59	0.69
Inre opaka gardiner	0.37	0.46	0.55
Inre genomskinliga gardiner	0.39	0.48	0.58
Inre opaka träluckor	0.35	0.46	0.58
Yttre jalousier av plast (med isolering)	0.04	0.07	0.09
Träluckor, med tjocklek på 25mm till 30mm	0.04	0.05	0.07

Tidsandelen under vilken solavskärmningen används, $f_{sh,with}$, beräknas för varje riktning och baseras på timvärden av solinstrålning (som bestäms med *EnergyPlus* och solberäkningar baserade på Perez-modellen). Det är tidsandelen för vilken solstrålningen är över ett börvärde i en given riktning.

För ett fönster av splitterfritt glas utan solavskärmning, ges den totala transmittansen för solinstrålning, g_{gl} , av:

$$g_{gl} = g_{gl,n} \cdot F_w$$

Ekv. (3.23)

där,

F_w , är korrektionsfaktorn för splitterfritt glas (-);

$g_{gl,n}$, är transmittansen för solinstrålning vinkelrät mot glaset eller SHGC (-).

Om fönstret förses med solavskärmningar, eller om glaset är splittrat, är det dock nödvändigt att beräkna en genomsnittlig transmittans för solinstrålning baserad på en viktad summa av de direkta och diffusa andelarna av solinstrålningen. Dessa parameter beräknas på en månatlig basis med ekvation (3.24).

$$g_{gl} = a_{gl} \cdot g_{gl,alt} + (1 - a_{gl}) \cdot g_{gl,dif}$$

Ekv. (3.24)

$$alt_g = \frac{\sum_1^n \alpha_i \cdot I_{dir,i}}{\sum_1^n I_{dir,i}}$$

Ekv. (3.25)

$$a_{gl} = \frac{\sum_1^n I_{dir,i}}{\sum_1^n I_{sol,i}}$$

Ekv. (3.26)

där,

- a_{gl} , faktor, beroende av fönstrets position (orientering, lutning), klimat och årstid (-);
- $g_{gl,alt}$, transmittans för solinstrålning för en given solhöjdsvinkel, alt_{gl} , beroende av fönstrets position (dependant of the position (orienteeing, lutning), klimat och årstid (-);
- $g_{gl,dif}$, transmittans för isotropisk diffus solinstrålning (-);
- $I_{dir,i}$, genomsnittlig direkt solinstrålning vid tid i (W/m^2);
- I_{sol} , genomsnittlig total solinstrålning vid tid i (W/m^2);
- α_i , sol infallsvinkel ($^\circ$);
- n , antal timmar i månaden (-).

Den direkta och totala solinstrålningen och solens infallsvinkel $I_{dir,i}$, I_{sol} respektive α_i , hämtades från *EnergyPlus* vilket baseras på Perezmodellen för solberäkningar.

Fönstrets ramandel, F_F , beräknas enligt ISO 10077-1 (2006). Värden på 0,2 och 0,3 kan användas, vilket ger ett maximalt transmittansvärde för fönstret. För klimat där uppvärmning är övervägande användes standardvärdet 0,3 (ISO 13790, anmärkning till 11.4.5).

Fönstrets totala projicerade yta, $A_{w,p}$, inkluderar glaset och ramarna, eftersom fönstrets termiska egenskaper i verktyget avser hela elementet (glas och ram). Denna metod rekommenderas också i ISO 13789:2007, Bilaga B.

Den effektiva insamlingsytan för solinstrålning hos opaka element beräknas med ekvationen nedan,

$$A_{sol} = \alpha_{S,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c$$

Ekv. (3.27)

där,

$\alpha_{S,c}$, dimensionslös absorptionskoefficient för solinstrålning för det opaka elementet;

R_{se} , yttre värmeövergångsmotstånd för det opaka elementet, enligt ISO 6946:2007 ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$);

U_c , värmegenomgångskoefficient för den opaka delen, enligt ISO 6946:2007 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$);

A_c , projicerad (på ett plan parallell till ytan) yta för det opaka elementet (m^2);

Den dimensionslösa absorptionskoefficienten för solinstrålning beror på färgen på opaka elementets yttre yta, vilket visas i nästa tabell (RCCTE, 2006).

Tabell 3.15: Absorptionskoefficient för solinstrålning för det opaka elementet (RCCTE, 2006)

Färg	$\alpha_{S,c}$
Ljus	0.3
Medel	0.5
Mörk	0.8

Den infallande solinstrålningen, $I_{sol,k}$, är ett medelvärde för tidssteget som används i den månadsvisa beräkningen. Detta är naturligtvis beroende av klimat, solhöjdsvinkel och position (riktning och lutning).

Formfaktorn mellan elementet och himlen, $F_{r,k}$, antas vara 1.0 och 0.5 för horisontella respektive vertikala oskuggade element.

Den termiska strålningen till himlen, $\Phi_{r,k}$, beräknas i solvinsterna. Detta är dock en värmeöverföring genom strålning på grund av temperaturskillnaderna mellan elementets yta (med antagandet att den är densamma som den yttre temperaturen) och himmelskupolen. Sättet att beräkna detta värmeöverföringsfenomen ges i ekvation (3.28)

$$\Phi_{r,k} = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er}$$

Ekv. (3.28)

där,

h_r , koefficient för extern värmeöverföring genom strålning ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$);

$\Delta\theta_{er}$, genomsnittlig skillnad mellan yttre lufttemperatur och himlens skenbara temperatur ($^{\circ}\text{C}$).

ISO 13790:2008 anger att den yttre värmeöverföringskoefficienten för strålning h_r ($W/m^2.K$), kan tas som $5.\varepsilon$ (där ε är materialets strålningsstal), vilket motsvarar en genomsnittlig temperaturskillnad på $10^\circ C$ mellan ytan och himlen.

Enligt ISO 13790 (avsnitt 11.4.6) kan den genomsnittliga temperaturskillnaden mellan yttre lufttemperatur och skenbar himmelstemperatur, $\Delta\theta_{er}$, tas som $9^\circ C$ i sub-polära områden, $13^\circ C$ i tropikerna och $11^\circ C$ i mellanliggande områden.

3.3.3.1.5 DYNAMISKA PARAMETRAR

För uppvärmningsläget ges utnyttjandegraden för värmevinster, $\eta_{H,gn,m}$, av följande ekvationer:

$$\text{Om } \gamma_H > 0 \text{ och } \gamma_H \neq 1 : \quad \eta_{H,gn} = \frac{1-\gamma_H^{a_H}}{1-\gamma_H^{a_H+1}}$$

Ekv. (3.29)

$$\text{Om } \gamma_H = 1 : \quad \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H+1}$$

Ekv. (3.30)

$$\text{Om } \gamma_H < 0 : \quad \eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H}$$

Ekv. (3.31)

där,

$\gamma_H = Q_{H,gn}/Q_{H,ht}$ är värmebalansens förhållande;

$a_H = a_{H,0} + \tau/\tau_{H,0}$ är en dimensionslös parameter;

$\tau = C_m/H$ är byggnadszonen tidskonstant och tar hänsyn till byggnadens termiska tröghet och värmeöverföringen genom ledning och konvektion;

$a_{H,0}$ och $\tau_{,0}$ är dimensionslösa parametrar, som sätts lika med 1 respektive 15 enligt ISO 13790.

För kylningsläget ges den månatliga utnyttjandegraden av följande ekvationer:

$$\text{Om } \gamma_C > 0 \text{ och } \gamma_C \neq 1 : \quad \eta_{C,Is} = \frac{1-\gamma_C^{-a_C}}{1-\gamma_C^{-(a_C+1)}}$$

Ekv. (3.32)

$$\text{Om } \gamma_C = 1 : \quad \eta_{C,Is} = \frac{a_C}{a_C+1}$$

Ekv. (3.33)

$$\text{Om } \gamma_C < 0 : \quad \eta_{C,Is} = 1$$

Ekv. (3.34)

Parametrarna som används för att få fram utnyttjandegraderna liknar dem som presenterades för uppvärmningsläget, men med värden som motsvarar kylningsläget (de dimensionslösa parametrarna α_0 och $\tau_{C,0}$ sätts även där till 1 respektive 15 enligt ISO 13790).

Byggnadens inre massa beaktas i beräkningarna genom tidskonstanten för byggnadszonen, uttryckt i timmar.

$$\tau = \frac{C_m}{3600 \cdot (H_{tr,adj} + H_{ve,adj})}$$

Ekv. (3.35)

där,

C_m , är byggnadens eller byggnadszonens interna värmekapacitet (J/K);

$H_{tr,adj}$, representativ total värmeöverföringskoefficient enligt ekvation (3.9);

$H_{ve,adj}$, representativ total värmeöverföringskoefficient enligt ekvation (3.15).

Byggnadens inre värmekapacitet C_m (J/K), beräknas som summan av värmekapaciteterna från alla byggelementen i byggnaden som är i direkt kontakt med byggnadens innerluft (ISO 13790), och ges av,

$$C_m = \sum_j k_j \cdot A_j$$

Ekv. (3.36)

där,

k_j är den inre värmekapaciteten per ytenhet byggelement j (J/K.m²);

A_j är ytarean av byggelement j (m²).

Den inre värmekapaciteten per ytenhet, k_j , har beräknats för varje makrokomponent enligt anvisningar i EN ISO 13780:2007, Bilaga A, vilka avser en förenklad metod.

För att snabbt bestämma en byggnads inre värmekapacitet, anger ISO 13790 standardvärden per kvadratmeter för angivna byggnadsklasser. Dessa visas i tabell 3.16 för den månatliga och årtidsbundna metoden.

Tabell 3.16 – Standardvärden för inre värmekapacitet (ISO 13790, 2008)

Klass	C_m [J/K]
Mycket solavskärmning	$80000 \cdot A_f$
Lätt	$110000 \cdot A_f$
Medel	$165000 \cdot A_f$
Tung	$260000 \cdot A_f$
Mycket tung	$370000 \cdot A_f$

A_f - Golvyta

Längd för månader med uppvärmning och kylning

ISO 13790 ger två metoder för att göra en bedömning av månader med energibehov för kylning eller uppvärmning. De baseras på värmebalansens förhållande och de dimensionslösa parametrarna a_c och a_H . Endast den mer detaljerade metoden (avsnitt 7.4.1.1 – metod b) i ISO13790 beskrivs här eftersom den kan användas i verktyget.

Uppvärmningsläge:

Uppskattningen av månadens andel med ett energibehov för att värma upp utrymmena börjar med beräkningen av ett idealiskt förhållande för värmebalansen, $\gamma_{H,lim}$, som motsvarar en idealisk utnyttjandegrad för värmevinster, $\eta_{H,gn}$. Den senare tar ett värde som gör energibehovet för uppvärmning till noll. Detta resonemang är anpassat till en idealisk byggnad med obegränsad termisk tröghet, där $\gamma_{H,lim} = 1.0$ och därmed, $\eta_{H,gn} = 1.0$. Men eftersom en riktig byggnad har en begränsad termisk tröghet är inte alla värmevinster effektiva för att värma utrymmet och bidra till att öka den inre temperaturen till komforttemperaturen (på grund av överhettning).

Därför är utnyttjandegraden för värmevinster mindre och det är nödvändigt att ha mer vinster för att balansera ekvationen för värmebalans och göra energibehovet noll. Detta resonemang är ogiltigt vid nettovärmeförluster (om värmebalansens förhållande är mindre än 1, innebär det att värmeförlusterna är större än värmevinsterna; eftersom utnyttjandegraden för värmevinster inte kan anta ett värde större än 1, så är det omöjligt att göra energibehovet till noll, och då är det omöjligt att bestämma det optimala förhållandet för en värmebalans lägre än 1,0). Detta beskrivs i figur 3.10.

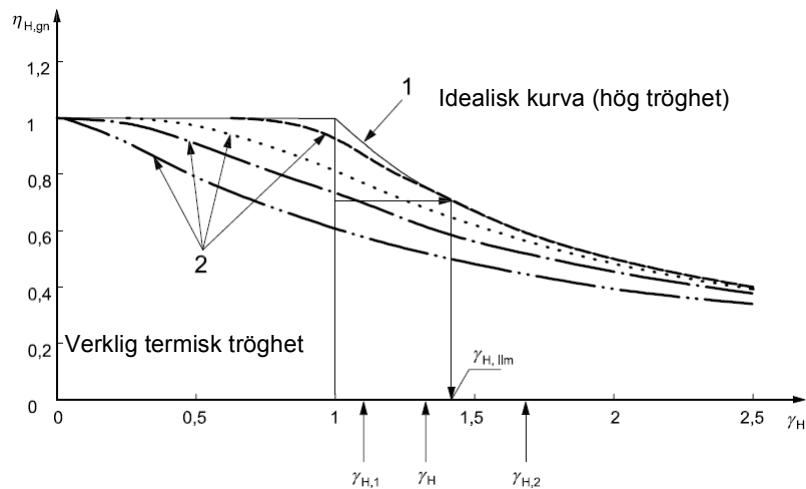


Fig. 3.10: Relevanta parametrar för att bestämma månadens andel med energibehov för uppvärmning eller kylning (ISO 13790)

Värmebalansens optimala förhållande beräknas med:

$$\gamma_{H,lim} = \frac{(a_H + 1)}{a_H}$$

Ekv. (3.37)

För beräkningen av månadens andel med ett energibehov för uppvärmning är det nödvändigt att bestämma γ_H vid månadens början och slut. Den genomsnittliga γ_H vid månadens början tas som genomsnittet för den betraktade och den tidigare månaden.

Parametern för γ_H vid månadens slut tas som genomsnittet för γ_H för betraktad och nästkommande månad. Vidare behövs två "nya" parametrar: $\gamma_{,1}$ och $\gamma_{H,2}$. De tas som den minsta respektive största av de två γ_H värden som beräknades tidigare. Dessa parametrar ($\gamma_{,1}$ och $\gamma_{H,2}$) är värmebalansens förhållande vid månadens början respektive slut och beräknas enligt följande:

$$\text{Om } \gamma_{,2} < \gamma_{H,lim}: f_H = 1$$

Ekv. (3.38)

$$\text{Om } \gamma_{,1} > \gamma_{H,lim}: f_H = 0$$

Ekv. (3.39)

Ekvation (3.39) innebär att om värmebalansens lägsta förhållande för månadens ändrar är högre än det optimala värdet, så kommer det inte att behövas någon uppvärmning denna månad. Men om inget av dessa villkor uppfylls, gäller följande:

$$\text{Om } \gamma_H > \gamma_{H,lim}: f_H = 0,5 \cdot \frac{\gamma_{H,lim} - \gamma_{H,1}}{\gamma_H - \gamma_{H,1}}$$

Ekv. (3.40)

$$\text{Om } \gamma_H \leq \gamma_{H,lim}: f_H = 0,5 + 0,5 \cdot \frac{\gamma_{H,lim} - \gamma_H}{\gamma_{H,2} - \gamma_H}$$

Ekv. (3.41)

Dessa ekvationer följer samma logik som ekvationerna (3.38) och (3.39), med den skillnaden att i ekvationerna (3.40) och (3.41) avser γ_H ett månatligt medelvärde och inte ett värde vid månadens början eller slut.

Längden på uppvärmningssäsongen kan också bestämmas som summan av f_H för varje månad:

$$L_H = \sum_{m=1}^{12} f_{H,m}$$

Ekv. (3.42)

Kylningsläge

Resonemanget som förts för uppvärmningsläget kan tillämpas även för kylningsläget. Alltså ges inga vidare förklaringar här. Beräkningen för månadens andel med ett energibehov för kylning beräknas med hjälp av inversen för värmebalansens optimala förhållande $(1/\gamma_C)_{lim}$. Denna parameter beräknas med:

$$(1/\gamma_C)_{lim} = (a_c + 1)/a_c$$

Ekv. (3.43)

Då ges gränsparametrarna $(1/\gamma_C)_1$ och $(1/\gamma_C)_2$ av ekvation (3.44) och (3.45):

$$\text{Om } (1/\gamma_C)_2 < (1/\gamma_C)_{lim}: f_C = 1$$

Ekv. (3.44)

$$\text{Om } (1/\gamma_C)_1 > (1/\gamma_C)_{lim}: f_C = 0$$

Ekv. (3.45)

Om inget av dessa villkor uppfylls gäller:

$$\text{Om } (1/\gamma_C) > (1/\gamma_C)_{lim} : f_C = 0,5 \cdot \frac{(1/\gamma_C)_{lim} - (1/\gamma_C)_1}{(1/\gamma_C) - (1/\gamma_C)_1}$$

Ekv. (3.46)

$$\text{Om } (1/\gamma_C) \leq (1/\gamma_C)_{lim} : f_C = 0,5 + 0,5 \cdot \frac{(1/\gamma_C)_{lim} - (1/\gamma_C)}{(1/\gamma_C)_2 - (1/\gamma_C)}$$

Ekv. (3.47)

Längden på kylningssäsongen kan också bestämmas som summan av f_C för varje månad:

$$L_C = \sum_{m=1}^{12} f_{C,m}$$

Ekv. (3.48)

Energibehov för periodiska driftsystem

När luftkonditioneringssystem arbetar enligt ett schema (t.ex. med periodisk inställning), ger ISO 13790 (2008) vägledning för att bestämma det reducerade energibehovet, baserat på beräkningar för kontinuerligt drift, som tidigare presenterats i Ekv. (3.6) och Ekv. (3.7). Det går ut på att reducera energibehovet för uppvärmning och kylning, Ekv. (3.6) och Ekv. (3.7), med en dimensionslös reduktionsfaktor för periodisk uppvärmning och kylning, $a_{C,red}$ och $a_{H,red}$. Månadens andelar med ett energibehov för uppvärmning och kylning, $f_{H,m}$ och $f_{C,m}$ används även här:

$$Q_{H,nd,interm,m} = f_{H,m} \cdot a_{H,red} \cdot Q_{H,nd,cont,m}$$

Ekv. (3.49)

$$Q_{C,nd,interm,m} = f_{C,m} \cdot a_{C,red} \cdot Q_{C,nd,cont,m}$$

Ekv. (3.50)

Byggnadens tidskonstant, τ , och värmebalansens förhållanden, γ_H och γ_C , påverkar också reduktionsfaktorn för energibehoven på grund av den periodiska driften av luftkonditioneringssystemet, vilket framgår av följande ekvationer,

$$a_{H,red} = 1 - b_{H,red} \cdot \frac{\tau_{H,0}}{\tau} \cdot \gamma_H \cdot (1 - f_{H,hr}) , \text{ med } f_{H,hr} \leq a_{H,red} \leq 1.0$$

Ekv. (3.51)

$$a_{C,red} = 1 - b_{C,red} \cdot \frac{\tau_{C,0}}{\tau} \cdot \gamma_C \cdot (1 - f_{C,day}) , \text{ med } f_{C,day} \leq a_{C,red} \leq 1.0$$

Ekv. (3.52)

där,

b_{red} är en given parameter, vilken tas som 3 (både för uppvärmnings- och kylningsläge);

$f_{H,hr}$ är den timvisa tidsandel då systemen är i drift;

$f_{C,day}$, är den veckovisa tidsandel då systemen är i drift.

3.3.3.2 Energibehov för tappvarmvattenbehov

Energibehovet för tappvarmvattenproduktion under en månad, i $MJ/month$, beräknas enligt EN 15316-3-1 (2007). Det är beroende av byggnadstypen, dess golvyta och temperaturskillnaden mellan inloppsvatten och temperaturen som önskas vid tappning, enligt:

$$Q_{DHW,nd,m} = 4,182 \cdot V_{W,m} \cdot (\theta_{W,t} - \theta_{W,o})$$

Ekv. (3.53)

där,

$V_{W,m}$ är det månatliga behovet av tappvarmvatten i volym som föreskrivs i EN 15316-3-1 (2007);

$\theta_{W,t}$ är varmvattnets temperatur vid tappkranen [$^{\circ}C$];

$\theta_{W,o}$, är inloppsvattnets temperatur [$^{\circ}C$].

Det dagliga varmvattenbehovet för en enda byggnad baseras på golvytan och beräknas (i m^3/dag) enligt följande:

$$V_w = \frac{a \cdot N_U}{1000}$$

Ekv. (3.54)

där,

a , enhetens behov baserat på antal liter vatten vid $60^{\circ}C/dag$;

N_U , antal enheter som beaktas.

Det månatliga varmvattenbehovet, $V_{w,m}$, kan fås genom att multiplicera det dagliga värdet, $V_{w,m}$, med antalet dagar i månaden.

Parametrarna a och N_U beror på byggnadstypen och dess användning och kan beräknas beroende på golvytan, A_f , enligt följande:

$$\text{Om } A_f > 30\text{m}^2: = \frac{62 \cdot \ln(A_f) - 160}{A_f}$$

Ekv. (3.55)

$$\text{Om } 15 \leq A_f \leq 30\text{m}^2: a = 2$$

Ekv. (3.56)

3.3.3.3 Energianvändning

Det beräknade energibehovet bortser från effektiviteten hos byggnadens installerade system för uppvärmning, kylning och tappvarmvattenproduktion. Algoritmen överväger att byggnaden kan ha system med olika verkningsgrader, eftersom det sällan är så att t.ex. värmefaktorn för uppvärmning och kylning är den samma.

Därför är varje energibehov (för kylning, uppvärmning, tappvarmvattenproduktion) påverkat av verkningsgraden hos respektive utrustning. Det allmänna uttrycket för att beräkna energianvändningen som kan tillämpas för varje typ av energibehov är:

$$Q_{cons} = \frac{Q_{nd}}{\eta_{sys}}$$

Ekv. (3.57)

där,

Q_{nd} , energibehov;

η_{sys} , systemets verkningsgrad

De antagna standardvärdena för systemets energieffektivitet och den typ av energi som används visas i följande tabeller. Många av dessa värden har hämtats från RCCTE (2006).

Tabell 3.17: Verkningsgrader och energikällor för olika uppvärmningssystem

Värmesystem	$\eta_{H,sys}$	Energikälla
Elektriskt värmemotstånd	1	Elektricitet
Värmare för gas	0.87	Gas, bränsle

Värmare för flytande bränsle	0.8	Flytande bränsle
Värmare för solidbränsle	0.6	Solidbränsle
Värmepump (uppvärmning)	4	Electricitet

Tabell 3.18: Verkningsgrader och energikällor för olika kylsystem

Värmesystem	$\eta_{C,sys}$	Energikälla
Värmepump (kylning)	3	Electricitet
Kylaggregat (kompression)	3	Electricitet
Kylaggregat (absorption)	0.8	Electricitet

Tabell 3.19: Verkningsgrader och energikällor för olika tappvarmvattensystem

Värmesystem	$\eta_{DHW,sys}$	Energikälla
Elpanna	0.9	Elektricitet
Gaspanna	0.6	Gas
Fristående värmepanna (rökgasen kondenseras)	0.72	Gas
Fristående värmepanna	0.4	Gas

Byggnadens totala energianvändning beräknas som summan av alla energianvändningar:

$$Q_{Tot,cons} = \frac{Q_{H,nd}}{\eta_{H,sys}} + \frac{Q_{C,nd}}{\eta_{C,sys}} + \frac{Q_{DHW,nd}}{\eta_{DHW,sys}}$$

Ekv. (3.58)

Den primära energin beräknas genom att multiplicera energianvändningen med omvandlingsfaktorn F_{pu} :

$$Q_{Tot,prim} = F_{H,pu} \cdot Q_{H,cons} + F_{C,pu} \cdot Q_{C,cons} + F_{DHW,pu} \cdot Q_{DHW,cons}$$

Ekv. (3.59)

Omvandlingsfaktorn från energikonsumtion (eller användning) till primär energi beror på bränsle (eller energikälla) för varje system. Standardvärdena hämtades från RCCTE (2006) och visas i tabell 3.20.

Tabell 3.20: Omvandlingsfaktor från energianvändning till primär energi (RCCTE, 2006)

Energityp	F_{pu} [kgoe/kWh]
Elektricitet	0.29
Gas, flytande eller fast bränsle	0.086

3.3.3.4 Termisk tröghet

Beträffande termisk tröghet beräknas byggnadens inre värmekapacitet, C_m , enligt anvisningar i ISO 13790, vilket redovisades i ekvation (3.36). Den inre värmekapaciteten per yta för varje makrokomponent beräknas enligt anvisningar i Bilaga A av EN ISO 13786 (2007). Detta är en förenklad metod baserad på värmens inträngningsdjup som beräknas för materialen intill inre ytan. Denna metod är lämplig för denna typ av beräkningar. Skiktenas värmekapacitet beaktas till ett maximalt djup på 100 mm (mätt från inre ytan).

3.3.3.5 Köldbryggor

Effekten av upprepade köldbryggor (t.ex. från stålreglar som visas i figur 3.11) i byggelement (t.ex. väggar och plattor) beaktas i beräkningen av värmegenomgångskoefficienten (U-värde). Effekten från linjära och lokala köldbryggor försummas. Detta U-värde ingår i programmets databas för varje makrokomponent.

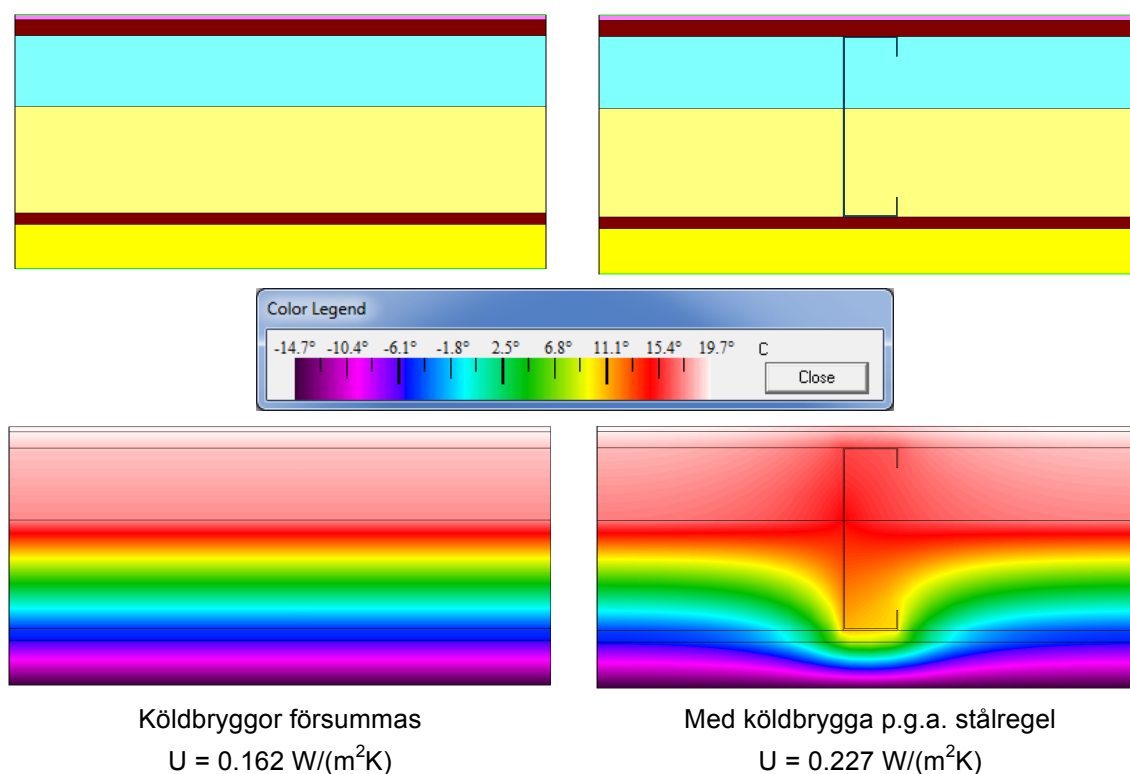


Fig. 3.11: Effekten av köldbryggor på U-värden av ett yttergolv för en lätt stålstomme.

U-värdet för element med köldbryggor bestäms enligt en metod som presenteras i kapitel 6 i ISO 6946 (2007) och förbättrats av Gorgolewski (2007), eftersom den första endast kan tillämpas om isoleringslagret inte överbryggs av stålramar. Den andra metoden baseras på bestämning av två gränser för byggelementets värmeövergångsmotstånd och korrektionsfaktorer beroende av stålreglarnas dimensioner och centrumavstånd. En lägre gräns beräknas genom att kombinera lagrens parallella övergångsmotstånd, d.v.s. med antagande att varje plan har samma temperatur. En övre gräns beräknas genom att summera genomgångsmotstånden för varje överföringsväg. När det inte finns någon köldbrygga i byggelementet så tillämpas metoden för homogena lager, som antar att de olika lager med tillhörande värmemotstånd är seriekopplade.

3.3.4 Kalibrering av algoritmen

För att verifiera den algoritm som tillämpats för beräkning av en byggnads energibehov för uppvärmning och kylning enligt ISO 13790 månatligt kvasistationärt tillstånd, och förbättra dess noggrannhet, har flera verifieringar och kalibreringar utförts.

Först verifierades noggrannheten hos den månatliga algoritmen genom att tillämpa den på tolv testfall som föreskrivs i EN 15265 för ett enda kontorsutrymme. Eftersom riktiga byggnader är mer komplexa och har fler än ett kontorsutrymme kalibrerades sedan algoritmen för ett bostadshus med flera utrymmen. Korrektionsfaktorer användes för värmebalansens fyra komponenter samt de dimensionslösa dynamiska parametrarna.

Slutligen validerades den kalibrerade algoritmen i avsnitt 4.2 genom att tillämpa den på en fallstudie (lågt bostadshus) och resultaten jämfördes med dem från en avancerad dynamisk analys utförd med *DesignBuilder/EnergyPlus*.

3.3.4.1 Noggrannhetsverifiering enligt EN 15265

Detta avsnitt presenterar några av de test som utförts för att verifiera noggrannheten hos den månatliga algoritmen, genom att använda de tolv testfallen (Tabell 3.21) som föreskrivs i EN 15265 (2007) för ett kontorsutrymme (Figur 3.12). Denna standard använder ett referensrum med fönsterelement mot väster, som analyseras för olika gränstillstånd, variationer av inre och solvärmelaster samt två typer av uppvärmnings-/kylningslägen: kontinuerlig och periodisk. För var och en av de tolv betraktade kombinationerna anger standarden referensresultat för energibehoven för uppvärmning och kylning för en specifik plats (Trappes, Frankrike), för vilken klimatdata angående timbaserade värden för yttre lufttemperatur och solinstrålning också föreskrivs.

Tabell 3.21: Föreskrivna testfall i EN 15265 (2007) för att validera beräkningen av energibehov för uppvärmning och kylning med hjälp av dynamiska metoder

Informativ	Normativ	Normativ
Test 1 Referensfall	Test 5 = Test 1 +	Test 9 = Test 5 +
Test 2 Större termisk tröghet	Test 6 = Test 2 +	Test 10 = Test 6 +
Test 3 Inga interna värmevinster	Test 7 = Test 3 +	Test 11 = Test 7 +
Test 4 Ingen Skuggning	Test 8 = Test 4 +	Test 12 = Test 8 +
	Periodisk luftkonditionering (endast 8.00-18.00 från Måndag till Fredag)	Yttertak

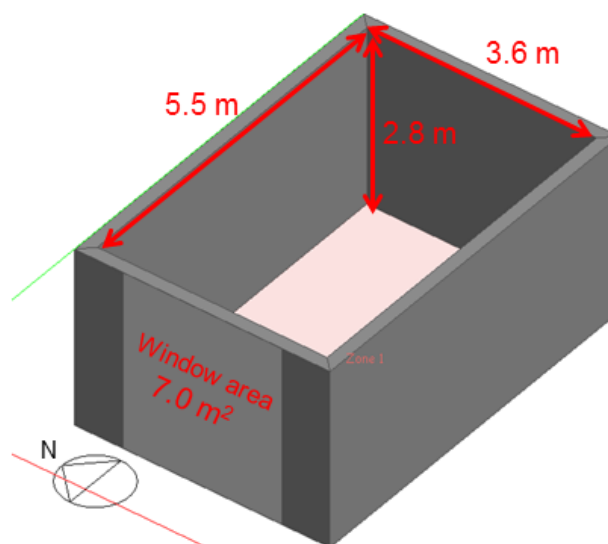
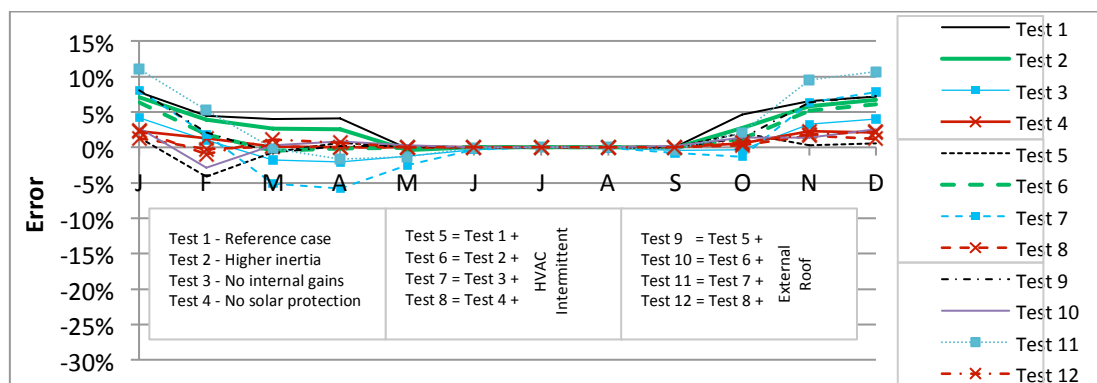
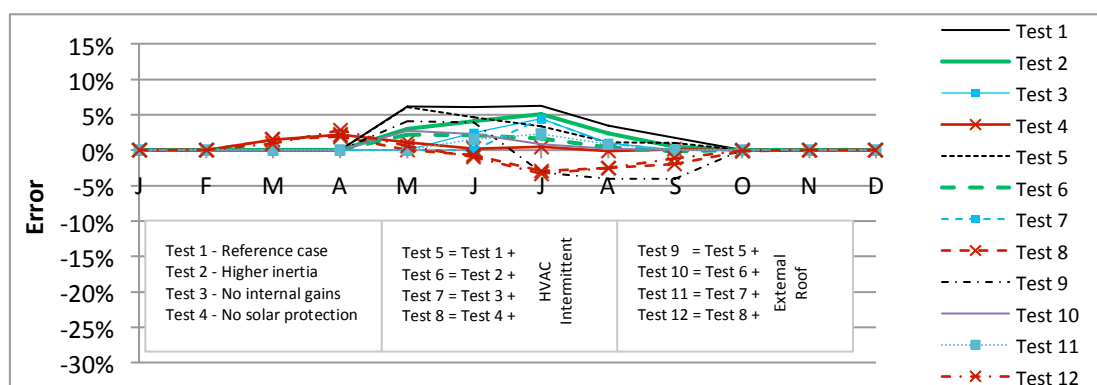


Fig. 3.12: Modell av kontorsutrymmet som föreskrivs i EN 15265

Eftersom det var viktigt att bedöma noggrannheten hos termerna som ingår i värmebalansen och dessa inte redovisas i EN 15265 analyserades även testfallen med det avancerade dynamiska beräkningsprogrammet *DesignBuilder*, som använder sig av *EnergyPlus* algoritmen för energisimulering. Testrummet definierades helt både i det dynamiska beräkningsprogrammet och i den månatliga algoritmen, för att skaffa bedömningar av energibehovet. Figur 3.13 illustrerar de fel som uppkom vid användning av den kvasistationära metoden (jämfört med resultaten från den dynamiska analysen med *EnergyPlus* algoritmen). Felen presenteras månadsvis som en del av det årliga energibehovet (i %). Den maximala månatliga felmarginalen är mindre än 12%, vilket kan ses i figur 3.13. Felmarginalen är större på sommaren och vintern för kylnings- respektive uppvärmningslägen.



a) Uppvärmningsläge



b) Kylningsläge

Fig. 3.13: Månatlig felmarginal för algoritmen (månatlig kvasistationär-metod) – referensresultat: *EnergyPlus* (timbaserad avancerad dynamisk metod)

3.3.4.2 Kalibreringsfaktorer

Den månatliga kvasistationära metoden inkluderar flera förenklingar jämfört med avancerade dynamiska simulationer (baserade på timdata). Flera parametrar bidrar direkt till dessa skillnader:

- de dynamiska månatliga utnyttjandegraderna $\eta_{H,gn,m}$ och $\eta_{C,ls,m}$, antas vara konstanta och oberoende av klimatdata och nyttjandescheman inom varje klimatregion;
- (i) de olika energitermerna Q_{ir} , Q_{ve} , Q_{int} och Q_{sol} , beräknas för konstanta inomhustemperaturer som ges av börvärden för uppvärmnings- och kylningssäsong.

Vidare påverkas parametrarna ovan indirekt av klimatdata, nyttjandeschema och byggnadens planlösning.

Följaktligen, trots den goda överensstämmelsen för den månatliga kvasistationära-metoden för testfallen som föreskrivs i EN 15265, så kan prestanda hos byggnader

med mer komplexa planlösningar, driftsprocesser och andra klimat signifikant avvika från resultaten som fås med hjälp av denna förenklade metod.

Detta erkänns i ISO 13790 där eventuella skillnader mellan 50% till 150% noteras. Standarden ger en metod för att härleda de månatliga utnyttjandegraderna (Bilaga I i ISO 13790).

För att minimera denna eventuella spridning definieras och kalibreras nya korrektionsfaktorer för att förbättra beräkningarna av de olika energitermerna: (i) värmeöverföring genom ledning; (ii) värmeöverföring genom konvektion; (iii) interna värmevinster; (iv) solvärmevinster; enligt ekvationer (3.60) till (3.62)

$$H_{tr,adj,c} = f_{tr} \cdot H_{tr,adj} \rightarrow Q_{tr,m} = H_{tr,adj,c} \cdot (\theta_{int,sec,H} - \theta_e) \cdot t$$

Ekv. (3.60)

$$H_{ve,adj,c} = f_{ve} \cdot H_{ve,adj} \rightarrow Q_{ve,m} = H_{ve,adj,c} \cdot (\theta_{int,sec,H} - \theta_e) \cdot t$$

Ekv. (3.61)

$$Q_{gn} = f_{int} \cdot Q_{int,m} + f_{sol} \cdot Q_{sol,m}$$

Ekv. (3.62)

Där

- $H_{tr,adj,c}$ är den korrigerade värmeöverföringen genom ledning;
- f_{tr} är korrektionsfaktorn för värmeöverföring genom ledning;
- $H_{ve,adj,c}$ är den korrigerade värmeöverföringen genom konvektion;
- f_{ve} är korrektionsfaktorn för värmeöverföring genom konvektion;
- f_{int} är korrektionsfaktorn för interna värmevinster, och;
- f_{sol} är korrektionsfaktorn för solvärmevinster, exklusive den termiska strålningen mot himlen.

Notera att särskilda korrektionsfaktorer kalibrerades för varje klimatregion.

Förutom de tidigare nämnda korrektionsfaktorerna för de fyra värmeöverföringskomponenterna kalibrerades även de dimensionslösa parametrarna a_{H0} , τ_{H0} , a_{C0} och τ_{C0} , för varje klimatregion.

Eftersom den månatliga algoritmen syftar till att beräkna energibehoven för byggnader istället för att fokusera på endast ett utrymme som i EN 15265 (2007) utfördes alla kalibreringar med en ny uppsättning testfall baserade på typiska egenskaper hos byggnader (lägenheter), vilket illustreras i figur 3.14.

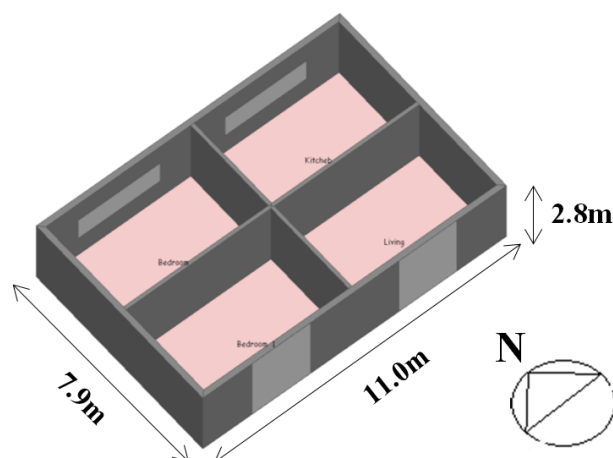


Fig. 3.14: Exempel på en byggnadsmodell som används i testfallen för att kalibrera den månatliga algoritmen

Dessa testfall använder samma termiska egenskaper som byggnadsskalet hos testfallen från EN 15265 (2007) (se tabell 3.22), men med olika randvillkor (icke adiabatiska väggar och tak) och en större golvyta (79.2 m²). Luftflödes hastigheten antas vara ett luftbyte per timme (konstant).

Tabell 3.22 – Termiska egenskaper hos byggnadsskalet i de kalibrerande testfallen

Element	U-värde [W/m ² .K]	K_m [J/m ² .K]
Yttervägg	0.493	81297
Innervägg	-	9146
Tak	0.243	6697
Bottenbjälklag	-	63380

En viktig förändring i kalibreringsmodellerna är relaterad till nyttjandeschemat och systemens driftsschema, eftersom testfallen i EN 15265 (2007) består av kontorsutrymmen. Nyttjandescheman och värme flöden har hämtats från ISO 13790 (2008) för bostadshus, vilket tidigare presenterats i tabell 3.13.

Med tanke på betydelsen av fönsterytor för solvärmesvinster och värmeförluster genom ledning så har olika förhållanden mellan väggar och golvytor studerats, vilket presenteras i tabell 3.23. Olika scenarier med och utan solavskärmningar studerades också under kalibreringsprocessen.

Tabell 3.23 – Huvudsakliga variabler för testfallen som använts för att kalibrera verktyget

Testfall	GFR [%]	NGWR [%]	SGWR [%]	Solavskärmning
T1	35	36	54	PÅ

T2				AV
T3	25	20	40	PÅ
T4				AV
T5	15	12	24	PÅ
T6				AV

GFR: förhållande mellan glas och golv;
 NGWR: förhållande mellan glasytor mot norr och väggar;
 SGWR: förhållande mellan glasytor mot söder och väggar.

Alla testfallen studerades i fem olika klimatregioner: (i) Csa; (ii) Csb; (iii) Cfb; (iv) Dfb; (v) Dfc. Korrektionsfaktorerna härleddes genom att minimera felen för varje underkategori av testfall för varje klimatregion vilken kunde innehålla upp till 500 fall. Figur 3.15 illustrerar de noggrannhetsförbättringar utan och med korrektionsfaktorerna för klimatzonen Dfb, vilket visar genomsnittliga förbättringar från 43% absolut fel till mindre än 2%.

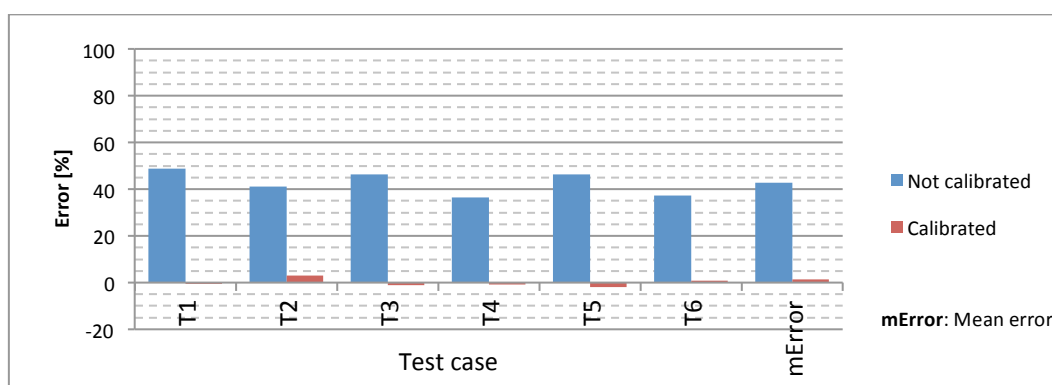


Fig. 3.15: Noggrannhetsförbättring av den månatliga metoden från ISO 13790 för Dfb-klimat: totalt energibehov för uppvärmning och kylning

Figur 3.16 summerar förbättringarna för de fem klimatregioner som detta program beaktar. Det är intressant att notera att, utan korrekationer, är metodens noggrannhet mindre för kalla klimat. Det största felet uppstår i Dfc-regionen och det minsta i Csb-regionen. Den månatliga metoden visade mindre noggrannhet vid beräkning av energibehoven för de kallaste månaderna, eftersom jämförelserna med den dynamiska metoden visade att värmevinsterna används på ett mer effektivt sätt än vad som antas i den förenklade metoden. Denna effekt är än mer relevant och tydlig när solvärmevinsterna är mindre. Totalt är alla fel, med korrektionsfaktorer, mindre än 10%.

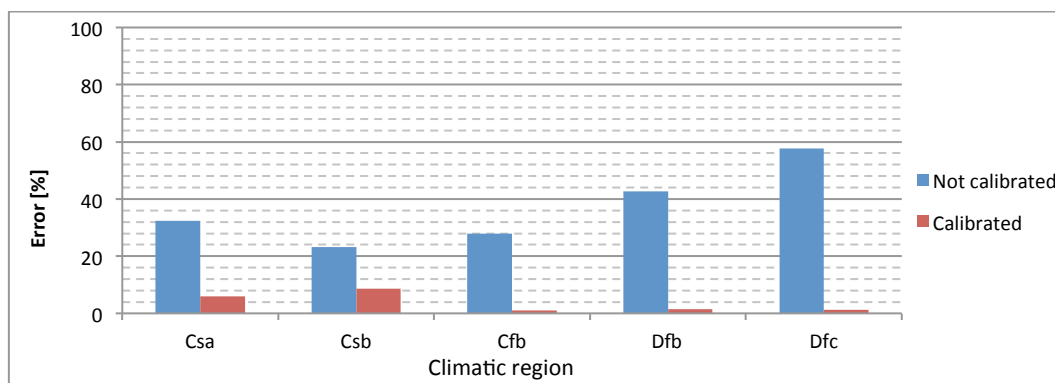


Fig. 3.16: Medelvärde av felen hos den månatliga metoden med och utan kalibreringsfaktorer

Notera att det fanns ett annat felmönster med och utan solavskärmningar. Av detta skäl har kalibreringsfaktorerna särskiljts för dessa två fall. Tabell 3.24 och Tabell 3.25 visar de olika kalibreringsfaktorerna, med respektive utan solavskärmningar.

Tabell 3.24 – Kalibreringsfaktorer när solavskärmningar är aktiverade

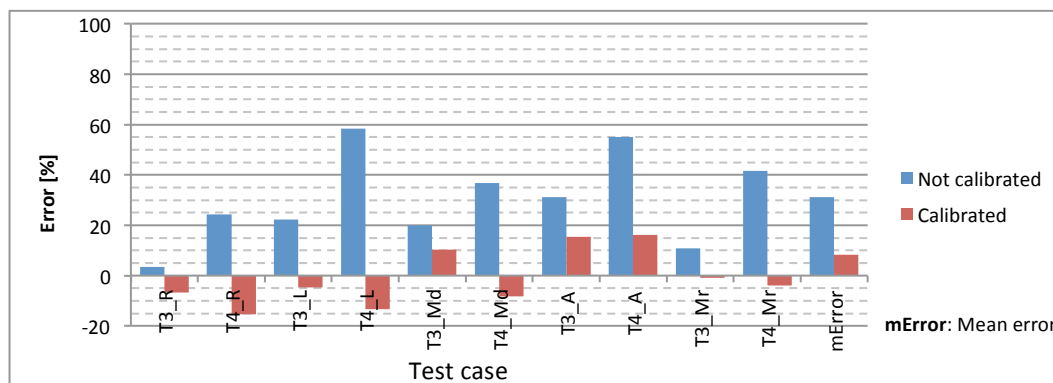
Solavskärmningar PÅ												
Region	Uppvärmningsläge						Kylningsläge					
	a_{H0}	τ_{H0}	Q_{tr}	Q_{ve}	Q_{sol}	Q_{int}	a_{C0}	τ_{C0}	Q_{tr}	Q_{ve}	Q_{sol}	Q_{int}
Csa	1.00	15.67	1.00	1.00	0.90	0.93	1.20	15.00	1.07	1.00	0.83	0.90
Csb	1.33	15.00	1.00	1.07	0.97	0.93	1.10	15.00	1.03	1.10	0.97	1.00
Cfb	1.33	15.00	0.93	0.83	1.10	1.07	1.30	15.00	1.00	1.00	1.00	1.03
Dfb	1.30	14.67	0.83	0.90	1.25	1.25	1.00	15.00	1.07	1.07	0.97	1.00
Dfc	1.25	14.33	0.83	0.83	1.17	1.50	1.00	15.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabell 3.25 – Kalibreringsfaktorer när solavskärmningar inte är aktiverade

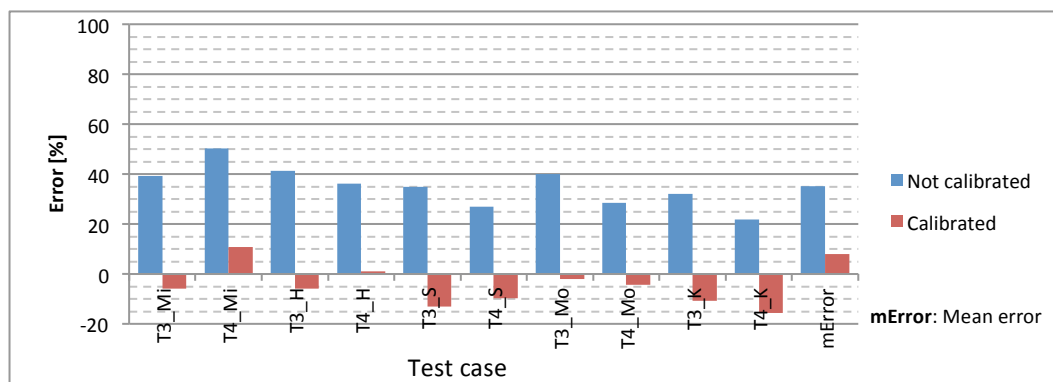
Solavskärmningar AV												
Region	a_{H0}	τ_{H0}	Q_{tr}	Q_{ve}	Q_{sol}	Q_{int}	a_{C0}	τ_{C0}	Q_{tr}	Q_{ve}	Q_{sol}	Q_{int}
Csa	0.93	15.00	1.00	1.00	1.03	1.03	1.25	15.00	1.17	1.33	0.83	0.90
Csb	1.13	15.00	1.00	0.97	1.03	1.00	0.93	15.00	1.08	1.17	0.87	0.87
Cfb	1.17	15.00	1.00	0.93	1.00	1.03	1.08	15.00	1.08	1.33	0.90	0.87
Dfb	1.33	15.00	0.93	0.87	1.17	1.10	1.20	15.00	1.00	1.00	0.83	0.90
Dfc	1.50	14.00	0.80	0.80	1.07	1.20	1.00	15.00	1.17	1.17	0.92	0.90

Eftersom den månatliga algoritmen gör det möjligt att beakta olika aktiveringslägen för solavskärmningar under sommar och vinter tillämpades kalibreringsfaktorerna i tabell 3.24 för kylningsläget och kalibreringsfaktorerna i tabell 3.25 för uppvärmningsläget. Kalibreringsfaktorerna tillämpades på testfall 3 och 4 (med ett förhållande mellan fönsteryta och golvyta på 25%, tabell 3.23) som finns i fem

städer i klimatregionerna Csa och Dfb, för att beräkna felen som uppstår när man använt klimatet för varje region. Figur 3.17 visar att felen varierar med platserna, som förväntat. De största felen uppstod för Aten (16.2%) och Kiev (15.5%), i klimatregion Csa respektive Dfb. De genomsnittliga felen är trots allt mindre än 10% för dessa två regioner (Csa: 8.2% och Dfb: 7.9%).



a) R: Rom; L: Lissabon; Md: Madrid; A: Aten; Mr: Marseille



b) Mi: Minsk; H: Helsingfors; S: Stockholm; Mo: Moskva; K: Kiev

Fig. 3.17: Verifiering av kalibreringsprecisionen när den tillämpas på olika städer i de olika klimatregionerna: a) Csa; b) Dfb

4 VALIDERING AV ANTAGNA METODER

Valideringen av de antagna metoderna som tidigare beskrivits i detta dokument presenteras i detta avsnitt. En fallstudie utfördes med den förenklade metoden och resultaten jämfördes med resultat från en avancerad metod. Den avancerade analysen utförs med kommersiella dataprogram: *GaBi 6* (2012) och *DesignBuilder* (2012), för livscykelanalys respektive energiberäkning.

4.1 Validering av makrokomponentmetoden

Valideringen av makrokomponentmetoden baseras på en fallstudie om ett tvåvånings bostadshus i Portugal. Resultaten som erhålls med den antagna metoden jämförs med dem som erhålls med en avancerad analys utförd med dataprogrammet GaBi. Analysen utförs på byggnadsnivå.

4.1.1 Beskrivning av fallstudien

Byggnaden är ett bostadshus med två våningar, för en familj, i staden Coimbra (Portugal). Byggnadens fasad- och planritningar kan ses i figur 4.1 respektive 4.2.

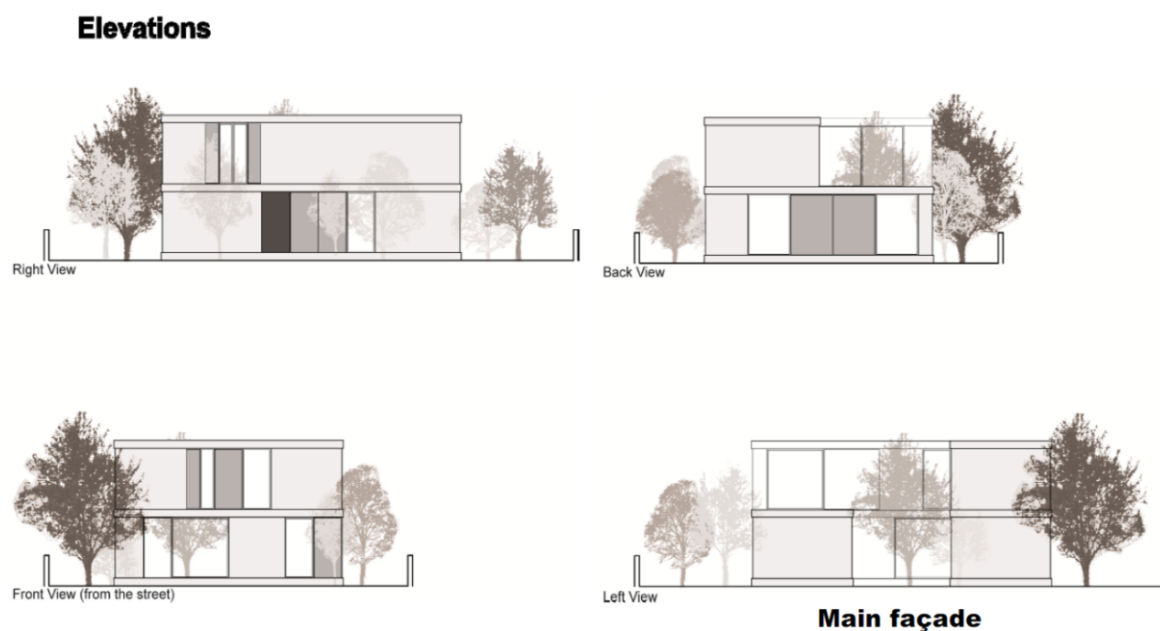


Fig. 4.1: Byggnadens fasadritningar

Den totala ytan är ca. 202 m², varav 100,8 m² på bottenvåningen och 100,8 m² på första våningen (terrassytan är 20,2 m²). Byggnadens totala höjd är 6 m.

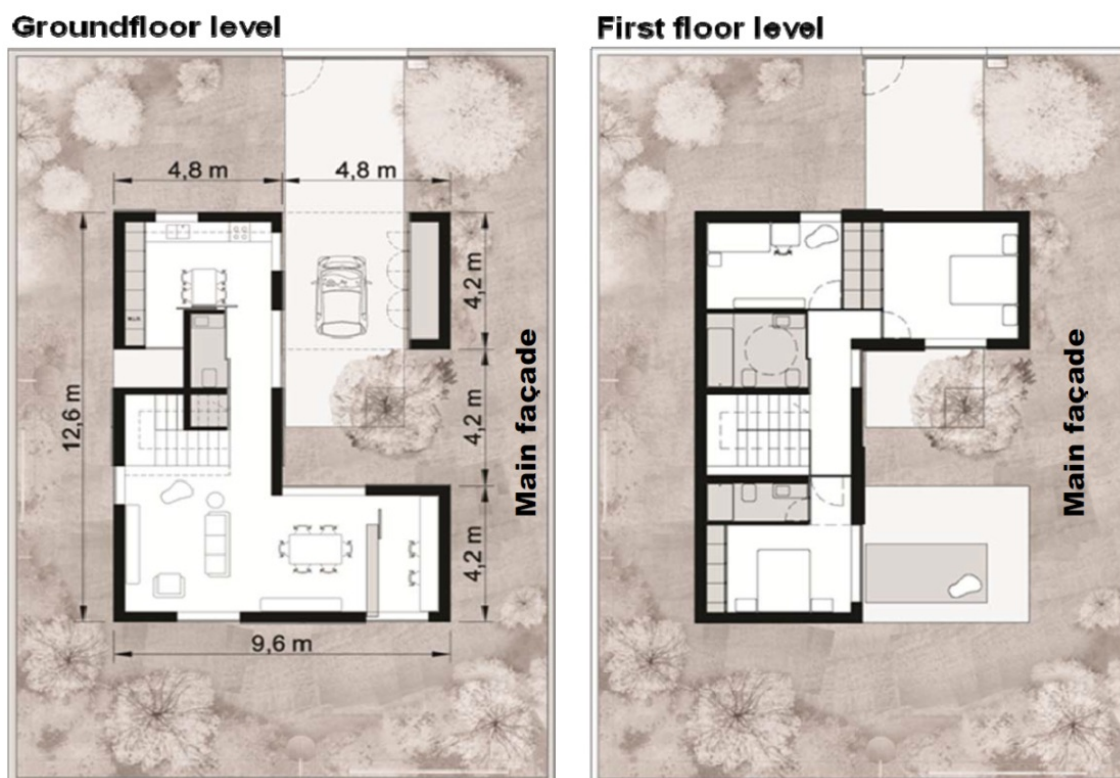


Fig. 4.2: Byggnadens planritningar

Fönsterytorna för varje fasad anges också i byggnadsplanerna. Tabell 4.1 summerar byggnadsskalets ytor.

Tabell 4.1: Vägg- och fönsterytor i det preliminära skedet

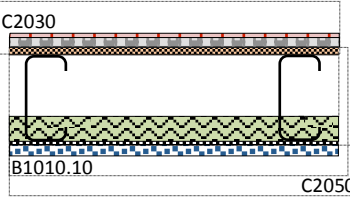
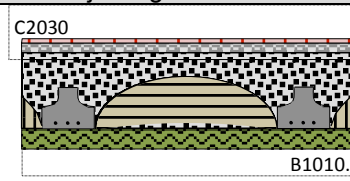
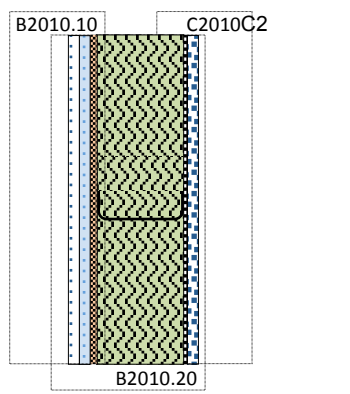
	Norr [m ²]	Öst [m ²]	Söder [m ²]	Väst [m ²]	Summa [m ²]
Väggar	41.3	49.9	38.3	60.4	189.9
Glas	13.0	17.3	15.6	4.3	50.2

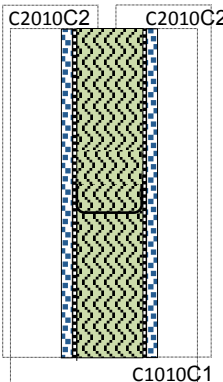
4.1.2 Val av makrokomponenter

För att möjliggöra byggnadens livscykelanalys väljs makrokomponenter ut för byggnadens huvuddelar, nämligen överbyggnad, vertikalt ytterskal och interiör; dessa kan ses i tabell 4.2.

Tabell 4.2: Val av makrokomponenter

	Referens för makrokomponent	Materiallager	Tjocklek [mm] Densitet [kg/m ²]	U-värde [W/m ² . K]	K _m [J/m ² . K]
Takgolv					
B1020.20	B1020.20 Taktäckning	Betongplatta	30 mm		

		XPS-platta	30 mm	0.37 ^(*)	13435
		Luftspalt	30 mm		
		Vattentätfolie	1.63 kg/m ²		
		XPS	0 mm		
		Avjämningsmassa	40 mm		
	B1020.10 Takets bärande konstruktion	OSB	18 mmm		
		Luftspalt	80 mm		
		Stenull	120 mm		
		Lättviktsstål	17 kg/m ²		
		Gipsskiva	15 mm		
	C2050 Innertakets ytbehandling	Färg	0.125 kg/m ²		
Innergolv					
	C2030 Golv	Keramiska plattor	31 kg/m ²	-	61062
		Avjämningsmassa	13 mm		
	B1010.10 Golvet's bärande konstruktion	OSB	18 mm		
		Luftspalt	160 mm		
		Stenull	40 mm		
		Lättviktsstål	14 kg/m ²		
		Gipsskiva	15 mm		
C2050 Innertakets ytbehandling	Färg	0.125 kg/m ²			
Bottenbjälklag					
	C2030 Golv	Keramiska plattor	31 kg/m ²	0.599	65957
		Avjämningsmassa	13 mm		
	B1010.10 Golvet's bärande konstruktion	prefabricerad betongplatta	180 mm		
		XPS	40 mm		
Yttervägg					
	B2010.10 Ytterväggsbeklädnad	Putsbelagd värmeisolering	13.8 kg/m ²	0.29 ^(*)	13391
	B2010.20 Ytterväggstomme	OSB	13 mm		
		Stenull	120 mm		
		Lättviktsstål	15 kg/m ²		
		Gipsskiva	15 mm		
	C2010 väggarnas, ytbehandling	Färg	0.125 kg/m ²		
	Innervägg				
	C2010 väggarnas ytbehandling	Färg	0.125 kg/m ²	-	26782
	C1010 Skiljeväggar	Gipsskiva	15 mm		
		Stenull	60 mm		
		Lättviktsstål	10 kg/m ²		
		Gipsskiva	15 mm		
	C2010 väggarnas ytbehandling	Färg	0.125 kg/m ²		

					
---	--	--	--	--	--

^(*) Korrigerade värden för köldbryggor

4.1.3 Tillämpning av makrokomponentmetoden

Byggnadens geometri och de utvalda makrokomponenterna (se tabell 4.2) används i miljöberäkningar för hela byggnaden med en beräknad livslängd på 50 år. Resultaten visas i figur 4.3. De presenteras med hjälp av modulerna som definieras i EN 15978. Detta diagram representerar modulernas bidrag till varje påverkanskategori. Skedet för materialtillverkning (modul A1-A3) dominerar alla påverkanskategorier (med bidrag högre än 60%).

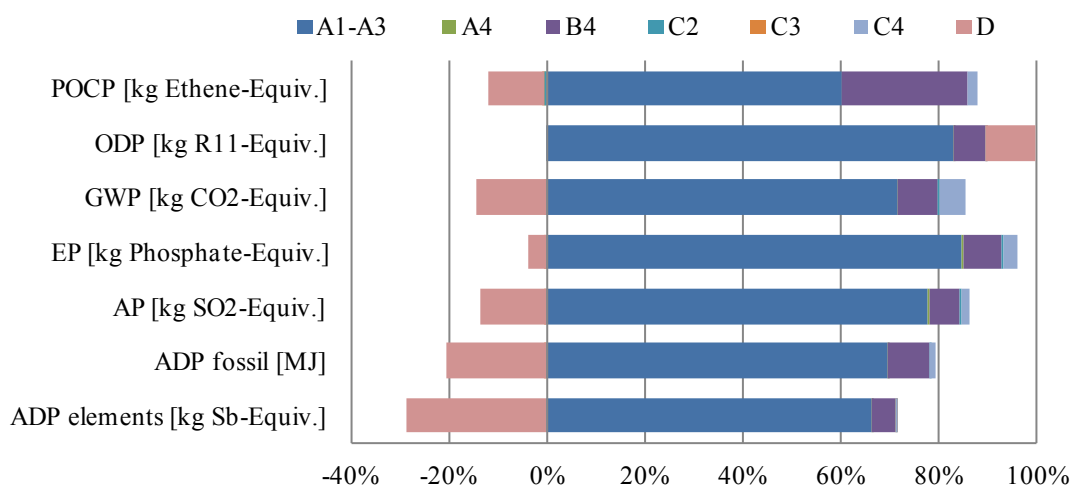


Fig. 4.3: Bidrag från varje modul till påverkanskategorier

Bruksskedet (modul B4) samt materialåtervinning och återanvändning (modul D) bidrar signifikant till de flesta påverkanskategorierna, följt av rivningsskedet (modul C2-C4). Notera att figur 4.3 visar negativa värden för modul D vilket indikerar, för denna specifika lösning, att krediter erhålls tack vare materialåtervinning och/eller återanvändning efter rivning av byggnaden. Resultaten för varje miljökategori sammanställs i tabell 4.3.

Tabell 4.1: miljömässig livscykelanalys av byggnaden

Miljökategori	TOTALT
ADP-element [kg Sb-Ekv.]	1.11E-01
ADP-fossil [MJ]	4.38E+05
AP [kg SO ₂ -ekv.]	1.35E+02
EP [kg Fosfat-Ekv.]	1.53E+01
GWP [kg CO ₂ -Ekv.]	3.54E+04
ODP [kg R11-Ekv.]	1.00E-03
POCP [kg Eten-Ekv.]	3.71E+01

4.1.4 Jämförelse med detaljerad livscykelanalys

I detta avsnitt analyseras enfamiljshuset genom att ta med i beräkningen alla byggnadsdetaljer och livscykelaser. Livscykelanalysen som presenteras här fyller tomrummen i makrokomponentmetoden som tidigare beskrivits, dvs. byggnadens grund och byggskedet (modul A5). Den kompletta livscykelanalysen utfördes med dataprogrammet *GaBi 6* (2012).

Byggnadens grund är av armerad betong och bottenvåningen är upphöjd ca. 50 cm över marken. Vid byggnadens livsslut återvinns den armerade betongen med antagande om samma återvinningsgrader.

I byggskedet (modul 5) ingår följande processer: (i) grävarbete (utgrävning av jord och transport till deponi) och (ii) byggprocess (användning av byggtrustning för monteringen av stommen och en gaffeltruck för att lyfta upp byggpaneler). Byggtiden ansågs vara över 1.5 månader.

Resultaten från livscykelanalysen, inklusive alla livscykelaser, kan ses i figur 4.4.

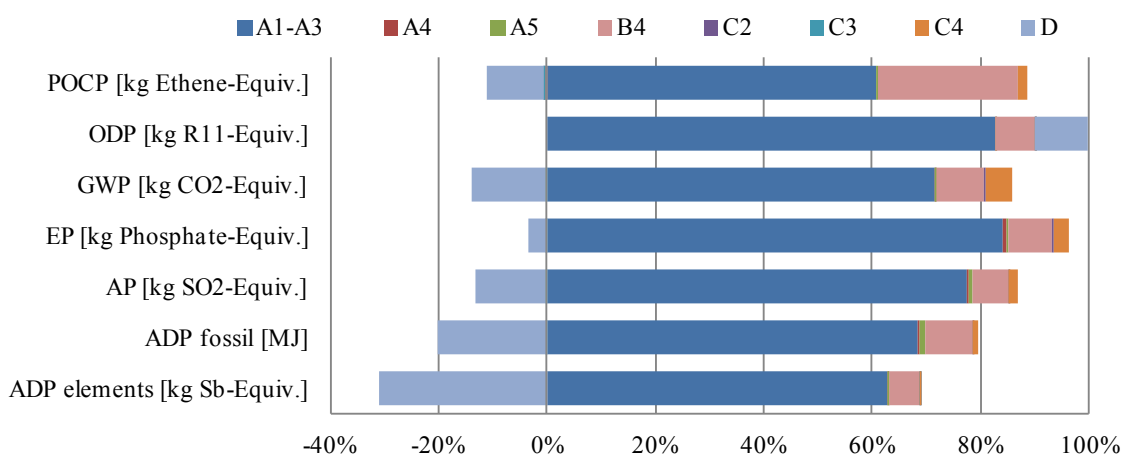


Fig. 4.4: Livscykelanalys av hela byggnaden

Tillverkningsskedet för material (modul A1-A3) dominerar alla påverkanskategorier (med bidrag över 60%). Byggskedet (modul A4-A5) har en försumbar inverkan, varierande från 0% för kategorierna ODP, POCP och ADP_{elements} till ungefär 2.1% för ADP_{fossil}. Bruksskedet (modul B4) samt materialåtervinning och återanvändning

(modul D) bidrar signifikant till de flesta påverkanskategorierna, följt av rivningsskedet (modul C2-C4). Notera att dessa slutsatser redan kunde dras med den förenklade metoden, trots dess begränsningar.

Slutligen visas den relativa felmarginalen för den förenklade metoden jämfört med den avancerade analysen i tabell 4.4.

Tabell 4.4: Felmarginal (%) för varje påverkanskategori vid användning av makrokomponentmetoden

ADP-element	ADP-fossil	AP	EP	GWP	ODP	POCP
0.0%	-2.4%	-1.3%	-1.3%	-1.3%	-0.1%	-0.5%

För de flesta miljökategorierna är felmarginalen försumbar. Naturligtvis kan övervägandet av andra byggsystem möjligtvis leda till en högre relevans för byggskedet.

Trots dess begränsningar ger den föreslagna metoden resultaten som överensstämmer med dem från den detaljerade livscykelanalysen.

4.2 Validering av metoden för beräkning av energibehoven

Valideringen av den antagna metoden för energiberäkning är baserad på samma studie. I följande avsnitt beskrivs alla ytterligare data och beräkningsmetoder.

Resultaten från den antagna metoden jämförs med resultaten från en avancerad dynamisk analys utförd med *DesignBuilder/EnergyPlus* (2012).

4.2.1 Klimatdata och markens termiska egenskaper

Byggnaden finns i Coimbra, klimatregion Csb. De månatliga värdena för lufttemperatur och solinstrålning visas i figur 4.5.

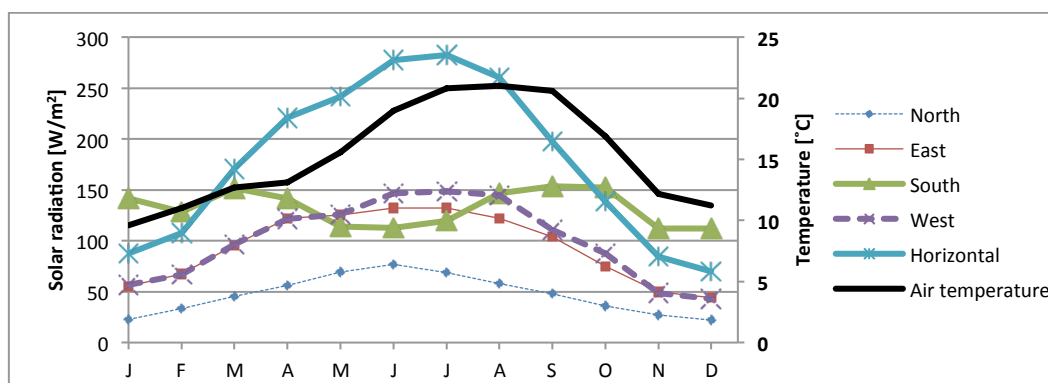


Fig. 4.5: Klimatdata för Coimbra: solinstrålning och lufttemperatur utomhus

Markens termiska egenskaper beaktades med standardvärden angivna i tabell 3.10.

4.2.2 Nyttjandeschema

Nyttjandeschemat och värmeflödet orsakat av interna värmevinster (invånares aktiviteter, apparater och lampor) ansågs vara standardvärden som ges i ISO 13790 och presenterades tidigare i tabell 3.13. Komforttemperaturerna ansågs vara 20°C och 25°C för sommar- respektive vintersäsonger.

4.2.3 Installationssystem

På liknande sätt användes standardvärden för installationssystemens (uppvärmning, kylning, ventilation och tappvarmvatten) tekniska egenskaper och nyttjandeschema. Dessa presenteras i tabell 4.5

Tabell 4.5: Indata för installationssystemen (standardvärden)

Installationssystem	Värden
Luftkonditionering (Börvärde 20°C – 25°C) ⁽¹⁾	COP uppvärmning = 4.0 COP kylning = 3.0
Tappvarmvattenproduktion ²	Verkningsgrad: 0.9
Ventilation + infiltrationshastighet ⁽³⁾ (Konstanta värden)	0.6 ac/h (Uppvärmningsläget) 1.2 ac/h (Kylningsläget)

(1) från ISO13790 (2008) – Tabell G.12;

(2) i enlighet med EN 15316-3-1 (2007);

(3) beroende på lufttätheten i byggnadsskalet, och på passiva kylningsstrategier.

4.2.4 Driftsegenskaper för fönster och solavskärmningar

Fönstrens egenskaper visas i tabell 4.6. I detta fall antogs dubbelglasfönster med PVC-ramar.

Tabell 4.2: Fönstrens optiska och termiska egenskaper (glas + ramar)

Material	U-värde [W/m ² .K]	SHGC
PVC-ram och dubbelglas (8+6 mm, med en luftficka på 14 mm)	2.597	0.780

Solavskärmningarnas termiska egenskaper antogs enligt tabell 4.7.

Tabell 4.3: Solavskärmningarnas termiska och optiska egenskaper

Element	Transmittans	reflektans	R [m ² .K/W]	g _{gl+sh}
---------	--------------	------------	----------------------------	--------------------

Fönsterluckor	0.02	0.80	0.260*	0,04**
---------------	------	------	--------	--------

*Inklusive fönsterluckor och luftutrymme (ISO 10077, 2006); **EN 13363-1, 2007.

4.2.5 Opakt byggnadsskal

Egenskaperna hos fasadernas opaka element tas från makrokomponenterna (se tabell 4.2). Färgen på byggnadens opaka yterskal påverkar solvärmevinsterna. Det antogs att byggnaden har en ljus färg med absorptionskoefficient på 0.4.

4.2.6 Resultaten för byggnadens energiprestanda

I detta fall är energibehovet, beräknat med en månatlig algoritm, 651,3 kWh och 2195,0 kWh per år, för uppvärmning respektive kylning. Energiförbehovet för uppvärmning och kylning är alltså 2846,3 kWh ($23,0 \text{ kWh/m}^2$) per år och för tappvarmvattenproduktionen 2642 kWh ($21,3 \text{ kWh/m}^2$). De månatliga energiförbehoven för kylning och uppvärmning visas i figur 4.6.

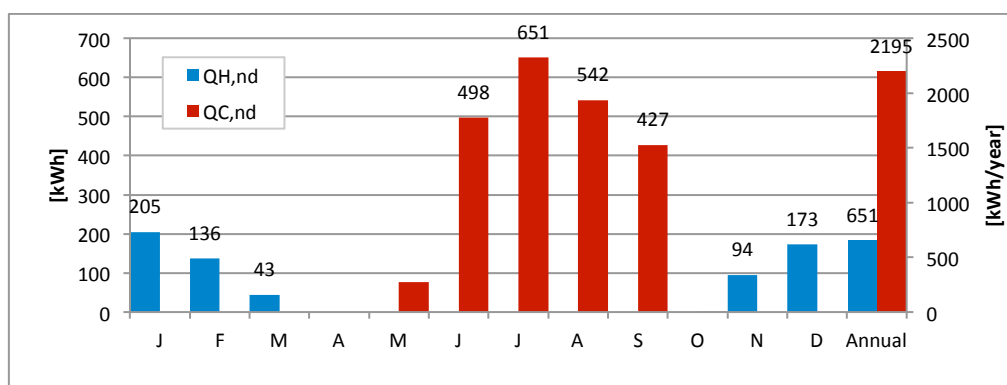


Fig. 4.6: Energiförbehov för kylning och uppvärmning (baserad på den månatliga algoritmen)

4.2.7 Jämförelse med avancerad numerisk simulering

Resultaten från den månatliga algoritmen har jämförts med resultaten från en avancerad dynamisk simulering för att utvärdera noggrannheten av resultaten från den förra.

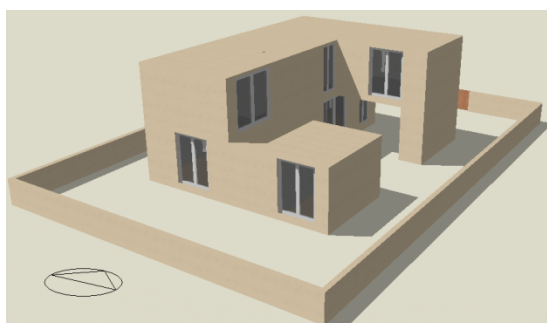
4.2.7.1 Modell för dynamisk simulering

Den avancerade dynamiska simuleringen av byggnadens termiska beteende utfördes med dataprogrammet *DesignBuilder* (2012). Väderdata som använts i simuleringen är densamma som för den förenklade metoden. Men istället för månatliga värden har timvärden använts för temperatur och solinstrålning.

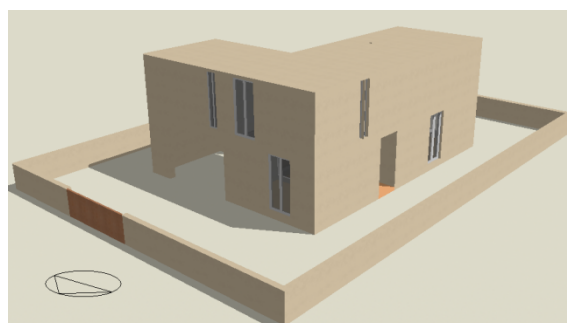
De tredimensionella avancerade modellerna möjliggör simulering av byggnadens hela arkitektur, vilken illustreras i figur 4.1 och 4.2. Figur 4.7 visar två vyer av modellen i *DesignBuilder* som använts i den dynamiska simuleringen.

Byggnadsmodellen är en sammansättning av tio olika termiska zoner, motsvarande byggnadens interna utrymmen (Figur 4.8):

- (i) krypgrunden modellerades som ett icke luftkonditionerat utrymme;
- (ii) bottenvåningen med tre termiska zoner;
- (iii) första våningen med fem zoner;
- (iv) utrymmet som tillhör båda våningarna, vilket inkluderar korridorer och trapphusen.

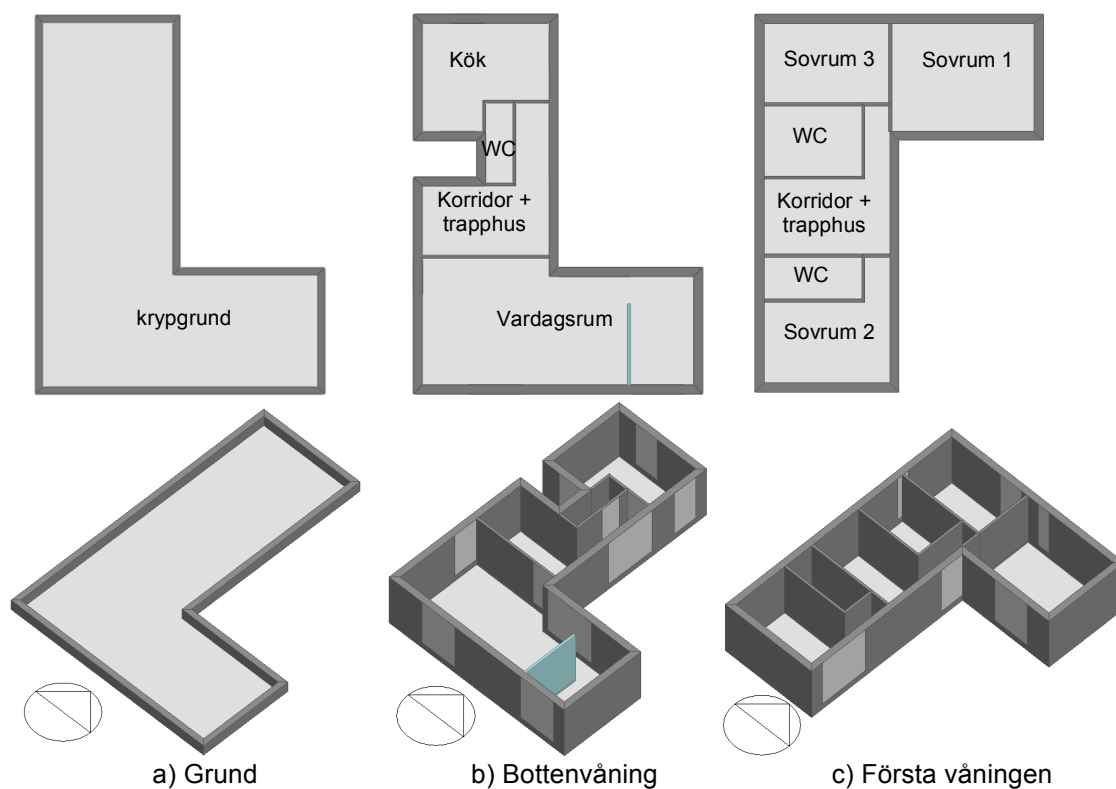


a) Vy från söder och väst



b) Vy från norr och öst

Fig. 4.1: Vyer av byggnadsmodellen



a) Grund

b) Bottenvåning

c) Första våningen

Fig. 4.2: Våningarnas planlösningar

Byggelementen som beaktas i modellen är desamma som tidigare beskrivits för makrokomponentmetoden (se tabell 4.2, 4.8 och 4.9 för de opaka elementen respektive fönstren och solavskärmningar). Samma strategi antogs för kontroll av solavskärmningar. Dessutom övertogs nyttjandeschemat, ventilations- och infiltrationshastighet samt luftkonditioneringens verkningsgrad och schema från den föregående analysen.

En grafisk jämförelse mellan de månatliga och årliga energibehoven för uppvärmning och kylning enligt båda metoderna visas i figur 4.9. De årliga energibehoven för uppvärmning och kylning från dynamiska simuleringar är 932,4 kWh respektive 2133,3 kWh; vilket leder till ett totalt energibehov på 3065,7 kWh per år ($24,8 \text{ kWh/m}^2$).

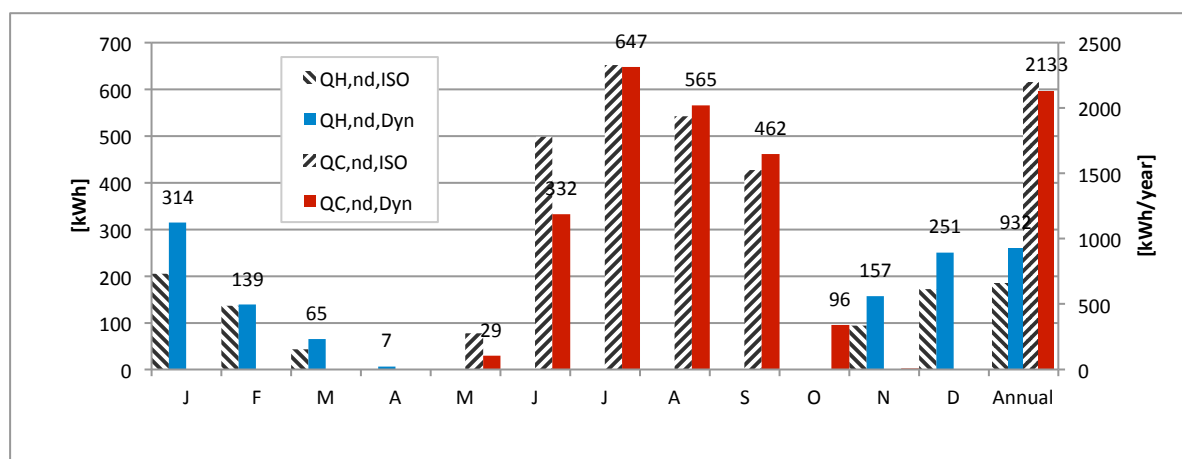


Fig. 4.3: Byggnadens energibehov för kylning och uppvärmning enligt dynamiska simuleringar (Dyn) och månatliga algoritmer (ISO)

Som figur 4.9 visar överensstämmer energibehovet enligt den förenklade metoden (månatlig metod) väl med resultaten från dynamiska beräkningar. Vid jämförelse av det totala energibehovet (för uppvärmning och kylning) för den utvecklade fasen (2846,3 kWh/år) med den dynamiska beräkningen är felmarginalen 7,2%.

4.3 SLUTLIGA KOMMENTARER

De två förenklade metoderna som presenterats i detta dokument undviker användningen av komplexa verktyg såsom LCA, vilka vanligtvis kräver en viss expertis inom fältet, och möjliggör en väsentligt snabbare analys. Valideringen av båda metoderna baserades på jämförelsen med analyser utförda med de kommersiella dataprogrammen *GaBi 6* (2012) och *DesignBuilder* (2012) för livscykelanalys respektive energikvantifiering.

Resultaten från jämförelsen, för båda analystyperna, leder till slutsatsen att noggrannheten hos båda metoderna är mycket rimlig.

REFERENSER

Blendspace <https://www.blendspace.com/lessons/hMYwDSTKeg6ssQ/essential-question-how-can-i-protect-this-environment> (last accessed in 2013).

CPA, 2012. Construction Product Association "A guide to understanding the embodied impacts of construction products" [ISBN 978-0-9567726-6-4]

DesignBuilder software v3.0.0.105, www.designbuilder.co.uk/, 2012

EERE-USDoE, Energy Efficiency and Renewable Energy Website from the United States Department of Energy: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data2.cfm/region=6_europe_wmo_region_6 (last accessed March 2014)

EN 13363-1. (2007). Solar protection devices combined with glazing - Part 1: Simplified method. CEN - European Committee for Standardization.

EN 15193, (2007) Thermal performance of buildings - Energy requirements for lighting, CEN – European Committee for Standardization.

EN 15265, (2007) Energy performance of buildings - Calculation of energy needs for space heating and cooling using dynamic methods - General criteria and validation procedures. CEN - European Committee for Standardization.

EN 15316-3-1, (2007) Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Part 3.1 Domestic hot water systems, characterisation of needs (tapping requirements), CEN – European committee for Standardization.

EN 15643-1. 2010. Sustainability of construction works — Sustainability assessment of buildings — Part 1: General framework. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN 15804. 2012. Sustainability of Construction Works — Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN 15978. 2011. Sustainability of Construction Works — Assessment of environmental performance of buildings — Calculation method. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN ISO 13786, (2007) Thermal performance of building components - Dynamic thermal characteristics - Calculation methods, CEN – European Committee for Standardization.

EN ISO 6946, (2007) Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method, CEN – European Committee for Standardization.

EPA. U.S. Environmental protection Agency. Climate change. (<http://www.epa.gov/climatechange/>) (last accessed in 19/09/2009).

EPD.http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/air/prob_solutions/images/smog_cause_eng.jpg

Forsberg, A., von Malmberg F. 2004. Tools for environmental assessment of the built environment. In: Building and Environment, 39, pp. 223-228.

GaBi 6 (2012). Software-System and Databases for Life Cycle Engineering. Version 5.56. PE International AG, Leinfelden-Echterdingen, Germany

GaBi databases 2006. PE INTERNATIONAL GmbH; LBP-GaBi, University of Stuttgart: GaBi Software System, Leinfelden-Echterdingen / Germany, 2009.

Gervásio, H., Martins, R., Santos, P., Simões da Silva, L., "A macro-component approach for the assessment of building sustainability in early stages of design", *Building and Environment* 73 (2014), pp. 256-270, DOI information: 10.1016/j.buildenv.2013.12.015.

Google Earth Software Website: www.google.co.uk/intl/en_uk/earth/ (last accessed January 2014).

Gorgolewski, M. (2007) Developing a simplified method of calculating U-values in light steel framing. *Building and Environment*, 42(1), 230–236.

Guinée, J.B.; Gorée, M.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Kleijn, R.; Koning, A. de; Oers, L. van; Wegener Sleeswijk, A.; Suh, S.; Udo de Haes, H.A.; Bruijn, H. de; Duin, R. van; Huijbregts, M.A.J. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht, 2002, 692 pp.

Heijungs, R., Guinée, J., Huppes, G., Lankreijer, R., Udo de Haes, H., Sleeswijk, A., Ansems, A., Egges, P., van Duin, R. and de Goede, H. 1992. Environmental Life Cycle Assessment of products. Guide and Backgrounds. CML. Leiden University. Leiden

Howard N, Edwards S and Anderson J. 1999. Methodology for environmental profiles of construction materials, components and buildings. BRE Report BR 370. Watford. (<http://www.bre.co.uk/service.jsp?id=52>)

Huijbregts, M. 2001. Uncertainty and variability in environmental life-cycle assessment. PhD. Thesis. University of Amsterdam. The Netherlands.

IEA. 2001. LCA methods for buildings. Annex 31 – Energy-related environmental impact of buildings. International Energy Agency.

IPCC. 2007. Fourth Assessment Report – Climate Change 2007. IPCC, Geneva, Switzerland

ISO 10077, (2006) Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - Part 1: General, ISO - International Organization for Standardization.

ISO 13370, (2007) Thermal performance of buildings - Heat transfer via the ground - Calculation methods, ISO - International Organization for Standardization.

ISO 13789, (2007) Thermal performance of buildings - Transmission and ventilation heat transfer coefficients - Calculation method, ISO - International Organization for Standardization.

ISO 13790, (2008) Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling, CEN – European committee for Standardization.

ISO 14025. 2006. Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures

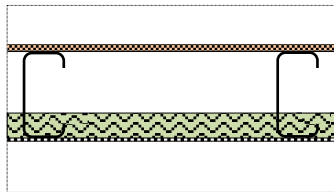
ISO 14040. 2006. Environmental management – life cycle assessment – Principles and framework. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.

ISO 14044. 2006. Environmental management – life cycle assessment – Requirements and guidelines. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

Jönsson Å. 2000. Tools and methods for environmental assessment of building products - methodological analysis of six selected approaches. In: *Building and Environment*, 35, pp. 223-238.

- Kellenberger D. 2005. Comparison and benchmarking of LCA-based building related environmental assessment and design tools. EMPA Dubendorf, Technology and Society Laboratory, LCA group.
- Kortman J, van Ejwik H, Mark J, Anink D, Knapen M. 1998. Presentation of tests by architects of the LCA-based computer tool EcoQuantum domestic. Proceedings of Green Building Challenge 1998. Vancouver. Canada (<http://www.ivambv.uva.nl/uk/producten/product7.htm>)
- Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B and Rubel F (2006) World map of Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3): 259–263.
- LCI, 2001. World Steel Life Cycle Inventory. Methodology report 1999/2000. International Iron and Steel Institute. Committee on Environmental Affairs, Brussels.
- Lippiatt, B. 2002. Building for environmental and economical sustainability. Technical manual and user guide (BEES 3.0). National Institute of Standards and Technology (NIST). Report NISTIR 6916. (<http://www.bfml.nist.gov/oae/software/bees.html>).
- RCCTE (2006) Portuguese code of practice for thermal behaviour and energy efficiency of residential buildings. Decreto-Lei n.80/2006. Regulamento das Características Térmicas dos Edifícios (in Portuguese:). Lisboa, Portugal: Diário da República.
- Reijnders L., van Roekel A. 1999. Comprehensiveness and adequacy of tools for the environmental improvement of buildings. In: Journal of Cleaner Production, 7, pp. 221-225.
- Santos P., Gervásio H., Simões da Silva L., & Gameiro A. (2011). Influence of climate change on the energy efficiency of light-weight steel residential buildings. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 28, 325–352.
- Santos P., Simões da Silva L., & Ungureanu V. 2012. *Energy Efficiency of Light-weight Steel-framed Buildings*. European Convention for Constructional Steelwork (ECCS), Technical Committee 14 - Sustainability & Eco-Efficiency of Steel Construction, ISBN 978-92-9147-105-8, N. 129, 1st edition.
- SB_Steel, 2014. Sustainable Building Project in Steel. Draft final report. RFSR-CT-2010-00027. Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel
- Steel Recycling Institute. <http://www.recycle-steel.org/construction.html> (last accessed in 31/08/2009)
- The energy library. <http://theenergylibrary.com/node/324>
- Trusty WB, Associates. 1997. Research guidelines. ATHENATM Sustainable Materials Institute. Merrickville. Canada. (<http://www.athenasmi.ca/about/lcaModel.html>)
- UNEP, 2004. Why take a life cycle approach? United Nations Publication. ISBN: 92-807-24500-9
- UniFormat™: A Uniform Classification of Construction Systems and Assemblies (2010). The Construction Specification Institute (CSI), Alexandria, VA, and Construction Specifications Canada (CSC), Toronto, Ontario. ISBN 978-0-9845357-1-2.
- Werner, F. 2005. Ambiguities in decision-oriented life cycle inventories – The role of mental models and values. Doi 10.1007/1-4020-3254-4. Springer Netherlands
- Wikipedia, 2013a. http://en.wikipedia.org/wiki/Marine_pollution
- Wikipedia, 2013b. http://en.wikipedia.org/wiki/Natural_resource
- Worldsteel organization. <http://www.worldsteel.org/index.php> (last accessed in 31/08/2009)

BILAGA 1 – DATABASER FÖR MAKRO-KOMPONENTER

B1010.10 Golvets bärande konstruktion					
B1010.10.1a	Material	Tjocklek/ densitet	Livsslutsscenario	RR (%)	
	OSB (mm)	18	Förbränning	80	
	Luftspalt (mm)	160			
	Stenull (mm)	40	Återvinning	80	
	Gipsskiva (mm)	15	Återvinning	80	
	Lättviktsstål (kg/m2)	14	Återvinning	90	
B1010.10.1a - LCA					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,83E-05	1,76E-09	1,54E-09	3,37E-08	-1,96E-04
ADP fossil [MJ]	5,48E+02	6,54E-01	5,72E-01	1,31E+00	-3,35E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,70E-01	2,11E-04	1,83E-04	5,74E-04	-4,45E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,41E-02	4,86E-05	4,20E-05	8,79E-05	-1,01E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	5,12E+01	4,71E-02	4,12E-02	3,86E-01	-1,46E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	7,65E-07	8,25E-13	7,21E-13	7,21E-11	1,76E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,53E-02	-6,89E-05	-5,95E-05	1,49E-04	-1,07E-02

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads bärande platta, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare information:

Databaser som används i modul A1-A3

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
OSB	PE International	Tyskland	2008
Gipsskiva	PE International	Europa	2008
Lättviktsstål (LWS)	Worldsteel	Världen	2007
Stenull	PE International	Europa	2011

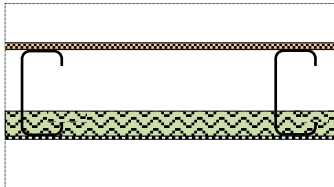
Databaser som används i modul A4 och C2 (med antagandet om 20km avstånd)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Transport med lastbil	PE International	Världen	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Förbränning av OSB	PE International	Tyskland	2008
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011
Återvinning av stål	Worldsteel	Världen	2007

B1010.10 Golvet's bärande konstruktion

B1010.10.1b	Material	Tjocklek/ densitet	Livsslutsscenario	RR (%)
	OSB (mm)	18	Förbränning	80
	Luftspalt (mm)	160	-	-
	EPS (mm)	40	Förbränning	80
	Gipsskiva (mm)	15	Återvinning	80
	Lättviktsstål (kg/m ²)	14	Återvinning	90

B1010.10.1b - LCA

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,75E-05	1,53E-09	1,34E-09	3,80E-08	-1,96E-04
ADP fossil [MJ]	5,36E+02	5,70E-01	5,00E-01	1,37E+00	-3,57E+02
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1,30E-01	1,84E-04	1,60E-04	6,24E-04	-5,26E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	9,54E-03	4,24E-05	3,68E-05	1,00E-04	-1,48E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	4,68E+01	4,11E-02	3,60E-02	2,48E+00	-1,63E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	8,21E-07	7,19E-13	6,31E-13	6,98E-11	1,76E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	3,55E-02	-6,01E-05	-5,20E-05	1,42E-04	-1,12E-02

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads bärande platta, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare information:**Databaser som används i modul A1-A3**

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
OSB	PE International	Tyskland	2008
Gipsskiva	PE International	Europa	2008
Lättviktsstål (LWS)	Worldsteel	Världen	2007
EPS	PE International	Europa	2011

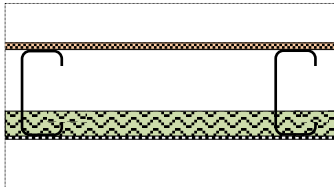
Databaser som används i modul A4 och C2 (med antagande om 20km avstånd)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Transport med lastbil	PE International	Världen	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Förbränning av OSB	PE International	Tyskland	2008
Förbränning av EPS	PE International	Europa	2011
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011
Återvinning av stål	Worldsteel	Världen	2007

B1010.10 Golvet's bärande konstruktion

B1010.10.1c	Material	Tjocklek/ Densitet	Livssluts- scenario	RR (%)
	OSB (mm)	18	Förbränning	80
	Luftspalt (mm)	160		
	XPS (mm)	40	Förbränning	80
	Gipsskiva (mm)	15	Förbränning	80
	Lättviktsstål (kg/m ²)	14	Återvinning	90

B1010.10.1c - LCA

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,81E-05	1,56E-09	1,37E-09	4,42E-08	-1,96E-04
ADP fossil [MJ]	5,75E+02	5,78E-01	5,07E-01	1,54E+00	-3,70E+02
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1,33E-01	1,87E-04	1,62E-04	7,16E-04	-5,74E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	9,73E-03	4,30E-05	3,73E-05	1,17E-04	-1,77E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	4,79E+01	4,16E-02	3,65E-02	3,78E+00	-1,72E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	7,64E-07	7,29E-13	6,40E-13	7,61E-11	1,75E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,49E-02	-6,09E-05	-5,28E-05	1,54E-04	-1,15E-02

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads bärande platta, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare information:**Databaser som används i modul A1-A3**

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
OSB	PE International	Tyskland	2008
Gipsskiva	PE International	Europa	2008
Lättviktsstål (LWS)	Worldsteel	Världen	2007
XPS	PE International	Tyskland	2011

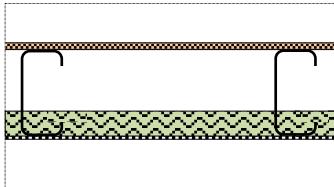
Databaser som används i modul A4 och C2 (med antagande om 20km avstånd)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Transport med lastbil	PE International	Världen	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Förbränning av OSB	PE International	Tyskland	2008
Förbränning av XPS	PE International	Europa	2011
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011
Återvinning av stål	Worldsteel	Världen	2007

B1010.10 Golvet's bärande konstruktion

B1010.10.1d	Material	Tjocklek/ densitet	Livssluts- scenario	RR (%)
	OSB (mm)	18	Förbränning	80
	Luftspalt (mm)	160		
	PUR (mm)	40	Förbränning	80
	Gipsskiva (mm)	15	Återvinning	80
	Lättviktsstål (kg/m ²)	14	Återvinning	90

B1010.10.1d - LCA

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	4,65E-05	1,56E-09	1,37E-09	4,48E-08	-1,96E-04
ADP fossil [MJ]	6,19E+02	5,78E-01	5,07E-01	1,76E+00	-3,57E+02
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1,37E-01	1,87E-04	1,62E-04	1,43E-03	-5,26E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,09E-02	4,30E-05	3,73E-05	3,06E-04	-1,48E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	5,18E+01	4,16E-02	3,65E-02	2,59E+00	-1,63E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	7,65E-07	7,29E-13	6,40E-13	8,46E-11	1,76E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,37E-02	-6,09E-05	-5,28E-05	1,90E-04	-1,12E-02

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads bärande platta, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare information:**Databaser som används i modul A1-A3**

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
OSB	PE International	Tyskland	2008
Gipsskiva	PE International	Europa	2008
Lättviktsstål (LWS)	Worldsteel	Världen	2007
PUR	PE International	Tyskland	2011

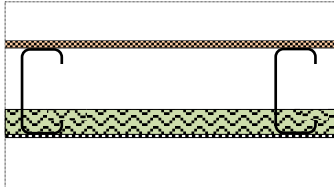
Databaser som används i modul A4 och C2 (med antagande om 20km avstånd)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Transport med lastbil	PE International	Världen	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Förbränning OSB	PE International	Tyskland	2008
Förbränning PUR	PE International	Europa	2011
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011
Återvinning av stål	Worldsteel	Världen	2007

B1010.10 Golvets bärande konstruktion

B1010.10.1e	Material	Tjocklek/ Densitet	Livssluts- Scenario	RR (%)
	OSB (mm)	18	Förbränning	80
	Luftspalt (mm)	160		
	Kork (mm)	40	Återvinning	80
	Gipsskiva (mm)	15	Återvinning	80
	Lättviktsstål (kg/m2)	14	Återvinning	90

B1010.10.1e - LCA

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,72E-05	1,64E-09	1,43E-09	3,09E-08	-1,96E-04
ADP fossil [MJ]	5,04E+02	6,09E-01	5,32E-01	1,21E+00	-3,35E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,35E-01	1,97E-04	1,70E-04	5,26E-04	-4,45E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,13E-02	4,53E-05	3,91E-05	8,06E-05	-1,01E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	4,75E+01	4,38E-02	3,83E-02	3,54E-01	-1,46E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	7,64E-07	7,68E-13	6,71E-13	6,61E-11	1,76E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,27E-02	-6,42E-05	-5,54E-05	1,37E-04	-1,07E-02

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads bärande platta, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare information:**Databaser som används i modul A1-A3**

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
OSB	PE International	Tyskland	2008
Gipsskiva	PE International	Europa	2008
Lättviktsstål (LWS)	Worldsteel	Världen	2007
Kork	PE International	Tyskland	2011

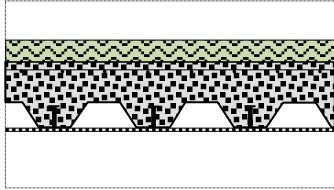
Databaser som används i modul A4 och C2 (med ett antagande om 20km avstånd)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Transport med lastbil	PE International	Världen	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Förbränning OSB	PE International	Tyskland	2008
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011
Återvinning av stål	Worldsteel	Världen	2007

B1010.10 Golvets bärande konstruktion

B1010.10.2a	Material	Tjocklek/ Densitet	Livssluts- scenario	RR (%)
	PE (mm)	20	Förbränning	80
	Betong (kg/m ²)	410	Återvinning	70
	Armeringsjärn (kg/m ²)	8.24	Återvinning	70
	Tunnplåt (kg/m ²)	11.10	Återvinning	70
	Gipsskiva (mm)	15	Återvinning	80
	Stålkonstruktion (kg/m ²)	40	Återvinning	90

B1010.10.2a - LCA

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-4,61E-04	2,08E-08	1,81E-08	1,26E-06	-3,32E-04
ADP fossil [MJ]	1,56E+03	7,71E+00	6,74E+00	4,90E+01	-3,44E+02
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	3,93E-01	2,49E-03	2,16E-03	2,14E-02	-9,22E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	3,65E-02	5,73E-04	4,96E-04	3,28E-03	-2,77E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	1,51E+02	5,56E-01	4,86E-01	1,58E+01	-3,67E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	1,88E-06	9,73E-12	8,51E-12	2,68E-09	1,04E-06
POCP [kg Ethene-Equiv.]	6,27E-02	-8,13E-04	-7,01E-04	5,54E-03	-1,90E-02

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads bärande platta, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare information:**Databaser som används i modul A1-A3**

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Betong	PE International	Tyskland	2011
Armeringsjärn	Worldsteel	Världen	2007
Tunnplåt	Worldsteel	Världen	2007
Konstruktionsstål	Worldsteel	Världen	2007
Gipsskiva	PE International	Europa	2008
PE	PE International	Tyskland	2011

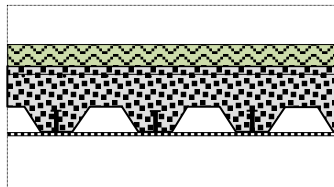
Databaser som används i modul A4 och C2 (med antagande om 20kms avstånd)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Transport med lastbil	PE International	Världen	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Förbränning PE	PE International	Europa	2011
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011
Återvinning av stål	Worldsteel	Världen	2007

B1010.10 Golvets bärande konstruktion

B1010.10.2b	Material	Tjocklek/ Densitet	Livssluts- scenario	RR (%)
	EPS (mm)	20	Förbränning	80
	Betong (kg/m2)	410	Återvinning	70
	Armeringsjärn (kg/m2)	8.24	Återvinning	70
	Tunnplåt (kg/m2)	11.10	Återvinning	70
	Gipsskiva (mm)	15	Återvinning	80
	Stålskonstruktion (kg/m2)	40	Återvinning	90

B1010.10.2b - LCA					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-4,62E-04	2,08E-08	1,81E-08	1,26E-06	-3,32E-04
ADP fossil [MJ]	1,54E+03	7,71E+00	6,74E+00	4,89E+01	-3,37E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	3,92E-01	2,49E-03	2,16E-03	2,13E-02	-8,94E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	3,64E-02	5,73E-04	4,96E-04	3,27E-03	-2,61E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	1,50E+02	5,55E-01	4,86E-01	1,54E+01	-3,62E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	1,91E-06	9,73E-12	8,50E-12	2,68E-09	1,04E-06
POCP [kg Ethene-Equiv.]	6,92E-02	-8,13E-04	-7,01E-04	5,53E-03	-1,88E-02

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads bärande platta, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare information:**Databaser som används i modul A1-A3**

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Betong	PE International	Tyskland	2011
Armeringsjärn	Worldsteel	Världen	2007
Tunnplåt	Worldsteel	Världen	2007
Konstruktionsstål	Worldsteel	Världen	2007
Gipsskiva	PE International	Europa	2008
EPS	PE International	Europa	2011

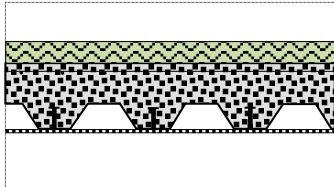
Databaser som används i modul A4 och C2 (med antagande om 20kms avstånd)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Transport med lastbil	PE International	Världen	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Förbränning EPS	PE International	Europa	2011
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011
Återvinning av stål	Worldsteel	Världen	2007

B1010.10 Golvet's bärande konstruktion

B1010.10.2c	Materials	Tjocklek/Densitet	Livssluts-scenario	RR (%)
	XPS (mm)	20	Förbränning	80
	Betong (kg/m ²)	410	Återvinning	70
	Armeringsjärn(kg/m ²)	8.24	Återvinning	70
	Tunnplåt (kg/m ²)	11.10	Återvinning	70
	Gipsskiva (mm)	15	Återvinning	80
	Stålskonstruktion (kg/m ²)	40	Återvinning	90

B1010.10.2c - LCA

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-4,62E-04	2,08E-08	1,82E-08	1,26E-06	-3,32E-04
ADP fossil [MJ]	1,56E+03	7,71E+00	6,74E+00	4,90E+01	-3,43E+02
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	3,94E-01	2,49E-03	2,16E-03	2,14E-02	-9,19E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	3,65E-02	5,74E-04	4,96E-04	3,28E-03	-2,75E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	1,51E+02	5,56E-01	4,86E-01	1,60E+01	-3,66E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	1,88E-06	9,73E-12	8,51E-12	2,68E-09	1,04E-06
POCP [kg Ethene-Equiv.]	6,39E-02	-8,13E-04	-7,01E-04	5,54E-03	-1,89E-02

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads bärande platta, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare information:**Databaser som används i modul A1-A3**

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Betong	PE International	Tyskland	2011
Armeringsjärn	Worldsteel	Världen	2007
Tunnplåt	Worldsteel	Världen	2007
Konstruktionsstål	Worldsteel	Världen	2007
Gipsskiva	PE International	Europa	2008
XPS	PE International	Tyskland	2011

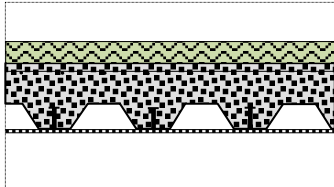
Databaser som används i modul A4 och C2 (med antagande om 20kms avstånd)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Transport med lastbil	PE International	Världen	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Förbränning XPS	PE International	Europa	2011
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011
Återvinning av stål	Worldsteel	Världen	2007

B1010.10 Golvet's bärande konstruktion

B1010.10.2d	Materials	Tjocklek/ densitet	Livssluts- scenario	RR (%)
	Kork (mm)	20	Återvinning	80
	Betong (kg/m ²)	410	Återvinning	70
	Armeringsjärn (kg/m ²)	8.24	Återvinning	70
	Tunnplåt (kg/m ²)	11.10	Återvinning	70
	Gipsskiva (mm)	15	Återvinning	80
	Stålskonstruktion (kg/m ²)	40	Återvinning	90

B1010.10.2d - LCA

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-4,62E-04	2,08E-08	1,82E-08	1,25E-06	-3,32E-04
ADP fossil [MJ]	1,52E+03	7,73E+00	6,76E+00	4,88E+01	-3,26E+02
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	3,95E-01	2,50E-03	2,16E-03	2,13E-02	-8,54E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	3,73E-02	5,75E-04	4,97E-04	3,26E-03	-2,37E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	1,51E+02	5,57E-01	4,87E-01	1,43E+01	-3,53E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	1,88E-06	9,75E-12	8,53E-12	2,68E-09	1,04E-06
POCP [kg Ethene-Equiv.]	6,28E-02	-8,15E-04	-7,03E-04	5,53E-03	-1,86E-02

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads bärande platta, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare information:**Databaser som används i modul A1-A3**

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Betong	PE International	Tyskland	2011
Armeringsjärn	Worldsteel	Världen	2007
Tunnplåt	Worldsteel	Världen	2007
Konstruktionsstål	Worldsteel	Världen	2007
Gipsskiva	PE International	Europa	2008
Kork	PE International	Tyskland	2011

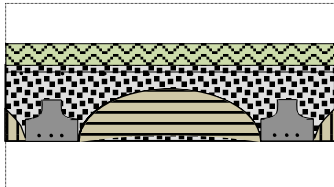
Databaser som används i modul A4 och C2 (med antagande om 20kms avstånd)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Transport med lastbil	PE International	World	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011
Återvinning av stål	Worldsteel	Världen	2007

B1010.10 Golvets bärande konstruktion

B1010.10.3a	Material	Tjocklek/ Densitet	Livssluts- scenario	RR (%)
	PE (mm)	20	Förbränning	80
	Betong (kg/m ²)	455.4	Återvinning	70
	Armeringsjärn (kg/m ²)	21.17	Återvinning	70

B1010.10.3a

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-5,27E-05	2,07E-08	1,81E-08	1,36E-06	-1,09E-05
ADP fossil [MJ]	6,37E+02	7,68E+00	6,71E+00	5,31E+01	-4,99E+01
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1,62E-01	2,48E-03	2,15E-03	2,32E-02	-1,80E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	2,12E-02	5,71E-04	4,94E-04	3,55E-03	-7,25E-04
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	7,42E+01	5,53E-01	4,84E-01	1,70E+01	-5,44E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	2,64E-07	9,69E-12	8,47E-12	2,91E-09	3,61E-08
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,23E-02	-8,09E-04	-6,98E-04	6,00E-03	-2,31E-03

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads bärande platta, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare information:**Databaser som används i modul A1-A3**

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Betong	PE International	Tyskland	2011
Armeringsjärn	Worldsteel	Världen	2007
PE	PE International	Tyskland	2011

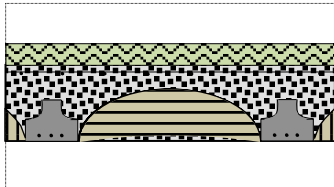
Databaser som används i modul A4-C2 (med antagande om 20kms avstånd)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Transport med lastbil	PE International	Världen	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011
Återvinning av stål	Worldsteel	Världen	2007
Förbränning PE	PE International	Europa	2011

B1010.10 Golvets bärande konstruktion

B1010.10.3b	Material	Tjocklek/ Densitet	Livssluts- scenario	RR (%)
	EPS (mm)	20	Förbränning	80
	Betong (kg/m ²)	455.4	Återvinning	70
	Armeringsjärn (kg/m ²)	21.17	Återvinning	70

B1010.10.3b

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-5,38E-05	2,07E-08	1,81E-08	1,36E-06	-1,09E-05
ADP fossil [MJ]	6,18E+02	7,68E+00	6,71E+00	5,30E+01	-4,24E+01
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1,61E-01	2,48E-03	2,15E-03	2,31E-02	-1,52E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	2,11E-02	5,71E-04	4,93E-04	3,55E-03	-5,61E-04
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	7,36E+01	5,53E-01	4,83E-01	1,66E+01	-4,87E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	2,93E-07	9,68E-12	8,46E-12	2,90E-09	3,61E-08
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,87E-02	-8,09E-04	-6,98E-04	6,00E-03	-2,14E-03

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads bärande platta, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare information:**Databaser som används i modul A1-A3**

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Betong	PE International	Tyskland	2011
Armeringsjärn	Worldsteel	Världen	2007
EPS	PE International	Europa	2011

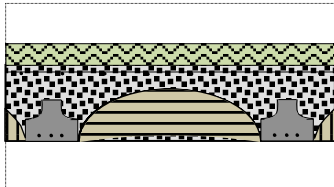
Databaser som används i modul A4 och C2 (med antagande om 20kms avstånd)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Transport med lastbil	PE International	Världen	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011
Återvinning av stål	Worldsteel	Världen	2007
Förbränning EPS	PE International	Europa	2011

B1010.10 Golvets bärande konstruktion

B1010.10.3c	Material	Tjocklek/ Densitet	Livssluts- scenario	RR (%)
	XPS (mm)	20	Förbränning	80
	Betong (kg/m ²)	455.4	Återvinning	70
	Armeringsjärn (kg/m ²)	21.17	Återvinning	70

B1010.10.3c

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-5,35E-05	2,07E-08	1,81E-08	1,36E-06	-1,09E-05
ADP fossil [MJ]	6,37E+02	7,68E+00	6,71E+00	5,31E+01	-4,89E+01
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1,63E-01	2,48E-03	2,15E-03	2,32E-02	-1,77E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	2,12E-02	5,71E-04	4,94E-04	3,56E-03	-7,04E-04
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	7,42E+01	5,53E-01	4,84E-01	1,72E+01	-5,37E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	2,64E-07	9,69E-12	8,47E-12	2,91E-09	3,61E-08
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,35E-02	-8,09E-04	-6,98E-04	6,01E-03	-2,28E-03

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads bärande platta, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare information:**Databaser som används i modul A1-A3**

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Betong	PE International	Tyskland	2011
Armeringsjärn	Worldsteel	Världen	2007
XPS	PE International	Europa	2011

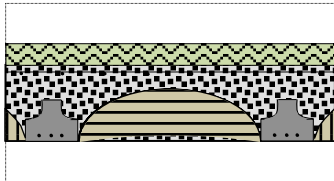
Databaser som används i modul A4 och C2 (med antagande om 20kms avstånd)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Transport med lastbil	PE International	Världen	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011
Återvinning av stål	Worldsteel	Världen	2007
Förbränning XPS	PE International	Europa	2011

B1010.10 Golvets bärande konstruktion

B1010.10.3d	Material	Tjocklek/ Densitet	Livssluts- scenario	RR (%)
	Kork (mm)	20	Återvinning	80
	Betong (kg/m ²)	455.4	Återvinning	70
	Armeringsjärn (kg/m ²)	21.17	Återvinning	70

B1010.10.3d

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-5,40E-05	2,07E-08	1,83E-08	1,36E-06	-1,09E-05
ADP fossil [MJ]	6,02E+02	7,69E+00	6,80E+00	5,29E+01	-3,17E+01
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1,64E-01	2,49E-03	2,18E-03	2,31E-02	-1,12E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	2,19E-02	5,72E-04	5,00E-04	3,54E-03	-3,22E-04
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	7,40E+01	5,54E-01	4,90E-01	1,55E+01	-4,05E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	2,64E-07	9,71E-12	8,58E-12	2,90E-09	3,62E-08
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,24E-02	-8,11E-04	-7,07E-04	6,00E-03	-1,91E-03

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads bärande platta, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare information:**Databaser som används i modul A1-A43**

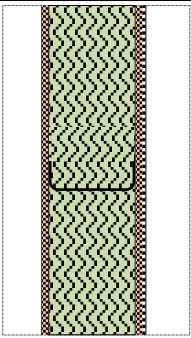
Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Betong	PE International	Tyskland	2011
Armeringsjärn	Worldsteel	Världen	2007
Kork	PE International	Tyskland	2011

Databaser som används i modul A4 och C2 (med antagande om 20kms avstånd)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Transport med lastbil	PE International	Världen	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011
Återvinning av stål	Worldsteel	Världen	2007

B2010.20 Ytterväggstomme				
B2010.20.1a	Material	Tjocklek/ Densitet	Livssluts- scenario	RR (%)
	OSB (mm)	13	Förbränning	80
	Stenull (mm)	120	Återvinning	80
	Gipsskiva (mm)	15	Deponering	
	Lättviktsstål (kg/m2)	15	Återvinning	90

B1010.20.1a					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	3,06E-05	2,19E-09	1,92E-09	4,32E-08	-2,10E-04
ADP fossil [MJ]	7,09E+02	8,14E-01	7,12E-01	1,68E+00	-3,05E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	2,65E-01	2,63E-04	2,28E-04	7,35E-04	-4,81E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	2,41E-02	6,05E-05	5,23E-05	1,13E-04	-1,17E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	6,50E+01	5,86E-02	5,13E-02	4,94E-01	-1,73E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	6,43E-07	1,03E-12	8,98E-13	9,24E-11	3,41E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	3,27E-02	-8,58E-05	-7,40E-05	1,91E-04	-1,13E-02

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads yttervägg, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare information:**Databaser som används i modul A1-A3**

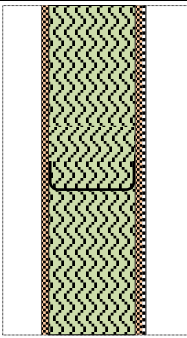
Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
OSB	PE International	Tyskland	2008
Gipsskiva	PE International	Europa	2008
Lättviktsstål (LWS)	Worldsteel	Världen	2007
Stenull	PE International	Europa	2011

Databaser som används i modul A4 och C2 (med antagande om 20kms avstånd)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Transport med lastbil	PE International	Världen	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Förbränning OSB	PE International	Tyskland	2008
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011
Återvinning av stål	Worldsteel	Världen	2007

B2010.20 Ytterväggstomme				
B2010.20.1b	Material	Tjocklek/ Densitet	Livssluts- scenario	RR (%)
	OSB (mm)	13	Förbränning	80
	EPS (mm)	120	Förbränning	80
	Gipsskiva (mm)	15	Deponering	
	Lättviktsstål (kg/m2)	15	Återvinning	90

B1010.20.1b					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,82E-05	1,93E-09	1,62E-09	5,61E-08	-2,10E-04
ADP fossil [MJ]	6,75E+02	7,18E-01	6,00E-01	1,84E+00	-3,70E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,44E-01	2,32E-04	1,92E-04	8,87E-04	-7,24E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,03E-02	5,34E-05	4,41E-05	1,50E-04	-2,60E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	5,18E+01	5,17E-02	4,33E-02	6,79E+00	-2,22E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	8,13E-07	9,05E-13	7,57E-13	8,54E-11	3,41E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	6,33E-02	-7,57E-05	-6,24E-05	1,70E-04	-1,27E-02

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads yttervägg, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare information:**Databaser som används i modul A1-A3**

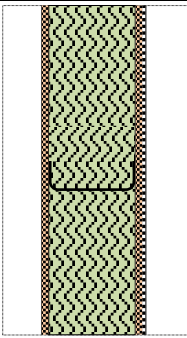
Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
OSB	PE International	Tyskland	2008
Gipsskiva	PE International	Europa	2008
Lättviktsstål (LWS)	Worldsteel	Världen	2007
EPS	PE International	Europa	2011

Databaser som används i modul A4 och C2 (med antagande om 20kms avstånd)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Transport med lastbil	PE International	Världen	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Förbränning OSB	PE International	Tyskland	2008
Förbränning EPS	PE International	Europa	2011
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011
Återvinning av stål	Worldsteel	Världen	2007

B2010.20 Ytterväggstomme				
B2010.20.1c	Material	Tjocklek/ Densitet	Livssluts- scenario	RR (%)
	OSB (mm)	13	Förbränning	80
	XPS (mm)	120	Förbränning	80
	Gipsskiva (mm)	15	Deponering	
	Lättviktsstål (kg/m2)	15	Återvinning	90

B1010.20.1c					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,99E-05	2,24E-09	1,84E-09	7,46E-08	-2,10E-04
ADP fossil [MJ]	7,89E+02	8,33E-01	6,85E-01	2,36E+00	-4,08E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,53E-01	2,69E-04	2,19E-04	1,16E-03	-8,70E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,09E-02	6,20E-05	5,04E-05	2,01E-04	-3,46E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	5,52E+01	6,00E-02	4,94E-02	1,07E+01	-2,52E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	6,41E-07	1,05E-12	8,65E-13	1,04E-10	3,41E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	3,16E-02	-8,79E-05	-7,13E-05	2,06E-04	-1,36E-02

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads yttervägg, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare informatoin:**Databaser som används i modul A1-A3**

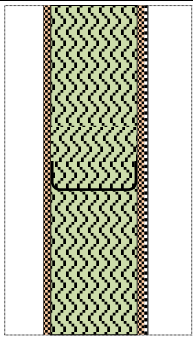
Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
OSB	PE International	Tyskland	2008
Gipsskiva	PE International	Europa	2008
Lättviktsstål (LWS)	Worldsteel	Världen	2007
XPS	PE International	Tyskland	2011

Databaser som används i modul A4 och C2 (med antagande om 20kms avstånd)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Transport med lastbil	PE International	Världen	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Förbränning OSB	PE International	Tyskland	2008
Förbränning XPS	PE International	Europa	2011
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011
Återvinning av stål	Worldsteel	Världen	2007

B2010.20 Ytterväggstomme				
B2010.20.1d	Material	Tjocklek/Densitet	Livssluts-scenario	RR (%)
	OSB (mm)	13	Förbränning	80
	PUR (mm)	120	Förbränning	80
	Gipsskiva (mm)	15	Deponering	
	Lättviktsstål (kg/m2)	15	Återvinning	90

B1010.20.1d					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	8,52E-05	2,24E-09	1,84E-09	7,64E-08	-2,10E-04
ADP fossil [MJ]	9,22E+02	8,33E-01	6,85E-01	3,02E+00	-3,70E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,66E-01	2,69E-04	2,19E-04	3,30E-03	-7,23E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,43E-02	6,20E-05	5,04E-05	7,68E-04	-2,60E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	6,70E+01	6,00E-02	4,94E-02	7,11E+00	-2,22E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	6,44E-07	1,05E-12	8,65E-13	1,30E-10	3,41E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,81E-02	-8,79E-05	-7,13E-05	3,15E-04	-1,27E-02

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads yttervägg, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare information:**Databaser som används i modul A1-A3**

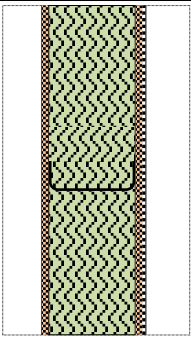
Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
OSB	PE International	Tyskland	2008
Gipsskiva	PE International	Europa	2008
Lättviktsstål (LWS)	Worldsteel	Världen	2007
PUR	PE International	Tyskland	2011

Databaser som används i MODul A4 och C2 (med antagande om 20kms avstånd)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Transport med lastbil	PE International	Världen	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Förbränning OSB	PE International	Tyskland	2008
Förbränning PUR	PE International	Europa	2011
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011
Återvinning av stål	Worldsteel	Världen	2007

B2010.20 Ytterväggstomme					
B2010.20.1e	Material	Tjocklek/ Densitet	Livssluts- scenario	RR (%)	
	OSB (mm)	13	Förbränning	80	
	Kork (mm)	120	Återvinning	80	
	Gipsskiva (mm)	15	Deponering		
	Lättviktsstål (kg/m2)	15	Återvinning	90	
B1010.20.1e					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,72E-05	3,49E-09	1,60E-09	3,48E-08	-2,10E-04
ADP fossil [MJ]	5,78E+02	1,30E+00	5,94E-01	1,36E+00	-3,05E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,60E-01	4,19E-04	1,90E-04	5,92E-04	-4,81E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,55E-02	9,64E-05	4,37E-05	9,07E-05	-1,17E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	5,39E+01	9,34E-02	4,28E-02	3,98E-01	-1,73E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	6,40E-07	1,64E-12	7,49E-13	7,44E-11	3,41E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,50E-02	-1,37E-04	-6,17E-05	1,54E-04	-1,13E-02

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads yttervägg, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare informatoin:**Databaser som används i modul A1-A3**

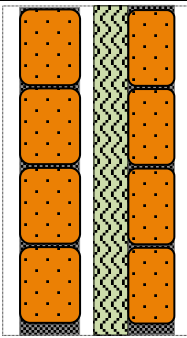
Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
OSB	PE International	Tyskland	2008
Gipsskiva	PE International	Europa	2008
Lättviktsstål (LWS)	Worldsteel	Världen	2007
Kork	PE International	Tyskland	2011

Databaser som används i modul A4 och C2 (med antagande om avstånd på 20km)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Transport med lastbil	PE International	Världen	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Förbränning OSB	PE International	Tyskland	2008
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011
Återvinning av stål	Worldsteel	Världen	2007

B2010.20 Ytterväggstomme				
B2010.20.2a	Material	Tjocklek/ Densitet	Livssluts- scenario	RR (%)
	Tegelvägg (mm)	11	Deponering	
	Luftspalt (mm)	0		
	Stenull (mm)	60	Återvinning	80
	Tegelvägg (mm)	11	Deponering	
B1010.20.2a				
	A1-A3	A4	C2	C4
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	4,00E-06	1,37E-08	1,20E-08	1,55E-06
ADP fossil [MJ]	6,11E+02	5,10E+00	4,46E+00	6,05E+01
AP [kg SO2-Equiv.]	1,33E-01	1,65E-03	1,43E-03	2,64E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,58E-02	3,79E-04	3,28E-04	4,04E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	8,12E+01	3,67E-01	3,21E-01	1,78E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	3,62E-09	6,43E-12	5,62E-12	3,32E-09
POCP [kg Ethene-Equiv.]	1,21E-02	-5,37E-04	-4,64E-04	6,86E-03

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads yttervägg, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare information:**Databaser som används i modul A1-A3**

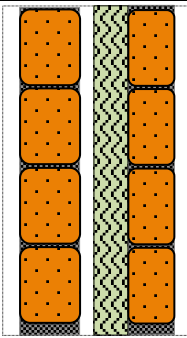
Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Tegel	PE International	Tyskland	2011
Stenull	PE International	Europa	2011

Databaser som används i modul A4 och C2 (med antagande om 20kms avstånd)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Transport med lastbil	PE International	Världen	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011

B2010.20 Ytterväggstomme					
B2010.20.2b	Material	Tjocklek/ Densitet	Livssluts- scenario	RR (%)	
	Tegelvägg (mm)	11	Deponering		
	Luftspalt (mm)	0			
	EPS (mm)	60	Förbränning	80	
	Tegelvägg (mm)	11	Deponering		
B1010.20.2b					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,81E-06	1,34E-08	1,17E-08	1,56E-06	-4,49E-08
ADP fossil [MJ]	5,94E+02	4,97E+00	4,35E+00	6,06E+01	-3,21E+01
AP [kg SO2-Equiv.]	7,23E-02	1,61E-03	1,39E-03	2,65E-02	-1,22E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	8,96E-03	3,70E-04	3,20E-04	4,06E-03	-7,17E-04
GWP [kg CO2-Equiv.]	7,46E+01	3,58E-01	3,13E-01	2,09E+01	-2,46E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	8,86E-08	6,27E-12	5,48E-12	3,31E-09	-4,97E-11
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,74E-02	-5,24E-04	-4,52E-04	6,85E-03	-7,02E-04

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads yttervägg, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare information:**Databaser som används i modul A1-A3**

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Tegel	PE International	Tyskland	2011
EPS	PE International	Europa	2011

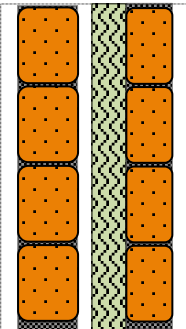
Databaser som används i modul A4 och C2 (med antagande om 20kms avstånd)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Transport med lastbil	PE International	Världen	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Förbränning EPS	PE International	Europa	2011
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011

B2010.20 Ytterväggstomme

B2010.20.2c	Material	Tjocklek/ Densitet	Livssluts- scenario	RR (%)
	Tegelvägg (mm)	11	Deponering	
	Luftficka (mm)	0		
	XPS (mm)	60	Förbränning	80
	Tegelvägg (mm)	11	Deponering	

B1010.20.2c

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	3,64E-06	1,34E-08	1,17E-08	1,57E-06	-7,18E-08
ADP fossil [MJ]	6,51E+02	4,98E+00	4,36E+00	6,08E+01	-5,14E+01
AP [kg SO2-Equiv.]	7,67E-02	1,61E-03	1,39E-03	2,66E-02	-1,95E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	9,23E-03	3,71E-04	3,20E-04	4,09E-03	-1,15E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	7,63E+01	3,59E-01	3,14E-01	2,29E+01	-3,94E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	3,00E-09	6,29E-12	5,50E-12	3,32E-09	-7,96E-11
POCP [kg Ethene-Equiv.]	1,15E-02	-5,25E-04	-4,53E-04	6,87E-03	-1,12E-03

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads yttervägg, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare information:**Databaser som används i modul A1-A3**

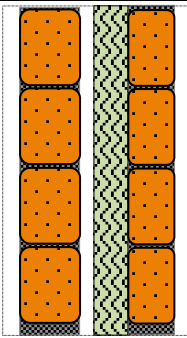
Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Tegel	PE International	Tyskland	2011
XPS	PE International	Tyskland	2011

Databaser som används i modul A4 och C2 (med antagande om 20kms avstånd)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Transport med lastbil	PE International	Världen	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Förbränning XPS	PE International	Europa	2011
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011

B2010.20 Ytterväggstomme					
B2010.20.2d	Material	Tjocklek/ Densitet	Livssluts- scenario	RR (%)	
	Tegelvägg (mm)	11	Deponering		
	Luftspalt (mm)	0			
	PUR (mm)	60	Förbränning	80	
	Tegelvägg (mm)	11	Deponering		
B1010.20.2d					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	3,13E-05	1,34E-08	1,17E-08	1,57E-06	-4,52E-08
ADP fossil [MJ]	7,17E+02	4,98E+00	4,36E+00	6,12E+01	-3,22E+01
AP [kg SO2-Equiv.]	8,33E-02	1,61E-03	1,39E-03	2,77E-02	-1,21E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,09E-02	3,71E-04	3,20E-04	4,37E-03	-7,15E-04
GWP [kg CO2-Equiv.]	8,22E+01	3,59E-01	3,14E-01	2,11E+01	-2,46E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	4,11E-09	6,29E-12	5,50E-12	3,34E-09	-4,99E-11
POCP [kg Ethene-Equiv.]	9,80E-03	-5,25E-04	-4,53E-04	6,92E-03	-7,02E-04

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads yttervägg, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare information:**Databaser som används i modul A1-A43**

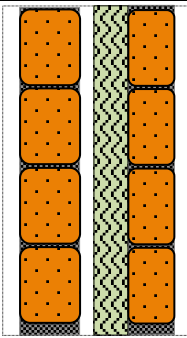
Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Tegel	PE International	Tyskland	2011
PUR	PE International	Tyskland	2011

Databaser som används i modul A4 och C2 (med antagande om 20kms avstånd)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Transport med lastbil	PE International	Världen	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Förbränning PUR	PE International	Europa	2011
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011

B2010. Yttre vägg, konstruktion				
B2010.20.2e	Material	Tjocklek/ Densitet	Livssluts- scenario	RR (%)
	Tegelvägg (mm)	11	Deponering	
	Luftspalt (mm)	0		
	Kork (mm)	60	Återvinning	80
	Tegelvägg (mm)	11	Deponering	

B1010.20.2e					
		A1-A3	A4	C2	C4
	ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,27E-06	1,35E-08	1,18E-08	1,55E-06
	ADP fossil [MJ]	5,46E+02	5,03E+00	4,40E+00	6,03E+01
	AP [kg SO2-Equiv.]	8,06E-02	1,63E-03	1,41E-03	2,63E-02
	EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,16E-02	3,74E-04	3,23E-04	4,03E-03
	GWP [kg CO2-Equiv.]	7,57E+01	3,62E-01	3,17E-01	1,77E+01
	ODP [kg R11-Equiv.]	2,30E-09	6,35E-12	5,55E-12	3,31E-09
	POCP [kg Ethene-Equiv.]	8,25E-03	-5,30E-04	-4,57E-04	6,84E-03

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads yttervägg, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare information:**Databaser som används i modul A1-A3**

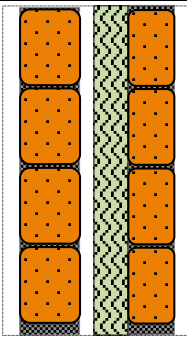
Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Tegel	PE International	Tyskland	2011
Kork	PE International	Tyskland	2011

Databaser som används i modul A4 och C2 med antagande om 20kms avstånd)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Tansport med lastbil	PE International	Världen	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011

B2010.20 Ytterväggstomme				
B2010.20.2f	Material	Tjocklek/ Densitet	Livssluts- scenario	RR (%)
	Tegelvägg (mm)	11	Deponering	
	Luftspalt (mm)	0		
	Glasull (mm)	60	Deponering	
	Tegelvägg (mm)	11	Deponering	

B1010.20.2f					
		A1-A3	A4	C2	C4
	ADP elements [kg Sb-Equiv.]	6,07E-04	1,35E-08	1,18E-08	1,55E-06
	ADP fossil [MJ]	6,13E+02	5,01E+00	4,38E+00	6,05E+01
	AP [kg SO2-Equiv.]	9,80E-02	1,62E-03	1,40E-03	2,67E-02
	EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,33E-02	3,73E-04	3,22E-04	5,07E-03
	GWP [kg CO2-Equiv.]	7,81E+01	3,61E-01	3,16E-01	1,83E+01
	ODP [kg R11-Equiv.]	3,81E-09	6,32E-12	5,53E-12	-3,92E-09
	POCP [kg Ethene-Equiv.]	8,60E-03	-5,28E-04	-4,56E-04	7,01E-03

Funktionell enhet:

1 m² av en byggnads yttervägg, utformad för en livslängd på 50 år, med en termisk transmittans (U) på 0,92 W/m².K och en termisk tröghet (κ_m) på 61060 J/m².K.

Ytterligare information:**Databaser som används i modul A1-A3**

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Tegel	PE International	Tyskland	2011
Glasull	PE International	Europa	2011

Databaser som används i modul A4 och C2 (med antagande om 20kms avstånd)

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Transport med lastbil	PE International	Världen	2011

Databaser som används i modul C4-D

Process	Datakälla	Geografisk omfattning	Datum
Deponering av inert material	PE International	Tyskland	2011
Deponering av glasull	PE International	Tyskland	2010

