

ACÉLSZERKEZETEK SZEREPE A FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉSBEN, ÉLETCIKLUS ANALÍZIS

Dr. Jármai Károly, egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, 3515 Miskolc, Egyetemváros

Összefoglalás

A cikk célja, hogy részletes tájékoztatást adjon az életciklus elemzés (LCA) és validálás módszertanáról az acélszerkezetek vonatkozásában. Az anyag az LVS3 disszeminációs projekt keretén belül jött létre, melynek címe: Acélszerkezetek szerepe a fenntartható fejlődésben (RFS2-CT-2013-00016). Két, egymást kiegészítő módszer kerül ismertetésre:

- (i) a makro-elem megközelítés, kitérve az életciklus-elemzésre épületeknél és/vagy épületelemeknél, kivéve a felhasznált energia mennyiségének kérdését az épület használata során;
- (ii) a megközelítés fókuszál az épület működési energia felhasználására.

Ezt a közelítést átültették a rendelkezésre szoftvereszközök segítségével a LVS3 projekt keretében. A korábbi LCA számítás Coimbrai Egyetem (Portugália) fejlesztette ki együttműködve az ECCS-el az iPad és az iPhone alkalmazásokra. Az AMECO szoftvert az ArcelorMittal és CTICM fejlesztette ki.

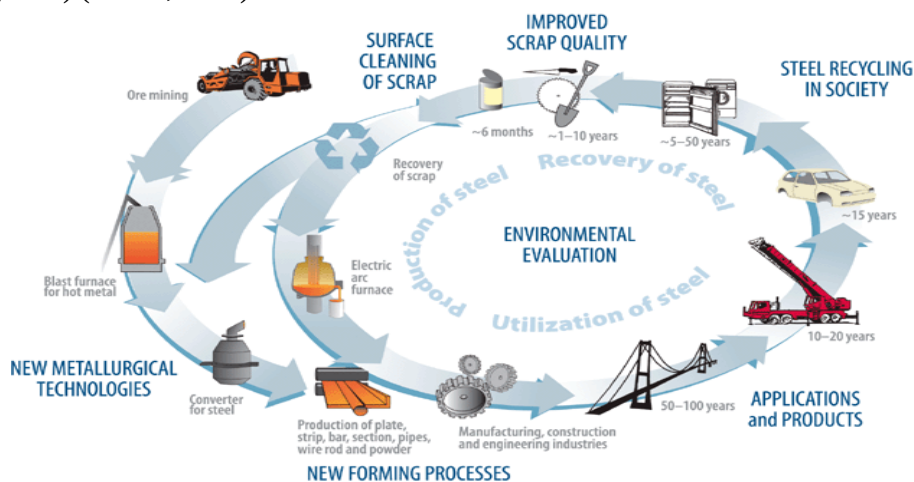
1. Életciklus gondolkodás

Az Életciklus Analízis (LCA – Life Cycle Analysis) objektív folyamat, mely felbecsüli egy termék-folyamattal/tevékenységgel kapcsolatos környezeti terheket, valamint felméri és él azon lehetőségekkel, amelyek hatással vannak a környezeti javulásra.

Az analízis azonosítja, és mennyiségileg meghatározza az anyaghasználatot, az energiaszükségleteket, hulladékokat, valamint a légköri- és vízáramlásokat a termék életciklus során (vagyis a nyersanyagbeszerzéstől a termék életének végéig) (1. ábra).

Az Integrált Termékpolitika életciklus-szemléleteket javasol a termékek lehetséges hatásainak felmérésére.

Egy épület vagy más építmények életciklus-szakaszai során számos környezeti hatás megjelenhet. Az Életciklus Gondolkodás fő előnye, hogy kerüli a terhek elmozdulását az egyik életciklus szakaszból a másikba, az egyik földrajzi területről a másikra és egyik környezeti közegből (pl. levegő) a másikba (pl. víz vagy föld) (UNEP, 2004).



1. ábra: Életciklus módszertan (stalkretsloppet.se)

Továbbá az életciklus-szemléletek hosszútávon jobb döntéseket tesznek lehetővé. Ez azt jelenti, hogy egy termék életciklusának egész láncolatában, a bölcsőtől a sírig, mindenkinek felelőssége és szerepe van, figyelembe véve az összes lényeges környezetre gyakorolt hatást (UNEP, 2004). Az életciklus minden szakaszában előforduló, a levegőbe, a vízbe és a földbe történő összes kibocsátás mennyiségének meghatározása által az életciklus-szemlélet lehetővé teszi a termék- vagy rendszer-élet legkritikusabb fejlődéseinek azonosítását, tehát megerősíti a környezeti javulás lehetőségét a termék egész láncában.

Habár ennek az analízisnek vannak hátrányai is:

- ✓ Az LCA (életciklus-elemzés) általában időigényes, drága, és gyakran igényel szaktudást;
- ✓ Nincs egy általánosságban elfogadható LCA módszertan;
- ✓ Néhány LCA-vel kapcsolatos feltételezés szubjektív lehet (pl. a határok meghatározása, adatforrás és a hatásértékelés választás);
- ✓ Az LCA eredményei többnyire országos és regionális szintűek, ezért nem feltétlenül megfelelő helyi alkalmazásra;
- ✓ Egy LCA tanulmány pontossága függ a lényeges adatok minőségétől és elérhetőségétől.

Ebben a projektben alkalmazott életciklus-szemléletek célja, mint ahogy azt a következő fejezet leírja, hogy a fent említett hátulütők közül valamennyit elkerüljön.

A fejezet következő alpontja az épületfenntarthatóság értékelésénél alkalmazott különböző módszerek és eszközök rövid összefoglalóját biztosítja.

2. Épületfenntarthatóság értékelésénél alkalmazott módszerek és eszközök

Az építkezés jelentős mennyiségű környezeti hatásért felelős az ipari szektorban. Az utóbbi évek során egyre nőtt az érdeklődés az épített környezet környezeti értékelésével kapcsolatban.

Jelenleg két nagy csoportja van azon eszközöknek, amelyeket az épített környezet értékelésére alkalmaznak (Reijnders és Roedel, 1999):

- (i) Pontozáson és kritériumon alapuló kvalitatív eszközök;
- (ii) Eszközök, melyek az életciklus-szemléleten alapuló be- és kimenetek kvantitatív analízisét használják.

Az eszközök első csoportjába tartoznak olyan rendszerek, mint az amerikai LEED, az angol BREEAM, a GBTool (Nemzetközi Kezdeményezés Egy Fenntartható Épített Környezetért (iiSBE)), stb. Ezek a módszerek, melyek értékelési rendszerekként is ismertek, általában épületek vizsgálatán és előre meghatározott paraméterek szerinti pontozáson alapszanak. Habár a paraméterek főként kvalitatívak, néhány közülük lehet kvantitatív is, valamint főleg anyagszám-meghatározás esetén még Életciklus Analízist (LCA-t) is használhatnak. Általában ezeket a rendszereket arra használják, hogy zöldház-tanúsítványokat és öko címkéket szerezzenek. Miszerint az eszközöknek e típusa kívül esik ennek a dokumentumnak a hatáskörén, a továbbiakban a fókusz az eszközök, életciklus-szemléleteken alapuló, második csoportjára kerül.

Az Életciklus Analízist (LCA) közvetlenül lehet alkalmazni az építési szektorban. Igaz, jellemzői miatt felmerülhetnek problémák a szabványos életciklus alkalmazásakor épületek és más építmények esetében. Ennek fő okai az alábbiak (IEA, 2001):

- (i) Az épületek élettartama hosszú és ismeretlen, ezért számos bizonytalanságnak van kitéve,
- (ii) Az épületek helyfüggőek és valamennyi hatás helyi,
- (iii) Az építési termékek általában összetett anyagokból készülnek, ami több adat összegyűjtését és számos gyártási folyamatot von maga után,
- (iv) Egy épület használati fázisa során történő energiafogyasztás nagyban függ a felhasználók és a szolgáltatások viselkedésétől,
- (v) Egy épület multifunkcionális, ez megnehezíti egy megfelelő funkcionális egység kiválasztását,
- (vi) Az épített környezetben az épületek szoros egységet alkotnak más elemekkel, elsősorban városi infrastruktúrával (utakkal, csövekkel, zöld terekkel és egészségügyi szolgáltatásokkal), ezért az Életciklus Analízis levezetése egy különálló épületen félrevezető lehet.

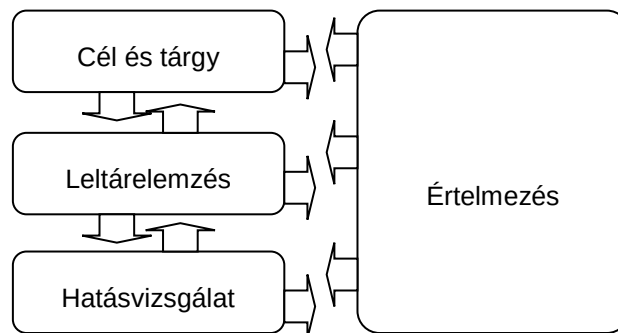
Az épületek és elemeinek életciklus-értékelésével kapcsolatban LCA eszközök és LCA szemléletek különböztethetők meg: az életciklus-elemzés eszközei azzal a céllal lettek kifejlesztve, hogy értékeljék az építési anyagokat és elemeket (pl. BEES (Lippiatt, 2002)); az életciklus-elemzés szemléleteinek célja pedig, hogy az épületet teljes egészében értékelje. (pl. Athena (Trusty, 1997), Envest (Howard és más szerzők, 1999), EcoQuantum (Kortman és más szerzők, 1998). Ez utóbbi általában sokkal összetettebb, mivel a teljes épületteljesítmény függ az egyéni elemek és alrendszerek, valamint a lakók és a természeti környezet közötti kölcsönhatásoktól. A megfelelő eszköz kiválasztása függ a projekt speciális környezetvédelmi célkitűzéseitől.

Az LCA eszközök pontosságát és fontosságát egy, az európai tematikus hálózat, a PRESCO (Practical Recommendations for Sustainable Construction) által kifejlesztett projekt keretén belül elemezték (Kellenberger, 2005). Ebben a projektben számos LCA eszköz került összehasonlításra különböző esettanulmányok alapján, az LCA alapú elemzési eszközök összehangolásának globális céljából. Az épített környezet környezeti értékelésére alkalmas eszközöket tekintve más egyéb összehasonlító elemzések találhatók Jönsson (2000) és Forsberg & von Malmberg (2004) munkáiban.

Tehát ez a dokumentum az Életciklus Analízisre és annak, acélszerkezetek esetén történő alkalmazására összpontosít. A következőkben az Életciklus Analízis (LCA) normatív szerkezete, először az ISO 14040-es (2006) és az ISO 14044-es (2006) nemzetközi szabványok kerülnek bemutatásra, melyek megalapozzák az LCA általános szerkezetét, majd az építési munkálatok fenntarthatóságára vonatkozó új európai szabványok lesznek bemutatva. Lényeges, hogy amíg az első általánosan alkalmazzák, addig az európai szabványok az épületek és más építési munkálatok értékelésére fókuszál.

3. Életciklus Analízis (LCA) normatív szerkezete

Az ISO 14040-es (2006) és 14044-es (2006) nemzetközi szabvány pontosan meghatározza az LCA általános szerkezetét, különböző szabályokat és az életciklus-elemzéssel kapcsolatos tanulmányok levezetésére, valamint azokról való beszámolásra vonatkozó követelményeket. Figyelembe véve ezeket a szabványokat, az életciklus-elemzésnek tartalmaznia kell a cél és tárgy (goal and scope) meghatározását, a leltárelemzést (inventory), a hatásvizsgálatot (impact assessment) és az eredmények értelmezését (interpretation). Ahogy azt a 2. ábra mutatja, a különböző fázisok kapcsolatban állnak, és időnként a folyamatok megismétlődése szükséges a tanulmány céljának teljesítése érdekében. A különböző lépések részletesen megtalálhatóak a következőkben.



2. ábra: LCA általános szerkezete (ISO 14044:2006)

3.1 Cél és tárgy meghatározása

Egy LCA tanulmány célja, hogy világosan kifejtse annak szándékolt alkalmazását és a tanulmány levezetésének okait, valamint az, hogy bemutassa a megcélzott közönséget, vagyis azokat, akikhez a tanulmány eredményeinek el kell jutniuk.

Egy életciklus-elemzés tárgyában a legérdekeltőbb és legjobban leírt kérdések a funkcionális egység és a rendszerhatárok.

3.1.1 Funkció és funkcionális egység

Egy LCA tanulmány tárgyának világosan ki kell fejtenie a rendszer azon funkcióit, amelyek a tanulmány középpontjában állnak. Egy funkcionális egység a termékrendszer funkcionális kimeneteinek teljesítményének mértéke.

Egy funkcionális egység elsődleges célja, hogy biztosítson egy olyan referenciát, amellyel a be- és kimenetek kapcsolatban állnak. Ez a referencia az életciklus-elemzés eredményeinek összehasonlíthatóságának biztosítása érdekében szükséges. Az eredmények összehasonlíthatósága különösen kritikus olyankor, amikor különböző rendszerek kiértékelésére van szükség annak biztosítása érdekében, hogy ilyen összehasonlítások egy közös pont alapján történjenek.

3.1.2 Rendszerhatárok

A rendszerhatárok meghatározzák, hogy mely folyamategységek alkotják az életciklus-elemzést. Egy generikus anyag esetén az életciklus-elemzés tartalmazza a nyersanyaggyártástól a hulladékká válásig lezajló folyamat összes lépését, ahogy azt a 3. ábra is mutatja.



3. ábra: Generikus anyag életciklus-elemzése során lezajló folyamatok

Amikor az életciklus-elemzés az anyaggyártásnak csak a kezdeti lépéseit foglalja magába, akkor az elemzést „a bölcstől a kapuig” típusú felmérésnek nevezzük. Ha az egész folyamatot tartalmazza (nyersanyaggyártástól a hulladékká válásig), akkor az elemzést „bölcstől a sírig” elemzésnek hívjuk. Amikor a hulladékká válás után újrahasznosítási folyamatok esedékesek és a másodlagos anyagokból új anyagok gyártása elkerülendő, akkor az elemzést gyakran nevezik „bölcstől-bölcsig” analízisnek. A rendszerhatárokat számos tényező meghatározza, többek között a tanulmány szándékolt alkalmazása, különböző feltételezések, kizárási kritériumok, adatok és anyagi megszorítások, valamint a megcélzott közönség.

A be- és kimenetek kiválasztásának, egy adatkategórián belül történő aggregáció szintjének, valamint a termékrendszernek a modellezése úgy szükséges, hogy a be- és kimenetek a rendszereik keretein belül termékáramlást jelentenek.

3.1.3 Adatminőségi követelmények

Céljának és tárgyának teljesítése érdekében az elemzésnek az ISO 14044-es szabvány által meghatározott követelményeknek kell eleget tenni:

- időbeli kiterjedés: az adat kora és a legkisebb időbeli kiterjedés az összegyűjtendő adatok felett
- földrajzi kiterjedés: földrajzi terület, ahonnan az adatgyűjtés az egységfolyamatok számára szükséges
- technológiai összesség: specifikus technológia vagy technológiai mix
- pontosság: adat változásainak mértéke, mely a kifejezett adatok értékeléséhez szükséges (pl. variancia)
- teljesség: áramlás mért vagy becsült százaléka
- reprezentativitás: kvalitatív értékelése annak a szintnek, mely megmutatja, hogy az adatok mennyire felelnek meg a valóságnak
- konzisztencia: kvalitatív értékelése annak, hogy a tanulmány módszertana egységesen alkalmazható az elemzés különböző elemeivel kapcsolatban
- reprodukálhatóság: kvalitatív értékelése annak, hogy a módszertanról szóló információk és az adatok lehetővé teszik-e egy független szakember számára a tanulmány eredményeinek megismétlését
- információ bizonytalansága (pl. adatok, modellek és feltevések)

3.1.4 Életciklus-leltárelemzés

A leltárelemzés magába foglalja az adatgyűjtést és kalkulációs folyamatokat, melyekkel meghatározza egy termékrendszer releváns be- és kimeneteinek mennyiségét. Ezen be- és kimenetek alatt értjük a források, valamint a rendszerrel kapcsolatos, levegőbe, vízbe és talajba történő kibocsátások használatát.

A leltárba beleszámító kvalitatív és kvantitatív adatokat minden, a rendszerhatárokon belüli egységfolyamat számára össze kell gyűjteni.

Az anyaggyűjtés forrás-intenzív folyamat is lehet. Szükséges figyelembe venni praktikus megfontolásokat az adatgyűjtéssel kapcsolatban és azt dokumentálni a tanulmány jelentésében.

3.1.5 Életciklus-hatásvizsgálat

3.1.5.1 Általános kalkulációs módszer

Az életciklus-elemzés hatásvizsgálati fázisának célja, hogy értékelje a lehetséges környezeti hatások jelentőségét az életciklus-leltárelemzés eredményeinek segítségével. Ez a folyamat általában magába foglalja a leltári adatok konkrét környezeti hatásokkal való összekötését. A folyamat 2 részből áll:

- (i) Kötelező elemekből, mint például az osztályozás és a jellemzés
- (ii) Választható elemekből, mint a normalizálás, besorolás, csoportosítás és a súlyozás.

Az osztályozás maga után vonja a megfelelő hatáskategóriák között már korábban végrehajtott választást (a tanulmány céljának megfelelően), továbbá az életciklus-leltárelemzés eredményeinek a kiválasztott hatáskategóriákba történő besorolását. A hatást jellemző tényezők pedig arra szolgálnak, hogy megmutassák az életciklus-leltárelemzés eredményének hozzájárulását a hatáskategória-mutató eredményéhez. Ennek a módszernek megfelelően a hatáskategóriák lineáris funkciók, vagyis a hatást jellemző tényezők függetlenek a környezeti beavatkozás nagyságától (1. képlet):

$$impact_{cat} = \sum_i m_i \times charact_factor_{cat,i} \quad (1)$$

A hatáskategória meghatározásában az m_i az i leltárfolyamatot, a $charact_factor_{cat,i}$ pedig a leltárfolyamat jellemzési tényezőjét jelöli.

Ami az életciklus-elemzés választható lépéseit illeti, általában a normalizálás mutatja meg, mennyire jelentős egy hatáskategória hozzájárulása a teljes környezeti hatáshoz. A súlyozási lépés során, jelentőségüknek megfelelően, minden hatáskategória normalizált eredménymutatója számbeli tényezőkkel van jelölve. A súlyozás inkább alapszik értékválasztáson, mint természettudományon, tehát az ISO 14044-es szabvány megkülönbözteti a belső és külső alkalmazásokat, így ha az eredményeket össze kell hasonlítani és be kell mutatni a közönségnek, akkor a súlyozás alkalmazása elkerülendő.

Az életciklus-elemzés másik választható lépése a csoportosítás, melynek során a hatáskategóriák beosztásra kerülnek egy vagy több csoportba. Ebben az esetben, az ISO 14044-es szabvány alapján kétféle művelet használata lehetséges: kategóriamutatók név szerinti kiválogatása, valamint azok rangsorba állítása.

Ez a dokumentum az életciklus-elemzés kötelező lépéseire fókuszál; így, a szöveg a fent említett választható elemekkel a továbbiakban nem foglalkozik.

3.1.5.2 A lehetséges környezeti hatások kiszámítása

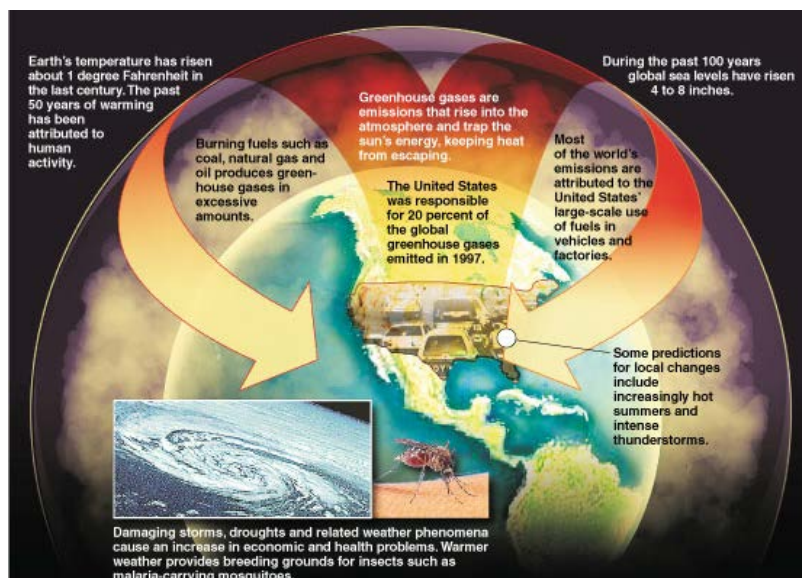
Az LCA megfigyelt célja, hogy elemezze az azonosított bemenetekkel és kibocsátásokkal kapcsolatban álló lehetséges környezeti hatásokat. A következő bekezdések röviden bemutatják az LCA legfontosabb környezeti kategóriáit, valamint a dokumentumban leírt egyszerűsített szemlélet során alkalmazott kalkulációs módszert.

3.1.5.3 Globális felmelegedési potenciál (GWP)

Az „üvegházhatás” (4. ábra) azoknak az infravörös (IR) aktív gázoknak a hatására alakul ki, melyek természetüknél fogva jelen vannak a Föld atmoszférájában (pl.: H_2O , CO_2 and O_3), ami elnyeli a Földet elhagyó (infravörös) energiát (vagy sugárzást), majd ezt a hőt, hozzájárulva a felszín felmelegedéséhez és az alacsony atmoszférához, visszatükrözi a földre.

Ezeknek az üvegházgázoknak (GHG) is nevezett gázoknak a koncentrációja jelentősen megnövekedett az ipari forradalom óta, és tovább növeli a Föld üvegházhatását, éghajlat-növekedést okozva a Föld felszínén és aggodalmat keltve az ebből eredő lehetséges éghajlati változásokkal kapcsolatban. Nem ugyanolyan az összes üvegházgáz. Amíg a CO_2 a leggyakrabban előforduló üvegházgáz, számos

másik is hasonlóan járul hozzá az éghajlatváltozáshoz, mint a CO₂. A különböző üvegházgázok hatása a globális felmelegedési potenciál (GWP) használatával állapítható meg.



4. ábra: Globális felmelegedés (EPS, 2009)

A globális felmelegedési potenciál (GWP) relatív mértéke annak a CO₂ mennyiségnek, melyet szükséges lenne kibocsátani annak érdekében, hogy ugyanazt az üvegházhatást érje el, mint amit egy bizonyos időtartamon belül történő 1 kg üvegházgáz kibocsátása eredményez. Tehát a GWP egy gáz globális felmelegedésre való hatásának mértékét adja meg.

Az Éghajlat-változási Kormányközi Testület (IPCC, 2007) globális felmelegedési potenciálokat dolgozott ki három időhorizontra (20, 100 és 500 év), amelyeket a 1 táblázat a három legfontosabb gáz esetében jelöl.

1 táblázat – GWP adott időhorizontokra (kg CO₂ eq./kg-ban) (IPCC, 2007)

	20 év	100 év	500 év
Szén-dioxid (CO ₂)	1	1	1
Metán (CH ₄)	62	25	7
Dinitrogén-oxid (N ₂ O)	275	298	156

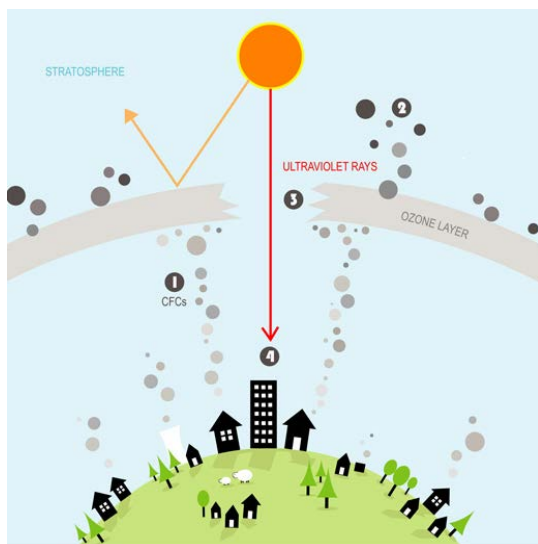
Így a 2 képlet, a „Globális felmelegedés” mutató meghatározása a következő:

$$Global\ Warming = \sum_i GWP_i \times m_i \quad (2)$$

Ahol a m_i a kibocsátott i anyag tömege (kg-ban). Ez kg CO₂ egyenértékében kifejezett mutató. Az alkalmazott szemléletben csak a 100 éves időhorizont érdekelt.

3.1.5.4 Ózonlebontó potenciál (ODP)

Az ózonlebontó gázok károsítják a sztratoszférikus ózont vagy „ózonréteget” azzal, hogy szabad radikális molekulákat engednek szabadjára, melyek lebontják az ózont (O₃).



5. ábra: Ózonréteg pusztulása (Blendspace, 2013)

Az ózonréteg károsodása csökkenti annak azt a képességét, amellyel megakadályozza, hogy UV sugárzás hatoljon a Föld atmoszférájába, ezzel növelve a Föld felszínét érő rákkeltő UVB sugárzás mennyiségét.

Ez emberek esetében egészségügyi problémákhoz vezet, például bőrrákot vagy hályogot okoz, valamint állatok és termények esetén napfény okozta károkat eredményez. A fő ózonlebontó gázok a CFC-k, HCFC-k és a halonok.

Az 1980-as években az egyre növekvő érdeklődés az ózonréteg pusztulását illetően világszintű erőfeszítésekhez vezetett a pusztulás meggátolása érdekében. Az erőfeszítések tetőfoka a Montreali Protokoll volt, ami betiltotta a legkárosabb ózonlebontó gázok nagy részének használatát.

Az ózonlebontó potenciál annak a mértéke, hogy egy kémiai anyag mekkora károsodást okoz az ózonrétegben a fluor-triklórmétán (CFC-11) referenciaanyag által okozott veszteséghez képest. Ez az ózonlebontó potenciál számára kg fluor-triklórmétán (CFC-11) egyenértékű referencia egységet biztosít. A jellemzési modell, melyet a Meteorológiai Világszervezet (WMO) fejlesztett ki, különböző gázok ózonlebontó potenciálját határozza meg. A 2. táblázat néhány kiválasztott anyag állandósult állapotban felmért ODP-jét mutatja be (Heijungs és más szerzők, 1999).

2. táblázat – Néhány anyag ODP-je (kg CFC-11 egyenértékben) (Heijungs et al., 1999)

Állandósult állapot (t ≈:)	
CFC-11	1
CFC-10	1.2
Halon 1211	6.0
Halon 1301	12.0

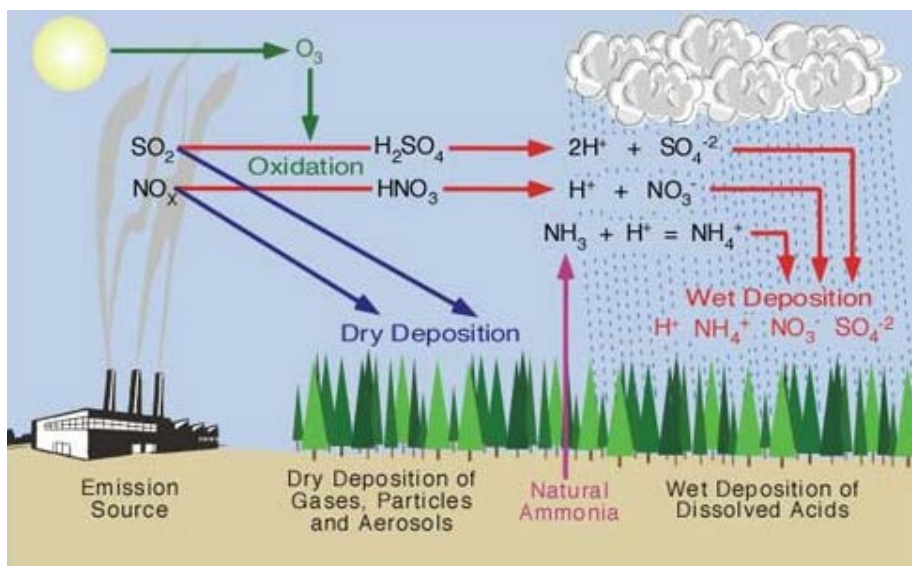
Tehát az ózonréteg-pusztulás (Ozone Depletion) mutatójának meghatározása a következő:

$$\text{Ozone Depletion} = \sum_i \text{ODP}_i \times m_i \quad (3)$$

Ahol a m_i az i kibocsátott anyag tömege (kg-ban). Ez kg CFC-11 egyenértékben kifejezett mutató.

3.1.5.5 Savasodási potenciál (AP)

A savasodás az a folyamat, amikor a légszennyező anyagok (főként ammónia (NH_3), kén-dioxid (SO_2) és nitrogén-oxidok (NO_x)) átalakulnak savas kémhatású anyagokká (6. ábra). A légkörbe bocsátott savasító hatású vegyületeket a szél szállítja, majd savas részecskéket, savas esőt vagy havat rak le. Amikor ez az eső gyakran a gáz eredeti forrásától jelentős távolságra leesik, különböző mértékben károsítja a táj ökoszisztémáját annak természetétől függően.



6. ábra: Savasodási potenciál (The energy library, 2013)

A savasodási potenciált egy anyag savasodást okozó hidrogénion-felszabadító képességét használva mérik; valamint egy SO_2 egyenértékű felszabadításra vonatkozólag is mérhető.

Ebben a munkában alkalmazott jellemzési tényezők alapjául az életciklus-elemzés RAINS-modellje szolgál, amely számításba veszi a pusztulást, a lerakódásokat és a különböző hatásokat (Huijbregts, 2001). A savasodás átlagos európai jellemzési tényezőit a 3. táblázat mutatja.

3. táblázat – Savasodási potenciálok (SO_2 egyenértékben) (Huijbregts, 2001)

	Ammónia (NH_3)	Nitrogén-oxid (NO_x)	Kén-dioxid (SO_2)
APi	1.60	0.50	1.20

A „savasodás” mutató meghatározása: (4. egyenlet),

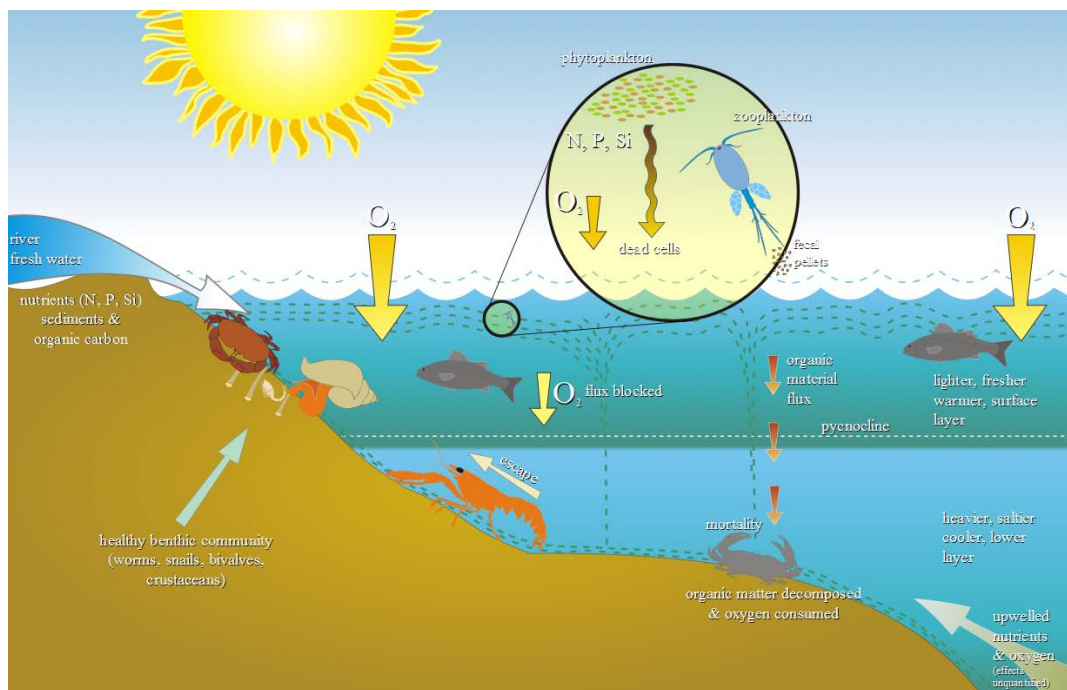
$$\text{Acidification} = \sum_i AP_i \times m_i \quad (4)$$

Ahol m_i az i felszabadított anyag tömege (kilogrammban kifejezve). Ez kg SO_2 egyenértékben kifejezett mutató.

3.1.5.6 Eutrofizációs Potenciál (EP)

Olyan tápanyagok, mint a nitrátok és a foszfátok általában trágyázáson keresztül kerülnek a talajba, mely elősegíti a növények és mezőgazdasági termékek növekedését. Ezek a tápanyagok az élet számára nélkülözhetetlenek, de amikor érzékeny természetes vízbe vagy földterületre kerülnek, ez a nem kívánt trágyázás könnyen eredményezhet növény- vagy algatútermelést, ami pedig más organizmusok elfojtásához vezethet, tehát azok elhalását és bomlását okozhatja. Tehát, eutrofizációt vagy más néven tápanyag-gazdagodást, ahogy a 7. ábra mutatja, a vízkészletek túlgazdagodásaként lehet jellemezni. Előfordulása növelve a vízi állatok és növények halálozását ökoszisztémák károsodásához, valamint alacsony tápanyag-értékű környezettől függő fajok elvesztéséhez vezethet. Ez pedig ezen környezetek biodiverzitásában teljes csökkenést eredményez, és hatással van azokra a nem vízi állatokra és emberekre, akik ezektől az ökoszisztémáktól függenek.

Az eutrofizációt kg nitrogén vagy foszfát egyenértékű referenciaegység használatával mérjük. Vagyis ez annak a terjedelemnek a mértéke, amelyben egy vízbéli anyag nitrogénnel vagy foszfáttal együtt, mint vonatkoztatási anyag, az alga elburjánzását okozza. Az eutrofizációt elősegítő legjelentősebb anyagok a nitrogénvegyületek, mint például a nitrátok, az ammónia, a salétromsav, valamint a foszforvegyületek, melyek magukba foglalják a foszfátokat és a foszforsavat.



7. ábra: Eutrofizációs Potenciál (Wikipedia, 2013a)

A foszfátot tekintve vonatkoztatási anyagként, a kiválasztott anyagok jellemzési tényezőit a 4. táblázat mutatja be (Heijungs és más szerzők, 1999).

4. táblázat – Eutrofizációs potenciálok (kgPO_4^{3-} eq.) (Heijungs és társai, 1999)

	Ammónia (NH_3)	Nitrogén-oxid (NO_x)	Nitrát (N)	Foszfát (P)
EPi	0.35	0.13	0.10	1.00

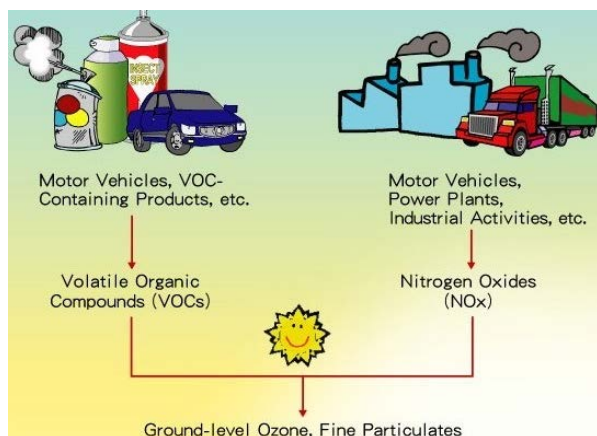
Az eutrofizációs mutató tehát: (5. egyenlet):

$$\text{Eutrofication} = \sum_i EP_i \times m_i \quad (5)$$

Ahol m_i (kg) a levegőbe, vízbe vagy talajba bocsátott i anyag tömege. Ez a mutató kg PO_4^{3-} egyenértékben van kifejezve.

3.1.5.7 Fotokémiai Ózonképződés Potenciál (POCP)

Nitrogén-oxidokat (NO_x) tartalmazó atmoszférákban napfény hatására szennyező és illékony szerves vegyületek (VOC), ózon és más levegőt szennyező anyagok jöhetnek létre. Habár a magas atmoszférában az ózon nehezen tud védeni az UV sugárzás ellen, az alacsony ózonszint olyan különféle hatásokat von maga után, mint a terménypusztulás, asztma egyre nagyobb elterjedése és más légzési panaszok.



8. ábra: Fotokémiai Ózonképződés Potenciál (EPD, 2013)

A Fotokémiai Ózonképződés Potenciált elősegítő gázok magas szintű hatásai a leggyakrabban olyan nagyvárosok fölött észrevehető nyári szmogokban nyilvánulnak meg, mint Los Angeles vagy Peking. Míg a nitrogén-oxid kibocsátások fő forrása az üzemanyag égetés, addig az illékony szerves vegyületek (VOC) kibocsátásáért főleg azok az oldószerek felelősek, melyek a festékekben és lakkokban találhatók meg nagy mennyiségben.

A Fotokémiai Ózonképződés Potenciál (POCP) hatáskategória egy anyag ózonképzési relatív képességét méri nitrogén-oxid és napfény jelenlétében. Ezt a potenciált az etilén vonatkoztatási anyag használatával fejezzük ki. A potenciált jellemző tényezőket az Egyesült Nemzetek Európai Gazdasági Bizottság (UNECE) modelljét használva fejlesztették ki.

A Fotokémiai Ózonképződés Potenciált kétféle forgatókönyv esetére dolgozták ki (Heijungs, 1999)

- (i) viszonylag magas nitrogén-oxid (NO_x) háttér-koncentráció esetére
- (ii) viszonylag alacsony nitrogén-oxid (NO_x) háttér-koncentráció esetére

Néhány kiválasztott anyag kapcsán fejt ki az alábbi 5. táblázat a fent említett két jellemzési tényezőt.

5. táblázat – Fotokémiai Ózonképződés Potenciálok NO_x különböző koncentrációi és néhány anyag (kg etilén-egyenérték) esetében (Heijungs, 1999)

	Magas- NO_x POCPs	Alacsony- NO_x POCPs
Acetaldehid (CH_3CHO)	0.641	0.200
Bután (C_4H_{10})	0.352	0.500
Szén-monoxid (CO)	0.027	0.040
Etilén (C_2H_2)	0.085	0.400
Metán (CH_4)	0.006	0.007
Nitrogén-oxid (NO_x)	0.028	no data
Propilén (C_3H_6)	1.123	0.600
Kén-oxid (SO_x)	0.048	no data
Toluol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$)	0.637	0.500

A fotooxidáns-képződés mutatójának meghatározása: (6. egyenlet):

$$\text{Photo-oxidant formation} = \sum_i \text{POCP}_i \times m_i \quad (6)$$

Ahol m_i a kibocsátott i anyag tömege (kilogrammban). Ez kg etilén-egyenértékben (C_2H_4) kifejezett mutató.

Az alkalmazott szemléletben csak a magas háttér-koncentrációjú NO_x vonatkozó jellemzési tényezők érdekeltek.

3.1.5.8 Abiotikus Kimerülési Potenciál

Az abiotikus kimerülési mutatók célja, hogy megragadja a nem megújuló energiaforrások kinyerésük és alapvető ritkaságuk miatti egyre csökkenő hozzáférhetőségét. Itt a mutatók két típusa érdekelt:

- Abiotikus Kimerülési Elemek, mely a ritkaföldfémek és ércek kinyerésével foglalkozik

- Abiotikus Kimerülő Energia/Fosszilis anyagok a fosszilis anyagok, mint fűtőanyag vagy betáplált nyersanyag használatával foglalkozik



9. ábra: Abiotikus Kimerülési Potenciál (Wikipedia, 2013b)

Az elemek Abiotikus Kimerülési Potenciálját (ADPelements) a tartalékok és a kinyerési arány alapján az elemek kinyerése esetén lehet meghatározni. Az Abiotikus Kimerülési Potenciál az antimon (Sb) esetéhez hasonlított termelés-végső tartalék egyenletén alapszik (Guinée és más szerzők, 2002). Különböző intézkedésekre használják fel a földkéregben található gazdasági vagy végső tartalékot. Tehát az i (ADP_i) forrásanyag Abiotikus Kimerülési Potenciál-elemei a kinyert forrásanyag és annak megújítható tartalékainak mennyisége közötti, antimon (referencia) kg-ban kifejezett arány által adhatók meg. A kiválasztott források jellemzési tényezőit a 6. táblázat mutatja be.

6. táblázat – Elemek abiotikus kimerülési potenciálja (kg antimon- egyenértékben kifejezve) (Guinée, 2002)

Forrás	ADP elem
Alumínium	1.09E-09
Kadmium	1.57E-01
Réz	1.37E-03
Vas	5.24E-08
Ólom	6.34E-03

Tehát az Abiotikus Kimerülési Elemek mutatójának meghatározása: (7. egyenlet)

$$Abiotic\ Depletion = \sum_i ADP_i \times m_i \quad (7)$$

Ahol m_i a kinyert i anyag mennyisége (kg-ban kifejezve). Ez kg antimonban (referencia) kifejezett mutató.

A fosszilis anyagokat sokáig hasonlóképpen mérték, azonban 2010 óta teljesen másképp számítják ki őket. Jelen esetben a fosszilis anyag energiatartalmán alapuló abszolút mérték érdekelt (Guinée, 2002). Ez nem veszi figyelembe a különböző fosszilis anyagok ritkaságát, miután ezek felcserélhető energiaforrások, de valójában ezek csak 17%-ban különböznek a széntől (ami a leggyakoribb) és a gáztól (a legritkább). Az Abiotikus Kimerülő Fosszilis források mutatója MJ-ben kifejezett érték.

3.1.6 Életciklus értelmezés

Az értelmezés az életciklus-elemzés utolsó lépése, melynek során a leltárelemzésből és a hatásvizsgálatból származó eredmények összekapcsolódnak. Az elemzés e szakaszának fő célja, hogy

olyan következtetéseket alkosson, melyek az életciklus-elemzés eredményeiből vonhatók le. Továbbá, az életciklus-elemzés előző szakaszainak eredményeit és az egész folyamat során hozott döntéseket, pontosabban a feltevéseket, a modelleket, a paramétereket analizálni kéne, és az elemzés során használt adatoknak a tanulmány céljával és tárgyával következetesnek kéne lennie.

3.1.6.1 Illusztrációs példák

A következőkben példák mutatják be az életciklus-elemzés előző bekezdésekben leírt különböző lépéseit. A leltárelemzési szakaszban 1 kilogramm általános szigetelőanyag készítése során az alábbi kibocsátások figyelhetők meg (7. táblázat):

7. táblázat – 1 kg szigetelőanyag készítése során történt kibocsátások

Kibocsátások	Érték (kg-ban)
szén-monoxid (CO)	0.12
szén-dioxid (CO ₂)	0.60
ammónia (NH ₃)	0.01
metán (CH ₄)	0.05
nitrogén oxidok (NO _x)	1.02
foszfor (P)	0.35
kén-dioxid (SO ₂)	0.10

A következő lépésben (hatásvizsgálat), a kiválasztott környezeti kategóriák például:

- (i) globális felmelegedési potenciál (GWP),
- (ii) savasodási potenciál (AP),
- (iii) eutrofizációs potenciál (EP).

A kibocsátások jellemzési tényezőit a 8. táblázat jelöli a különböző környezeti kategóriák alapján.

8. táblázat – A kiválasztott környezeti kategóriák jellemzési tényezői

	GWP	AP	EP
	(kg CO ₂ egyenérték)	(kg SO ₂ egyenérték)	(kg PO ₄ - egyenérték)
szén-monoxid (CO)	1.53	-	-
szén-dioxid (CO ₂)	1.00	-	-
ammónia (NH ₃)	-	1.60	0.35
metán (CH ₄)	25.00	-	-
nitrogén oxidok (NO _x)	-	0.50	0.13
foszfor (P)	-	-	3.06
kén-dioxid (SO ₂)	-	1.20	-

A környezeti kategóriák 9. táblázatban megjelölt eredményei az egyes kibocsátások termékeiből a kategóriák jellemzési tényezői által kaphatók meg (pl.: globális felmelegedési potenciál (GWP) esetén: $0.12 \times 1.53 + 0.60 \times 1.00 + 0.05 \times 23 = 1.93$ kg CO₂ egyenérték).

9. táblázat – a kiválasztott környezeti mutatók

GWP(kg CO ₂ egyenérték)	AP(kg SO ₂ egyenérték)	EP(kg PO ₄ - egyenérték)
1.93	0.65	1.21

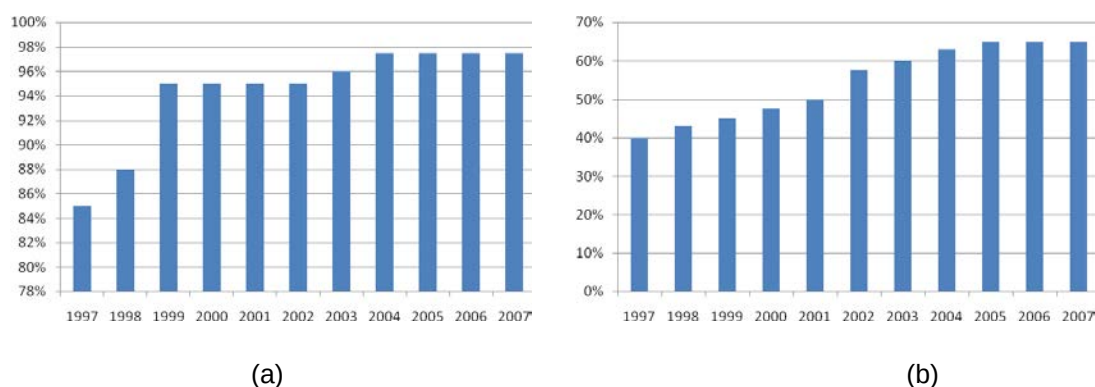
3.1.7 Életciklus-hatásvizsgálat

Az épület környezeti hatásainak jellemzésére kiválasztott környezeti kategóriákat, melyek megfelelnek az épületek környezetvédelmi teljesítményének értékelésére alkalmas európai szabványokban javasolt környezeti kategóriáknak (EN 15643-2 és EN 15978).

A fent említett szabványok moduláris koncepcióját alkalmazza a szemlélet. Így a makro-elemek életciklusának környezetvédelmi analízise után kapott eredmény modulonként vagy a szakaszok teljes értéke által biztosított. A makro-elemek életciklusának környezetvédelmi analízisét a GaBi szoftver (2012) végezte el.

3.1.7.1 Újrahasznosítható anyagok eloszlása

Az acél 100%-ban újrahasznosítható, és annak törmelékét a kohászattól és az újrahasznosítási folyamatától függően ugyanolyan minőségű acéllá lehet alakítani (Nemzetközi Vas és Acél Intézet, Worldsteel Association, 2009). Ezért minden valószínűséggel egy acélszerkezet hulladékká válásakor a szerkezetet lebontják, és az acélt újrahasznosítják vagy (részben vagy teljesen) újra felhasználják. Az észak-amerikai, acél újrahasznosításával foglalkozó intézet (Steel Recycling Institute, 2009) adatai szerint a szerkezeti acél újrahasznosítási rátája közel 97,5%. A 10. ábrán szereplő grafikonok megmutatják az építési szektorban található szerkezeti acél és betonacél újrahasznosítási rátájának tendenciáját.



10. ábra: (a) szerkezeti acél és (b) betonacél újrahasznosítási rátája (Steel Recycling Institute, 2009)

Az acél újrafelhasználása és újrahasznosítása felveti a multi-funkcionalitás kérdését, ezért egy allokációs folyamat használata szükséges. Mindenesetre az újrafelhasználhatóság jelentős előnyt biztosít az acélnak a környezetvédelem szempontjából.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az OTKA T 109860 projekt támogatásával valósult meg, a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Innovációs Gépészeti Tervezés és Technológiák Kiválósági Központ keretében.

Hivatkozások

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

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.

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

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

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

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

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 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 Dübendorf, Technology and Society Laboratory, LCA group.

Kortman J, van Eijwik 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.bfrl.nist.gov/oe/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.

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

Wikipedia, 2013a. http://en.wikipedia.org/wiki/Marine_pollution

Wikipedia, 2013b. http://en.wikipedia.org/wiki/Natural_resource