

TRAJNOSTNO VREDNOTENJE JEKLENIH KONSTRUKCIJ

Teoretične osnove



Poročilo projekta, financiranega s strani Evropske komisije
preko Raziskovalnega sklada za premog in jeklo, februar 2014

Teoretične osnove

Kljub posvečeni skrbi za zagotovitev celovitosti in kakovosti te publikacije vključno s predstavljenimi informacijami, partnerji projekta in založnik ne prevzemajo odgovornosti za morebitno škodo lastnine ali oseb, nastale v primeru uporabe publikacije in v njej zbranih informacij.

Razmnoževanje za nekomercialne namene je dovoljeno le z navedbo vira in s predhodnjim obvestilom koordinatorja projekta. Javna objava tega dokumenta preko drugih virov, kot so spletne strani navedene v nadaljevanju, zahteva predhodno dovoljenje partnerjev projekta. Prošnjo za objavo je potrebno nasloviti na koordinatorja projekta: ARCELORMITTAL BELVAL & DIFFERANGLE S.A., Rue de Luxembourg 66, Esch-sur-Alzette, Luxembourg.

Ta dokument se nanaša na deseminacijski projekt (RFS2-CT-2013-00016) LVS³ – Large Valorisation on Sustainability of Steel Structures, ki je bil sofinanciran s strani Evropske komisije preko Raziskovalnega sklada za premog in jeklo (Research Fund for Coal and Steel).

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

Vsebina

1	Uvod	1
2	OCENA ŽIVLJENJSKEGA CIKLA STAVB	2
2.1	Načelo življenjskega cikla	2
2.2	Metodologije in orodja za trajnostno vrednotenje stavb	3
2.3	Normativni okvir LCA	4
2.3.1	Oprelitev cilja in obsega	4
2.3.2	Analiza inventarja življenjskega cikla (angl. Life cycle inventory analysis – LCI analysis)	6
2.3.3	Presoja vpliva življenjskega cikla (angl. Life cycle impact assessment – LCIA)	6
2.3.4	Interpretacija življenjskega cikla	13
2.3.5	Ponazorilni zgled	13
2.4	Evropski standardi za oceno življenjskega cikla stavb	15
2.4.1	CEN TC350	15
2.4.2	Nivo stavbe (SIST EN 15978: 2011)	15
2.4.3	Nivo produkta (SIST EN 15804: 2012)	19
2.5	Drugi standardi in regulative (predvsem za fazo uporabe)	20
3	POENOSTAVLJENE METODE ZA PRESOJO TRAJNOSTNEGA VIDIKA GRADNJE STAVB	22
3.1	Uvod	22
3.2	Algoritem za oceno življenjskega cikla temelječ na makro-komponentah	22
3.2.1	Osnovne postavke	22
3.2.2	Razporeditev recikliranega materiala	25
3.2.3	Oprelitev makro-komponent	28
3.2.4	Nazoren primer sestava makro-komponent	29
3.3	Algoritem za količinsko opredelitev energije (faza uporabe)	33
3.3.1	Uvod	33
3.3.2	Lokacija stavbe in podnebje	33
3.3.3	Računske metode za določitev energetskih potreb	37
3.3.4	Kalibracija algoritma	54
4	VALIDACIJA PRIVZETIH METODOLOGIJ	61
4.1	Validacija pristopa z makro-komponentami	61
4.1.1	Opis študije primera	61
4.1.2	Izbira makro-komponent	62
4.1.3	Uporaba pristopa z makro-komponentami	64
4.1.4	Primerjava z detajlno analizo življenjskega cikla	65
4.2	Validacija pristopa v primeru izračuna energijskih potreb	66
4.2.1	Podnebni podatki in toplotne karakteristike tal	66
4.2.2	Podatki v zvezi z zasedenostjo	66
4.2.3	Sistemi v stavbi	67
4.2.4	Zastekljen del ovoja in specifikacije senčil	67
4.2.5	Neprosojni del ovoja	67
4.2.6	Rezultati energijske učinkovitosti stavbe	67
4.2.7	Primerjava z napredno numerično simulacijo	68
4.3	Končne ugotovitve	70
	LITERATURA	71
	DODATEK 1 – PODATKOVNA BAZA MAKRO-KOMPONENT	75

1 UVOD

Namen tega dokumenta je posredovanje podrobnejše informacije o razvoju in potrjevanju veljavnosti metodologij življenjskega kroga, ki se osredotočajo na oceno življenjskega cikla jeklenih konstrukcij. Dokument je nastal v okviru projekta za širjenje znanja **LVS³: Large Valorisation Sustainability of Steel Structures** (RFS2-CT2013-00016).

Dokument se nanaša na dve komplementarni metodologiji:

- (i) Pristop makro-komponent, ki obravnava oceno življenjskega cikla stavb in/ali posameznih stavbnih elementov, vendar brez upoštevanja količine porabljene energije v obdobju uporabe stavbe;
- (ii) Pristop, ki se osredotoča na obdobje uporabe stavbe in omogoča določitev količine porabljene energije za njeno obratovanje.

Oba pristopa sta bila razvita in preverjena v okviru evropskega RFCS projekta *SB_Steel: Sustainability of Steel Buildings* (SB_Steel, 2014).

V okviru predstavljenega projekta LVS³ sta bila omenjena pristopa implementirana v več dostopnih programskih orodij. Prvi od njih je bil vključen v program *LCA Calculator*, ki je bil razvit na Univerzi v Coimbri na Portugalskem v sodelovanju z ECCS. Program deluje v okolju iOS. Drugi pristop pa je vgrajen v program *AMECO*, ki je bil razvit v sodelovanju med ArcelorMittal in CTICM.

Dokument sestoji iz treh glavnih delov. V prvem delu (poglavje 2) je podan kratek uvod k razumevanju načela življenjskega cikla. Sledi predstavitev različnih metod za trajnostno vrednotenje stavb z opisom splošnega okvira analize življenjskega cikla v skladu z mednarodnimi standardi. Drugi del dokumenta (poglavje 3) predstavlja podroben opis privzetih pristopov za presojo vplivov življenjskega cikla na okolje ter za oceno energetske potrebe stavbe med njeno operativno življenjsko dobo. V zadnjem delu dokumenta (poglavje 4) je predstavljena študija primera, ki je bil uporabljen za potrditev pravilnosti prikazanih pristopov.

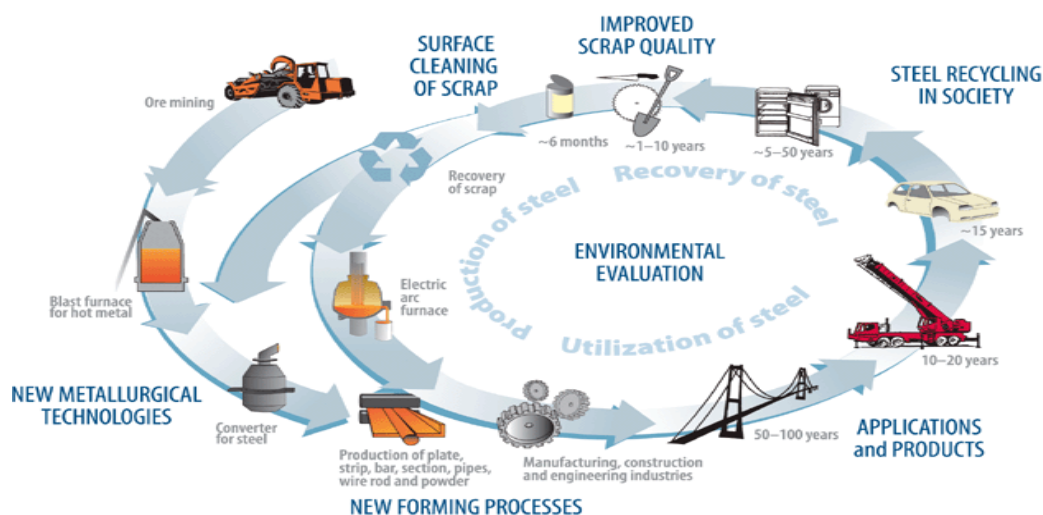
2 OCENA ŽIVLJENJSKEGA CIKLA STAVB

2.1 Načelo življenjskega cikla

Analiza življenjskega cikla (angl. Life cycle Analysis – LCA) je postopek namenjen oceni okoljskih bremen, nastalih v procesu proizvoda oziroma v času njegove aktivnosti / uporabe, in vrednotenju ter izvajanju možnih ukrepov za doseganje okoljskih izboljšav. Opredeljuje in ugotavlja porabo materiala, potrebe po energiji, trdih odpadkov ter atmosferske in vodne emisije tekom celotnega življenjskega cikla izdelka (tj. od pridobivanja surovin do konca njegove življenjske dobe), kot je to prikazano na sliki 2.1.

Uporaba pristopov analize življenjskega cikla za oceno možnih vplivov izdelkov je priporočena tudi v dokumentu Integrated Product Policy (COM (2003)302).

Morebitni vplivi na okolje se pojavljajo v vseh fazah življenjskega cikla stavb ali drugih konstrukcij. Glavna prednost načela življenjskega cikla je, da se izogiba prelaganju bremen iz ene faze življenjskega cikla v drugo, iz enega geografskega območja v drugega in iz enega okoljskega medija (npr. iz zraka za doseg čistejšega zraka) v drugega (npr. v vodo ali v zemljo) (UNEP, 2004).



Slika 2.1: Princip življenjskega cikla (stalkretsloppet.se)

Uporaba pristopov življenjskega cikla omogoča tudi boljše rešitve za daljše časovno obdobje. To pomeni, da ima vsakdo v celotnem življenjskem ciklu izdelka, “od zibelke do groba” (angl. “cradle to grave”), odgovornost in vlogo glede vseh pomembnih vplivov na okolje (UNEP, 2004). Z opredelitvijo količine vseh emisij v zraku, vodi in tleh, do katerih prihaja v vsaki fazi življenjskega cikla, pristop življenjskega cikla omogoča identifikacijo najbolj kritičnih procesov tekom življenjske dobe izdelka ali sistema, s čimer se izboljša možnost za izboljšanje okolja tekom celotne verige proizvoda.

Kljub temu pa ima ta tip analize nekaj pomanjkljivosti:

- LCA je pogosto zamudna in draga, pogosto zahteva strokovno znanje;
- splošno sprejeta metodologija LCA ne obstaja;
- nekatere predpostavke v LCA utegnejo biti subjektivne (na primer določitev mej, podatkovni vir in presoja glede ocene učinka);

- v primeru, ko se LCA osredotoča na nacionalno in regionalno raven, njeni rezultati morda niso primerni za uporabo na lokalni ravni;
- natančnost študije LCA je odvisna od razpoložljivosti in kakovosti ustreznih podatkov.

Namen obeh uporabljenih pristopov za analizo življenjskega cikla v tem projektu je, da se odpravijo nekatere od zgoraj navedenih pomanjkljivosti, kot je to opisano v naslednjem poglavju.

V sledečem podpoglavju je predstavljen kratek povzetek različnih metodologij in orodij za oceno trajnostne gradnje.

2.2 Metodologije in orodja za trajnostno vrednotenje stavb

Gradbeništvo je odgovorno za največji delež okoljskih vplivov znotraj celotnega industrijskega sektorja. Na področju grajenega okolja je v zadnjih letih mogoče zaznati povečano zanimanje za ocenjevanje stanja okolja. Trenutno obstajata dva večja razreda orodij za oceno stanja grajenega okolja (Reijnders, Roedel, 1999):

- (i) kvalitativna orodja, ki temeljijo na točkah in kriterijih;
- (ii) orodja, ki se poslužujejo kvantitativne analize vhodov (inputov) in izhodov (outputov) sistema na podlagi pristopa življenjskega cikla.

V prvi skupini orodij so sistemi, kot so LEED (v ZDA), BREAM (v Angliji), GBTool (International Initiative for a Sustainable Built Environment - iiSBE), itd. Te metode, znane tudi kot bonitetni sistemi, običajno temeljijo na pregledih / revizijah stavb in dodeljevanju točk v skladu z vnaprej določenimi parametri. Čeprav gre v glavnem za kvalitativne parametre, so lahko nekateri parametri tudi kvantitativni in uporabljajo analizo življenjskega cikla (LCA), predvsem ko gre za določanje materialnih ocenjevalnih točk. Ponavadi se ti sistemi poslužujejo za pridobivanje certifikatov zelene (okolju prijazne) stavbe in znakov za okolje. Vendar pa je ta skupina orodij zunaj obsega tega dokumenta, zato je poudarek v nadaljevanju na drugi skupini orodij, ki temeljijo na pristopih življenjskega cikla.

LCA se sicer lahko neposredno uporablja v gradbenem sektorju, vendar pa zaradi specifičnosti pristopa pri uporabi standardnega modela življenjskega cikla za stavbe in druge objekte obstajajo dodatne težave. Glavni vzroki za to so (IEA, 2001):

- (i) pričakovana življenjska doba stavb je dolga in neznana in kot taka izpostavljena visoki stopnji negotovosti;
- (ii) stavbe so vezane na lokacijo in številni vplivi so lokalni;
- (iii) gradbeni proizvodi so običajno izdelani iz kompozitnih materialov, kar pomeni, da je potrebno zbrati večje število podatkov in s tem povezanih več proizvodnih procesov;
- (iv) poraba energije v fazi uporabe stavbe je v veliki meri odvisna od ravnanja uporabnikov in upravljanja sistemov;
- (v) pri stavbah gre za visoko stopnjo večnamenskosti, zaradi česar je težko izbrati ustrezno funkcionalno enoto;
- (vi) stavbe so tesno povezane z drugimi elementi v njihovem okolju, zlasti mestna infrastruktura, kot so ceste, cevi, zelene površine, čistilne naprave, kar je lahko zelo zavajajoče pri izvedbi LCA na stavbi kot izolirani enoti.

V zvezi z oceno življenjskega cikla stavb in njenih sestavnih delov je potrebno razlikovati med orodji LCA, razvitimi z namenom vrednotenja gradbenih materialov in komponent na eni strani (npr. BEES (Lippiatt, 2002)) in na drugi strani pristopi LCA za ocenjevanje stavbe kot celote

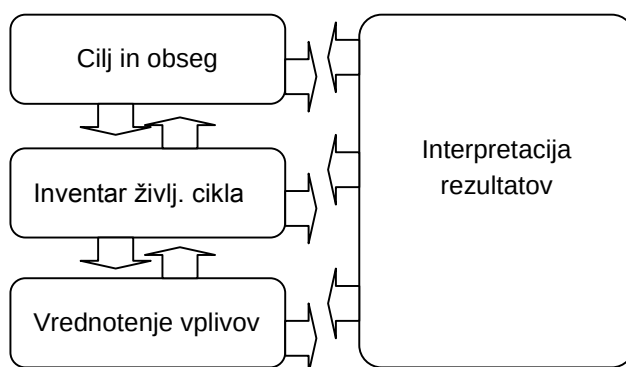
(npr. Athena (Trusty, 1997), Envest (Howard et al. 1999), EcoQuantum (Kortman et al., 1998)). Slednji pristopi so običajno bolj zapleteni, saj je splošna učinkovitost stavbe odvisna od interakcije med posameznimi komponentami in podsistemi, kot tudi od interakcije z uporabniki in naravnim okoljem. Izbira ustreznega orodja je zato odvisna od specifičnih okoljskih ciljev projekta.

Natančnost in ustreznost orodij LCA, ki se uporabljajo kot pomoč za načrtovanje, so bili analizirani v projektu razvitem v okviru evropske tematske skupine PRESCO (Practical Recommendations for Sustainable Construction) (Kellenberger, 2005). V tem projektu je bila narejena primerjava med različnimi orodji LCA na osnovi študij primerov, z osnovnim ciljem uskladitve orodij za presojanje, ki se uporabljajo za LCA stavb. Druge primerjalne analize v zvezi z orodji za presojo okoljskih vplivov grajenega okolja je mogoče najti v Jönsson (2000) in Forsberg & von Malmberg (2004).

Kot je bilo že omenjeno, se ta dokument osredotoča na LCA, in zlasti njeni uporabi v zvezi z jeklenimi konstrukcijami. V naslednjih podpoglavjih je predstavljen normativni okvir LCA. Najprej sta omenjena standarda SIST EN ISO 14040 (2006) in SIST EN ISO 14044 (2006), ki določata splošni okvir LCA. Sledi predstavitev novih evropskih (slovenskih) standardov za trajnostno gradnjo objektov. Potrebno je opozoriti, da se oba SIST EN ISO standarda nanašata na splošno uporabo, medtem ko se evropski SIST EN osredotočajo na oceno stavb in ostalih gradbenih objektov.

2.3 Normativni okvir LCA

Mednarodni standard SIST EN ISO 14040 (2006) in SIST EN ISO 14044 (2006) opredeljujeta splošni okvir, načela in zahteve za izvajanje in poročanje v zvezi s študijami za oceno življenjskega cikla. V skladu s tema standardoma mora ocena življenjskega cikla vključevati sledeče faze: opredelitev cilja in obsega, popis cikla (LCA inventar materialnih in energijskih tokov), oceno učinka in interpretacijo rezultatov. Kot je prikazano na sliki 2.2, so različne faze med seboj povezane, zato je za izpolnitev namena in cilja raziskave včasih potreben iterativni postopek. Opis posameznih faz je podan v naslednjih podpoglavjih.



Slika 2.2: Splošni okvir LCA (SIST EN ISO 14044:2006)

2.3.1 Opredelitev cilja in obsega

V cilju študije LCA je potrebno jasno navesti namen uporabe, razloge za izvedbo študije in ciljno skupino, kateri bodo rezultati študije predstavljeni.

V obsegu LCA študije je potrebno opredeliti in jasno opisati funkcionalno enoto in meje sistema.

2.3.1.1 Funkcija in funkcionalna enota

Obseg študije LCA mora jasno opredeljevati funkcije analiziranega sistema. Funkcionalna enota je merilo učinkovitosti rezultata proizvodnega sistema. Osnovni namen funkcionalne enote je določitev referenčne vrednosti na katerega se nanašajo zbrani podatki. Te vrednosti so nujne za doseg primerljivosti rezultatov LCA. Primerljivost rezultatov je še posebej pomembna v primerih, ko gre za oceno različnih sistemov. Pri tem je potrebno zagotoviti, da so primerjave opravljene na skupni osnovi.

2.3.1.2 Sistemske meje

Meje sistema določajo katera enota procesa naj bo vključena v LCA. V primeru splošnega materiala, LCA zajema vse faze od proizvodnje surovin do njegove izrabe, kot je to prikazano na sliki 2.3.



Slika 2.3: procesi vključeni v LCA na primeru splošnega materiala

LCA, ki zajema le prve faze v proizvodnji materiala, od pridobivanja surovin do prevzema pri vratih tovarne, se imenuje analiza “od zibelke do vrat” (angl. “cradle to gate”). V primeru, ko je obravnavan celoten cikel proizvoda, od proizvodnje surovin do izrabe proizvoda, gre za analizo od “zibelke do groba” (angl. “cradle to grave”). V primerih, ko se po izrabi proizvoda upoštevajo postopki recikliranja in odpadni material nadomesti sicer potrebne nove surovine, se analiza imenuje analiza od “zibelke do zibelke” (angl. “cradle to cradle”).

Meje sistema so določene na podlagi več dejavnikov vključno s predvidenim namenom uporabe študije, njenimi predpostavkami, merili za razmejitev, podatki, stroškovnimi omejitvami in s ciljno skupino.

Izbira inputov in outputov, stopnje združevanja znotraj posamezne kategorije podatkov in način modeliranja sistema morajo biti oblikovani tako, da inputi in outputi na svojih mejah predstavljajo elementarni tok.

2.3.1.3 Zahteve glede kakovosti podatkov

Za doseg predvidenega cilja in obsega analize so v SIST EN ISO 14044 navedene zahteve za sledeče kategorije:

- časovni obseg: starost podatkov in minimalno časovno obdobje predvideno za beleženje podatkov;
- geografska pokritost: geografsko območje iz katerega morajo biti zbrani podatki za procesno enoto;
- obseg tehnologije: specifična tehnologija ali kombinacija tehnologij;
- natančnost: statistične mere razpršenosti za podane vrednosti podatkov (npr. varianca);
- celovitost: odstotek toka, ki se meri ali ocenjuje;
- reprezentativnost: ocena kakovosti podatkov – v kolikšni meri nabor podatkov odraža resnično stanje;
- konsistentnost: ugotavljanje korektnosti uporabljene metodologije študije na obravnavanih primerih;

- ponovljivost: kvalitativna ocena stopnje ponovljivosti poročanih rezultatov študije s strani neodvisnega strokovnjaka na podlagi opisa uporabljene metodologije in podanih vrednosti podatkov;
- nezanesljivost informacij (npr. podatkov, modelov in predpostavk).

2.3.2 Analiza inventarja življenjskega cikla (angl. *Life cycle inventory analysis – LCI analysis*)

Analiza popisa vključuje zbiranje podatkov in računske postopke za količinsko opredelitev inputov in outputov proizvodnega sistema. Te vhodne in izhodne količine lahko vključujejo uporabo surovin in s sistemom povezane izpuste v zrak, vodo in tla. Vrednostne in količinske podatke, ki se uporabijo v popisu, je potrebno zbrati posebej za vsako procesno enoto, ki je vključena znotraj mej sistema. Zbiranje podatkov je lahko odvisno od podatkovnih virov. Praktične omejitve pri zbiranju podatkov je potrebno navesti v podanem obsegu študije in jih tudi dokumentirati v poročilu študije.

2.3.3 Presoja vpliva življenjskega cikla (angl. *Life cycle impact assessment – LCIA*)

2.3.3.1 Splošna računska metoda

Faza presoje vpliva v LCA je namenjena oceni pomembnosti možnih vplivov na okolje, pri tem pa uporablja rezultate LCI analize. V splošnem ta proces vključuje s tem povezan seznam podatkov s posebnimi okoljskimi vplivi in je sestavljen iz dveh delov:

- obvezni elementi, kot so razvrščanje in opredelitev;
- neobvezni elementi, kot so normiranje, rangiranje, razvrščanje in uteževanje (ponderiranje).

V skladu s podanim ciljem študije, razvrščanje zahteva predhodno izbiro ustreznih kategorij okoljskih vplivov in pripis rezultatov analize LCI izbranim kategorijam okoljskih vplivov. Nato se uporabijo karakterizacijski faktorji, ki predstavljajo relativni delež rezultata analize LCI v končni vrednosti kazalnika posamezne kategorije okoljskega vpliva. V skladu s to metodo so kategorije okoljskih vplivov linearne funkcije, tj. karakterizacijski faktorji so neodvisni od velikosti okoljskega ukrepa, kot je to podano z enačbo (2.1):

$$impact_{cat} = \sum_i m_i \cdot charact_factor_{cat,i} \quad (2.1)$$

kjer je m_i masa i -tega inventarnega (materialnega) toka in $charact_factor_{cat,i}$ karakterizacijski faktorj i -tega materialnega toka za posamezno kategorijo vpliva.

V zvezi z neobveznimi koraki v LCA se normiranja običajno poslužujemo takrat, ko želimo pokazati do kakšne mere ima obravnavana kategorija okoljskega vpliva pomemben prispevek k celotnemu vplivu na okolje. V koraku uteževanja je dobljenim normiranim kazalnikom za vsako kategorijo vpliva pripisan koeficient z vrednostjo določeno glede na njihovo relativno pomembnost. Uteževanje (ponderiranje) temelji na izbiri vrednosti in nima znanstvene osnove, zato standard SIST EN ISO 14044 razlikuje med izbiro notranje in zunanje uporabe: če so rezultati namenjeni za primerjavo in predstavitev v javnosti, potem se uteževanje naj ne uporablja.

Razvrščanje je naslednji neobvezni korak v analizi življenjskega cikla, v katerem se kategorije vpliva združijo v enega ali več sklopov. V tem primeru se lahko v skladu s SIST EN ISO 14044 uporabljata dva možna postopka: razvrščanje kazalnikov kategorij na nominalni ravni in

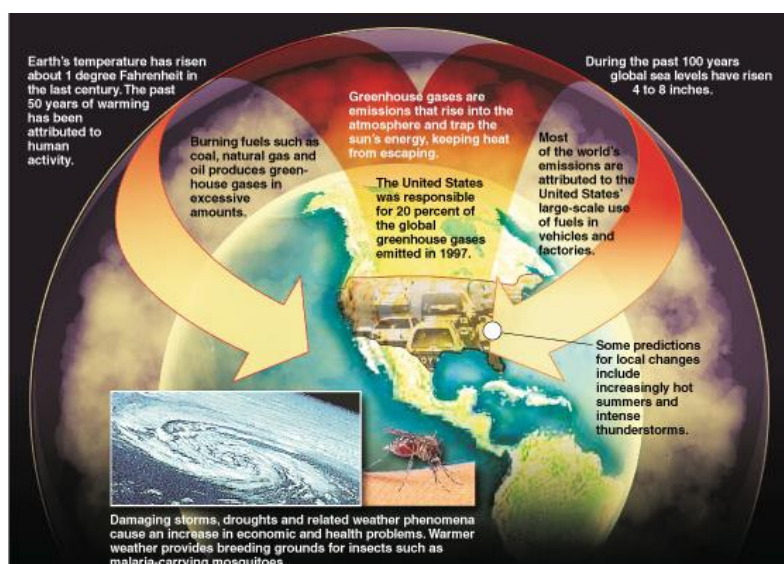
razvrstitev kazalnikov po sistemu rangiranja. Ker se ta dokument nanaša le na obvezne korake LCA, zgoraj navedeni neobvezni elementi v nadaljnjem besedilu niso posebej obravnavani.

2.3.3.2 Določitev vplivnih potencialov globalnih vplivov na okolje

Opazimo, da je cilj LCA ocena vplivnih potencialov vplivov na okolje, ki so povezani z opredeljenimi inputi in outputi. V naslednjih odstavkih je predstavljen kratek uvod v najpogostejše okoljske kategorije LCA. Obenem je predstavljena ustrezna računaska metoda, ki je privzeta v okviru poenostavljenega pristopa opisanega v tem dokumentu.

2.3.3.2.1 Potencial globalnega segrevanja (angl. Global warming potential - GWP)

Učinek tople grede, prikazan na sliki 2.4 nastane zaradi infrardečih (IR) aktivnih plinov, ki so naravno prisotni v zemljini atmosferi (npr. H_2O , CO_2 in O_3). Ti plini absorbirajo zemeljsko (infrardečo) energijo (oz. radiacijo), ki jo oddaja Zemlja, ter njen del odbijajo nazaj proti Zemlji. Tako prispevajo k segrevanju površine Zemlje in spodnjega dela atmosfere. Koncentracija teh plinov, znanih tudi kot toplogrednih plinov (angl. Green House Gases - GHG), se povečuje od začetka industrijskega obdobja in povečuje naravni učinek tople grede na Zemlji, kar povzroča dvig temperature na površini Zemlje. Opisano stanje zvišanja temperature povzroča zaskrbljenost nad morebitno nastalimi podnebnimi spremembami.



Vsi GHG niso enaki. Medtem ko je CO_2 najbolj razširjen toplogredni plin, obstajajo številni drugi, ki prispevajo k podnebnim spremembam na enak način kot CO_2 . Učinek različnih GHG se določa z uporabo koncepta potenciala globalnega segrevanja.

Slika 2.4: Globalno segrevanje (EPS, 2009)

GWP je mera za relativno količino CO_2 , ki bi jo bilo potrebno sprostiti, da bi imela v določenem času enak učinek sevanja, kot sproščen 1 kg GHG. GWP je torej način, ki za določen plin opredeljuje potencialni vpliv na globalno segrevanje. S strani Medvladnega foruma o podnebnih spremembah (angl. Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, 2007) so bile vrednosti GWP izračunane za tri časovna obdobja po 20, 100 in 500 let in so v preglednici 2.1 navedene za tri najpomembnejše toplogredne pline posebej za omenjena tri časovna obdobja.

Preglednica 2.1: GWP-ji za podana časovna obdobja (v kg CO_2 ekv./kg) (IPCC, 2007)

	20 let	100 let	500 let
ogljikov dioksid (CO_2)	1	1	1
metan (CH_4)	62	25	7
didušikov oksid (N_2O)	275	298	156

Torej, po enačbi (2.2), je kazalnik globalnega segrevanja "Global Warming" določen kot,

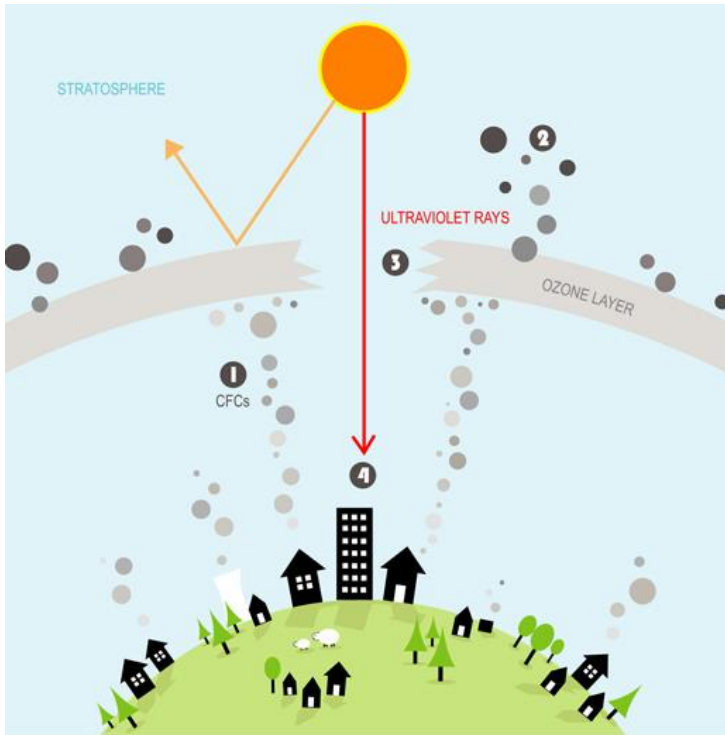
$$\text{Global Warming} = \sum_i GWP_i \cdot m_i \quad (2.2)$$

kjer je m_i masa sproščene snovi i (v kg). Kazalnik je izražen v ekvivalentu 1 kg plina CO_2 .

V privzetem pristopu je bilo upoštevano le časovno obdobje 100 let.

2.3.3.2.2 Potencial razgradnje ozonske plasti (angl. Ozone Depletion Potential - ODP)

Plini, ki povzročajo zmanjševanje ozonske plasti, s sproščanjem prostih radikalov molekul povzročajo poškodbe stratosferskega ozona oziroma ozonske plasti (O_3).



Poškodbe na ozonskem plašču zmanjšujejo njegovo zmožnost za preprečevanje ultravijolične (UV) svetlobe, ki vstopa v zemljino atmosfero, kar povečuje količino kancerogene UVB svetlobe, ki zadane zemljino površino. To pa povzroča zdravstvene težave pri ljudeh, kot na primer kožni rak, siva mrena, in s sončno svetlobo povezane poškodbe na živalih in rastlinah.

Poglavitni plini, ki povzročajo tanjšanje ozonske plasti so CFC-ji, HCFC-ji in haloni.

Slika 2.5: Poškodbe ozona (Blendspace, 2013)

Naraščajoča zaskrbljenost je leta 1980 privedla do svetovnih prizadevanj za omejitev uničevanja ozonske plasti. Takrat doseženi Montrealski sporazum je uveljavil prepoved uporabe mnogih ozonu najbolj škodljivih plinov.

Faktor škodljivosti za ozon je definiran kot potencial snovi za zmanjševanje globalne ravni ozona, v kilogramih, v primerjavi z ekvivalentom klorofluorogljikovodikom-11 (CFC-11). Model karakterizacije je razvila Svetovna meteorološka organizacija (angl. World Meteorological Organization - WMO) in opredeljuje potencial različnih plinov za zmanjševanje ravni ozona. Vrednosti faktorja škodljivosti za ozon so za nekatere snovi, ob predpostavki stanja dinamičnega ravnovesja, predstavljene v preglednici 2.2 (Heijungs et al., 1999).

Preglednica 2.2: Vrednosti faktorja škodljivosti za ozon (v kg CFC-11 eq./kg) (Heijungs et al., 1999)

	Stanje ravnotežja (t ≈)
CFC-11	1
CFC-10	1,2
Halon 1211	6,0
Halon 1301	12,0

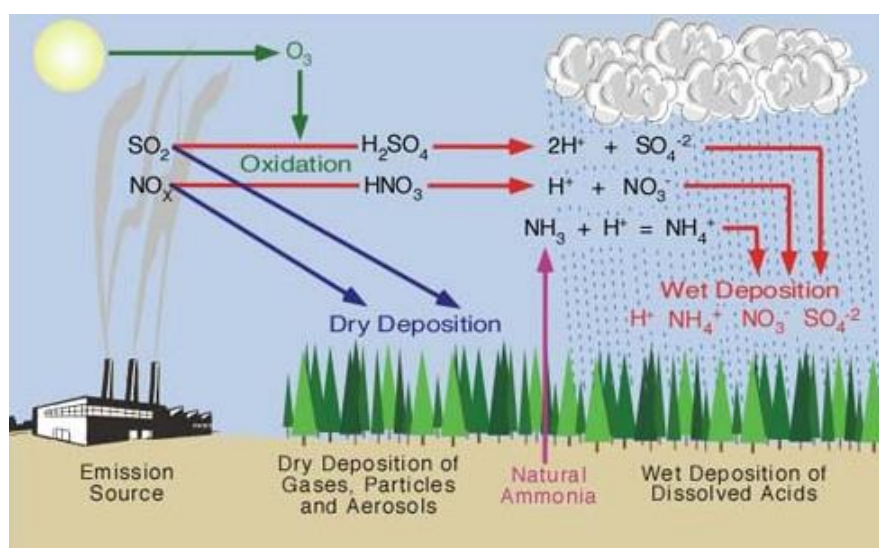
Tako je kazalnik zmanjševanja ravni ozona definiran kot

$$\text{Ozone Depletion} = \sum_i \text{ODP}_i \times m_i \quad (2.3)$$

kjer je m_i masa i -te sproščene snovi (v kg). Kazalnik je izražen v kilogramih ekvivalenta CFC-11.

2.3.3.2.3 Potencial zakisovajna (angl. Acidification Potential - AP)

Zakisovanje je proces v katerem se onesnažen zrak pretvori v kisle snovi, kot je to prikazano na sliki 2.6. Med zakisovalne pline prištevamo amonijak (NH_3), žveplov dioksid (SO_2) in dušikove okside (NO_x). V ozračje izpuščene kisle spojine potujejo z vetrom in padajo na zemljo v obliki kislil delcev, kislega dežja ali snega. Kisel dež, ki pogosto pade zelo daleč od prvotnega mesta z izpustom plina, v različnem obsegu povzroča škodo na ekosistemu, odvisno od narave krajinskih ekosistemov.



Slika 2.6: Možnost zakisovanja (The energy library, 2013)

Možnost zakisovanja merimo z zmožnostjo snovi za sproščanje H^+ ionov, ki je vzrok zakisovanja, ali pa se lahko meri glede na ekvivalentno sproščanje SO_2 .

Karakterizacijski faktorji, privzeti v tem delu, temeljijo na modelu RAINS-LCA, ki upošteva obnašanje izpušnih plinov, usedlin in z njimi povezane učinke (Huijbregts, 2001). Povprečne vrednosti faktorjev opredelitve za Evropo so predstavljene v preglednici 2.3.

Preglednica 2.3: Možnost zakisovanja (v kg SO_2 ekv.) (Huijbregts, 2001)

	amonijak (NH_3)	dušikovi oksidi (NO_x)	žveplov dioksid (SO_2)
API	1,60	0,50	1,0

Kazalnik zakisovanja je definiran kot:

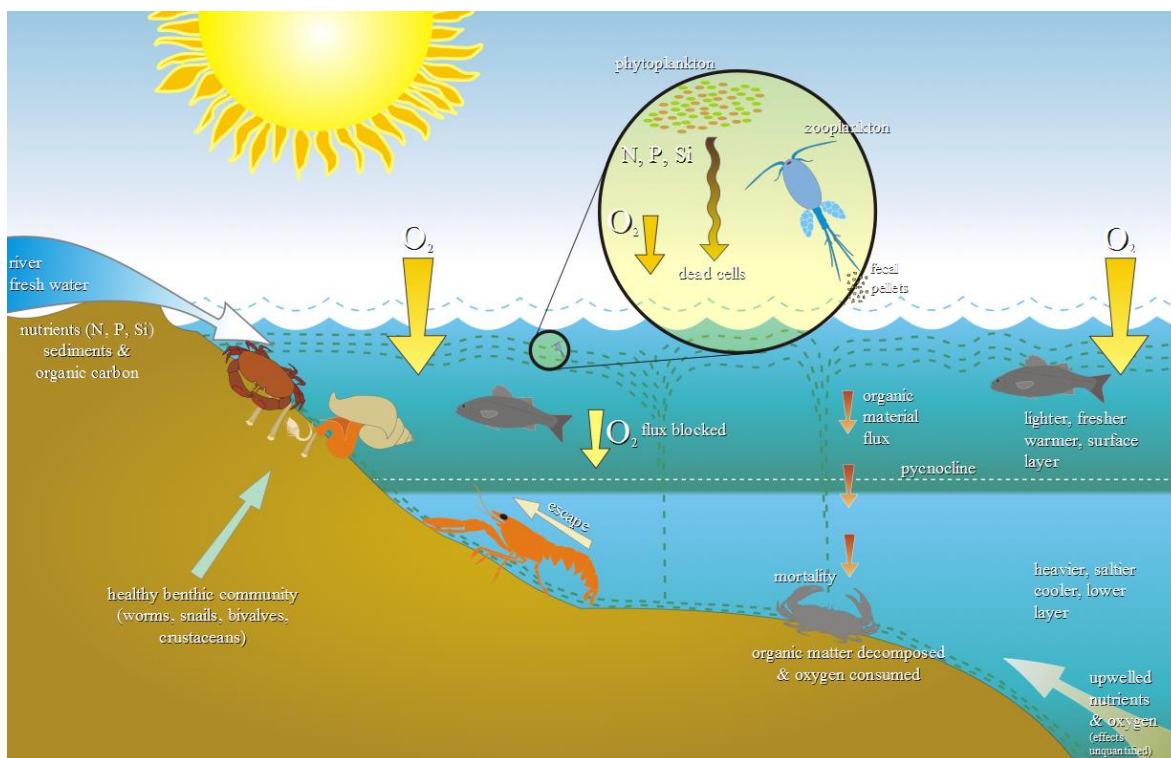
$$\text{Acidification} = \sum_i \text{AP}_i \cdot m_i \quad (2.4)$$

kjer je m_i masa i -te sproščene snovi (v kg). Kazalnik je izražen v kilogramih ekvivalenta SO_2 .

2.3.3.2.4 Potencial evtrofikacije (angl. Eutrophication Potential - EP)

Hranilne snovi, kot so nitrati in fosfati, se običajno z gnojenjem dodajajo prsti z namenom spodbujanja rasti rastlin in kmetijskih proizvodov. Ta hranila so ključnega pomena za življenje, ko pa končajo v občutljivih naravnih vodnih ali kopenskih območjih, lahko to nenamerno gnojenje povzroči hitro in prekomerno rast rastlin oziroma alg. Rastline odmrejo in razpadejo in zadušijo ostale organizme. Zato je mogoče evtrofikacijo oziroma bogatitev s hranili (slika 2.7), opredeliti kot prekomerno bogatitev vodotokov. Njen pojav lahko povzroči poškodbe ekosistemov, povečano umrljivost vodnih živalskih in rastlinskih vrst, kar lahko privede do izgube vrst, ki so odvisne od okolij z nizko vsebnostjo hranil. Vse to vodi k skupnemu zmanjšanju biotske raznovrstnosti teh okolij in ima vpliv tudi na kopenske živali in ljudi, ki so odvisni od teh ekosistemov.

Stopnja evtrofikacije se meri z referenčno enoto kilograma dušikovega ali fosfatnega ekvivalenta. Evtrofikacija je torej mera za obseg proliferacije (čezmerne rasti) zaradi prisotnosti snovi v vodi, izražene na podlagi prisotnosti dušika ali fosfata kot referenčne snovi. K evtrofikaciji najbolj prispevajo dušikove spojine, kot so nitrati, amonijak, dušikova kislina in fosforne spojine, vključno s fosfati in fosforno kislino.



Slika 2.7: Možnost evtrofikacije (Wikipedia, 2013a)

V preglednici 2.4 so prikazani karakterizacijski faktorji, če fosfat predstavlja referenčno snov (Heijungs et al., 1999).

Preglednica 2.4: Možnost evtrofikacije (v kg PO_4^{3-} ekv.) (Heijungs et al., 1999)

	amoniak (NH_3)	dušikov oksid (NO_x)	nitrat (N)	fosfat (P)
EPI	0,35	0,13	0,10	1,00

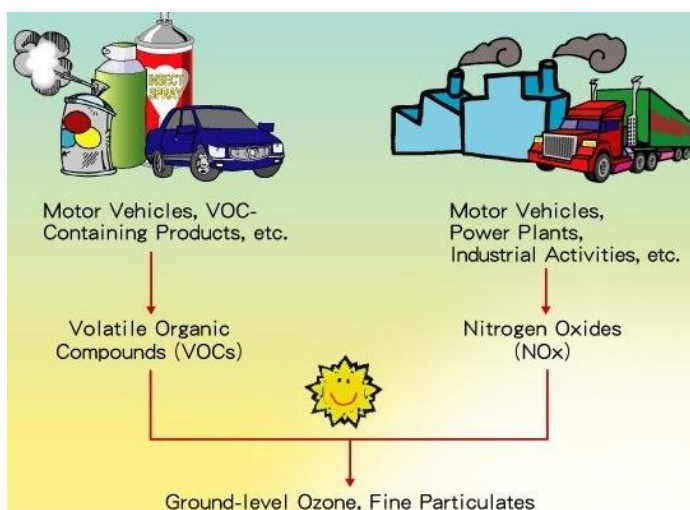
Potemtakem je indikator eutrofikacije definiran kot:

$$Eutrofikation = \sum_i EP_i \cdot m_i \quad (2.5)$$

kjer je m_i (kg) masa i -te sproščene snovi v zrak, vodo ali tla. Kazalnik je izražen v kilogramih ekvivalenta PO_4^{3-}

2.3.3.2.5 Potencial fotokemičnega nastanka ozona (angl. Photochemical Ozone Creation Potential - POCP)

V atmosferah, ki vsebujejo dušikove okside (NO_x), druga onesnaževala in hlapne organske spojine (angl. volatile organic compound – VOC), se lahko v prisotnosti sončne svetlobe tvori ozon in druga onesnaževala zraka. Čeprav je ozon ključnega pomena v višjih plasteh atmosfere za zaščito pred ultravijoličnim (UV) sevanjem, prisotnost ozona v nižji atmosferi vpliva na nastanek najrazličnejše škode na pridelkih, povečane pojavnosti astme in drugih bolezni dihal.



Najpogostejši pokazatelj učinkov visoke stopnje prisotnosti plinov, ki prispevajo k temu pojavu, je nastanek smoga v poletnih mesecih nad velikimi mesti kot sta Los Angeles in Peking. Pri tem je glavni vir emisij NO_x izogorevanje goriva, medtem ko hlapne organske spojine pogosto izhajajo iz topil, ki se v veliki meri uporabljajo v barvah in premazih.

Slika 2.8: Možnost fotokemijskega nastajanja ozona (EPD, 2013)

Kategorija vpliva POCP je merilo za relativno sposobnost snovi, da v prisotnosti NO_x in sončne svetlobe tvori ozon. Pri tem je POCP izražen glede na referenčno snov, ki je v tem primeru etilen. Karakterizacijski faktorji za POCP so bili razviti s pomočjo usmeritvenega modela Gospodarske komisije združenih narodov za Evropo (angl. United Nations Economic Commission for Europe – UNECE).

Faktorji POCP so bili izračunani za dva scenarija (Heijungs in drugi, 1999):

- (i) scenarij z relativno visoko koncentracijo NO_x v ozadju;
- (ii) scenarij z relativno nizko koncentracijo NO_x v ozadju.

Vrednosti obeh faktorjev opredelitve so za izbrane snovi predstavljene v preglednici 2.5.

Preglednica 2.5: Karakterizacijski faktorji POCP za različni koncentraciji NO_x določeni za izbrane snovi (v kg C₂H₄ ekv./kg) (Heijungs in drugi, 1999)

	visok delež NO _x	nizek delež NO _x
acetaldehid (CH ₃ CHO)	0,641	0,200
butan (C ₄ H ₁₀)	0,352	0,500
ogljikov monoksid (CO)	0,027	0,040
acetilen (C ₂ H ₂)	0,085	0,400
metan (CH ₄)	0,006	0,007
dušikov oksid (NO _x)	0,028	ni podatka
propen (C ₃ H ₆)	1,123	0,600
žveplov oksid (SO _x)	0,048	ni podatka
toluen (C ₆ H ₅ CH ₃)	0,637	0,500

Definicija kazalnika za nastanek ozona (angl. Photo-oxidant formation) je:

$$\text{Photo-oxidant formation} = \sum_i \text{POCP}_i \cdot m_i \quad (2.6)$$

kjer je, m_i (kg) masa i -te sproščene snovi. Kazalnik je izražen v kilogramih ekvivalenta etilena (C₂H₄).

V okviru privzetega pristopa so upoštevani le karakterizacijski faktorji, ki se nanašajo na scenarij z visoko koncentracijo NO_x, ki nastane z lokalnimi naravnimi procesi, kot s tistimi, ki pridejo od daleč (tako fizičnega ali antropogenega izvora).

2.3.3.2.6 Potencial porabe abiotskih virov (angl. Abiotic Depletion Potential)

Kazalniki porabe abiotskih virov opredeljujejo pomanjkanje neobnovljivih surovin, ki je posledica ekstrakcije virov (npr. mineralnih surovin, fosilnih nosilcev energije). V tem dokumentu sta upoštevani dve vrsti kazalnikov:

- poraba abiotskih elementov, ki obravnava pridobivanje redkih elementov (in njihovih rud);
- poraba abiotske energije / fosilnih goriv, v zvezi z uporabo fosilnih goriv za pogonska goriva ali surovino.



Slika 2.9: Poraba abiotskih virov (Wikipedia, 2013b)

Potencial porabe abiotskih virov v povezavi s pridobivanjem elementov (angl. The Abiotic Depletion Potential for elements – ADP_{elements}) je definiran za vsako pridobivanje elementov posebej na podlagi preostalih rezerv in intenzitete izrabe. ADP temelji na enačbi

produkcija / preostala zaloga, ki služi za primerjavo z referenčnim primerom, antimon (Sb) (Guinée in drugi, 2002). Različni pristopi uporabljajo različne izračune rezerv v Zemljini skorji: npr. izračun celotne zaloge pred samim izčrpavanjem (angl. ultimate reserve), izračun zgornje meje količine pridobljene surovine, na osnovi ekonomske upravičenosti (angl. economic reserve).

Zato je možnost porabe i -tega abiotskega vira elementa (ADP_i) podana z razmerjem med količino že porabljenega vira in količino zalog istega vira, ki jo je mogoče izrabiti. Za količinsko mero se uporablja kilogram referenčnega vira antimona. Pripadajoči karakteristični faktorji za nekatere vire so predstavljeni v preglednici 2.6.

Preglednica 2.6: Možnost porabe abiotskih virov za nekatere elemente (v Sb ekv./kg) (Guinée in drugi, 2002)

rudninski vir	ADP element
aluminij	1,09E-09
cadmij	1,57E-01
baker	1,37E-03
železo	5,24E-08
svinec	6,34E-03

Definicija kazalnika za porabo abiotskih elementov je:

$$Abiotic\ Depletion = \sum_i ADP_i \cdot m_i \quad (2.7)$$

kjer je, m_i (kg) količina i -tega izkoriščenega vira. Kazalnik je izražen v kilogramih antimona (referenčni vir).

Prvotno se je količina fosilnih goriv merila na enak način, vendar se od leta 2010 uporabljajo nekoliko drugačni izračuni. V tem primeru se uporablja absolutno merilo, ki temelji na energijski vsebnosti fosilnih goriv (Guinée in drugi, 2002). Ta pristop ne upošteva razlik v relativnem pomanjkanju med različnimi fosilnimi gorivi, saj so fosilna goriva v veliki meri prenosljiva sredstva in je razlika v pomanjkanju med rudo (kot najpogostejšim virom) in zemeljskim plinom (kot virom z najmanjšimi zalogami) le 17 %. Kazalnik porabe abiotskih fosilnih virov (angl. indicator Abiotic Depletion Fossil) je izražen v MJ.

2.3.4 Interpretacija življenjskega cikla

Interpretacija rezultatov je zadnji korak v LCA. Tu so zbrane skupaj ugotovitve iz popisa življenjskega cikla in presoje vpliva življenjskega cikla. Glavni cilj te faze je oblikovanje zaključkov na osnovi rezultatov LCA. Prav tako je potrebno analizirati rezultate iz prejšnjih faz, skupaj z odločitvami tekom celotnega procesa. Predpostavke, modeli, parametri in uporabljeni podatki morajo biti skladni z definiranim ciljem in obsegom študije.

2.3.5 Ponazorilni zgled

Za ponazoritev različnih korakov v študiji ocene življenjskega cikla, opisane v prejšnjih odstavkih, je v nadaljevanju podan kratek primer.

Ob predpostavki proizvodnje 1 kg generičnega izolacijskega materiala, so bile v fazi popisa življenjskega cikla določene emisije, ki so prikazane v preglednici 2.7.

Preglednica 2.7: Emisije za proizvodnjo 1 kg generičnega izolacijskega materiala

emisije	vrednost (v kg)
ogljikov monoksid (CO)	0,12
ogljikov dioksid (CO ₂)	0,60
amonijak (NH ₃)	0,01
metan (CH ₄)	0,05
dušikov oksid (NO _x)	1,02
fosfor (P)	0,35
žveplov dioksid (SO ₂)	0,10

V naslednjem koraku presoje vpliva življenjskega cikla so izbrane sledeče okoljske kategorije:

- (i) potencial globalnega segrevanja (GWP),
- (ii) potencial zakisovanja (AP),
- (iii) potencial eutrofikacije (EP).

Karakterizacijski faktorji vseh emisij so z vsako okoljsko kategorijo navedeni v preglednici 2.8.

Preglednica 2.8: Karakterizacijski faktorji za izbrane okoljske kategorije

	GWP (kg CO ₂ ekv.)	AP (kg SO ₂ ekv.)	EP (kg PO ₄ - ekv.)
ogljikov monoksid (CO)	1,53	-	-
ogljikov dioksid (CO ₂)	1,00	-	-
amonijak (NH ₃)	-	1,60	0,35
metan (CH ₄)	25,00	-	-
dušikov oksid (NO _x)	-	0,50	0,13
fosfor (P)	-	-	3,06
žveplov dioksid (SO ₂)	-	1,20	-

Produkt vsake udeležene emisije obravnavanega proizvoda s pripadajočim karakterizacijskim faktorjem predstavlja končni rezultat za vsako okoljsko kategorijo (npr., za GWP: $0,12 \times 1,53 + 0,60 \times 1,00 + 0,05 \times 23 = 1,93$ kg CO₂ ekv.). Rezultati so prikazani v preglednici 2.9.

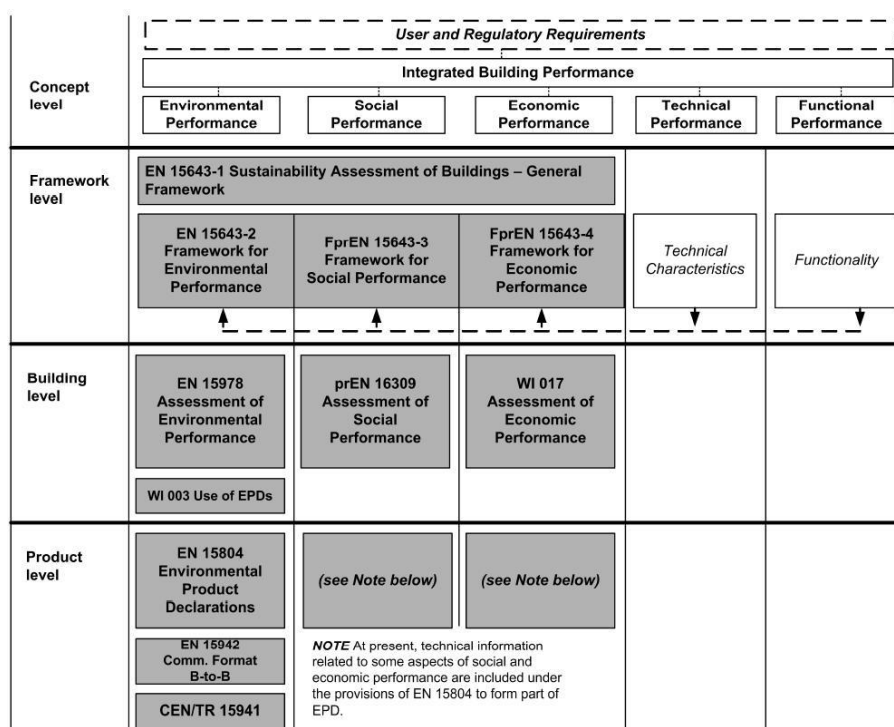
Preglednica 2.9: Končni rezultat vrednosti kazalnikov izbranih okoljskih kazalnikov

GWP (kg CO ₂ ekv.)	AP (kg SO ₂ ekv.)	EP (kg PO ₄ - ekv.)
1,93	0,65	1,21

2.4 Evropski standardi za oceno življenjskega cikla stavb

2.4.1 CEN TC350

Evropski komite za standardizacijo – CEN je bil v letu 2004 pooblaščen za razvoj horizontalnih standardiziranih metod za ocenjevanje celostne okoljske učinkovitosti stavb. V okviru CEN-TC 350 je bil ta mandat razširjen na področje trajnosti stavb, hkrati pa je bila sprejeta odločitev za uporabo pristopa življenjskega cikla kot osnove za vse ocene. Zato, tehnični komite (TC) razvija standarde, tehnična poročila in tehnične specifikacije, ki zagotavljajo metodologijo in kazalnike za trajnostno vrednotenje stavb. Normativni okvir za trajnostno vrednotenje stavb, ki jih zagotavljajo standardi s strani CEN-TC 350, zajemajo okoljske, gospodarske in družbene vidike (EN 15643-1, 2010), kot je to prikazano na sliki 2.10.



Slika 2.10: Program dela CEN TC350 (EN 15643-1, 2010)

Kot je razvidno iz slike 2.10 TC deluje na štirih ravneh (koncept / okvir / stavba / proizvod) in vključuje pet vidikov delovanja (okoljski / socialni / ekonomski / tehnični / funkcionalni). Med njimi je okoljska presoja najrazvitejše področje, podprto s standardi razvitimi tako na ravni stavbe kot na ravni proizvodov. Okoljski pristop življenjskega cikla privzet v tem dokumentu sledi smernicam dveh standardov, namenjenih vrednotenju okoljskih vplivov stavb: SIST EN 15978 (2011) za stavbe in SIST EN 15804 (2012) na nivoju materiala.

2.4.2 Nivo stavbe (SIST EN 15978: 2011)

SIST EN 15978 (2011) določa pravila za oceno okoljske učinkovitosti novih in obstoječih stavb, ki temeljijo na pristopu življenjskega cikla. Namenjen je podpori pri procesu odločanja in pri pripravi dokumentacije o okoljski učinkovitosti stavb. Za popoln pregled metodologije se priporoča branje omenjenega standarda. Dokument v nadaljevanju obravnava naslednje ključne vidike: funkcionalno enakovrednico, faze življenjskega cikla in okoljske kazalce.

2.4.2.1 Funkcionalna enakovrednica

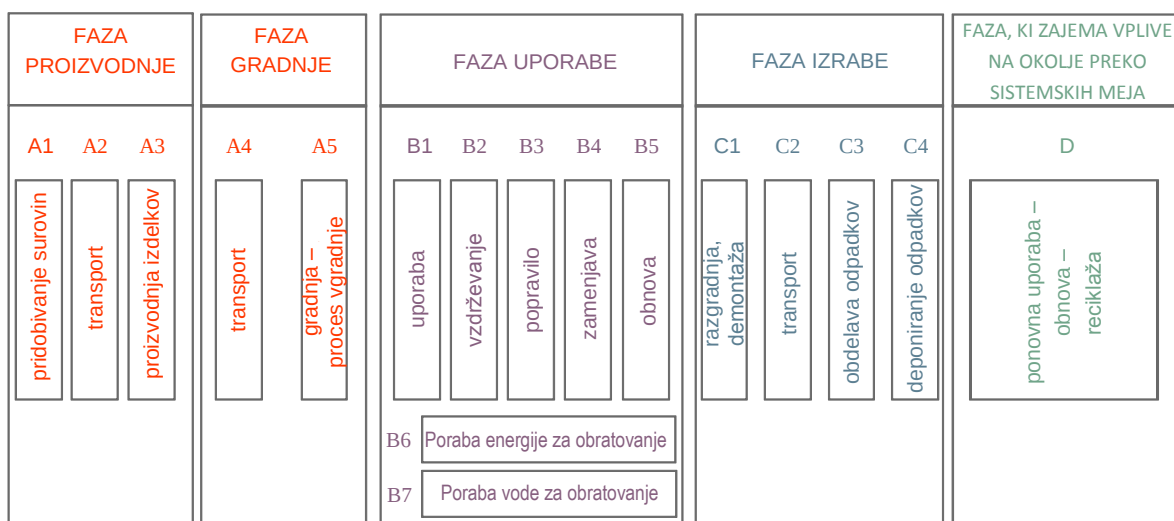
Funkcionalna enakovrednica je v standardu definirana kot “količinsko opredeljene funkcionalne zahteve in / ali tehnične zahteve za stavbe ali sestavljene sisteme (konstrukcijski deli), ki služijo kot osnova za primerjavo”. Zato je primerjava med stavbami ali sistemi mogoča le takrat, ko so uporabljene enake funkcije. Funkcionalna enakovrednica stavbe mora vsebovati vsaj naslednje vidike:

- (i) tip stavbe (npr. stanovanjska, pisarne, itd.);
- (ii) način uporabe;
- (iii) ustrezne tehnične in funkcionalne zahteve; in
- (iv) zahtevano življenjsko dobo.

2.4.2.2 Faze življenjskega cikla

Meje sistema določajo obseg analize življenjskega cikla, tj. opredeljujejo procese, ki se upoštevajo v analizi. Kot je navedeno v standardu, okoljska presoja “vključuje vse procesne faze, od pridobivanja surovin (angl. upstream process) do faze proizvodnje vse do gotovega produkta (angl. downstream process), ki so potrebne za vzpostavitev in vzdrževanje delovanja stavbe”.

Seveda pa je za presojo okoljske učinkovitosti na nivoju stavbe potrebno poznati tudi informacije v zvezi z materiali, ki so vgrajeni v stavbo. Za zagotovitev potrebne skladnosti, morajo te informacije slediti pravilom za posamezne kategorije podatkov, navedenim v SIST EN 15804 (glej naslednje podpoglavje). V tem standardu je življenjski cikel stavbe predstavljen z modularno zasnovo, kot je to prikazano na sliki 2.11.



Slika 2.11: Moduli življenjskega cikla stavbe (SIST EN 15978, 2011)

Proizvodna faza materialov / proizvodov vključuje module A1 do A3, faza gradnje vključuje modula A4 in A5, faza uporabe vključuje module B1 do B7, faza izrabe (faza ob koncu življenjskega kroga) vključuje module C1 do C4. Sledi modul D, ki vključuje ponovno uporabni material in odpad (proces reciklaže) zunaj meja obravnavanega sistema. V naslednjih odstavkih je podan kratek opis vsake izmed zgoraj naštetih faz s pripadajočimi moduli.

2.4.2.2.1 Faza proizvodnje gradbenih materialov / proizvodov

Faza proizvodnje vključuje informacijske module od A1 do A3. Sistemske meje v naravi so postavljene tako, da so vključeni vsi procesi, ki zagotavljajo materialne in energetske vložke v

sistem in v nadaljnjo proizvodnjo ter procese transporta do vrat tovarne, vključno z obdelavo vseh odpadkov nastalih zaradi teh procesov. Faza vključuje:

- A1 Pridobivanje in predelavo surovin; ponovno uporabo izdelkov ali materialov iz prejšnjega proizvodnega sistema; predelava sekundarnih surovin, ki se uporabljajo kot vhodni materiali pri izdelavi produkta;
- A2 prevoz do vrat tovarne in interni transport;
- A3 Proizvodnja pomožnih materialov, proizvodnjo izdelkov in stranskih produktov; izdelavo embalaže.

2.4.2.2.2 Faza gradnje

Faza gradnje vključuje sledeče informacijske module:

- A4 Transport od vrat tovarne do gradbišča;
- A5 Vgradnja izdelka v stavbo vključno s proizvodnjo in transportom pomožnih materialov in vso energijo ali vodo, ki je potrebna za vgradnjo ali nemoteno delovanje gradbišča. Prav tako vključuje potrebno obdelavo izdelka na samem gradbišču.

2.4.2.2.3 Faza uporabe

Faza uporabe vključuje dve vrsti informacijskih modulov. Moduli, povezani s samo konstrukcijo stavbe (moduli B1 – B5) in moduli, povezani z delovanjem stavbe (modula B6 in B7):

- B1 Uporaba vgrajenega proizvoda v smislu morebitnih emisij v okolje, ki izhajajo iz sestavnih delov zgradbe in gradbenih objektov med njihovo normalno (pričakovano) uporabo;
- B2 Redno vzdrževanje, ki vključuje kombinacijo vseh načrtovanih tehničnih in pripadajočih upravnih ukrepov v času življenjske dobe proizvoda z namenom, da se v stavbo vgrajeni material ohranja v stanju, ki omogoča njegovo funkcionalno in tehnično uporabo ter ohranja estetske kvalitete proizvoda;
- B3 Popravilo, ki zajema kombinacijo vseh tehničnih in pripadajočih upravnih ukrepov v času življenjske dobe proizvoda, povezanih s popravilom, vzdrževanjem skladnosti in zmožnosti gradbenega proizvoda ali njegovih delov vgrajenih v stavbo, z namenom, da se povrne v sprejemljivo stanje, v katerem lahko opravlja zahtevano funkcionalno in tehnično uporabo.
- B4 Zamenjava, ki zajema kombinacijo vseh tehničnih in pripadajočih upravnih ukrepov v času življenjske dobe proizvoda povezanih z vračanjem gradbenega proizvoda v stanje, v katerem lahko opravlja zahtevano funkcionalno in tehnično uporabo, z zamenjavo celotnega gradbenega elementa;
- B5 Obnova (s tehničnimi izboljšavami), ki zajema kombinacijo vseh tehničnih in pripadajočih upravnih ukrepov v času življenjske dobe proizvoda, povezanih z vračanjem stavbe v stanje, v katerem lahko opravlja zahtevane funkcije;
- B6 Poraba energije potrebne za delovanje v stavbo vgrajenih tehničnih sistemov in skupaj z njo povezani okoljski vidiki in vplivi, vključno z obdelavo in transportom vseh odpadkov nastalih na samem kraju s porabljeno energijo.
- B7 Poraba vode potrebna za delovanje v stavbo vgrajenih tehničnih sistemov in skupaj z njo povezani okoljski vidiki in vplivi, upoštevajoč življenjski cikel vode, vključno z dobavo, transportom in obdelavo odpadne vode.

2.4.2.2.4 Faza izrabe (faza ob koncu življenjskega kroga)

Faza izrabe stavbe vključuje ves output (izhodni materialni tok), ki izhaja iz odstranitve, demontaže ali rušenja stavbe, in mu je prenehal status odpadka. Ta faza vključuje sledeče neobvezne informacijske module:

- C1 Razgradnja, vključno z demontažo ali rušenjem proizvoda iz stavbe, vključno z začetnim razvrščanjem materialov na kraju samem;
- C2 prevoz izrabljenega proizvoda znotraj procesa obdelave odpadkov, npr. na kraj za recikliranje in transport dobljenih odpadkov do končne deponije;
- C3 Obdelava odpadkov, npr. zbiranje posameznih frakcij odpadkov iz odstranjenih objektov in kasnejše obdelave materialnih tokov, namenjenih za ponovno uporabo, recikliranje in pridobivanje energije iz odpadkov;
- C4 Odstranjevanje odpadkov na deponijo, vključno s fizično predhodno obdelavo in upravljanjem odlagališča.

2.4.2.2.5 Faza, ki zajema vplive na okolje preko sistemskih meja

Informacijski modul D zajema ves neto ponovno uporabni material ali obremenitve izhajajoče iz produktov namenjenih za večkratno uporabo, recikliranih materialov in / ali uporabnih nosilcev energije, ki izhajajo iz proizvodnega sistema po njegovi izrabi, npr. sekundarne surovine ali goriva.

2.4.2.3 Presoja vpliva življenjskega cikla

V fazi presoje vpliva življenjskega cikla sta v zvezi s SIST EN 15978 predvideni dve kategoriji okoljskih vplivov: okoljski kazalniki, ki opisujejo vplive na okolje, in okoljski kazalniki, ki opisujejo vhodne in izhodne materialne tokove. Oba tipa kazalnikov sta podana v naslednjih odstavkih.

2.4.2.3.1 Kazalniki, ki opisujejo vplive na okolje

Na voljo je šest kazalnikov za opis vplivov na naravno okolje. Navedeni so v preglednici 2.10.

Preglednica 2.10: Kazalniki za opis vplivov na okolje (EN15978)

kazalnik	enota
potencial globalnega segrevanja, GWP	kg CO ₂ ekv.
potencial razgradnje stratosferske ozonske plasti, ODP;	kg CFC 11 ekv.
potencial zakisovanja tal in vode; AP;	kg SO ₂ ⁻ ekv.
potencial eutrofikacije, EP;	kg (PO ₄) ³⁻ ekv.
potencial nastanka ozona v troposferi, POCP;	kg etena ekv.
potencial porabe abiotskih virov – elementi ADP	kg Sb ekv.
potencial porabe abiotskih virov – fosilna goriva ADP	MJ

Vsi zgoraj naštetih kazalniki so bili opisani v predhodnih poglavjih.

2.4.2.3.2 Kazalniki za opis inputov in outputov (vhodnih in izhodnih materialnih tokov)

Dodatni kazalniki opisujejo količinski tok inputov in outputov. Kazalniki, ki opisujejo porabo virov so navedeni v preglednici 2.11. Ti kazalniki opisujejo porabo obnovljivih in neobnovljivih virov primarne energije in vode in so izračunani neposredno iz vhodnih tokov analize LCI.

Preglednica 2.11: Kazalniki porabe virov (SIST EN 15978)

kazalnik	enota
poraba obnovljivih virov primarne energije, brez virov energije v obliki surovin	MJ, neto kalorična vrednost
poraba obnovljivih virov primarne energije iz surovin	MJ, neto kalorična vrednost
poraba neobnovljivih virov primarne energije, brez virov energije v obliki surovin	MJ, neto kalorična vrednost
poraba neobnovljivih virov primarne energije iz surovin	MJ, neto kalorična vrednost
poraba sekundarnih surovin	kg
poraba obnovljivih sekundarnih goriv	MJ
poraba neobnovljivih sekundarnih goriv	MJ
poraba čiste sladke vode	m ³

Prav tako so neposredno na podlagi vhodnih tokov študije LCI določeni kazalniki, ki opisujejo kategorije odpadnih in izhodnih materialnih tokov. Kazalniki odpadnih tokov so predstavljeni v preglednici 2.12, kazalniki izhodnih tokov pa v preglednici 2.13. Poleg tega so za količinsko opredelitev teh kazalnikov razviti scenariji za ustrezne procese in faze.

Preglednica 2.12: Kazalniki kategorij odpadnih materialov (SIST EN 15978)

kazalnik	enota
odlaganje nevarnih odpadkov	kg
odlaganje nenevarnih odpadkov	kg
odlaganje radioaktivnih odpadkov	kg

Preglednica 2.13: Kazalnik izhodnih materialnih tokov iz sistema (SIST EN15978)

kazalnik	Enota
komponente za ponovno uporabo	kg
material za reciklažo	kg
materiali za pridobivanje energije (izključeno zažiganje odpadkov)	kg
izvožena energija	MJ za vsakega nosilca energije

2.4.3 Nivo produkta (SIST EN 15804: 2012)

Na ravni izdelka standard SIST EN 15804 (2012) opredeljuje pravila za kategorije proizvodov z namenom razvoja okoljske deklaracije proizvoda (angl. Environmental Product Declarations - EPD) za gradbene proizvode. V skladu s SIST EN ISO 14025 (2010) EDP-ji sodijo v okoljsko deklaracijo tipa III in pogosto predstavljajo dober vir okoljskih podatkov za analizo življenjskega cikla.

EPD je posebna vrsta LCA, ki se za posamezne produktne skupine izvede s pomočjo pravil za kategorije proizvodov (Product Category Rules - PCR), kot je predstavljeno na sliki 2.12. Za gradbene proizvode je mogoče uporabiti več različnih PCR (CPA, 2012), vendar je potrebno pri tem paziti, saj je mogoča medsebojna primerjava le tistih EPD, ki sledijo istemu PCR.



Slika 2.12: Postopek EPD kot je podan v CPA (2012)

Cilj skupnega sklopa pravil v SIST EN 15804 je, da se ocenjevalcu omogoči konsistentne, primerljive in zanesljive informacije, ki so združljive na nivoju obravnave stavbe.

Pravila za izračun LCA na nivoju materiala so podobna tistim na nivoju stavbe in so bila v tem dokumentu že opredeljena. Obseg študije LCA izvedene na nivoju materialov je lahko enak obsegu na nivoju stavbe (glej sliko 2.11). Vendar je pri tem v skladu s SIST EN 15804 obvezna le opredelitev faze proizvodnje (moduli A1 do A3), opredelitev ostalih faz je opsijska.

Tudi v tem standardu funkcionalna enota predstavlja referenčno vrednost, na katero se normirajo materialni tokovi določeni iz LCA gradbenega proizvoda. Vendar je v tem standardu navedena dodatna enota: deklarirana enota. Deklarirana enota se lahko uporabi namesto funkcionalne enote v primeru, ko funkcija produkta na nivoju stavbe ni navedena ali ni poznana.

2.5 Drugi standardi in regulative (predvsem za fazo uporabe)

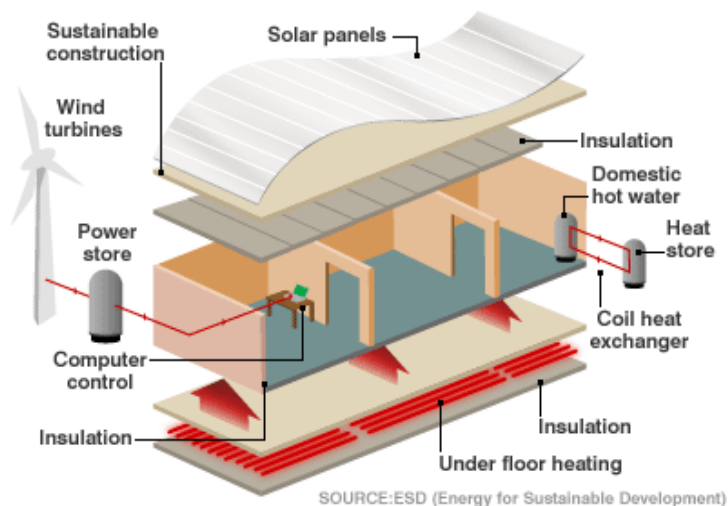
Kot že omenjeno, standard SIST EN 15978 (2011) opredeljuje vse možne vplive na okolje upoštevajoč vse vidike v povezavi s stavbo v njenem celotnem življenjskem ciklu, kot izhaja iz modularnega sistema na sliki 2.11. V tem sistemu modul B6 ustreza energiji za obratovanje, tj. energiji, ki je potrebna za delovanje v stavbo vgrajenih tehničnih sistemov tekom njene obratovalne dobe. Vključuje porabo energije za hlajenje in ogrevanje prostorov, za oskrbo s toplo vodo za gospodinjstva (angl. domestic hot water - DHW), za prezračevanje, za osvetlitev in dodatno energijo, ki se porablja za delovanje črpalk, nadzornih sistemov in avtomatizacije. Vendar pa SIST EN 15978 ne zagotavlja pravil za izračun količine potrebne energije. Navaja le zahtevo, da morajo biti ti izračuni v skladu z evropsko direktivo o energetske učinkovitosti stavb (angl. Energy Performance of Building Directive - EU 2002 - EPBD) in z njo povezanih nacionalnih določil.

Direktiva o energetske učinkovitosti stavb predstavlja glavni zakonodajni instrument na ravni EU za doseganje energetske učinkovitosti stavb. Štiri ključna področja opredeljena v EPBD, ki naj bi jih posebej opredelile tudi države članice so sledeča (EU 2002):

- enotna metodologija za izračun celovite energetske učinkovitosti stavb;
- minimalne zahteve glede energetske učinkovitosti novih stavb in obstoječih stavb, ki so bile temeljiteje prenovljene;
- sistemi za energetske certifikacijo novih in obstoječih stavb in posebej za javne stavbe jasen prikaz teh spričeval in drugih relevantnih informacij;

- redni inšpekcijski pregledi energijskih hranilnikov (bojlerjev) in centralnih klimatskih sistemov v stavbah in posebej oceno ogrevalnih sistemov z energijskimi hranilniki starejšimi od 15 let.

Dopolnjena direktiva EPBD (2010) določa pravni okvir za nadgradnjo nacionalnih gradbenih predpisov in predstavlja politiko skoraj nič energijske stavbe, z namenom, da bodo do leta 2020 vse nove stavbe skoraj nič energijske (npr. ključne funkcije z ničnimi emisijami ogljika so prikazane na sliki 2.13).



Slika 2.13: Ključne funkcije stavbe z ničnimi emisijami ogljika

Kljub splošnim zahtevam navedenim v direktivi EPBD, le-ta ne določa metode izračuna. Vsaki državi članici EU je torej dovoljeno, da izbere svoj način metode izvajanja. Pri tem večina držav navaja, da se do določene meje poslužuje standardov CEN oziroma drugih mednarodnih standardov. V zvezi s tem sta v tem dokumentu upoštevana dva dodatna standard:

- SIST EN ISO 13790 (2008), ki obravnava vse vidike ogrevalnih sistemov, ki nastopajo v energetskih izračunih in zagotavlja korekcijske faktorje za zajem dinamičnih toplotnih učinkov;
- SIST EN 15316-3-1 (2007), ki se nanaša na energetske potrebe za produkcijo tople sanitarne vode za gospodinjstva (DHW).

3 POENOSTAVLJENE METODE ZA PRESOJO TRAJNOSTNEGA VIDIKA GRADNJE STAVB

3.1 Uvod

Gradbeni sektor je vedno bolj izpostavljen pritiskom v zvezi s trajnostnim vidikom gradnje: deklaracije o okoljski učinkovitosti izdelkov, nizkoenergijska gradnja, itd. Vendar pa zainteresirane strani niso vedno ustrezno usposobljene, da bi lahko analizirale okoljsko učinkovitost gradbenih proizvodov.

Energetska (toplotna) učinkovitost novih stavb je že nekaj let regulirana s pomočjo predpisov, kar je omogočilo arhitekturni stroki dober nadzor in znanje predvsem v fazi uporabe stavb. Na drugi strani pa so okoljski vplivi proizvedene energije in izpusti ogljika, ki izhajajo iz uporabe materialov samih, manj znani, vendar se postopoma tudi ta vidik vključuje v razpise za obravnavo. Le nekateri akterji v gradbenem sektorju posedujejo strokovno znanje za obravnavo obeh vidikov.

Z namenom pospešitve uvajanja analize življenjskega cikla na področje gradbeništva, to poglavje uvaja dva poenostavljena pristopa:

- (i) pristop za poenostavljen koncept življenjskega cikla, ki temelji na makro-komponentah;
- (ii) pristop za izračun energetske potrebe stavbe, za hlajenje in ogrevanje prostorov, ki vključuje tudi potrebe po energiji za oskrbo s toplo sanitarno vodo.

Oba pristopa sta bila razvita v okviru evropskega raziskovalnega projekta *SB_Steel* (2014) in temeljita na načelih zadnjih evropskih standardov SIST EN 15978 in SIST EN 15804.

Najprej je opisan pristop za oceno življenjskega cikla. Sledi predstavitev poenostavljenega pristopa za izračun energije in ustrezen kalibracijski postopek.

3.2 Algoritem za oceno življenjskega cikla temelječ na makro-komponentah

Konstrukcijski elementi, tako zunanega kot notranjega ovoja stavbe, imajo pomembno vlogo v obnašanju stavbe v smislu porabe energije in obremenitve okolja. To je bilo vodilo za določitev vnaprej sestavljenih rešitev za glavne sestavne dele stavbe, tj. makro-komponente. Makro-komponente so vnaprej določeni sestavi iz različnih materialov, ki v celoti sestavljajo izbrano komponento stavbe (Gervásio in drugi, 2014).

Za vsako komponento stavbe so bile vnaprej sestavljene različne rešitve. Model, ki temelji na makro-komponentah, in je bil uporabljen za analizo življenjskega cikla stavbe, je podrobno opisan v sledečih poglavjih.

3.2.1 Osnovne postavke

3.2.1.1 Cilj in obseg

Cilj metode je ocena okoljskih vplivov enostavne stavbe oziroma stavbnih komponent (v m²) z uporabo vnaprej določenih makro-komponent. Zato pristop omogoča presojo na dveh različnih ravneh: (i) na nivoju komponente; in (ii) na nivoju stavbe.

3.2.1.1.1 Funkcionalna enota

Funkcionalno enoto na ravni stavbe predstavlja stavba sama z določenim tipom (stanovanjska, pisarne, itd), ki je načrtovana za vnaprej določeno obdobje (npr. 50 let) in izpolnjuje vse zahteve iz standardov.

Funkcionalna enota na ravni stavbne komponente (v m²) je komponenta stavbe z definiranim tipom (npr. zunanji zid, notranji strop, itd.) in vnaprej določeno življenjsko dobo (npr. 50 let). V tem primeru je lahko funkcija stavbne komponente vključena ali pa ne (v primeru primerjalnih trditev mora biti funkcija stavbne komponente vključena).

3.2.1.1.2 Sistemske meje

Okoljska analiza življenjskega cikla obsega fazo proizvodnje materialov (moduli A1 do A3), fazo gradnje (modul A4), fazo uporabe (moduli B1 do B5), fazo ob koncu življenjskega cikla (moduli C1 do C4) in ponovno uporabni material in odpad kot rezultat reciklaže (modul D), kot je prikazano v preglednici 3.1.

Modul B6 ni vključen v obravnavanem pristopu. Vseeno pa metodologija predstavljena v sledečem poglavju obravnava vidike vključene v omenjen modul. Podobno niso obravnavani tudi moduli A5, B1 in B7. Ugotovljeno je namreč bilo, da je na nivoju stavbe pomembnost vplivov izhajajočih iz procesa gradnje (modul A5) (vključno z uporabo opreme, delovanje gradbišča in proizvodnjo odpadkov) zanemarljiva (Gervásio in drugi, 2014).

V modulu B1 so zajete emisije izhajajoče iz uporabe vgrajenih materialov v stavbi, ki sicer niso upoštevane v preostalih moduli faze uporabe. Vendar ta modul nima velikega pomena, saj dandanes stroga zakonodaja zahteva uporabo gradbenih materialov z nizkimi emisijami. Nazadnje tudi ni upoštevana poraba voda (modul B7), saj le-ta ni odvisna od možnosti gradnje.

Preglednica 3.1: Informacijski moduli življenjskega cikla stavbe (povzeto po SIST EN 15643-2:2011)

faza proizvodnje gradbenih mater. / proizv.			faza gradnje		faza uporabe							faza ob koncu življenjskega cikla				
dobava surovin	transport	proizvodnja	transport	izvedba del na gradbišču	uporaba	redno vzdrževanje	popravila	zamenjava	prenova s tehničnimi izboljšavami	obratovanje – poraba energije	obratovanje – poraba voda	razgradnja	transport	obdelava odpadkov	odstranitev na deponijo	ponovna uporaba / reciklaža
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

3.2.1.2 Inventar življenjskega cikla

Kot že navedeno, standardi za LCA zahtevajo preverjanje kakovosti podatkov. Zato je v povezavi z gradbenimi proizvodi potrebno preveriti podatke z upoštevanjem sledečih vidikov (SIST EN 15804):

- časovna pokritost: nabori podatkov morajo biti posodobljeni tekom zadnjih 10 let za generične podatke in v času zadnjih 5 let za podatke podane s strani specifičnega proizvajalca;
- nabori podatkov morajo temeljiti na enoletnem povprečju podatkov;
- geografska pokritost: nabori podatkov morajo odražati geografsko območje značilno za deklariran produkt oziroma skupino produktov;
- tehnološka pokritost: nabori podatkov odražajo realno stanje za deklariran produkt oziroma skupino produktov;
- celovitost: podatkovni nabori morajo biti popolni v skladu s sistemskimi mejami znotraj meja, določenih s kriteriji za izključitev vhodnih in izhodnih tokov.

Preglednica 3.2: Kontrola kakovosti glavnih materialov v makro-komponentah

produkt	časovna pokritost	geografska pokritost	tehnološka pokritost	celovitost
jeklen prerez	2007, letno povprečje	Evropa	evropski proizvajalci	> 99% mase in energije
jeklena armaturna palica	2007, letno povprečje	svet	svetovni proizvajalci	> 99% mase in energije
omot pločevine	2007, letno povprečje	Evropa	evropski proizvajalci	> 99% mase in energije
beton C20/25	2011, letno povprečje	Nemčija	nemški proizvajalci	> 95% mase in energije
lesene plošče OSB	2008, letno povprečje	Nemčija	nemški proizvajalci	> 99% mase in energije
mavčne plošče	2008, letno povprečje	Evropa	evropski proizvajalci	> 95% mase in energije
opeka	2011, letno povprečje	Nemčija	nemški proizvajalci	> 95% mase in energije
kamena volna	2011, letno povprečje	Evropa	evropski proizvajalci	> 95% mase in energije
ekspandiran polistiren EPS	2011, ni podatka	Evropa	ni podatka	ni podatka
ekstrudiran polistiren XPS	2011, letno povprečje	Nemčija	nemški proizvajalci	> 95% mase in energije
poliuretanska pena PUR	2011, letno povprečje	Nemčija	nemški proizvajalci	> 95% mase in energije
ekspandirana pluta	2011, letno povprečje	Nemčija	nemški proizvajalci	> 95% mase in energije
steklena volna	2011, letno povprečje	Evropa	evropski proizvajalci	> 95% mase in energije
polietilenska pena PE	2011, letno povprečje	Nemčija	nemški proizvajalci	> 95% mase in energije

Večina okoljskih podatkovnih naborov je zagotovljena iz mednarodne podatkovne zbirke PE (2006) (angl. PE International database), razen podatkov v zvezi z jeklom. Nabori podatkov za jeklo so priskrbljeni s strani organizacije Worldsteel Association (2002) v sodelovanju z mednarodno podatkovno zbirko PE, zato je uporabljena metodologija obravnavanja podatkovnih nizov zelo podobna. To zagotavlja dobro usklajenost v smislu zbiranja in upravljanja s podatki, kakor tudi metodologijo za razvrščanje in pravila za razmejitev, kot je za glavne materiale uporabljene v makro-komponentah prikazano v preglednici 3.2.

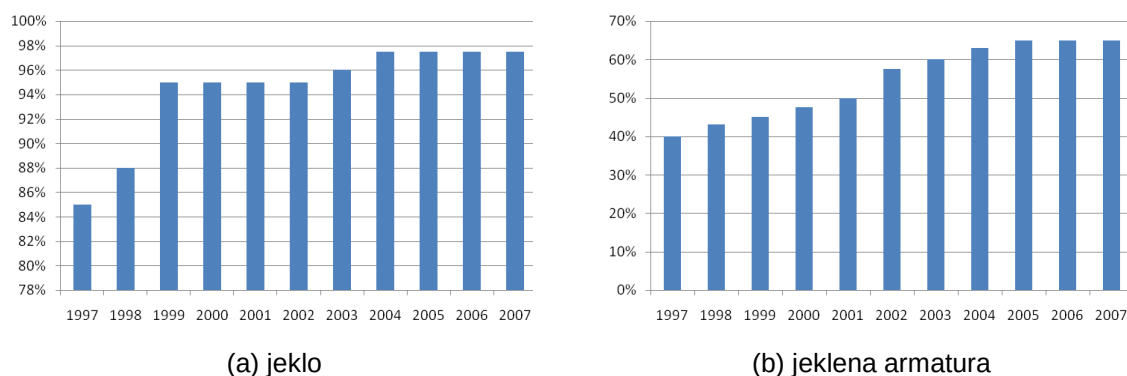
3.2.1.3 Presoja vpliva življenjskega cikla

Izbrane okoljske kategorije za opis okoljskih vplivov stavbe so navedene v preglednici 2.10 in ustrezajo okoljskim kategorijam priporočenim v evropskih standardih za oceno okoljske učinkovitosti stavb (SIST EN 15643-2 in SIST EN 15978).

Modularna zasnova zgoraj navedenih standardov je bila sprejeta tudi v tem pristopu. Zato je rezultat okoljske analize življenjskega cikla vsake makro-komponente izražen za modul oziroma skupno vrednost v posamezni fazi. Okoljska analiza življenjskega cikla vsake makro-komponente je izvedena s pomočjo programske opreme GaBi (2012).

3.2.2 Razporeditev recikliranega materiala

Jeklo je 100 % reciklrni material, ostanki se lahko pretvorijo v jeklo enake kvalitete, kar pa je odvisno od uporabljene metalurgije in postopka reciklaže (Worldsteel Association, 2009). Zato se v primerih, ko jeklena konstrukcija preide v fazo ob koncu življenjskega kroga, konstrukcijo najpogosteje razstavi in se jeklo uporabi za reciklažo ali ponovno uporabo (delno ali v celoti). Po podatkih organizacije Steel Recycling Institute (2009) v Severni Ameriki delež recikliranega konstrukcijskega jekla znaša okrog 97.5%. Diagrama na sliki 3.1, predstavljata trend deleža recikliranega jekla in jeklene armature v gradbenem sektorju.



Slika 3.1: Delež recikliranega materiala (Steel Recycling Institute, 2009)

Ponovna uporaba in reciklaža jekla je več funkcionalna problematika, ki zahteva uporabo procesa razporeditve, kot je to opisano v nadaljevanju.

3.2.2.1 Predstavitev procesa razporeditve (dodelitve)

Večina industrijskih procesov je večnamenskih, tj. njihova proizvodnja zajema več kot en izdelek in vložki za proizvodnjo izdelkov pogosto vključujejo vmesne izdelke ali odpadne (zavržene) produkte. Problem razporeditve nastane, ko je v okviru obravnavanega proizvodnega sistema potrebna odločitev o razdelitvi vhodnih / izhodnih tokov k funkcionalni enoti.

Razporeditev je v standardu SIST EN ISO 14040 (2006) definirana kot "delitev vhodnih oziroma izhodnih tokov posameznega procesa ali proizvodnega sistema med obravnavanim proizvodnim sistemom in enim ali več ostalimi proizvodnimi sistemi". V skladu s tem proces razporeditve zajema razdelitev tokov med posameznimi procesnimi enotami oziroma proizvodnimi sistemi.

V skladu s SIST EN ISO 14044 (2006) se je potrebno izogibati taki razporeditvi, ki bodisi procesno enoto deli na dva ali več pod-procesov in zbira inpute in outpute v povezavi z omenjenimi pod-procesi, bodisi z razširitvijo proizvodnega sistema, tako da le-ta vključuje dodatne funkcije povezane s stranskimi proizvodi (razširitev sistema).

Razširitev sistema vključuje pristop opuščanja bremen, ki odpravlja presežne funkcije iz večnamenskega procesa z odvzemom ekvivalentnih monofunkcijskih procesov za doseg monofunkcijskega procesa.

V primeru, ko za določitev obsega in ciljev študije, niti razdelitev procesov na več podprocesov niti razširitev sistema ni mogoča, potem se razporeditvi ni mogoče izogniti. V tem primeru sta v skladu s SIST EN ISO 14044 (2006) priporočeni dve možnosti: (i) delitev inputov in outputov sistema temelji na fizikalnih (oziroma kemijskih oziroma bioloških) vzročnih posledičnih povezavah; ali (ii) razporeditev temelji na drugih razmerjih (npr. ekonomska vrednost proizvodov).

Upoštevanje ponovne uporabe in recikliranja materialov je več funkcionalna problematika, ki vsebuje uporabo procesov razporeditve. Principi razporeditve in ostali zgoraj omenjeni postopki se uporabljajo tudi v primerih reciklaže in ponovne uporabe, čeprav se morajo v tem primeru pri izbiri procedure razporeditve upoštevati spremembe v pripadajočih lastnostih materialov (ISO 14044, 2006).

V tem primeru lahko naletimo na naslednje tri situacije (Werner, 2005):

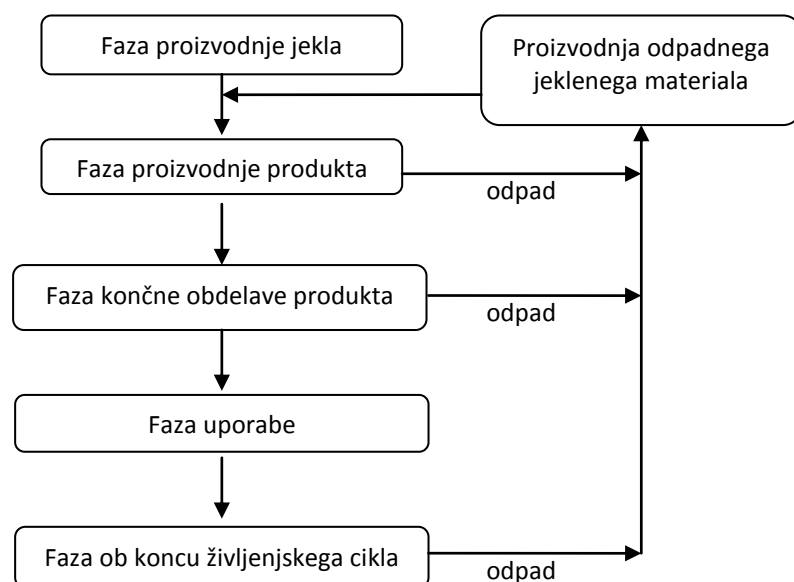
- (i) značilne lastnosti materiala ostanejo nespremenjene tekom obravnavanega proizvodnega sistema in material je namenjen ponovni uporabi za isti namen;
- (ii) značilne lastnosti materiala se spremenijo tekom obravnavanega proizvodnega sistema in material je namenjen ponovni uporabi za isti namen;
- (iii) značilne lastnosti materiala se spremenijo tekom obravnavanega proizvodnega sistema in material je namenjen ponovni uporabi za druge namene.

V prvi situaciji gre za primer zaprte zanke, kjer je nadomestitev osnovnega materiala popolna in zato ni dodeljenih nobenih okoljskih bremenitev k sistemu pridelave, izhajajočih tako iz proizvodnje primarnega materiala kot končne odstranitve na deponijo. Drugi primer ustreza pristopu odprte zanke v situaciji zaprte zanke. V tem primeru spremenjene lastnosti materiala niso pomembne in postopek reciklaže ustreza pristopu zaprte zanke. V zadnjem primeru gre za situacijo odprte zanke, kjer se predpostavlja, da je nadomestitev osnovnega materiala delna. V tem primeru se okoljska bremena, nastala zaradi primarne proizvodnje materiala ali končnega odlaganja na deponijo, delno dodelijo obravnavanemu sistemu pridelave.

V skladu s standardom SIST EN ISO 14044 (2006) v primeru zaprte zanke odpravimo razporeditev, saj v postopku reciklaže proizvedene sekundarne surovine nadomestijo uporabo osnovnih surovin.

3.2.2.2 *Odprava razporeditve odpadnega materiala*

Tekom življenjskega cikla jekla odpadni material izhaja iz proizvodne faze jekla, faze končne obdelave produkta in faze ob koncu življenjskega cikla jeklenega produkta (slika 3.2). Zato je za proizveden odpadni material potrebno proces razporeditve upoštevati v celotnem življenjskem ciklu. Kot je opisano v nadaljevanju, je poleg tega potrebno upoštevati, da se v proizvodnji jekla lahko uporabljajo različni proizvodni postopki, in tako je razporeditev vhodnega odpadnega materiala v proizvodnji jekla nova problematika, ki ji je potrebno posvetiti pozornost.



Slika 3.2: Sistemske meje LCI vključno s podatki faze ob koncu življenjskega cikla in prikazom proizvodnje odpadnega materiala (LCI, 2001)

Jeklo je mogoče reciklirati ali večkrat ponovno uporabiti. Zato je potrebno uporabiti primerno metodo razporeditve, ki upošteva večkratno reciklažo in ponovno uporabo jeklenih komponent. Zato metodologija za obravnavanje problema razporeditve jekla v tem dokumentu upošteva koncept zaprte zanke, ki je bil razvit v okviru Worldsteel Association (LCI, 2001). Ta metodologija je bila razvita z namenom pridobitve podatkov z uporabo analize LCI na osnovi upoštevanja faze recikliranja ob koncu življenjskega cikla jeklenih izdelkov. Upoštevanje pristopa zaprtega kroga je utemeljeno z dejstvom, da se za izdelavo novega jekla uporabi ponovno staljen odpadni material z malo ali brez spremembe njegovih značilnih lastnosti. V tem primeru v skladu s smernicami standarda SIST EN ISO 14044 odpravimo potrebo po uporabi metod razporeditve, saj uporaba sekundarnega materiala nadomesti uporabo osnovnih (primarnih) surovin.

Jeklo se lahko proizvaja preko dveh proizvodnih poti: z visokimi talilnimi pečmi na trdo gorivo – plavži - (angl. Blast Furnace - BF) in z elektroobločnimi pečmi (angl. Electric Arc Furnace - EAF). Glavna razlika med omenjenima postopkoma je v vhodnih materialih (inputih) procesa izdelave jekla: v postopku BF se jeklo proizvaja skoraj izključno iz osnovnih surovin (železova ruda); medtem ko v postopku EAF proizvodnja jekla temelji predvsem na odpadnem jeklenem materialu.

Tako je na podlagi upoštevanja obeh glavnih postopkov proizvodnje jekla, ob predpostavki podatkov iz analize LCI za proizvodnjo z BF postopkom (predpostavka 100 % deleža primarne surovine), podanem z X_{pr} , in podatkov iz analize LCI za proizvodnjo jekla z EAF postopkom (predpostavka 100 % deleža sekundarnega materiala), podanem z X_{re} , podatek analize LCI v povezavi z odpadnim materialom podan z enačbo (3.1):

$$LCI_{scrap} = Y(X_{pr} - X_{re}) \quad (3.1)$$

kjer Y predstavlja kovinski izkoristek (izkoristek postopka pridelave), kar predstavlja učinkovitost sekundarnega procesa pretvorbe odpadnega materiala v jeklo. Po mnenju organizacije Worldsteel association (LCI, 2001), je za proizvodnjo 1 kg sekundarnega jekla potrebno 1,05 kg odpadnega materiala.

Ob predpostavki uporabe postopka BF, s predpostavko 100 % vnosa osnovne surovine in upoštevanjem stopnje predelave (delež ponovno uporabljenega jekla v obliki odpadnega materiala tekom celotnega življenjskega cikla jeklenega izdelka) (angl. recovery rate - RR) je nadalje ob koncu življenjskega cikla neto količina proizvedenega odpadnega materiala podana s parametrom RR (v kg). Z upoštevanjem faze ob koncu življenjskega cikla je potemtakem rezultat analize LCI za 1 kg jekla, za primarno proizvodnjo z vključenim kreditom (dobitkom) na račun proizvedenega odpadnega materiala, podan s parametrom LCI v enačbi (3.2):

$$LCI = X_{pr} - RR \left[Y (X_{pr} - X_{re}) \right] \quad (3.2)$$

Na drugi strani, je ob predpostavki, da ob uporabi 1 kg odpadnega jekla za proizvodnjo novega jekla s postopkom EAF in da je ob koncu življenjskega cikla (ob izrabi) povrnjeno RR kg jekla za reciklažo, neto količina uporabljenega odpadnega materiala izražena z $(1/Y - RR)$. Z upoštevanjem faze ob koncu življenjskega cikla je potemtakem rezultat analize LCI za 1 kg jekla, za sekundarno proizvodnjo z vključenim odbitkom na račun uporabljenega odpadnega materiala, podan s parametrom LCI v enačbi (3.3):

$$LCI = X_{re} + (1/Y - RR) \left[Y (X_{pr} - X_{re}) \right] \quad (3.3)$$

S preureditvijo enačbe (3.3) lahko dobimo enačbo (3.2), kar kaže na to, da LCI sistem ni odvisen od vira vloženega materiala. Odvisen je od razmeja recikliranja jekla ob koncu življenjskega cikla in od izkoristka procesa reciklaže. Potemtakem enačba (3.3) omogoča proces razporeditve jeklenih odpadkov neodvisno od proizvodnega postopka jekla.

Zgoraj navedene enačbe so dobljene ob predpostavki 100 % primarne proizvodnje ali 100 % sekundarne proizvodnje. Dejansko pa se lahko za proizvodnjo jeklenih izdelkov s primarnim procesom uporabi nekaj jeklenega odpada in obratno, tudi v postopku EAF se lahko uporabi majhen delež osnovne surovine. V tem primeru se odbitek oziroma kredit podan z enačbo (3.1) lahko izrazi kot:

$$LCI_{scrap} = (RR - S) \cdot Y (X_{pr} - X_{re}) \quad (3.4)$$

kjer izraz $(RR - S)$ predstavlja neto odpadni material ob koncu življenjskega kroga izdelka. Upoštevajoč podatke analize LCI za gotov jeklen izdelek, izražene z X' , se parameter LCI za obravnavan produkt, vključno z upoštevanjem procesa reciklaže ob koncu življenjskega cikla, lahko izrazi kot:

$$LCI = X' - \left[(RR - S) \times Y (X_{pr} - X_{re}) \right] \quad (3.5)$$

Enačba (3.5) je bila privzeta v metodologijah analize LCA, predstavljenih v sledečem poglavju, za pripravo podatkov LCI jeklenih proizvodov, vključno z upoštevanjem procesa reciklaže ob koncu življenjskega kroga izdelka.

3.2.3 Opredelitev makro-komponent

Makro-komponente so bile opredeljene za različne stavbne elemente v skladu s sistemom razvrščanja UniFormat (2010). Upoštevane so sledeče kategorije: (A) podkonstrukcija, (B) zunanji ovoj in (C) notranjost. Vsaka od treh omenjenih glavnih kategorij vsebuje nadaljnje poddelitve. Podroben sistem razvrščanja je prikazan v preglednici 3.3.

Znotraj domene vsakega stavbnega elementa (preglednica 3.3) ima ustrezna makro-komponenta enako funkcijo in podobne lastnosti. Funkcionalna enota vsake makro-komponente znaša 1 m² stavbnega elementa s podobnimi lastnostmi in ima predvideno 50 letno življenjsko dobo.

Ta pristop je bil razvit za vrednotenje stavb v zgodnji fazi načrtovanja (Gervásio et al., 2014). Zato se za uspešno obravnavo, navkljub pomanjkanju podatkov v zgodnjih fazah načrtovanja, nosilno konstrukcijo stavbe (za konstrukcije iz vroče-valjanih elementov, lahke jeklene konstrukcije ali betonske konstrukcije) razvrsti med makro-komponente z oznako nosilne konstrukcije plošč (B1010.10) ali nosilne konstrukcije strehe (B1020.10), merjene v m².

Informacija, ki jo vsebuje vsaka makro-komponenta, je predstavljena na primeru v preglednici 3.4.

Da se omogoči količinsko opredelitev energije potrebne za delovanje stavbe, sta poleg ostalih karakteristik različnih plasti materialov, podana tudi koeficient toplotne prehodnosti (U) (ob upoštevanju toplotnih mostov, če je to primerno) in toplotna vztrajnost (κ_m).

Makro-komponente so zbrane v podatkovni bazi, ki je podana v Dodatku 1 tega dokumenta.

Preglednica 3.3: Sistem razvrščanja stavbnih komponent (UniFormat, 2010)

(A) Temelj	(A40) Temeljna plošča	(A4010) Standardna temeljna plošča	
(B) Zunanji ovoj	(B10) Nosilna konstrukcija	(B1010) Plošča	(B1010.10) Nosilna konstrukcija plošče (brana)
			(B1010.20) Stropne plošče, stropovi, estrihi
		(B1020) Streha	(B1020.10) Nosilna konstrukcija strehe
			(B1020.20) Strešne plošče, stropovi in paneli
	(B20) Zunanji vertikalni ovoj	(B2010) Zunanji zidovi	(B2010.10) Obloga zunanjih zidov
			(B2010.20) Konstrukcija zunanjih zidov
		(B2020) Zunanja okna	
		(B2050) Zunanja vrata	
	(B30) Zunanji horizontalni ovoj	(B3010) Nadstreški	
		(B3060) Horizontalne odprtine	
(C) Notranjost	(C10) Notranja konstrukcija	(C1010) Notranje predelne stene	
	(C20) Notranje obloge	(C2010) Stenske obloge	
		(C2030) Talne obloge	
		(C2050) Stropne obloge	

3.2.4 Nazoren primer sestava makro-komponent

V nekaterih primerih je potrebno, za popoln opis funkcij stavbnega elementa, hkrati upoštevati različne makro-komponente. V nadaljevanju je predstavljen nazoren primer za notranji strop stanovanjske stavbe.

3.2.4.1 Sestav makro-komponent

Za opis notranjega stropa stavbe so izbrane sledeče makro-komponente:

- (i) makro-element za talne obloge (C2030),
- (ii) makro-komponenta za nosilno konstrukcijo plošče (B1010.10),
- (iii) makro-komponenta za stropne obloge (C2050).

Izbran sestav makro-komponent je prikazan v preglednici 3.4.

V tem primeru vrednost toplotne prehodnosti (U) ni navedena, saj posamezna makro-komponenta ustreza notranjemu stropu in kot taka ne vpliva na izračun energijskih potreb stavbe.

Preglednica 3.4: Sestav makro-komponent za notranji strop

sestav makro-komponent	makro-komponente	material	debelina oz. gostota	U (W/m^2K)	κ_m (J/m^2K)
	C2030 talne obloge	keramične ploščice	31 kg/m ²		
		betonski estrih	13 mm		
	B1010.10 nosilna konstrukcija plošče	OSB plošče	18 mm		
		zračna plast	160 mm		
		kamena volna	40 mm	-	61062
		lahka jeklena konstrukcija	14 kg/m ²		
		mavčne plošče	15 mm		
	C2050 stropne obloge	plesk	0,125 kg/m ²		

3.2.4.2 Funkcionalna enota in ocena življenjske dobe materialov

Funkcionalna enota stavbnega elementa je notranji strop (v m²) stanovanjske stavbe z zahtevano življenjsko dobo 50 let. Izbrane makro-komponente morajo zadostiti enaki funkcionalni enoti kot obravnavan stavbni element. Zato je potrebno upoštevati ocenjeno življenjsko dobo različnih uporabljenih materialov. Preglednica 3.5 prikazuje ocenjeno življenjsko dobo posameznih materialov.

Preglednica 3.5: Ocenjena življenjska doba materialov

makro-komponenta	material	enota	ocenjena življenjska doba [leta]
talne obloge	keramične ploščice	m ²	25
	betonski estrih	m ²	50
nosilna konstrukcija plošče	hladno oblikovani jekleni profili	kg/m ²	50
stropne plošče	kamena volna	m ²	50
	OSB plošče	m ²	50
	mavčne plošče	m ²	50
stropne obloge	plesk	m ²	10

Torej zato, da se v polnosti zadosti funkcionalni enoti, je potrebno določene materiale nadomestiti ali sanirati po vnaprej določenem scenariju.

3.2.4.3 Scenariji in predpostavke

Scenariji in predpostavke so potrebni za pridobitev popolne informacije o vplivu na okolje v vseh moduli.

Funkcionalna enota se nanaša na časovno obdobje 50 let. To pomeni, da mora to zahtevo izpolniti vsak material vgrajen v makro-komponento. Zato je potrebno vse materiale, ki imajo pričakovano življenjsko dobo krajšo od 50 let, tekom te dobe ustrezno vzdrževati ali celo zamenjati. Da je zahtevam tekom celotnega časovnega obdobja vključenega v analizi zadoščeno, so za posamezen material predvideni različni scenariji. Podobno ima v fazi ob koncu življenjskega cikla (faza izrabe), vsak material, glede na njegove značilne karakteristike, svojo končno destinacijo. Zato je ob koncu življenjskega cikla, na podlagi lastnosti vsakega materiala posebej, predviden drugačen scenarij.

Vsi prej omenjeni scenariji so usklajeni s pravili, ki jih podajata standarda SIST EN 15643-2 (2011) in SIST EN 15978 (2011).

3.2.4.3.1 Scenariji za transport materialov (modula A4 in C2)

Privzeto je, da znaša transportna razdalja od proizvodnih obratov do gradbišča (modul A4) in hkrati transportna razdalja od kraja razgradnje do kraja recikliranja / deponiranja (modul C2) 20 km in da je transport opravljen s tovornjakom nosilnosti 22 ton. Ne glede na to lahko projektant upošteva drugačne razdalje, kar omogoča izvedbo analize občutljivosti v zvezi s transportom različnih materialov.

3.2.4.3.2 Scenariji za fazo uporabe (moduli B1 do B7)

Z namenom izpolnitve zahtevane življenjske dobe 50 let so vnaprej določeni scenariji za različne material. Zato sta, glede na obravnavan sestav makro-komponent, podana sledeča scenarija:

- zamenjava keramičnih ploščic vsakih 25 let;
- pleskanje stropa vsakih 10 let.

3.2.4.3.3 Scenariji za fazo ob koncu življenjskega cikla (moduli C1 do C4) in reciklažo (modul D)

Za fazo ob koncu življenjskega cikla so, glede na značilne lastnosti posameznih materialov, podani različni scenariji, kot je to prikazano v preglednici 3.6. Za OSB plošče je tako upoštevan sežig (80 %) v elektrarni na biomaso, kar omogoča upoštevanje kredita na račun pridobljene energije. Dalje je upoštevana reciklaža jekla z 90 % stopnjo recikliranja in pripadajoč kredit iz neto odpadnega materiala ob koncu procesa življenjskega cikla. Podobno je upoštevana reciklaža kamene volne (80 %), vendar zaradi pomanjkanja podatkov v zvezi s procesom reciklaže, ni pripisanega kredita, razen upoštevanega zmanjšanja količine odpadkov na deponiji.

Preglednica 3.6: Možnosti za materiale ob koncu življenjskega cikla

material	scenarij deponiranja/reciklaže	kredit
keramične ploščice	deponija (100%)	-
betonski estrih	deponija (100%)	-
mavčne plošče	deponija (100%)	-
kamena volna	reciklaža (80%) + deponija (20%)	-
OSB plošče	sežig (80%) + deponija (20%)	kredit iz pridobljene energije
hladno oblikovani jekleni profili	reciklaža (90%) + deponija (10%)	kredit iz neto odpadnega materiala

Za ves preostali material je bil predviden scenarij odvoza na deponijo (odlagališče) za inertne odpadke.

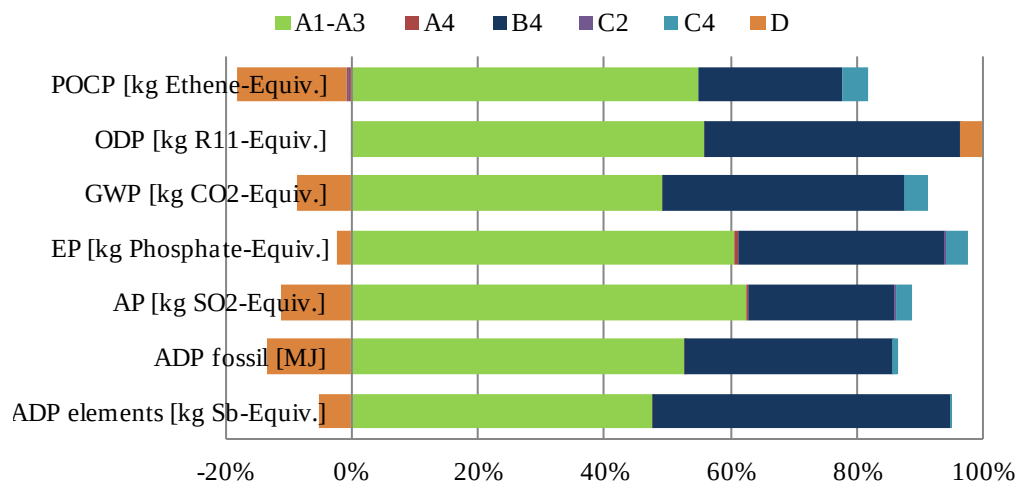
3.2.4.4 Okoljska analiza (analiza okoljskih vplivov stavbe)

Rezultati dobljeni iz obravnavanega sestava makro-komponent, predstavljenega v preglednici 3.4, so zbrani v preglednici 3.7.

Preglednica 3.7: Okoljska analiza življenjskega cikla makro-komponent (na m²)

Kategorija okoljskega vpliva	A1-A3	A4	B4	C2	C4	D	TOT
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 fosil. [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

Analiza prispevkov za vsak modul posebej je prikazana na sliki 3.3. V vseh upoštevanih kategorijah okoljskih vplivov prevladujejo moduli A1-A3 (prispevek nad 50 % za večino okoljskih kategorij). Sledi modul B4 s prispevkom, ki variira med 10 % in 20 %. Modul D pomembno prispeva (skoraj 10 %) k večini okoljskih kategorij. Manjši je prispevek modula C4 (blizu 5 % v nekaterih primerih), ki mu po velikosti prispevkov sledijo preostali moduli z zanemarljivim vplivom.



Slika 3.3: Okoljski vplivi življenjskega cikla upoštevanih makro-komponent (na m²)

Vse obravnavane makro-komponente so bile izračunane na podoben način. Kot že omenjeno, pristop makro-komponent omogoča izvedbo analize življenjskega cikla na ravni stavbnih elementov ali na ravni celotne stavbe.

3.3 Algoritem za količinsko opredelitev energije (faza uporabe)

3.3.1 Uvod

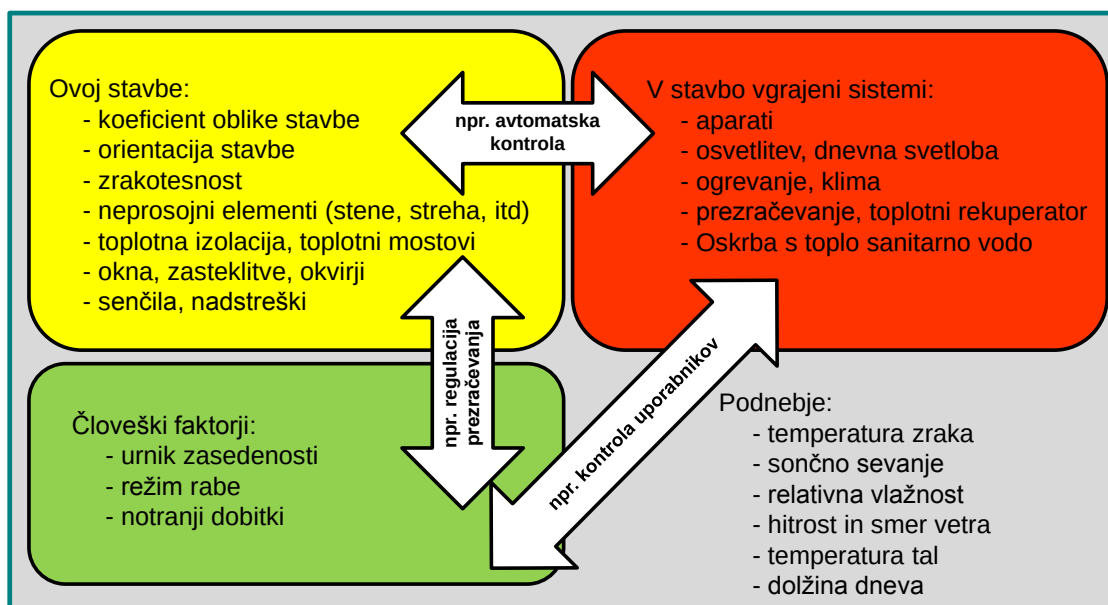
Kot že omenjeno, SIST EN 15978 (2011) pripisuje vse potencialne vplive na okolje glede na vse vidike povezane s stavbo tekom njenega celotnega življenjskega cikla (proizvodnja materialov, uporaba, faza ob koncu življenjskega cikla in ponovna uporaba, predelava in potencial recikliranja) v obliki modularnega sistema. V skladu s tem sistemom modul B6 ustreza porabi energije za obratovanje, tj. porabo energije stavbe.

Meje modula B6 morajo biti določene v skladu z direktivo EPBD, z upoštevanjem standarda SIST EN 15603 (2008), in morajo vključevati energijo porabljeno za ogrevanje, hlajenje, oskrbo gospodinjstev s toplo vodo, prezračevanje, razsvetljavo in delovanje pomožnih sistemov.

Privzet poenostavljen pristop temelji na značilnostih stavbe in vanjo vgrajene opreme. Obravnava količinsko opredelitev potreb po energiji, ki se nanašajo na ogrevanje in hlajenje prostorov ter na preskrbo gospodinjstev s toplo vodo. Potreba po energiji v povezavi z mehanskim prezračevanjem in razsvetljavo ni obravnavana, saj ti dve komponenti nista neposredno povezani z izbranim konstrukcijskim sistemom stavbe. Izračun porabljene energije za ogrevanje in hlajenje sledi mesečni računski metodi na podlagi navidezno stacionarnega stanja, ki je definirana v standardu SIST EN ISO 13790 (2008). Ta standard obravnava vse vidike toplotnih komponent, ki so vključene v toplotne izračune, in določa korelacijske koeficiente za upoštevanje dinamičnih toplotnih vplivov. Energijske potrebe za proizvodnjo sanitarne vode (DHW) so izračunane v skladu s standardom SIST EN 15316-3-1 (2007).

3.3.2 Lokacija stavbe in podnebje

Za izračun energetske potrebe za obratovanje stavbe tekom faze uporabe je pomembno upoštevati najpomembnejše spremenljivke, ki se nanašajo na toplotne značilnosti in energetsko učinkovitost stavbe.



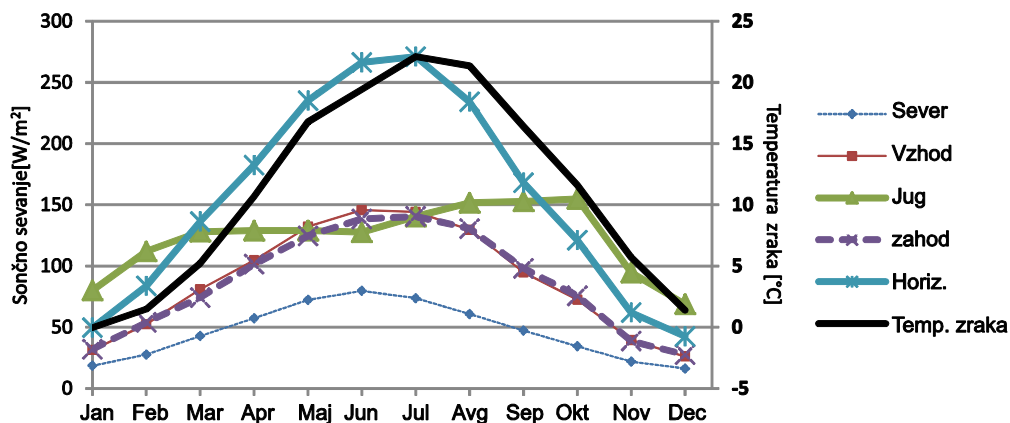
Slika 3.4: Poglavitni dejavniki, ki vplivajo na porabo energije stavbe (Santos in drugi, 2012)

Parametre lahko razvrstimo v naslednje štiri sklope: podnebje, ovoj stavbe, instalacije in naprave ter človeški faktorji, kot je to prikazano na sliki 3.4. Kot je opisano v naslednjih odstavkih, je v privzetem algoritmu vključena večina teh dejavnikov.

Lokacija stavbe je v smislu klimatskih pogojev ključnega pomena v izračunih toplotnih značilnosti stavbe (Santos in drugi 2011, 2012). V zvezi s tem je za izračun energetskih potreb potrebno definirati dva glavna podnebna parametra:

- (i) temperatura zraka;
- (ii) sončno sevanje na površino s podano orientacijo.

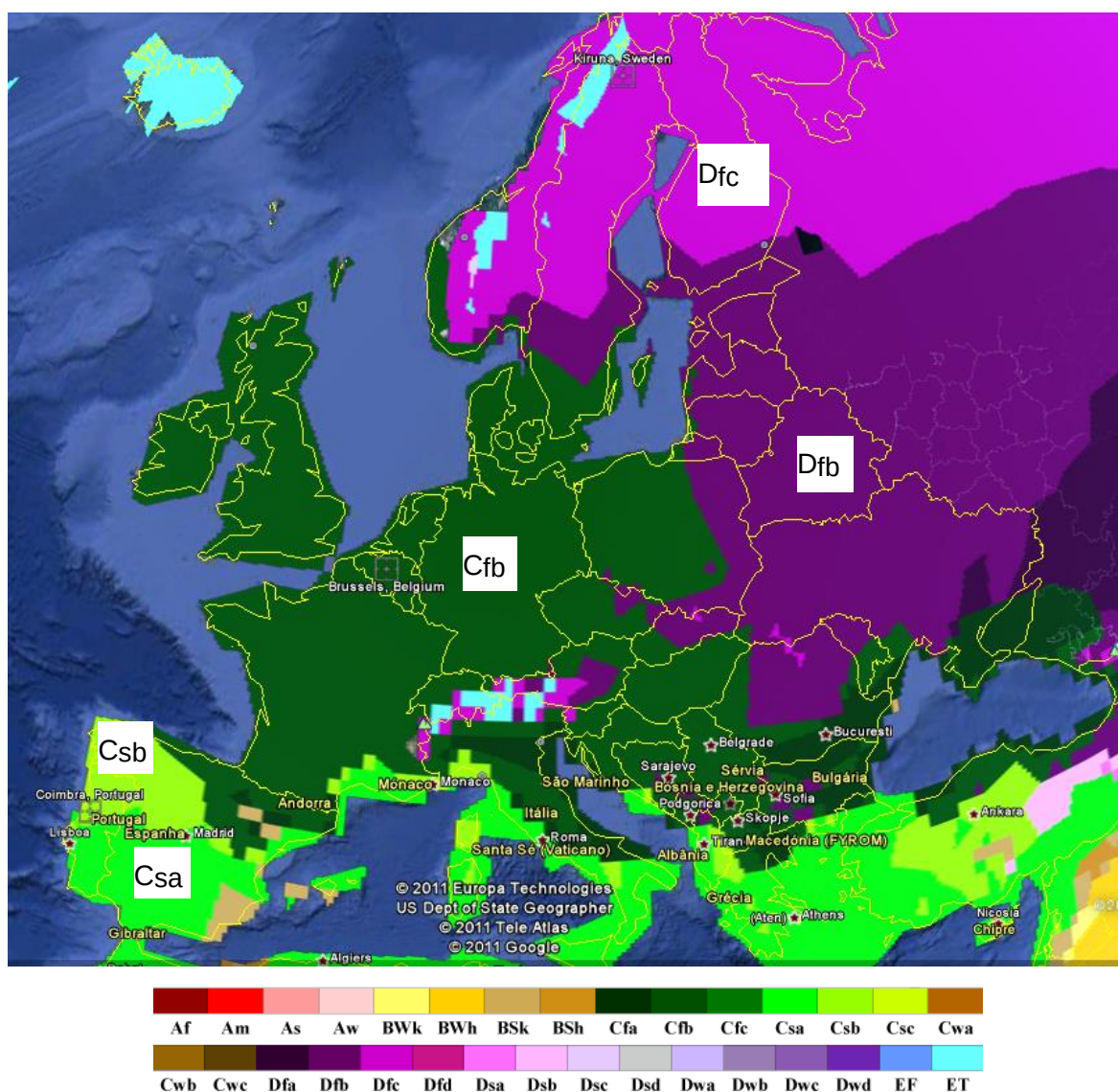
Slika 3.5 podaja grafični prikaz povprečnih mesečnih temperature za mesto Timișoara v Romuniji.



Slika 3.5: Povprečne mesečne temperature zraka in sončno sevanje v odvisnosti od spreminjanja smeri vpadne svetlobe: Timișoara (RO)

Trenutno je metodologija kalibrirana za pet podnebnih območij (razvrščena v skladu s podnebnimi klasifikacijami po Köppen-Geiger): (i) Csa; (ii) Csb; (iii) Cfb; (iv) Dfb; (v) Dfc. Podnebna klasifikacija Köppen-Geiger je eden izmed najbolj razširjenih sistemov klimatskega razvrščanja (Kottek in drugi, 2006). Slika 3.6 prikazuje klasifikacijo Köppen-Geiger za Evropo. Jasno je razviden vpliv zemljepisne širine, višine in bližine obale na podnebje v teh regijah. V območjih z nižjimi zemljepisnimi širinami (pod 45 °N) (južna Evropa, npr. mediteranske države) je podnebje označeno z oznakama Csa in Csb, na primer "C – toplo" skupaj s "s – suho poletje" in "a – vroče poletje" oziroma "b – toplo poletje".

Nad omenjenimi zemljepisnimi širinami (med 45 – 55 °N), v državah vzhodne centralne Evrope, je podnebje kategorizirano z oznako Cfb, tj. "C - toplo", "f – visoka vlažnost" in "b – toplo poletje". V regijah višjih zemljepisnih širin (nad 55 °N), v nordijskih državah Evrope, je podnebje najpogosteje označeno z Dfc, tj., "D - sneg" z "f – visoka vlažnost" in "c – hladno poletje". Zadnji podnebni tip je podoben podnebjem v državah vzhodne centralne Evrope, pri čemer je glavna razlika v hladnejšem poletju nordijskih držav.



podnebje:	padavine:	temperatura:	
A: ekvatorialno	W: puščava	h: vroče in sušno	F: polarno - led
B: suho	S: stepa	k: mrzlo in sušno	T: polarno - tundra
C: tople temperature	f: vlažno	a: vroča poletja	
D: sneg	s: suha poletja	b: topla poletja	
E: polarno	w: suhe zime	c: hladna poletja	
	m: monsunsko	d: ekstremno kontinentalno	

Slika 3.6: Podnebna klasifikacija Köppen-Geiger za območje Evrope (Kottek in drugi, 2006; Google Earth, 2014).

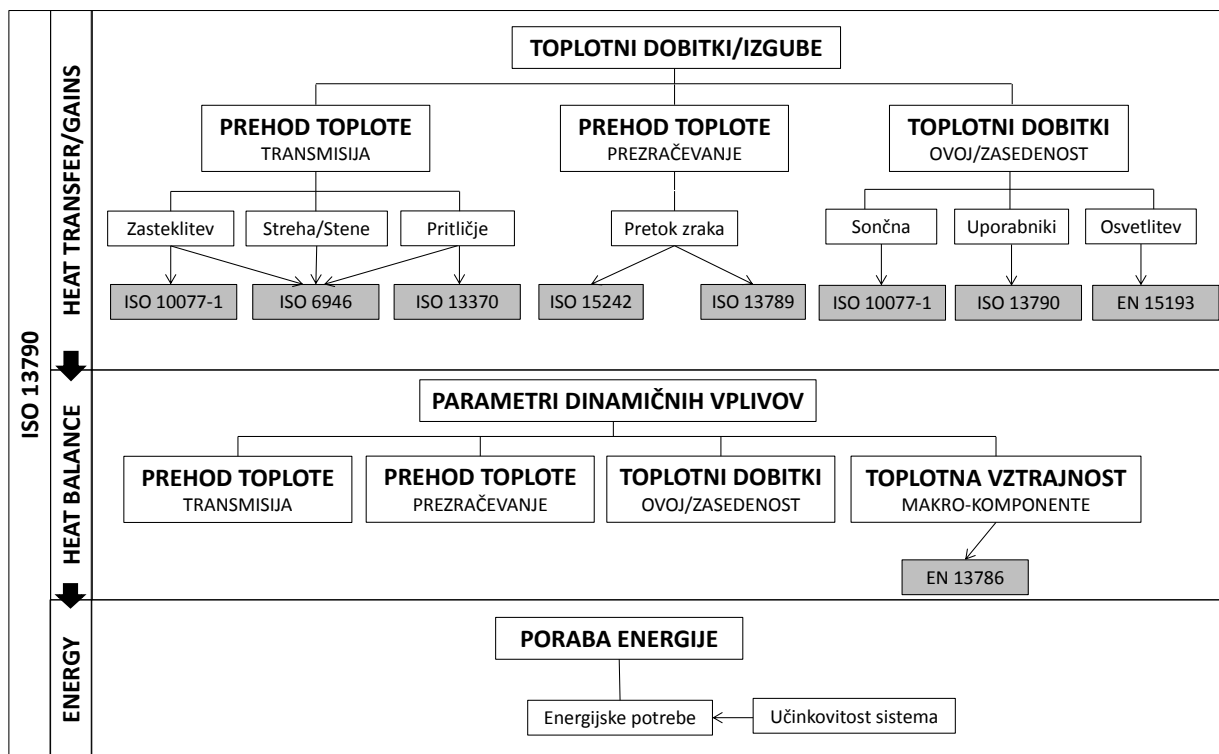
V študiji je uporabljena podatkovna baza z vremenskimi podatki za različna območja v Evropi. V preglednici 3.8 je predstavljen seznam 48 mest, za katera so bili podatki že pridobljeni. Večina teh podnebnih podatkov je bila dobljena iz podatkovne baze programskega orodja za energetske simulacije EnergyPlus (EERE-USDoE, 2014), preostali del pa s strani raziskovalnih partnerjev v projektu.

Preglednica 3.8: Seznam območij s pridobljenimi vremenskimi podatki

mesto	država	podnebna regija	zemljepisna širina
Amsterdam	Nizozemska	Cfb	52
Ankara	Turčija	Csb	39
Arhangelsk	Rusija	Dfc	64
Atene	Grčija	Csa	37
Barcelona	Španija	Csa	41
Berlin	Nemčija	Cfb	52
Bilbao	Španija	Cfb	43
Bratislava	Slovaška	Cfb	48
Bruselj	Belgija	Cfb	50
Bukarešta	Romunija	Cfa	44
Coimbra	Portugalska	Csb	40
Genova	Italija	Csb	44
Gradec	Avstrija	Dfb	47
Hamburg	Nemčija	Cfb	53
Helsinki	Finska	Dfb	60
Istambul	Turčija	Csa	40
Kijev	Ukrajina	Dfb	50
Kiruna	Švedska	Dfc	67
La Korunja	Španija	Csb	43
Lizbona	Portugalska	Csa	38
Ljubljana	Slovenija	Cfb	46
London	Anglija	Cfb	50
Madrid	Španija	Csa	40
Marsej	Francija	Csa	43
Milano	Italija	Cfb	45
Minsk	Belorusija	Dfb	53
Montpellier	Francija	Csa	43
Moskva	Rusija	Dfb	55
Munchen	Nemčija	Cfb	48
Nantes	Francija	Cfb	47
Nica	Francija	Csb	43
Oslo	Norveška	Dfb	59
Ostersund	Švedska	Dfc	63
Pariz	Francija	Cfb	48
Porto	Portugalska	Csb	41
Praga	Češka	Cfb	50
Rim	Italija	Csa	41
Salamanca	Španija	Csb	40
Sanremo	Italija	Csb	43
Sevilja	Španija	Csa	37
Stockholm	Švedska	Dfb	59
Tampere	Finska	Dfc	61
Thesaloniki	Grčija	Cfa	40
Timisoara	Romunija	Cfb	45
Dunaj	Avstrija	Dfb	48
Vigo	Španija	Csb	42
Varšava	Poljska	Dfb	52
Zurich	Švica	Cfb	47

3.3.3 Računske metode za določitev energetskih potreb

Privzet pristop omogoča določitev energetskih potreb na mesečni osnovi za ogrevanje in hlajenje prostorov ter za oskrbo s toplo sanitarno vodo. Za določitev prispevka posamezne komponente vključene v toplotni izračun, je potrebno upoštevati določila več standardov, kot je to za primer ogrevanja in hlajenja prikazano na sliki 3.7.

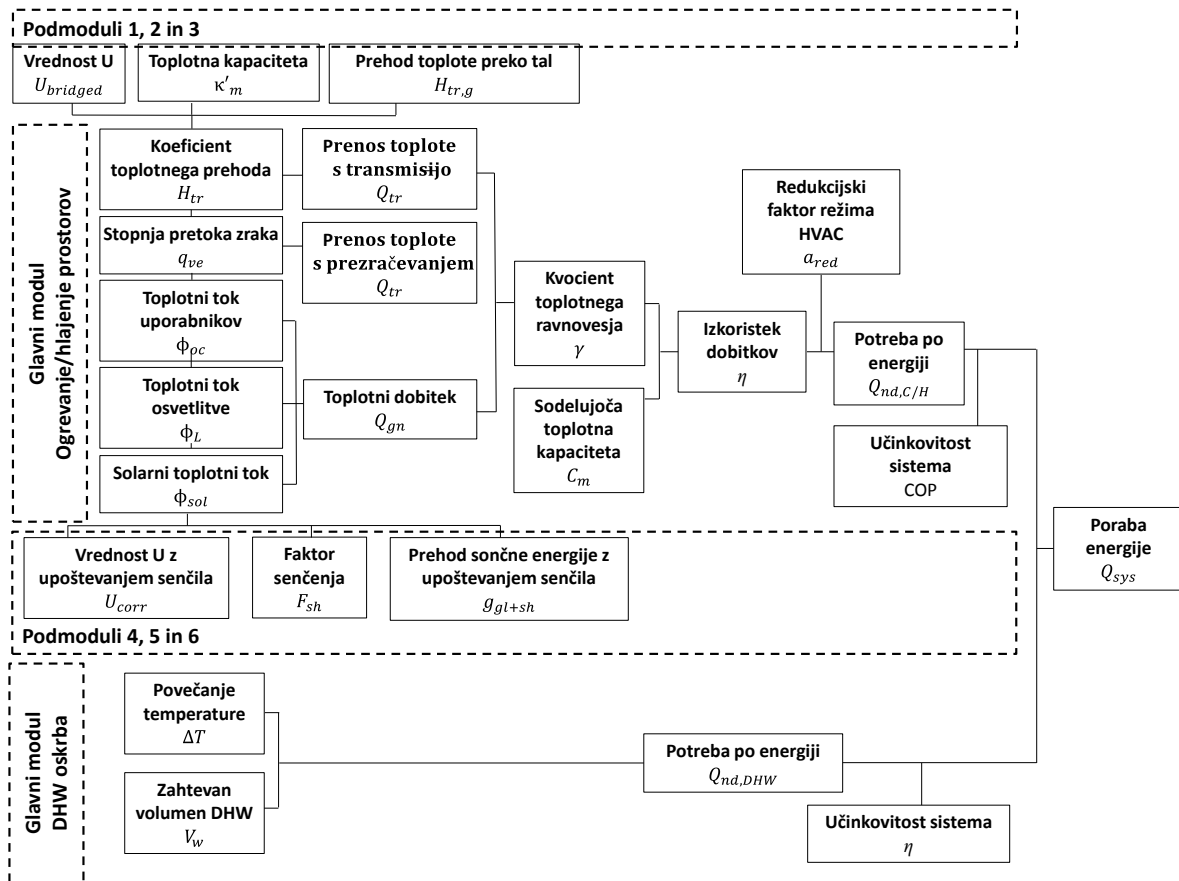


Slika 3.7: Diagram poteka algoritma in referenčnih standardov za prezračevanje prostorov

Kot je prikazano na sliki 3.7, je SIST EN ISO 13790 (2008) glavni uporabljen standard, ki navaja specifične izračune v povezavi z drugimi standardi. Prav tako je pomembno oceniti delež v skupni porabljeni energiji za obratovanje stavbe, ki odpade na proizvodnjo tople sanitarne vode, kar še posebej velja v primeru stanovanjskih stavb. Kot že omenjeno, je temu namenjen standard SIST EN 15316-3-1 (2007).

Shematski prikaz postopka algoritma za izračun energetskih potreb stavbe je prikazan na sliki 3.8.

Podmodula 1 in 2, ki ustrezata vrednosti U in toplotni kapaciteti elementov ovoja stavbe, sta bila za izbrane makro-komponente predhodno že izračunana s strani uporabnika. Podmodul 3 zajema prehod toplote na meji s tlemi. Podmoduli 4, 5 in 6 vsebujejo pod-rutine za izračun učinkov senčil in senčenja zaradi tlorsne oblike objekta. V zvezi s tem pa je potrebno opozoriti, da je v trenutni verziji programa AMECO mogoče obravnavati le tlorske pravokotnih oblik.



Slika 3.8: Diagram poteka izračuna energetske porabe stavbe

3.3.3.1 Energetske potrebe za ogrevanje in hlajenje prostorov

Po SIST EN ISO 13790 (2008), enačbi (3.6) in (3.7) predstavljata osnovo za izračun mesečno (m) potrebne količine energije, ob predpostavki stalnega (cont) delovanja sistemov (za nomenklaturu glej SIST EN ISO 13790):

$$Q_{H,nd,cont,m} = (Q_{H,tr,m} + Q_{H,ve,m}) - \eta_{H,gn,m} \cdot Q_{H,gn,m} \quad (3.6)$$

$$Q_{C,nd,cont,m} = Q_{C,gn,m} - \eta_{C,ls,m} \cdot (Q_{C,tr,m} + Q_{C,ve,m}) \quad (3.7)$$

kjer so:

- $Q_{H,nd}$ potrebna toplotna energija (toplota) za ogrevanje (kWh);
- $Q_{C,nd}$ potrebna energija za hlajenje (kWh);
- Q_{tr} celotna količina prenesene toplote s transmisijo (kWh);
- Q_{ve} celotna količina prenesene toplote zaradi prezračevanja (kWh);
- $\eta_{H,gn}$ izkoristek energijskih dobitkov (-);
- $\eta_{C,ls}$ izkoristek odpadne toplotne energije (toplote) (-).

V sledečih poglavjih je predstavljena metodologija za izračun zgoraj navedenih posameznih prispevkov celotne potrebne energije.

3.3.3.1.1 Prenos toplote s transmisijo

Toplotna/energijska bilanca stavbe vključuje vso prenešeno toploto s transmisijo preko:

- (i) sten;
- (ii) strehe;
- (iii) zunanjih tal (če so prisotna);
- (iv) zasteklitve (steklo + okviri);
- (v) tal na zemljini.

Prenos toplote s transmisijo preko navedenih stavbnih elementov od (i) do (iv) je določen z upoštevanjem mehanizma toplotnega prehoda brez vpliva mase (implicitno). Kot je razvidno iz enačb (3.8) do (3.10) je toplotna izguba oziroma dobiček sorazmeren s temperaturno razliko med notranjim in zunanjim prostorom in koeficientom toplotne prehodnosti elementa. Pri prenosu toplote s transmisijo v tla na zemljini se implicitno upošteva učinek toplotne vztrajnosti tal. To pomeni, da je koeficient toplotne prehodnosti v tem primeru izračunan po drugačnem postopku kot v ostalih primerih, (3.11).

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,sec} - \theta_e) \cdot t \quad (3.8)$$

$$H_{tr,adj} = H_{D,W} + H_{D,R} + H_{D,EF} + H_{D,GI} + H_{GF} \quad (3.9)$$

$$H_D = \sum_i A_i \cdot U_i \quad (3.10)$$

$$H_{GF} = b_{tr,g} \cdot A_i \cdot U_{GF} \quad (3.11)$$

kjer so:

Q_{tr}	celotna količina prenesene toplote s transmisijo (kWh);
$H_{tr,adj}$	skupni koeficient toplotne prehodnosti (W/K);
$\theta_{int,sec,H}$	nastavljena temperatura v prostoru stavbe v primeru režima ogrevanja (°C);
$\theta_{int,sec,C}$	nastavljena temperatura v prostoru stavbe v primeru režima hlajenja (°C);
t	trajanje v mesecih, kot podano v SIST EN ISO 13790 (Ms);
H_D	koeficient toplotne prehodnosti za transmisijo z zunanjim okoljem (W/K), preko: sten, $H_{D,W}$; strehe, $H_{D,R}$; zunanjih tal, $H_{D,EF}$; elementov zasteklitve, $H_{D,GI}$;
H_{GF}	koeficient transmissijskih toplotnih prehodnosti v tla (W/K);
$b_{tr,g}$	korekcijski faktor tal po mesecih (W/K);
A_i	površina i -tega elementa (m ²);
U_i	toplotna prehodnost i -tega elementa (W/(m ² K));
U_{GF}	toplotna prehodnost elementa konstrukcije v stiku s tlemi + tal (W/(m ² K)).

Časovno odvisni parametri upoštevani v izračunih so bili privzeti iz dokumenta SIST EN ISO 13790 in so predstavljeni v preglednici 3.9.

Vsi koeficienti toplotne prehodnosti, razen koeficienta, ki se nanaša na prehod toplote v tla na zemljini, so bili izračunani po SIST EN ISO 6946:2008.

Preglednica 3.9: Časovno odvisne vrednosti računskih parametrov

	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC
<i>m</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
dolžina meseca, <i>t</i> (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
dan v mesecu (dan)	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
št. dni delovanja (dnevi)	23	20	21	22	23	20	23	22	21	23	21	22

Prenos toplote v tla

Kot je prikazano na sliki 3.9 je prenos toplote v tla obravnavan različno glede na globino in izvedbo pritlične etaže oziroma podkletitve.



Slika 3.9: Konstrukcijske izvedbe podkletitve oziroma pritličja

Določitev prenosa toplote v tla je opravljena z upoštevanjem navodil v SIST EN ISO 13370:2008. Količina prenesene toplote v tla (oziroma iz tal) se določi s prilagoditvijo faktorja toplotne prehodnosti, s čimer se upošteva dodatna izolativnost tal. Prilagojen koeficient toplotne prehodnosti zajema tudi mesečni toplotni tok, ki upošteva učinka toplotne vztrajnosti tal. Privzete toplotne lastnosti tal so predstavljene v preglednici 3.10.

Preglednica 3.10: Toplotne lastnosti tal (ISO 13370:2007)

	toplotna prevodnost λ [W/(m·K)]	toplotna kapaciteta na volumen ρ_c [MJ/(m ³ ·K)]
glina ali mulj	1,5	3,00
pesek ali gramoz	2,0	2,00
homogena skala	3,5	2,00
privzete vrednosti	2,0	2,00

Prenos toplote skozi okna

V algoritmu je podana baza podatkov s povprečnimi vrednostmi optičnih in toplotnih lastnosti za več različnih tipov oken (SIST EN 15193), podanimi v preglednici 3.11, kjer je $g_{gl,n}$ prepustnost za sončno energijo v primeru sevanja pravokotno na zasteklitev in U_{Gl} toplotna prehodnost okna.

Prehod toplote skozi okna je izračunan z enačbo (3.10). Ob tem je smiselno upoštevati tudi pozitivne učinke senčil, ki se uporabljajo preko noči. Skladno s tem je potrebno modificirati pripadajoči koeficient toplotne prehodnosti. Korigirana toplotna prehodnost, $U_{Gl,corr}$ v W/(m² K), je določena kot:

$$U_{Gl,corr} = U_{Gl+shut} \cdot f_{shut} + U_{Gl} \cdot (1 - f_{shut}) \quad (3.12)$$

kjer so:

$U_{Gl+shut}$ toplotna prehodnost okna in senčila skupaj (W/(m² K));

- f_{shut} brezdimenzijski del razlike v akumulirani temperaturi za določeno obdobje ob uporabi senčila;
- U_{Gl} toplotna prehodnost okna brez rolete (senčila).

Preglednica 3.11: Privzete vrednosti optičnih in toplotnih lastnosti oken

tip zasteklitve	$g_{gl,n}$	U_{Gl}
enojna zasteklitev	0,87	5,8
dvojna zasteklitev	0,78	2,9
dvojna zasteklitev z nizko emisivnostjo 1	0,72	1,7
dvojna zasteklitev z nizko emisivnostjo 2	0,67	1,4
dvojna zasteklitev z nizko emisivnostjo 3	0,65	1,2
trojna zasteklitev	0,7	2,0
trojna zasteklitev z nizko emisivnostjo 1	0,5	0,8
trojna zasteklitev z nizko emisivnostjo 2	0,5	0,6

Toplotna prehodnost okna z aktiviranim senčilom, $U_{Gl+shut}$ se izračuna po sledeči enačbi:

$$U_{Gl+shut} = \frac{1}{\frac{1}{U_{Gl}} + R_{sh} + \Delta R} \quad (3.13)$$

kjer sta:

- R_{sh} toplotni upornost senčila ($m^2 \text{ K/W}$);
- ΔR dodatna toplotna upornost za določeno zračno prepustnost rolete ($m^2 \text{ K/W}$).

Privzete vrednosti za R_{sh} in ΔR so v algoritmu upoštevane po SIST EN ISO 10077-1 (2007). Kot je predstavljeno v preglednici 3.12, so te vrednosti odvisne od vrste materiala senčila in njegove zračne prepustnosti.

Preglednica 3.12: Toplotna upornost okenskih senčil

tip senčila	R_{sh} [$m^2 \cdot K/W$]	zračna prepustnost		
		visoka / zelo visoka	zmerna	nizka
		ΔR [$m^2 \cdot K/W$]		
zunanje aluminijaste rolete (brez izolacije)	0,01	0,00	0,12	0,00
zunanje neprosojno leseno senčilo (brez izolacije)	0,10	0,00	0,16	0,00
zunanje lesene rolete (brez izolacije)	0,10	0,00	0,16	0,00
zunanje plastične rolete (brez izolacije)	0,10	0,00	0,16	0,00
zunanje lesene žaluzije	0,01	0,09	0,00	0,00
zunanje kovinske žaluzije	0,01	0,09	0,00	0,00
zunanje neprosojno rolo	0,01	0,09	0,00	0,00
zunanje prosojno rolo	0,01	0,09	0,00	0,00
notranje senčilo	0,01	0,00	0,00	0,24
notranje neprosojne zavese	0,00	0,00	0,00	0,00
notranje prosojne zavese	0,00	0,00	0,00	0,00
notranje neprosojno leseno senčilo	0,10	0,00	0,00	0,31
plastične rolete s polnilom iz pene	0,15	0,00	0,19	0,00
lesena polkna, debeline od 25 mm do 30 mm	0,20	0,00	0,22	0,00

V programu upoštevan brezdimenzijski del razlike v akumulirani temperaturi za določeno obdobje ob uporabi senčil f_{shut} je definiran na postavki urnih vrednosti. Pri tem je upoštevano, da le-te predstavljajo inačico nočnemu časovnemu intervalu (nočna zaščita).

3.3.3.1.2 Prenos toplote s prezračevanjem

Energetsko učinkovitost stavbe lahko optimiziramo s tehnikami pasivnega hlajenja / ogrevanja tako, da ustrezno nastavimo pogoje prezračevanja. V zimskem času je zaželen zmanjšan pretok dovedenega zraka z namenom zmanjšanja toplotnih izgub. Nasprotno je v poletnem času povečana izmenjava zraka v prostorih koristnejša, če je le temperatura zunanega zraka v korist pasivni tehniki prezračevanja. Zato algoritem omogoča določitev različnih vrednosti pretoka zraka za obe situaciji prezračevanja, ogrevanja in hlajenja.

Metodologija za določitev prenosa toplote s prezračevanjem je predpisana v standardu SIST EN ISO 13790:2008, točka 9.3, in je predstavljena z naslednjimi enačbami:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} \cdot (\theta_{int,sec} - \theta_e) \cdot t \quad (3.14)$$

$$H_{ve,adj} = \rho_a \cdot c_a \cdot \left(\sum_k b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,mn} \right) \quad (3.15)$$

$$q_{ve,k,mn} = f_{ve,t,k} \cdot q_{ve,k} \quad (3.16)$$

kjer so:

- $\rho_a \cdot c_a$ toplotna kapaciteta na volumen zraka (J/(m³ K));
- $q_{ve,k,mn}$ časovno povprečje zračnega pretoka k - tega elementa (m³/s);
- $b_{ve,k}$ faktor za nastavitve temperature k - tega prezračevalnega elementa (-).

Vrednost faktorja nastavitve temperature, $b_{ve,k}$, je enaka 1, če sistem za predgrevanje (npr. rekuperatorja) ni prisoten. Če je stavba opremljena z napravo za rekuperacijo toplote pa je faktor $b_{ve,k}$ določen z naslednjo enačbo:

$$b_{ve,k} = (1 - f_{ve,frac,k} \cdot \eta_{hru}) \quad (3.17)$$

kjer sta:

- $f_{ve,frac,k}$ delež zračnega toka k – tega prezračevalnega elementa, ki gre skozi napravo za rekuperacijo toplote;
- η_{hru} učinkovitost rekuperatorja.

3.3.3.1.3 Notranji toplotni viri

Toplota, ki prihaja iz zasedenosti prostorov in delovanja naprav v stavbi, je opredeljena in izračunana kot notranji dobitok toplote in predstavlja pomemben delež v toplotni bilanci stavbe. Algoritem upošteva bodisi privzete vrednosti podatkov bodisi vrednosti podane s strani uporabnika (povzete iz SIST EN ISO 13790:2008), ki so pridobljene na podlagi tedenskega urnika zasedenosti prostorov in pripadajočem toplotnem toku. Enačba za izračun toplotnih dobitkov na račun notranjih virov toplote je sledeča:

$$Q_{int} = \left(\sum_k \Phi_{int,mn,k} \right) \cdot t + \left(\sum_k (1 - b_{tr,l}) \cdot \Phi_{int,mn,u,l} \right) \cdot t \quad (3.18)$$

kjer so:

- $\Phi_{int,mn,k}$ časovno povprečje toplotnega toka iz notranjega k -tega vira (W);
- $\Phi_{int,mn,u,l}$ časovno povprečje toplotnega toka iz notranjega vira l v sosednji prostor, ki ni prezračevan (W);

$b_{tr,l}$ redukcijski faktor za sosednji prostor, ki ni prezračevan;
 t dolžina meseca (Ms).

viri notranjih toplotnih tokov v stavbi so lahko: i) uporabniki; ii) naprave. V preglednici 3.13 so predstavljene referenčne vrednosti toplotnega toka, ki izhaja iz uporabnikov in aparatov.

Preglednica 3.13: Toplotni tok od uporabnikov in naprav v residenčnih stavbah: (seznam iz SIST EN ISO 13790:2008)

dnevi	ure	dnevna soba s kuhinjo ($\Phi_{int,oc} + \Phi_{int,A}$)/ A_f [W/m ²]	ostali prezračevani prostori (npr. spalnice) ($\Phi_{int,oc} + \Phi_{int,A}$)/ A_f [W/m ²]
ponedeljek - petek	07:00 do 17:00	8,0	1,0
	17:00 do 23:00	20,0	1,0
	23:00 do 07:00	2,0	6,0
sobota in nedelja	07:00 do 17:00	8,0	2,0
	17:00 do 23:00	20,0	4,0
	23:00 do 07:00	2,0	6,0

3.3.3.1.4 Dobitki sončnega obsevanja

Ta vrsta toplotnih dobitkov je druga večja spremenljivka v enačbi toplotne bilance stavbe. Splošna enačba za njen izračun je:

$$Q_{sol} = \left(\sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right) \cdot t + \left(\sum_k (1 - b_{tr,l}) \cdot \Phi_{sol,mn,\mu,l} \right) \cdot t \quad (3.19)$$

kjer so:

$\Phi_{sol,mn,k}$ časovno povprečje toplotnega toka iz k -tega vira sončne toplote (W);
 $\Phi_{sol,mn,\mu,l}$ časovno povprečje toplotnega toka iz vira sončne toplote l v sosednji prostor, ki ni prezračevan (W);
 $b_{tr,l}$ redukcijski faktor za sosednji prostor, ki ni prezračevan;
 t dolžina meseca (Ms).

Pri tem je potrebno izračunati efektivno zbiralno površino posameznega elementa, ki je izpostavljen sončnemu sevanju. Metode predstavljene v SIST EN ISO 13790 (2008) omogočajo upoštevanje učinkov senčil, senčenja zaradi stavbe same in drugih podnebno odvisnih pojavov. To je obravnavano v sledečih odstavkih.

Toplotni tok iz sončnih dobitkov je določen po sledeči enačbi:

$$\Phi_{sol,mn,k} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} - F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k} \quad (3.20)$$

kjer so:

$F_{sh,ob,k}$ redukcijski faktor senčenja za zunanje ovire (-);
 $A_{sol,k}$ efektivna zbiralna površina k -tega elementa (-);
 $I_{sol,k}$ vpadno sončno sevanje na kvadratni meter zbiralne površine k (W/m²);
 $F_{r,k}$ faktor oblike med k -tim elementom stavbe in nebom (-);
 $\Phi_{r,k}$ dodatni toplotni tok zaradi toplotnega sevanja k -tega elementa nazaj v nebo k (W/m²).

Redukcijski faktor senčenja za zunanje ovire $F_{sh,ob,k}$ v trenutni verziji programa AMECO ni upoštevan. Efektivna zbiralna površina sončnega sevanja zasteklitvenih elementov stavbe je določena po sledeči enačbi:

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p} \quad (3.21)$$

kjer so:

- $F_{sh,gl}$ redukcijski faktor senčenja za scenarij s premičnimi senčili (-);
- g_{gl} prepustnost celotne energije sončnega sevanja prosojnega dela elementa (-);
- F_F delež površine okvirja okna (-);
- A_{wp} skupna projicirana površina okna (m²).

Pri tem je mogoče, npr. med sezono hlajenja prostorov, upoštevati pozitiven učinek okenskih senčil. V tem primeru je pri tej določbi v zvezi s senčenjem potrebno določiti redukcijski faktor senčenja v skladu s sledečo enačbo:

$$F_{sh,gl} = \frac{(1 - f_{sh,with}) \cdot g_{gl} + f_{sh,with} \cdot g_{gl+sh}}{g_{gl}} \quad (3.22)$$

kjer so:

- g_{gl+sh} prepustnost celotne energije sončnega sevanja okna z aktiviranim senčilom;
- $f_{sh,with}$ uteženi časovni interval z aktiviranim senčilom.

Privzete vrednosti za prepustnost energije sončnega sevanja okna z uporabljenim senčilom g_{gl+sh} so predstavljene v preglednici 3.14 in so bile pridobljene iz RCCTE (2006).

Preglednica 3.14: Prepustnost sončne energije okna z aktiviranim senčilom g_{gl+sh}

tip senčila	barva senčila		
	svetla	vmesna	temna
zunanje neprosojno leseno senčilo (brez izolacije)	0,03	0,05	0,06
zunanje lesene rolete (brez izolacije)	0,04	0,05	0,07
zunanje aluminijaste rolete (brez izolacije)	0,04	0,07	0,09
zunanje plastične rolete (brez izolacije)	0,04	0,07	0,09
zunanje lesene žaluzije	0,08	0,08	0,08
zunanje kovinske žaluzije	0,09	0,09	0,09
zunanje neprosojno rolo	0,04	0,06	0,08
zunanje prosojno rolo	0,16	0,18	0,2
notranje senčilo	0,47	0,59	0,69
notranje neprosojne zavese	0,37	0,46	0,55
notranje prosojne zavese	0,39	0,48	0,58
notranje neprosojno leseno senčilo	0,35	0,46	0,58
zunanje plastične rolete (z izolacijo)	0,04	0,07	0,09
lesena polkna, debeline od 25 mm do 30 mm	0,04	0,05	0,07

Uteženi časovni interval z aktiviranim senčilom $f_{sh,with}$ je izračunan za vsako orientacijo posebej in temelji na vrednostih sončnega sevanja za posamezne ure dneva (določen je z uporabo simulacijskega programa *EnergyPlus*, ki za izračun sončnega sevanja uporablja Perezov računski model). Predstavlja časovni interval, ko je sončno sevanje za določeno orientacijo višje od nastavljene vrednosti.

V primeru okna z nerazpršilnim steklom in brez uporabe senčil se prepustnost celotne energije sončnega sevanja g_{gl} izračuna s sledečo enačbo:

$$g_{gl} = g_{gl,n} \cdot F_w \quad (3.23)$$

kjer sta:

- F_w korekcijski faktor za nerazpršilno steklo (-);
 $g_{gl,n}$ prepustnost sončne energije v primeru pravokotnega sevanja na zasteklitev (angl. Solar heat gain coefficient - SHGC) (-).

V primeru, ko so senčila uporabljena v oknih ali ko je uporabljeno razpršilno steklo, je potrebno izračunati časovno povprečje prepustnosti sončnega sevanja z upoštevanjem uteži v izračunu vsote direktnega in difuzijskega dela sončnega sevanja. Ta parameter je izračunan na mesečni osnovi v skladu z enačbo (3.24).

$$g_{gl} = a_{gl} \cdot g_{gl,alt} + (1 - a_{gl}) \cdot g_{gl,dif} \quad (3.24)$$

$$alt_{gl} = \frac{\sum_1^n \alpha_i \cdot I_{dir,i}}{\sum_1^n I_{dir,i}} \quad (3.25)$$

$$a_{gl} = \frac{\sum_1^n I_{dir,i}}{\sum_1^n I_{sol,i}} \quad (3.26)$$

kjer so:

- a_{gl} utežni faktor odvisen od položaja okna (orientacija, nagib), podnebja in letnega časa (-);
 $g_{gl,alt}$ prepustnost energije sončnega sevanja za sončno sevanje s podanim višinskim kotom alt_{gl} ob predpostavljeni poziciji okna (orientacija, nagib), podnebja in letnega časa (-);
 $g_{gl,dif}$ prepustnost energije sončnega sevanja za izotropno difuzno sončno sevanje;
 $I_{dir,i}$ neposredno povprečno sončno sevanje v i -ti uri (W/m^2);
 I_{sol} celotno povprečno sončno sevanje v i -ti uri (W/m^2);
 α_i vpadni kot sončnega sevanja ($^\circ$);
 n število ur v mesecu.

Vrednosti za neposredno in celotno sončno sevanje ter za vpadni kot sončnega sevanja $I_{dir,i}$, I_{sol} , in α_i so bile določene z uporabo simulacijskega programa *EnergyPlus*, ki uporablja Perezov računski model.

Delež površine okvirja okna F_F je izračunan po standardu SIST EN ISO 10077-1 (2007). Pri tem lahko uporabi vrednost 0,2 oziroma 0,3, s katero dosežemo največjo prepustnost okna. Privzeta vrednost v primeru prevladujoče situacije ogrevanja je 0,3 (SIST EN ISO 13790, opomba pod točko 11.4.5).

Skupna projicirana površina okna A_{wp} vključuje steklo in okenski okvir, saj upoštevane toplotne karakteristike okna v programu zajemajo celoten element okna (steklo in okvir). Ta metodologija je tudi priporočena v standardu SIST EN ISO 13789:2008, dodatek B.

Efektivna zbiralna površina sončnega sevanja neprosojnega elementa se izračuna s sledečo enačbo:

$$A_{sol} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \quad (3.27)$$

kjer so:

- $\alpha_{s,c}$ brezdimenzijski koeficient absorpcije sončnega sevanja neprosojnega elementa;
- R_{se} koeficient toplotne upornosti zunanje površine neprosojnega elementa, pridobljen iz SIST EN ISO 6946:2008 ($m^2 \cdot K/W$);
- U_c toplotna prehodnost neprosojnega dela določena po SIST EN ISO 6946:2008 ($W/(m^2 \cdot K)$);
- A_c projecirana (na ravnino vzporedno površini) površina neprosojnega elementa (m^2);

Brezdimenzijski koeficient absorpcije sončnega sevanja je odvisen od barve zunanje površine neprosojnega elementa, kot je to predstavljeno v preglednici 3.15 (RCCTE, 2006).

Preglednica 3.15: Koeficient absorpcije sončnega sevanja za neprosojni element (RCCTE, 2006)

barva	$\alpha_{s,c}$
svetla	0,3
vmes	0,5
temna	0,8

Vpadno sončno sevanje $I_{sol,k}$ predstavlja povprečno vrednost za časovni korak v obravnavanem mesecu. Očitno je, da je ta parameter odvisen od podnebja, zemljepisne širine in položaja elementa (orientacija, nagib).

Upoštevana vrednost faktorja oblike med obravnavanim elementom in nebom $F_{r,k}$ je 1,0 za nezasenčene horizontalne elemente in 0,5 za nezasenčene vertikalne elemente.

Toplotno sevanje v nebo $\Phi_{r,k}$ se izračuna v okviru sončnih dobitkov. V tem primeru gre za prenos toplote s sevanjem zaradi temperaturne razlike med površino elementa (ob predpostavki, da je le-ta enaka zunanji temperaturi) in nebom. Prenos toplote z omenjenim pojavom se izračuna z enačbo (3.28):

$$\Phi_{r,k} = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er} \quad (3.28)$$

kjer sta:

- h_r koeficient toplotne prehodnosti za zunanje sevanje ($W/(m^2 \cdot K)$);
- $\Delta\theta_{er}$ povprečna razlika med temperaturo zunanjega zraka in navidezno oziroma sevalno temperature neba ($^{\circ}C$).

Standard SIST EN ISO 13790:2008 predpostavi vrednost koeficienta toplotne prehodnosti za zunanje sevanje h_r ($W/(m^2 \cdot K)$) enako $5 \cdot \varepsilon$ (kjer je ε emisivnost materiala), kar ustreza povprečni temperaturi $10^{\circ}C$ površine elementa in neba.

Po SIST EN ISO 13790 (točka 11.4.6) se lahko za povprečno razliko med temperaturo zunanjega zraka in navidezno temperaturo neba $\Delta\theta_{er}$ privzame $9^{\circ}C$ v sub-polarnih območjih, $13^{\circ}C$ v tropih in $11^{\circ}C$ za vmesna območja.

3.3.3.1.5 Parametri za upoštevanje dinamičnih učinkov

Za sistem ogrevanja, je izkoristek toplotnih dobitkov $\eta_{H,gn,m}$ določen z naslednjimi enačbami:

$$\text{Če } \gamma_H > 0 \text{ in } \gamma_H \neq 1, \text{ potem } \eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} \quad (3.29)$$

$$\text{Če } \gamma_H = 1, \text{ potem } \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1} \quad (3.30)$$

$$\text{Če } \gamma_H < 0, \text{ potem } \eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H} \quad (3.31)$$

kjer so:

- γ_H kvocient toplotnega ravnovesja $Q_{H,gn}/Q_{H,ht}$;
- a_H brezdimenzijski parameter $a_{H,0} + \tau/\tau_{H,0}$;
- τ časovna konstanta cone v stavbi ($\tau = C_m/H$) in upošteva toplotno vztrajnost stavbe in prenos toplote s transmisijo in prezračevanjem;
- $a_{H,0}, \tau_{H,0}$ brezdimenzijska parametra z vrednostjo 1 in 15 (SIST EN ISO 13790).

Mesečni izkoristek energijskih dobitkov za sistem hlajenja je določen z eno od sledečih enačb:

$$\text{Če } \gamma_C > 0 \text{ in } \gamma_C \neq 1, \text{ potem } \eta_{C,ls} = \frac{1 - \gamma_C^{-a_C}}{1 - \gamma_C^{-(a_C+1)}} \quad (3.32)$$

$$\text{Če } \gamma_C = 1, \text{ potem } \eta_{C,ls} = \frac{a_C}{a_C + 1} \quad (3.33)$$

$$\text{Če } \gamma_C < 0, \text{ potem } \eta_{C,ls} = 1 \quad (3.34)$$

Parametri, ki nastopajo v enačbah za določitev mesečnega izkoristka energijskih dobitkov so podobni tistim, ki iz enačb povezanih s scenarijem hlajenja. Razlika je le v vrednostih povezanih s scenarijem hlajenja: privzeti vrednosti brezdimenzijskih parametrov $a_{C,0}$ in $\tau_{C,0}$ sta enaki 1 in 15 (po SIST EN ISO 13790).

Toplotna masa stavbe je v izračunih upoštevana s časovno konstanto cone stavbe τ izraženo v urah. Vrednost parametra τ je določena kot:

$$\tau = \frac{C_m}{3600 \cdot (H_{tr,adj} + H_{ve,adj})} \quad (3.35)$$

kjer so:

- C_m toplotna kapaciteta stavbe oziroma cone stavbe (J/K);
- $H_{tr,adj}$ ustrezen faktor celotne toplotne prehodnosti določen z enačbo (3.9);
- $H_{ve,adj}$ ustrezen faktor celotne toplotne prehodnosti določen z enačbo (3.15).

Sodelujoča toplotna kapaciteta stavbe C_m (J/K), je izračunana kot vsota toplotnih kapacitet vseh konstrukcijskih elementov stavbe v neposrednem toplotnem stiku z notranjim zrakom v stavbi (SIST EN ISO 13790) in je določena kot sledi:

$$C_m = \sum_j k_j \cdot A_j \quad (3.36)$$

kjer sta:

- k_j toplotna kapaciteta na površino j -tega konstrukcijskega elementa stavbe (J/K.m²);
 A_j površina j -tega konstrukcijskega elementa stavbe (m²).

Toplotna kapaciteta na površino k_j je bila izračunana za vsako makro-komponento posebej z upoštevanjem smernic standarda SIST EN ISO 13786:2008, dodatek A, ki za to oceno predvideva uporabo poenostavljene metode.

SIST EN ISO 13790 podaja privzete vrednosti toplotne kapacitete stavbe na kvadratni meter glede na razred stavne. Za hitrejšo določitev, za posamezen razred stavbe. V preglednici 3.16 so te vrednosti prikazane za mesečno in sezonsko metodo izračuna.

Preglednica 3.16: Privzete vrednosti notranje toplotne kapacitete (SIST EN ISO 13790, 2008)

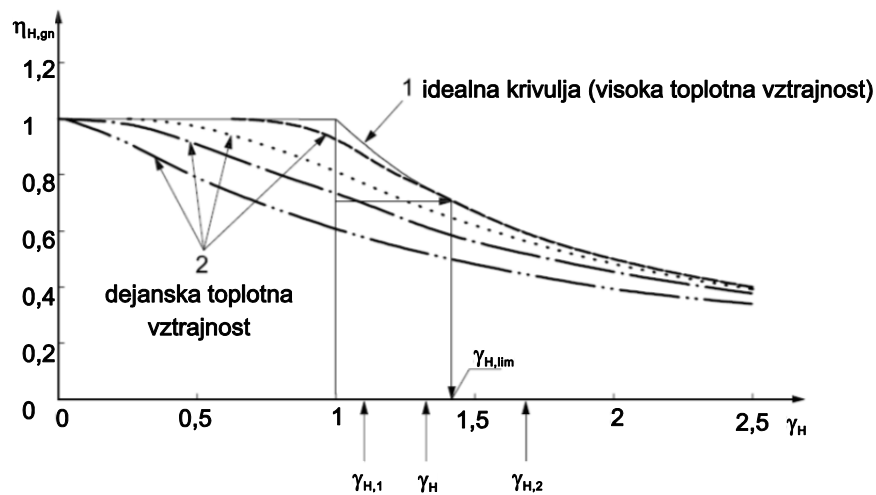
razred stavb	C_m [J/K]
zelo lahke	80000 A_f
lahke	110000 A_f
srednje težke	165000 A_f
težke	260000 A_f
zelo težke	370000 A_f
A_f	površina tal

Dolžina obdobja ogrevanja in hlajenja v posameznih mesecih

Za oceno potreb po energiji za hlajenje in ogrevanje za posamezni mesec v letu standard SIST EN ISO 13790 določa dve računski metodi, ki temeljita na količniku med toplotno bilanco stavbe in brezdimenzijskima parametroma a_c in a_H . Čeprav omenjeni standard predlaga dve računski metodi, je bila v tem primeru uporabljena le detajlnejša (točka 7.4.1.1 – metoda b), saj jo je možno podati v programskem orodju. Uporabljena metoda je predstavljena v nadaljevanju.

Režim ogrevanja:

Ocena časa v posameznem mesecu, ko je prisotna potreba po energiji za ogrevanje prostora, se začne z izračunom idealnega količnika toplotne bilance $\gamma_{H,lim}$, ki ustreza idealnemu izkoristku energijskih dobitkov $\eta_{H,gn}$, ki predstavlja nično potrebo po energiji za ogrevanje prostora. Predpostavka temelji na primeru idealne stavbe z neskončno toplotno vztrajnostjo, kjer je $\gamma_{H,lim} = 1,0$ in od tod $\eta_{H,gn} = 1,0$. Dejansko pa zaradi omejene toplotne vztrajnosti stavbe, vsi toplotni dobitki niso izkoriščeni za ogrevanje prostora in ne prispevajo k zvišanju temperature v prostoru na raven bivanjsko ugodne temperature (zaradi pregrevanja). Potemtakem je dejanski faktor izkoristka energijskih dobitkov nižji, kar pomeni, da je potrebno zagotoviti več dobitkov za doseg ravnotežja v enačbi za energijsko bilanco stavbe (zagotovitev končne nične potrebe po energiji za doseganje projektne notranje temperature). Ta utemeljitev sicer ni veljavna ob upoštevanju prenosa toplote (če je količnik toplotne bilance manjši od 1, so toplotne izgube večje od toplotnih dobitkov; ker vrednost faktorja izkoristka toplotnih dobitkov na more biti večja od 1, stanje z nično potrebo po energiji ni mogoče, zato tudi ni mogoče določiti optimalnega količnika toplotne bilance z vrednostjo nižjo od 1,0). Omenjena utemeljitev je grafično prikazana na sliki 3.10.



Slika 3.10: Ustrezni parametri za določitev obdobja v posameznem mesecu s potrebo po energiji za hlajenje oziroma ogrevanje (SISdsfhdT EN ISO 13790)

Optimalna vrednost količnika toplotne bilance je določena kot:

$$\gamma_{H,\lim} = \frac{(a_H + 1)}{a_H} \quad (3.37)$$

Za določitev dela meseca s potrebo po energiji za ogrevanje je potrebno izračunati vrednost γ_H na začetku in na koncu meseca. Povprečna vrednost γ_H na začetku meseca je dobljena na podlagi povprečja γ_H za obravnavan mesec in pretekli mesec. Povprečna vrednost γ_H na koncu meseca je izračunana kot povprečje γ_H za obravnavan mesec in sledeči mesec. Poleg tega sta potrebna dva "nova" parametra: $\gamma_{H,1}$ in $\gamma_{H,2}$, kjer prvi predstavlja najmanjšo drugi pa največjo vrednost obeh pred tem določenih vrednosti γ_H . Parametra $\gamma_{H,1}$ in $\gamma_{H,2}$ predstavljata vrednost količnika toplotne bilance na začetku in na koncu meseca in sta določena kot:

$$\text{Če } \gamma_{H,2} < \gamma_{H,\lim}, \text{ potem } f_H = 1 \quad (3.38)$$

$$\text{Če } \gamma_{H,1} > \gamma_{H,\lim}, \text{ potem } f_H = 0 \quad (3.39)$$

Enačba (3.39) sporoča, da energija za ogrevanje prostora ni potrebna, če je najnižja vrednost količnika toplotne bilance na začetku in koncu obravnavanega meseca večja od optimalne vrednosti pomeni. V primeru, da nobeden izmed zgornjih dveh pogojev ni izpolnjen, velja sledeče:

$$\text{Če } \gamma_H > \gamma_{H,\lim}, \text{ potem } f_H = 0,5 \cdot \frac{\gamma_{H,\lim} - \gamma_{H,1}}{\gamma_H - \gamma_{H,1}} \quad (3.40)$$

$$\text{Če } \gamma_H \leq \gamma_{H,\lim}, \text{ potem } f_H = 0,5 + 0,5 \cdot \frac{\gamma_{H,\lim} - \gamma_H}{\gamma_{H,2} - \gamma_H} \quad (3.41)$$

Zgornji enačbi sledita enaki logiki kot enačbi (3.38) in (3.39), s to razliko, da se v primeru enačb (3.40) in (3.41) γ_H nanaša na povprečno mesečno vrednost in ne na vrednost na začetku oziroma na koncu meseca.

Dolžina sezone ogrevanja se lahko določi tudi kot vsota vrednosti f_H določenih za posamezne mesece:

$$L_H = \sum_{m=1}^{12} f_{H,m} \quad (3.42)$$

Režim hlajenja:

V primeru hlajenja lahko uporabimo enake sklepe in zaključke kot pri režimu ogrevanja, zato za režim hlajenja niso podana nobena dodatna pojasnila. Del meseca s potrebo po energiji za hlajenje je določen z upoštevanjem inverza optimalne vrednosti količnika toplotne bilance $(1/\gamma_C)_{lim}$. Ta parameter je določen kot:

$$(1/\gamma_C)_{lim} = (a_C + 1) / a_C \quad (3.43)$$

Mejna parametra $(1/\gamma_C)_1$ in $(1/\gamma_C)_2$ sta nato določena z enačbama (3.44) in (3.45):

$$\text{Če } (1/\gamma_C)_2 < (1/\gamma_C)_{lim}, \text{ potem } f_C = 1 \quad (3.44)$$

$$\text{Če } (1/\gamma_C)_1 > (1/\gamma_C)_{lim}, \text{ potem } f_C = 0 \quad (3.45)$$

Podobno kot pri ogrevanju, v primeru, da nobeden izmed zgornjih dveh pogojev ni izpolnjen, velja sledeče:

$$\text{Če } (1/\gamma_C) > (1/\gamma_C)_{lim}, \text{ potem } f_C = 0,5 \cdot \frac{(1/\gamma_C)_{lim} - (1/\gamma_C)_1}{(1/\gamma_C) - (1/\gamma_C)_1} \quad (3.46)$$

$$\text{Če } (1/\gamma_C) \leq (1/\gamma_C)_{lim}, \text{ potem } f_C = 0,5 + 0,5 \cdot \frac{(1/\gamma_C)_{lim} - (1/\gamma_C)}{(1/\gamma_C)_2 - (1/\gamma_C)} \quad (3.47)$$

Dolžina sezone hlajenja se lahko določi tudi kot vsota vrednosti f_C določenih za posamezne mesece:

$$L_C = \sum_{m=1}^{12} f_{C,m} \quad (3.48)$$

Potrebe po energiji za sisteme s prekinjenim delovanjem

Za HVAC (angl. Heating, Ventilation and Air-Conditioning) sisteme, ki delujejo po določenem urniku (tj. s prekinjenim delovanjem), standard SIST EN ISO 13790 (2008) določa smernice za določitev znižane potrebe po energiji, ki temeljijo na izračunih za sisteme z neprekinjenim delovanjem, predstavljenimi z enačbama (3.6) in (3.7). To se določi z zmanjšanjem energije potrebne za ogrevanje $Q_{H,nd}$ in hlajenje $Q_{C,nd}$, z brezdimenzijskim redukcijskim faktorjem za prekinjeno ogrevanje $a_{H,red}$ in hlajenje $a_{C,red}$. Pri tem se prav tako upošteva delež posameznega meseca s potrebo po energiji za ogrevanje $f_{H,m}$ in hlajenje $f_{C,m}$. Od tod sta definirani sledeči enačbi:

$$Q_{H,nd,interm,m} = f_{H,m} \cdot a_{H,red} \cdot Q_{H,nd,cont,m} \quad (3.49)$$

$$Q_{C,nd,interm,m} = f_{C,m} \cdot a_{C,red} \cdot Q_{C,nd,cont,m} \quad (3.50)$$

Iz naslednjih enačb sledi, da na redukcijski faktor za potrebo po energiji za delovanje sistemov HVAC s prekinjenim delovanjem vplivajo tudi časovna konstanta stavbe τ in kvocienta toplotnega ravnovesja, γ_H in γ_C .

$$a_{H,red} = 1 - b_{H,red} \cdot \frac{\tau_{H,o}}{\tau} \cdot \gamma_H \cdot (1 - f_{H,hr}), \text{ za } f_{H,hr} \leq a_{H,red} \leq 1.0 \quad (3.51)$$

$$a_{C,red} = 1 - b_{C,red} \cdot \frac{\tau_{C,o}}{\tau} \cdot \gamma_C \cdot (1 - f_{C,day}), \text{ za } f_{C,day} \leq a_{C,red} \leq 1.0 \quad (3.52)$$

kjer so:

- b_{red} konstanta z vrednostjo 3 (za režim ogrevanja in hlajenja);
- $f_{H,hr}$ čas efektivnega delovanja sistema, izražen kot delež celotnega števila ur delovanja sistemov;
- $f_{C,day}$ čas efektivnega delovanja sistema, izražen kot delež števila dni v tednu.

3.3.3.2 Potrebna energija za pripravo tople sanitarne vode

Energija potrebna za pripravo tople sanitarne vode, v MJ/mesec, se izračuna po SIST EN 15316-3-1 (2007). Odvisna je od vrste stavbe, njene tlorisne površine in od razlike med temperaturo neogrete vode in temperaturo tople vode na odjemnem mestu:

$$Q_{DHW,nd,m} = 4,182 \cdot V_{W,m} \cdot (\theta_{W,t} - \theta_{W,o}) \quad (3.53)$$

kjer so:

- $V_{W,m}$ mesečno potrebni volumen tople vode, določen v SIST EN 15316-3-1 (2007);
- $\theta_{W,t}$ temperatura DHW na odjemnem mestu [$^{\circ}\text{C}$];
- $\theta_{W,o}$ temperatura dovedene vode [$^{\circ}\text{C}$].

Za eno stanovanje je potrebna dnevna količina tople sanitarne vode določena glede na tlorisno površino (v m^3/dan):

$$V_w = \frac{a \cdot N_U}{1000} \quad (3.54)$$

kjer sta:

- a zahtevana enota, določena glede na število litrov vode pri $60^{\circ}\text{C}/\text{dan}$;
- N_U število upoštevanih enot.

Mesečno potrebna količina tople vode $V_{W,m}$ se lahko določi s produktom dnevne vrednosti tople vode V_w s številom dni v mesecu.

Pri tem sta parametra a in N_U odvisna od vrste stavbe ter od stopnje aktivnosti oziroma števila oseb in sta lahko izražena glede na tlorisno površino stavbe A_f :

$$\text{Če } A_f > 30 \text{ m}^2, \text{ potem } a = \frac{62 \cdot \ln(A_f) - 160}{A_f} \quad (3.55)$$

$$\text{Če } 15 \leq A_f \leq 30 \text{ m}^2, \text{ potem } a = 2 \quad (3.56)$$

3.3.3.3 Poraba energije

V izračunu potrebe po energiji ni upoštevana učinkovitost sistemov za prezračevanje notranjih prostorov v stavbi, niti potrebna energije za pripravo tople vode. V program vgrajeni algoritem upošteva sisteme z različno učinkovitostjo, saj je pogosto, da je količnik energijske učinkovitosti (angl. coefficient of performance – COP) ogrevalnih in hladilnih naprav različen. Posledično je vsaka posamezna potreba po energiji (ogrevanje, hlajenje, priprava tople vode) odvisna od učinkovitosti posamezne naprave. Splošen izraz za izračun porabe energije, ki se lahko uporabi za posamezen primer potrebe po energiji, je:

$$Q_{cons} = \frac{Q_{nd}}{\eta_{sys}} \quad (3.57)$$

kjer sta:

Q_{nd} potreba po energiji;
 η_{sys} učinkovitost sistema.

Privzete vrednosti energijske učinkovitosti sistemov in vrste porabljene energije so predstavljene v spodnjih tabelah. Večina teh vrednosti je bila povzeta iz RCCTE (2006).

Preglednica 3.17: Faktorji učinkovitosti ogrevalnih sistemov in energent

ogrevalni sistem	$\eta_{H,sys}$	energent
električni grelec	1	elektrika
plinski gorilnik	0,87	plinsko gorivo
gorilnik na tekoče gorivo	0,8	tekoče gorivo
gorilnik na trdo gorivo	0,6	trdo gorivo
klimat (ogrevanje)	4	elektrika

Preglednica 3.18: Faktorji učinkovitosti hladilnih sistemov in energent

hladilni sistem	$\eta_{C,sys}$	energent
klimat (hlajenje)	3	elektrika
kompresorska hladilna naprava	3	elektrika
absorpcijska hladilna naprava	0,8	elektrika

Preglednica 3.19: Faktorji učinkovitosti naprav za pripravo tople vode in energent

ogrevalni sistem	$\eta_{DHW,sys}$	energent
električni bojler	0,9	elektrika
plinski bojler	0,6	plin
samostojni grelnik (kondenzacija)	0,72	plin
samostojni grelnik	0,4	plin

Celotna poraba energije v stavbi je določena kot vsota dovedene energije za delovanje posameznih sistemov v stavbi:

$$Q_{Tot,cons} = \frac{Q_{H,nd}}{\eta_{H,sys}} + \frac{Q_{C,nd}}{\eta_{C,sys}} + \frac{Q_{DHW,nd}}{\eta_{DHW,sys}} \quad (3.58)$$

Primarna energija za delovanje stavbe se določi tako, da se dovedena energija za delovanje sistemov v stavbi pomnoži s faktorjem pretvorbe F_{pu} [kgoe/kWh] (kgoe – kilogram ekvivalenta nafte):

$$Q_{Tot,prim} = F_{H,pu} \cdot Q_{H,cons} + F_{C,pu} \cdot Q_{C,cons} + F_{DHW,pu} \cdot Q_{DHW,cons} \quad (3.59)$$

Faktor pretvorbe iz porabljene (ali uporabljene) energije v primarno energijo je za posamezen sistem odvisen od uporabljenega goriva (oziroma vrste energije). Uporabljene privzete vrednosti so povzete iz RCCTE (2006) in so predstavljene v preglednici 3.20.

Preglednica 3.20: Faktor pretvorbe iz porabljene v primarno energijo (RCCTE, 2006)

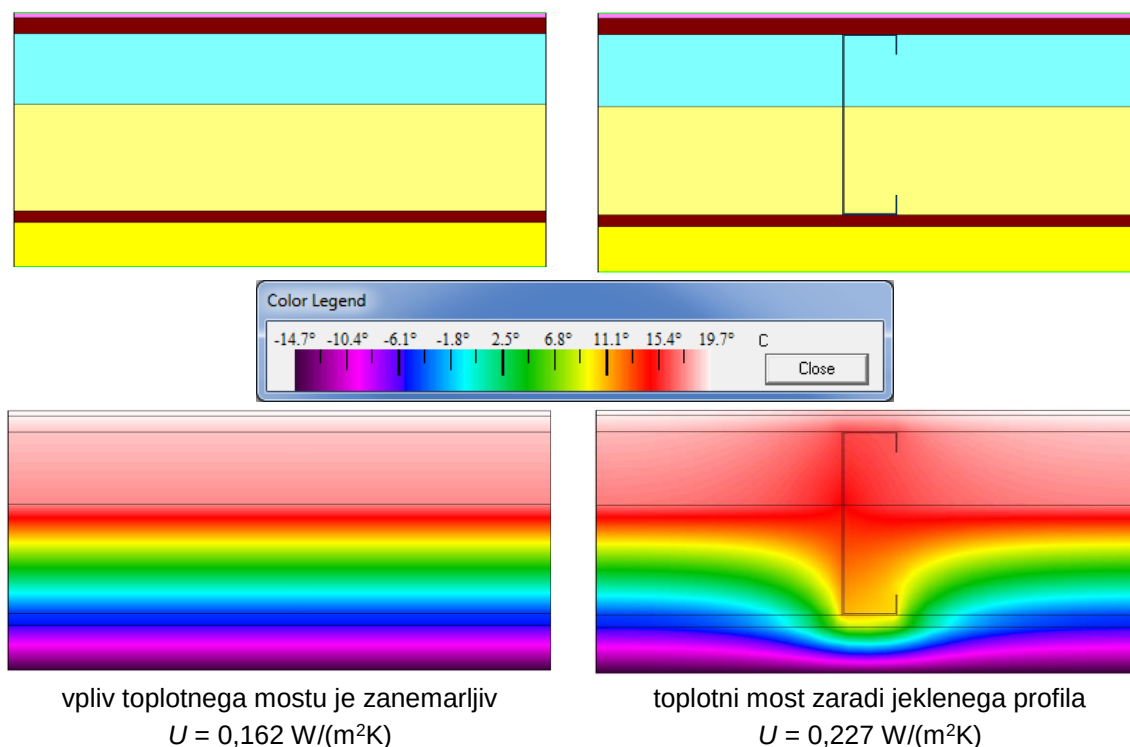
energent	F_{pu} [kgoe/kWh]
elektrika	0,29
plinsko, tekoče ali trdo gorivo	0,086

3.3.3.4 Toplotna vztrajnost

Glede toplotne vztrajnosti je bila toplotna kapaciteta stavbe C_m , izračunana na podlagi priporočil standarda SIST EN ISO 13790, glej enačbo (3.36). Toplotna kapaciteta na površino je bila izračunana za vsako makro-komponento v skladu z določili iz dodatka A v standardu SIST EN ISO 13786. Gre za poenostavljen pristop, ki temelji na penetracijski globini toplotnih valov, določeni za materiale, ki mejijo na notranjo površino v stavbi, in je primeren za to vrsto izračunov. Pri tem je upoštevana toplotna kapaciteta plasti do največje globine 100 mm od notranje površine.

3.3.3.5 Toplotni mostovi

Vpliv ponavljajočih toplotnih mostov (npr. zaradi prisotnosti jeklenih nosilnih elementov, kot je prikazano na sliki 3.11) v konstrukcijskih elementih (npr. stene, stropovi) je upoštevan v toplotni prehodnosti sklopov (vrednost U). Vpliv linijskih in točkovnih toplotnih mostov je zanemarljen. Omenjene modificirane vrednosti toplotnih prehodnosti so v programu upoštevane za vsako makro-komponento posebej.



Slika 3.11: Vpliv toplotnega mostu na toplotno prehodnost na primeru lahke jeklene nosilne konstrukcije stropa na zunanji meji

Vrednosti U za elemente s prisotnimi toplotnimi mostovi so bile izračunane po metodi iz dokumenta SIST EN ISO 6946 (2008), poglavje 6. Ker je ta metoda uporabna le za primere,

kjer v plasti toplotne izolacije ni prisotnih toplotnih mostov zaradi jeklenih profilov, je bila za ta primer uporabljena izpopolnjena metoda po Gorgolewskemu (2007). Slednja metoda temelji na določitvi dveh mej za toplotno upornost konstrukcijskega elementa in korekcijskih faktorjih, odvisnih od dimenzij in razmika med nosilnimi elementov. Spodnja meja je določena z združevanjem uporov vzporednih plasti, tj. ob predpostavki, da je temperatura v vsaki ravnini enaka. Zgornja meja toplotne upornosti je prav tako izračunana z vsoto uporov posameznih mest toplotnega prehoda.

V primerih, ko v elementu toplotni most ni prisoten, se uporabi metoda za homogene plasti, ki upošteva zaporedje toplotnih uporov posameznih plasti.

3.3.4 Kalibracija algoritma

V tem poglavju je opisan postopek, s katerim je bila preverjena in izboljšana natančnost opisanega algoritma za napoved potrebe po energiji za delovanje sistemov za ogrevanje in hlajenje stavbe, ki temelji na mesečni računski metodi navidezno stacionarnega stanja, privzeti iz standarda SIST EN ISO 13790. Za potrditev veljavnosti so bile izvedene številne analize, vključno s postopki kalibracije.

Natančnost mesečne računske metode je bila preverjena z dvanajstimi testi, predpisanimi v SIST EN 15265, na primeru enega pisarniškega prostora. Ker je primer dejanske stavbe, zaradi več prostorov, bolj kompleksen, je bila opravljena kalibracija algoritma tudi na primeru stanovanjske stavbe z več prostori. Pri tem so bile glavne štiri komponente upoštevane v toplotni bilanci in brezdimenzijski parametri za upoštevanje dinamičnih toplotnih učinkov korigirani s korekcijskimi faktorji ter.

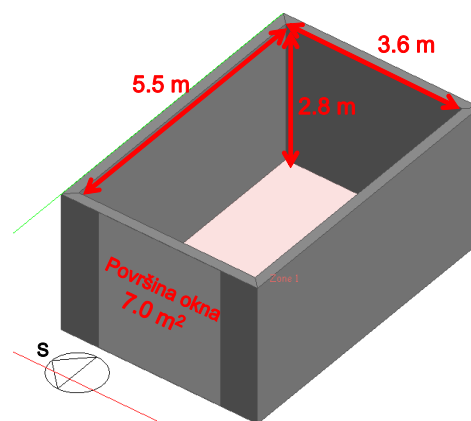
Končno je v poglavju 4.2 veljavnost kalibriranega algoritma preverjena na študijskem primeru nizke stanovanjske stavbe. Rezultati so primerjani z rezultati izračunanimi z napredno dinamično analizo s programskim orodjem *DesignBuilder /EnergyPlus*.

3.3.4.1 Preverjanje natančnosti v okviru SIST EN 15265

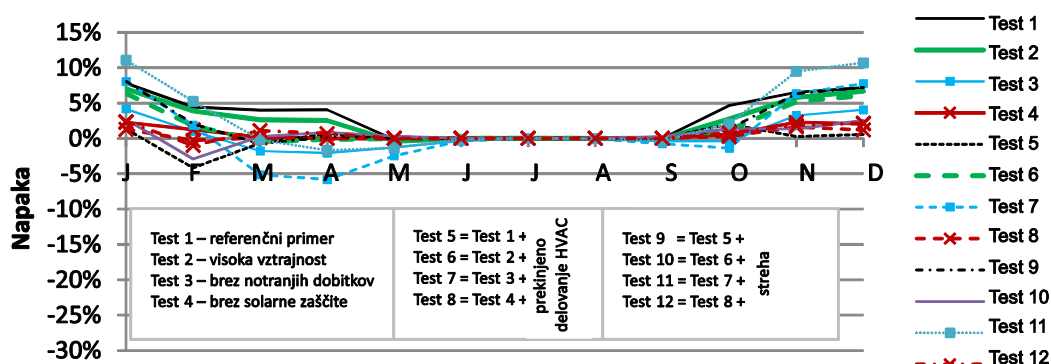
To poglavje predstavlja nekaj izmed testov opravljenih z namenom kontrole natančnosti algoritma mesečne računske metode. Izvedenih je bilo 12 študijskih primerov (preglednica 3.21) določenih v SIST EN 15265 (2007) na primeru enega pisarniškega prostora (slika 3.12). Standard uporablja referenčni primer sobe z zastekljenim elementom obrnjenim proti zahodu. Primer je analiziran z upoštevanjem različnih robnih pogojev, z različnimi notranjimi in sončnimi dobitki in z dvema načinoma ogrevanja/hlajenja: z neprekinjenim in prekinjenim delovanjem. Za vsakega od teh 12 primerov standard navaja referenčne rezultate potreb po energiji za ogrevanje in hlajenje za specifično lokacijo (Trappes, Francija), za katero so navedeni tudi podnebni podatki z upoštevanjem urnih vrednosti temperature zunanjega zraka in sončnega sevanja.

Preglednica 3.21: Testni primeri predpisani v SIST EN 15265 (2007) za kontrolo veljavnosti izračuna potreb po energiji za ogrevanje in hlajenje prostora z uporabo dinamičnih metod

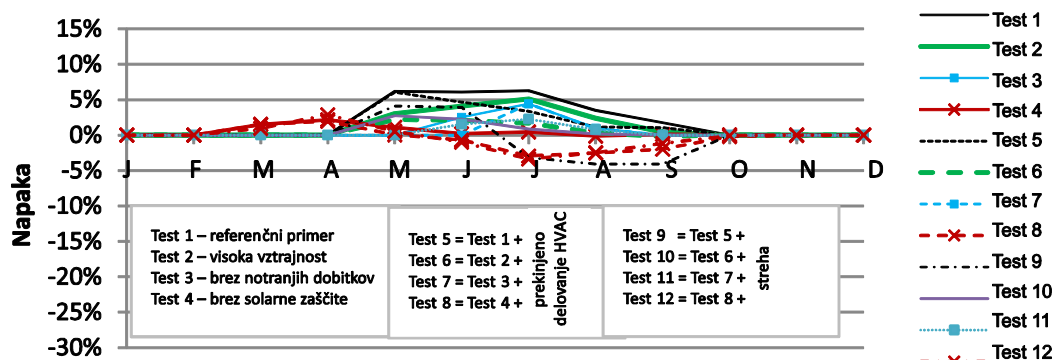
informativen	predpisan		predpisan	
test 1 referenčni primer	test 5 = test 1 +	prekinjeno delovanje HVAC (samo od 8h do 18h od ponedeljka do petka)	test 9 = test 5 +	streha
test 2 visoka toplotna vztrajnost	test 6 = test 2 +		test 10 = test 6 +	
test 3 brez notranjih dobitkov	test 7 = test 3 +		test 11 = test 7 +	
test 4 brez sončne zaščite	test 8 = test 4 +		test 12 = test 8 +	



Slika 3.12: Model pisarniškega prostora definiran v SIST EN 15265



a) režim ogrevanja



b) režim hlajenja

Slika 3.13: Napaka algoritma mesečne računske metode na podlagi navidezno stacionarnega stanja prikazana za mesečni interval – referenčni rezultat: EnergyPlus (napredna dinamična metoda na osnovi urnega intervala)

Pri verifikaciji algoritma je bila pomembna tudi ocena natančnosti izrazov, ki nastopajo v enačbi toplotne bilance. Ker referenčnih rezultatov v zvezi z omenjenim standard SIST EN 15265 (2007) ne podaja, so bili za kontrolo testni primeri izračunani še v programu za napredne dinamične analize *DesignBuilder*, kjer je uporabljen algoritem za energijske simulacije *EnergyPlus*. Za izračun ocene potreb po energiji, je bil izbran primer testnega pisarniškega prostora natančno definiran tako v programu za dinamično analizo kot v mesečnem računskem algoritmu. Na sliki 3.13 je za mesečni interval prikazana napaka dobljena z upoštevanjem pristopa navidezno stacionarnega stanja glede na rezultate dinamične analize iz algoritma *EnergyPlus*. Prikazane vrednosti predstavljajo odstotek celotne

letne potrebe po energiji. Kot je razvidno iz slike 3.13 je največje mesečno odstopanje manjše od 12 %. V primeru ogrevanja je napaka večja v zimskih mesecih in obratno, v primeru hlajenja je napaka večja v poletnih mesecih.

3.3.4.2 Kalibracijski faktorji

Mesečna računska metoda na podlagi navidezno stacionarnega stanja upošteva več poenostavitvev, če jo primerjamo z napredno dinamično simulacijo (na osnovi urnega intervala). Na odstopanje rezultatov neposredno vpliva več parametrov:

- (i) predpostavljena konstantna vrednost mesečnih dinamičnih faktorjev izkoristkov, $\eta_{H,gn,m}$ in $\eta_{C,ls,m}$, neodvisnih od podnebnih podatkov in urnika zasedenosti prostorov znotraj določene podnebne regije;
- (ii) različni izrazi za energijo, Q_{tr} , Q_{ve} , Q_{int} in Q_{sol} so izračunani z upoštevanjem konstantne notranje temperature, opredeljene v nastavitvah sistema posebej za sezono ogrevanja in hlajenja.

Poleg tega na zgoraj omenjeni podatki neposredno vplivajo tudi klimatski podatki, urnik zasedenosti in postavitev prostorov v objektu.

Kljub ugotovljeni zadovoljivi natančnosti mesečne računske metode na podlagi navidezno stacionarnega stanja za primere po SIST EN 15265, lahko v primeru dejanskih stavb s kompleksnejšo zasnovo, pogoji delovanja in drugačnim podnebjem, nastanejo večja odstopanja glede na poenostavljen pristop. V standardu SIST EN ISO 13790 so navedena možna odstopanja v razponu od 50 % do 150 %, s čimer je tudi predpisan postopek za določitev mesečnih faktorjev izkoristkov (Dodatek I, SIST EN ISO 13790).

Novi korekcijski faktorji so bili določeni z namenom zmanjšanja morebitnega raztrosa rezultatov. Opravljena je bila še kalibracija omenjenih faktorjev za izboljšano oceno navedenih izrazov za energijo, enačbe (3.60) do (3.62): (i) prenos toplote s transmisijo; (ii) prenos toplote s prezračevanjem; (iii) notranji toplotni dobitki; (iv) solarni dobitki;

$$H_{tr,adj,c} = f_{tr} \cdot H_{tr,adj} \rightarrow Q_{tr,m} = H_{tr,adj,c} \cdot (\theta_{int,sec,H} - \theta_e) \cdot t \quad (3.60)$$

$$H_{ve,adj,c} = f_{ve} \cdot H_{ve,adj} \rightarrow Q_{ve,m} = H_{ve,adj,c} \cdot (\theta_{int,sec,H} - \theta_e) \cdot t \quad (3.61)$$

$$Q_{gn} = f_{int} \cdot Q_{int,m} + f_{sol} \cdot Q_{sol,m} \quad (3.62)$$

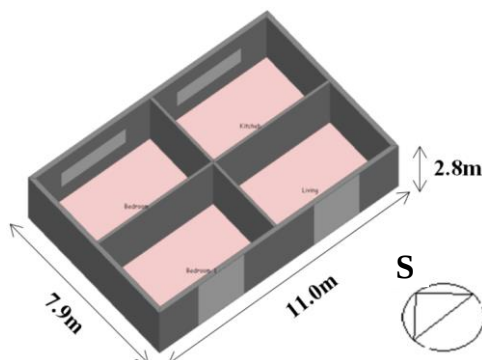
kjer so:

$H_{tr,adj,c}$	korigiran prenos toplote s transmisijo;
f_{tr}	korekcijski faktor za prenos toplote s transmisijo;
$H_{ve,adj,c}$	korigiran prenos toplote s prezračevanjem;
f_{ve}	korekcijski faktor za prenos toplote s prezračevanjem;
f_{int}	korekcijski faktor za notranje dobitke;
f_{sol}	korekcijski faktor za sončne dobitke, brez upoštevanja toplotnega sevanja v nebo.

Potrebno je poudariti, da so bili za različna podnebna območja kalibrirani različni korekcijski faktorji.

Poleg zgoraj omenjenih korekcijskih faktorjev za glavne štiri komponente prenosa toplote, je bila za posamezna podnebna območja opravljena tudi kalibracija brezdimenzijskih parametrov, a_{H0} , τ_{H0} , a_{C0} in τ_{C0} .

Ker algoritem mesečne računske metode ocenjuje potrebe po energiji celotne stavbe in se ne osredotoča samo na en določen prostor v stavbi, kot je to upoštevano v SIST EN 15265 (2007), so bili vsi kalibracijski izračuni izvedeni na novi skupini testnih primerov, ki upoštevajo tipične lastnosti stanovanjske stavbe, glej sliko 3.14.



Slika 3.14: Primer modela stavbe, uporabljen za primere kalibracije algoritma mesečne računske metode

V omenjenih testnih primerih so uporabljene enake toplotne lastnosti, kot jih upošteva ovoj testnih primerov iz SIST EN 15265 (2007) (glej preglednico 3.22), le da so v prvem primeru upoštevani drugačni robni pogoji (diabatne stene in streha) in večja tlorisna površina (79,2 m²). Predpostavljena vrednost stopnje pretoka zraka je 1,0 urne menjave zraka (konstantno).

Preglednica 3.22: Toplotne lastnosti ovoja upoštevane v kalibracijskih testnih primerih

element	U [W/m ² .K]	K_m [J/m ² .K]
zunanja stena	0,493	81297
notranja stena	–	9146
streha	0,243	6697
tla v pritličju	–	63380

Kot že omenjeno, testni primeri iz SIST EN 15265 (2007) upoštevajo pisarniške prostore, zato je pomembna sprememba, upoštevana v izbranih kalibracijskih modelih, povezana z zasedenostjo prostorov in urnikom delovanja sistemov. V skladu s tem so urniki zasedenosti in pripadajoči toplotni tokovi za stanovanjske stavbe privzeti iz standarda SIST EN ISO 13790 (2008), kot že predstavljeno v preglednici 3.13.

Zaradi pomembnosti velikosti površine zasteklitve pri obravnavi sončnih dobitkov in transmisijskih izgub toplote, so bila obravnavana različna razmerja površine med stenami in tlemi, kot je to prikazano v preglednici 3.23. Prav tako so bili v kalibracijskem procesu obravnavani scenariji z in brez upoštevanja senčil.

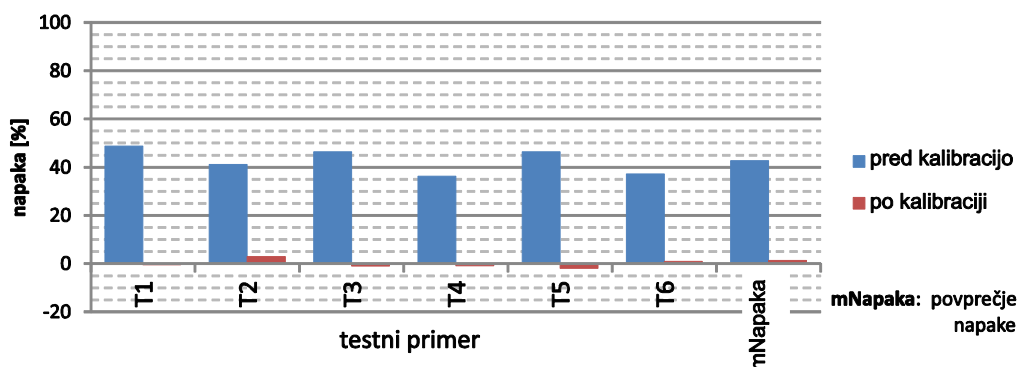
Preglednica 3.23: Glavne spremenljivke testnih primerov uporabljenih za kalibracijo orodja

testni primer	GFR [%]	NGWR [%]	SGWR [%]	senčila
T1	35	36	54	DA
T2				NE
T3	25	20	40	DA
T4				NE
T5	15	12	24	DA
T6				NE

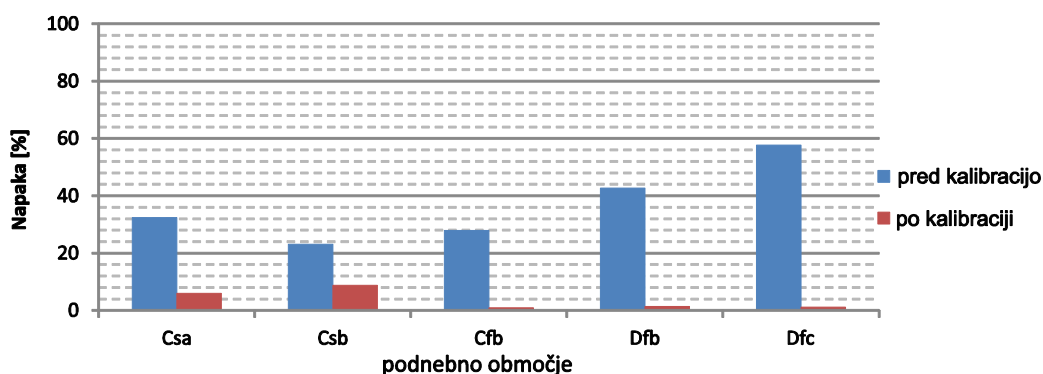
GFR: delež zasteklitve glede na tlorisno površino;
 NGWR: delež zasteklitve severne stene;
 SGWR: delež zasteklitve južne stene.

Vsak izmed testnih primerov je bil izračunan za pet različnih podnebnih regij: (i) Csa; (ii) Csb; (iii) Cfb; (iv) Dfb; in (v) Dfc. Korekcijski faktorji so bili določeni z minimalizacijo napake vsakega podsklopa v naboru testnih primerov za vsako podnebno regijo, kar v nekaterih primerih pomeni do 500 primerov. Na sliki 3.15 je prikazana izboljšana natančnost brez in z upoštevanjem korekcijskih faktorjev v primeru podnebne cone Dfb. Vidno je povprečno izboljšanje absolute napake iz 43% na manj kot 2%.

Slika 3.16 prikazuje izboljšanje natančnosti v primeru izbranih petih podnebnih območij. Zanimiva je ugotovitev, da je brez upoštevanja korekcije, natančnost nižja za hladnejša podnebna območja, z največjo in najmanjšo napako ugotovljeno za območje Dfc oziroma Csb. Primerjava z rezultati dinamične metode je pokazala, da je manj natančen rezultat računske mesečne metode v oceni potreb po energiji za hladnejše mesece v letu, posledica dejstva, da se energijski dobitki učinkoviteje porabijo za ogrevanje prostora, kot je upoštevano v poenostavljeni metodi. Ta učinek je toliko bolj očiten in pomemben v primeru manjših solarnih dobitkov. Globalno so z upoštevanjem korekcijskih faktorjev napake nižje od 10%.



Slika 3.15: Izboljšana natančnost mesečne računske metode po SIST EN ISO 13790 za primer podnebja Dfb: celotna letna energija za ogrevanje in hlajenje prostorov



Slika 3.16: Povprečna napaka mesečne računske metode brez in z upoštevanjem kalibracijskih faktorjev

Potrebno je poudariti, da je bil zaznan različen trend napake v primerih z in brez upoštevanja senčil. Posledično so bili za omenjena primera upoštevani različni kalibracijski faktorji. V preglednicah 3.24 in 3.25 so predstavljeni različni korekcijski faktorji, razdeljeni glede na način uporabe premičnih senčil.

Ker algoritem mesečne računske metode omogoča upoštevanje različnih načinov uporabe aktiviranih senčil v poletnem in zimskem času, so bili kalibracijski faktorji v preglednici 3.24 upoštevani v režimu hlajenja in faktorji iz preglednice 3.25 v režimu ogrevanja.

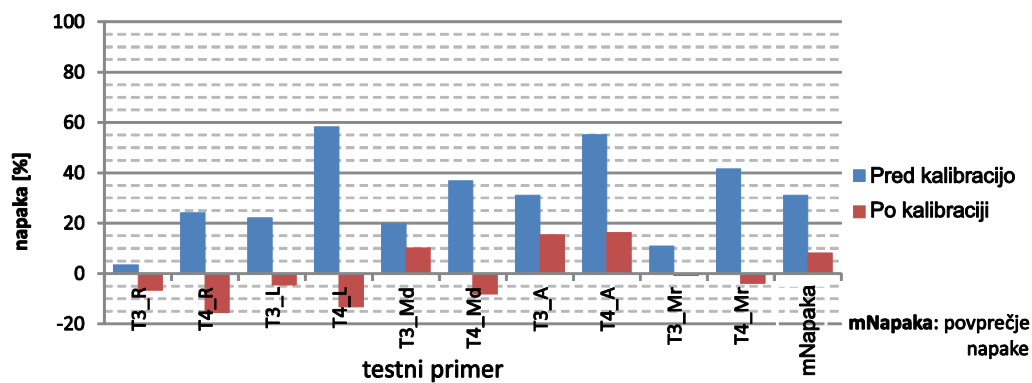
Nadalje je bila ocenjena napaka, nastala zaradi upoštevanja podnebja specifične lokacije objekta. Dobljeni kalibracijski faktorji so bili uporabljeni v testnih primerih 3 in 4 (25% delež zasteklitve glede na tlorisno površino, preglednica 3.23), z izbrano lokacijo v petih mestih dveh različnih podnebnih območij, Csa in Dfb. Kot je bilo pričakovano, je napaka poenostavljene metode odvisna od lokacije objekta, slika 3.17. Največja napaka je bila ugotovljena v primeru mesta Atene (16,2 %) in Kijeva (15,5 %), za območje Csa oziroma Dfb. Ne glede na to pa je za obe podnebni območji povprečna napaka manjša od 10 % (Csa: 8,2 % in Dfb: 7,9 %).

Preglednica 3.24: Izračunani kalibracijski faktorji v primeru aktiviranih senčil

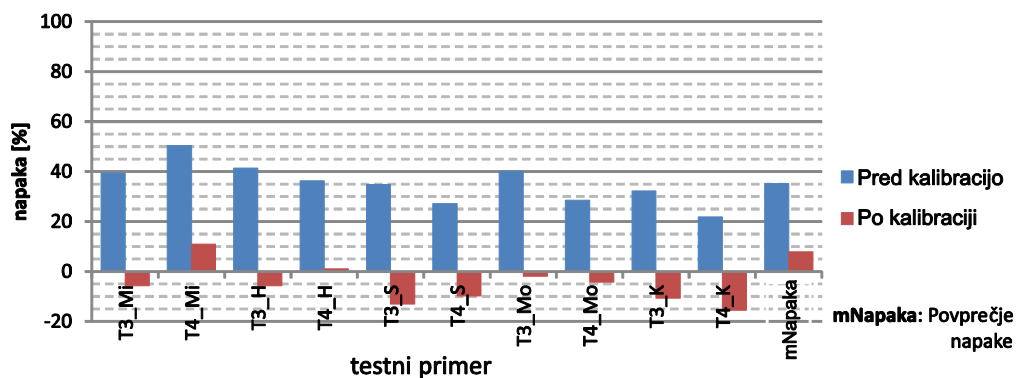
aktivirana senčila												
območje	ogrevanje						hlajenje					
	a_{H0}	τ_{H0}	Q_{tr}	Q_{ve}	Q_{sol}	Q_{int}	a_{H0}	τ_{H0}	Q_{tr}	Q_{ve}	Q_{sol}	Q_{int}
Csa	1,00	15,67	1,00	1,00	0,90	0,93	1,20	15,00	1,07	1,00	0,83	0,90
Csb	1,33	15,00	1,00	1,07	0,97	0,93	1,10	15,00	1,03	1,10	0,97	1,00
Cfb	1,33	15,00	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

Preglednica 3.25: Izračunani kalibracijski faktorji v primeru neaktiviranih senčil

neaktivirana senčila												
območje	a_{H0}	τ_{H0}	Q_{tr}	Q_{ve}	Q_{sol}	Q_{int}	a_{H0}	τ_{H0}	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



a) R: Rim; L: Lizbona; Md: Madrid; A: Atene; Mr: Marseille



b) Mi: Minsk; H: Helsinki; S: Stockholm; Mo: Moskva; K: Kijev

Slika 3.17: Kontrola natančnosti kalibrirane metode na primeru različnih mest podnebnih območij:

a) Csa; b) Dfb

4 VALIDACIJA PRIVZETIH METODOLOGIJ

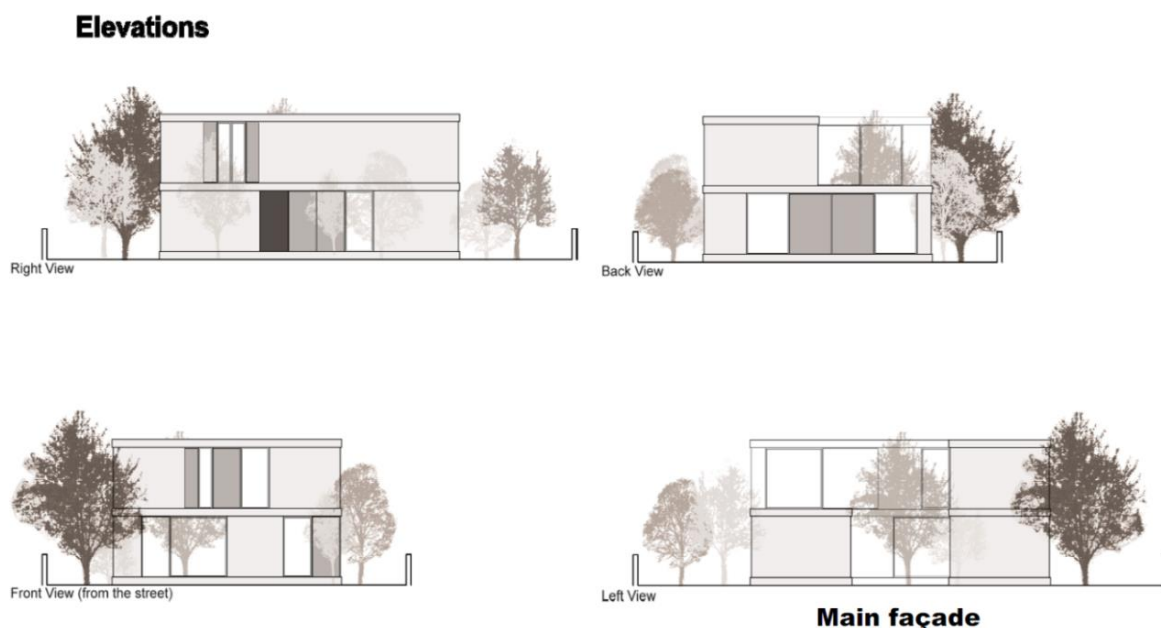
V tem poglavju je predstavljena validacija privzetih pristopov za oceno življenjskega cikla in določitev potrebne energije v fazi uporabe stavbe, opisanih v prejšnjih poglavjih. V primeru obeh metod je bila izvedena študija primerov z uporabo poenostavljenega pristopa. Rezultati so bili nato primerjani z rezultati iz naprednega pristopa. Napredne analize za oceno življenjskega cikla so bile izvedene z uporabo komercialnega programa *GaBi 6* (2012) in napredne analize za določitev količine potrebne energije v fazi uporabe stavbe pa s programom *DesignBuilder* (2012).

4.1 Validacija pristopa z makro-komponentami

Validacija postopka z makro-komponentami temelji na študiji primera, ki se nanaša na nizko stanovanjsko stavbo na Portugalskem. Rezultati dobljeni s privzetim pristopom so bili primerjani z rezultati napredne analize z uporabo programa *GaBi*. Analiza je opravljena na nivoju stavbe.

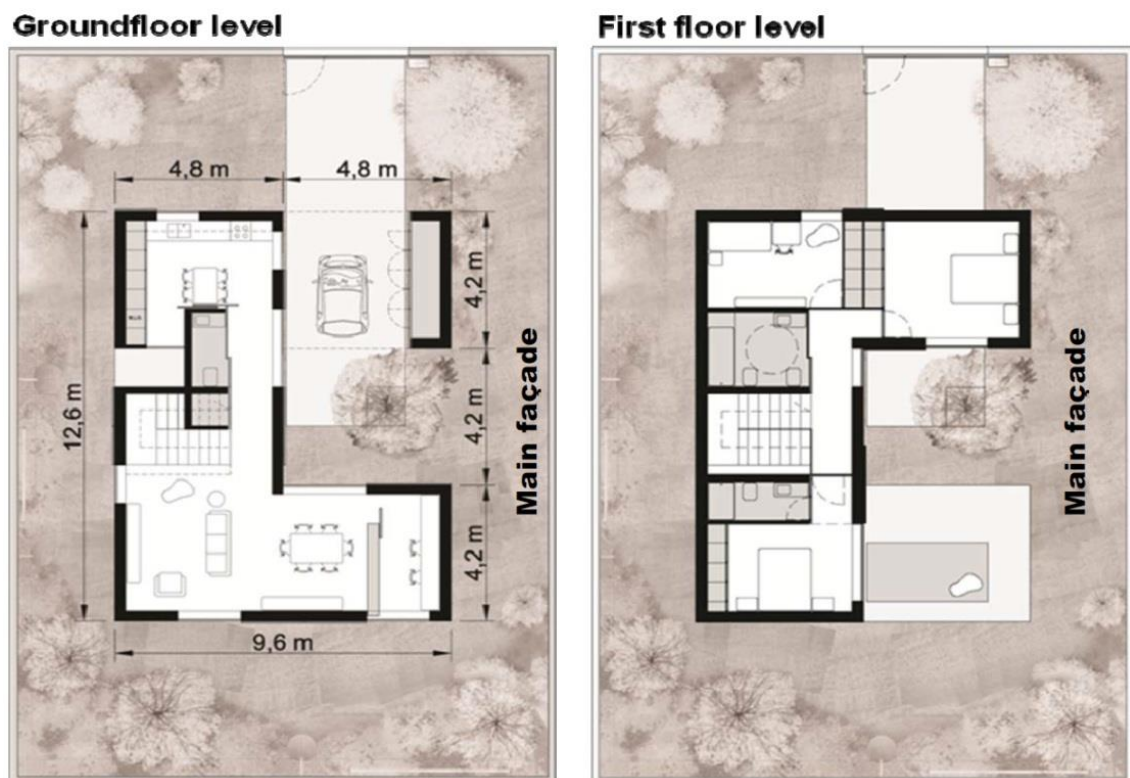
4.1.1 Opis študije primera

Stavba predstavlja dvoetažno, enodružinsko stanovanjsko hišo postavljeno v mestu Coimbra na Portugalskem. Tipični pogledi in tlorisi obeh etaž so podani na slikah 4.1 oziroma 4.2.



Slika 4.1: Pogledi na obravnavano stavbo

Celotna tlorisna površina objekta meri 202,0 m², pri čemer znaša tlorisna površina pritličja 100,8 m² in površina nadstropja 100,8 m² (vključno z 20,2 m² terase). Višina objekta znaša 6 m.



Slika 4.2: Tlorisi etaž obravnavane stavbe

Prav tako so na prikazanih tlorisih etaž označeni deli sten z zasteklitvijo. V preglednici 4.1 je podana površina zunanjega ovoja stavbe.

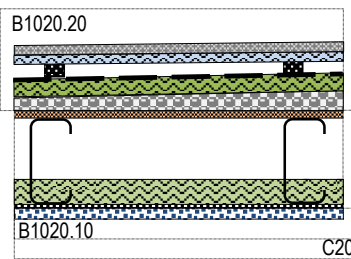
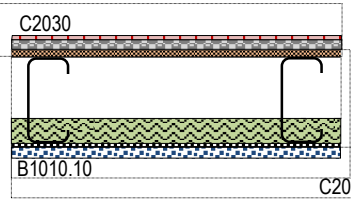
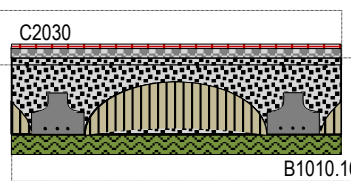
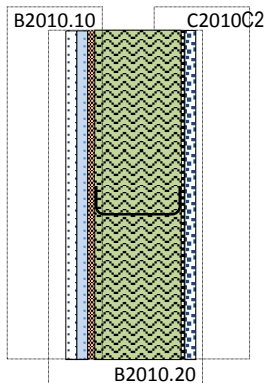
Preglednica 4.1: Površina zidov in zasteklitve iz preliminarne faze načrtovanja

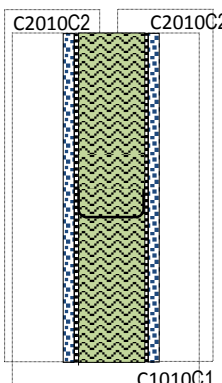
	sever [m ²]	vzhod [m ²]	jug [m ²]	zahod [m ²]	skupaj [m ²]
stene	41,3	49,9	38,3	60,4	189,9
zasteklitev	13,0	17,3	15,6	4,3	50,2

4.1.2 Izbira makro-komponent

Za izvedbo ocene življenjskega cikla stavbe so za glavne komponente stavbe izbrane ustrezne makro-komponente, in sicer posebej za: nosilno konstrukcijo (ogrodje stavbe), zunanji vertikalni ovoj in za notranje elemente. Seznam izbranih makro-komponent je predstavljen v preglednici 4.2.

Preglednica 4.2: Seznam izbranih makro-komponent

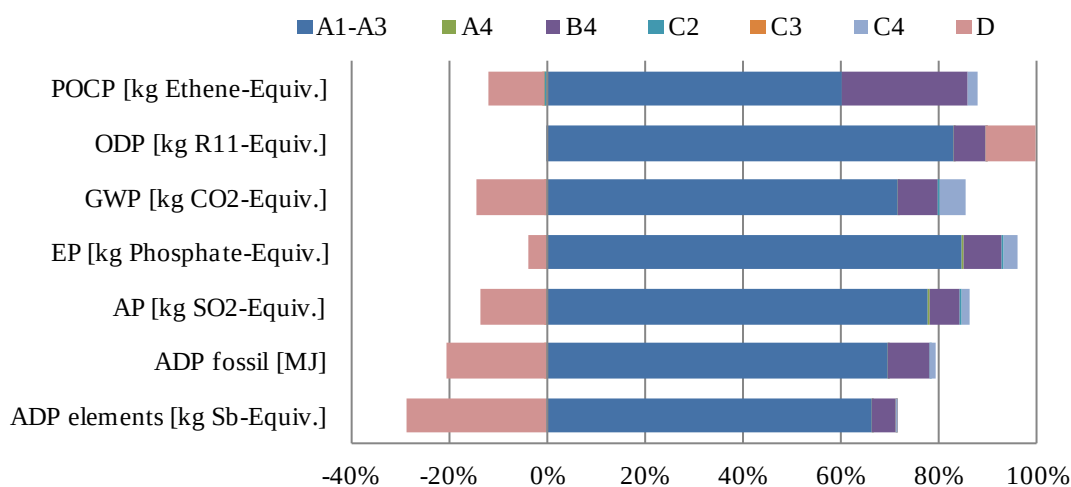
	referenca izbrane makro-komponente	materialni sloji	debelina [mm] gostota [kg/m ²]	U [W/m ² .K]	K _m [J/m ² .K]
ravna streha					
	B1020.20 Tlak strehe	cementna plošča	30 mm		
	pod, plošče in opaž	XPS plošče	30 mm		
		zračna plast	30 mm		
		Vodo-nepropustna folija	1,63 kg/m ²		
		XPS	0 mm		
		betonski estrih	40 mm		
	B1020.10 Stropna nosilna konstrukcija	OSB plošče	18 mm	0,37 ^(*)	13435
		zračna plast	80 mm		
		kamena volna	120 mm		
		HOP profili	17 kg/m ²		
		mavčne plošče	15 mm		
	C2050 Zaključne stropne obloge	plesk	0,125 kg/m ²		
notranji strop					
	C2030 Zaključni sloj	keramične ploščice	31 kg/m ²		
		betonski estrih	13 mm		
	B1010.10 Stropna nosilna konstrukcija	OSB plošče	18 mm		
		zračna plast	160 mm		
		kamena volna	40 mm	-	61062
		HOP profili	14 kg/m ²		
		mavčne plošče	15 mm		
	C2050 Zaključne stropne obloge	plesk	0,125 kg/m ²		
tla v pritličju					
	C2030 Zaključni sloj	keramične ploščice	31 kg/m ²		
		betonski estrih	13 mm		
	B1010.10 Nosilna konstrukcija plošče	prefabricirana betonska plošča	180 mm	0,599	65957
		XPS	40 mm		
zunanji zid					
	B2010.10 Zunanja zaključna obloga zidu	ETICS	13,8 kg/m ²		
	B2010.20 Nosilna konstrukcija zunanjega zidu	OSB	13 mm		
		kamena volna	120 mm		
		HOP profili	15 kg/m ²		
		mavčne plošče	15 mm	0,29 ^(*)	13391
	C2010 Notranji zaključni sloj	plesk	0,125 kg/m ²		

	referenca izbrane makro-komponente	materialni sloji	debelina [mm] gostota [kg/m ²]	U [W/m ² .K]	K _m [J/m ² .K]
Notranji zid					
	C2010 Notranji zaključni sloj	plesk	0,125 kg/m ²		
	C1010 Notranji sloji	mavčne plošče	15 mm		
		kamena volna	60 mm		
		HOP profili	10 kg/m ²	-	26782
		mavčne plošče	15 mm		
	C2010 Notranji zaključni sloj	plesk	0,125 kg/m ²		
(*) Korigirane vrednosti zaradi vpliva toplotnih mostov					

4.1.3 Uporaba pristopa z makro-komponentami

Z upoštevanjem dejanske geometrije stavbe in z uporabo makro-komponent predstavljenih v preglednici 4.2, je v okoljskih izračunih zajeta celotna stavba za obdobje 50 let. Rezultati dobljeni z upoštevanjem modulov definiranih v SIST EN 15978, so predstavljeni na sliki 4.3. Diagram predstavlja prispevek posameznega modula za posamezno kategorijo vpliva. Kot je razvidno iz omenjenega grafa, faza proizvodnje materiala (moduli A1 - A3), s prispevkom nad 60 % dominira v vseh kategorijah vplivov.

Faza obratovanja (modul B4) predstavlja, skupaj z reciklažo in ponovno rabo materialov (modul D), pomemben prispevek za večino vplivnih kategorij. Sledi ji faza odstranitve objekta (moduli C2 – C4). Kot je označeno na sliki 4.3, dobljene negativne vrednosti v modulu D v konkretnem primeru predstavljajo dobitke, ki izhajajo iz reciklaže in/ali ponovne uporabe materialov po odstranitvi objekta. Rezultati po posameznih kategorijah vplivov so zbrani v preglednici 4.3.



Slika 4.3: Prispevek posameznega modula k vsaki izmed okoljskih kategorij

Preglednica 4.3: Okoljska analiza življenjskega cikla stavbe

okoljska kategorija vpliva	skupno
ADP elementov [kg Sb-ekviv.]	1,11E-01
ADP fosilnih goriv [MJ]	4,38E+05
AP [kg SO ₂ -ekviv.]	1,35E+02
EP [kg Fosfat-ekviv.]	1,53E+01
GWP [kg CO ₂ -ekviv.]	3,54E+04
ODP [kg R11- ekviv.]	1,00E-03
POCP [kg Eten- ekviv.]	3,71E+01

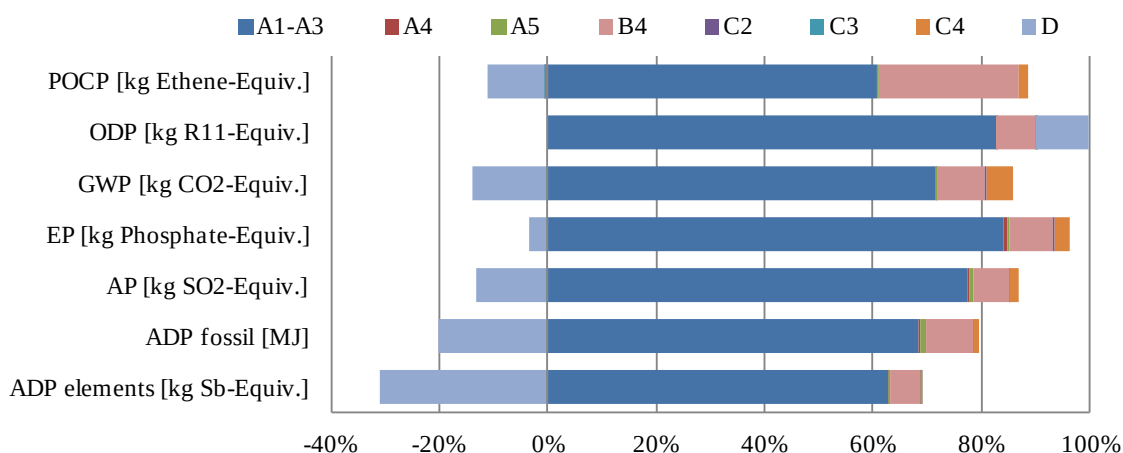
4.1.4 Primerjava z detajlno analizo življenjskega cikla

V tem poglavju je opravljena analiza enodružinske stanovanjske hiše z upoštevanjem vseh detajlov stavbe in faz življenjskega cikla. Predstavljena analiza življenjskega cikla dopolnjuje že opisan pristop makro-komponent, in sicer z ozirom na temeljenje objekta ter fazo gradnje (modul A5). Celotna analiza življenjskega cikla je bila izvedena s programom *GaBi 6* (2012).

Temelji objekta so narejeni iz armiranega betona. Pritlična etaža objekta je dvignjena nad teren za okrog 50 cm. V fazi ob koncu življenjskega cikla je upoštevano, da je armiran beton recikliran z upoštevanjem enotne stopnje reciklaže.

V fazi gradnje (modul A5) sta upoštevana sledeča procesa: (i) priprava terena (izkop zemljine in odvoz na deponijo) in (ii) proces gradnje (uporaba gradbene opreme za sestavo konstrukcije in viličarja za dvigovanje konstrukcijskih panelov). Privzet čas izgradnje izbranega objekta je 1,5 meseca.

Rezultati analize življenjskega cikla, z upoštevanjem vseh faz življenjskega cikla, so predstavljeni na sliki 4.4.



Slika 4.4: Analiza življenjskega cikla celotne obravnavane stavbe

Faza proizvodnje materiala (moduli A1 – A3), s prispevkom nad 60 %, dominira v vseh kategorijah vplivov. Faza gradnje (moduli A4 – A5) ima zanemarljiv pomen, saj njen vpliv variira med 0 %, za kategorije ODP, POCP in ADP_{elementi}, in okrog 2,1 % za okoljsko kategorijo ADP_{fosilne surovine}. Faza obratovanja (modul B4) predstavlja, skupaj z reciklažo in ponovno rabo materialov (modul D), pomemben prispevek za večino vplivnih kategorij. Sledi ji faza odstranitve objekta (moduli C2 – C4). Poudariti je potrebno, da smo do enakih zaključkov prišli tudi s poenostavljenim pristopom, kljub njegovim omejitvam.

V preglednici 4.4 je za posamezno kategorijo okoljskega vpliva podana relativna napaka poenostavljenega pristopa glede na rezultat detajlne analize.

Preglednica 4.4: Napaka (%) pristopa z uporabo makro-komponent glede na posamezno kategorijo vpliva

ADP elementi	ADP fosilne surovine	AP	EP	GWP	ODP	POCP
0,0 %	-2,4 %	-1,3 %	-1,3 %	-1,3 %	-0,1 %	-0,5 %

Zaključimo lahko, da je za večino okoljskih kategorij napaka zanemarljiva. V obzir pa je potrebno vzeti dejstvo, da lahko pri obravnavi kakšnega drugega konstrukcijskega sistema, faza gradnje predstavlja večji vpliv kot v prikazanem primeru.

Kljub omejitvam pristopa z uporabo makro-komponent, so rezultati predlagane metodologije skladni z rezultati detajlne analize življenjskega cikla.

4.2 Validacija pristopa v primeru izračuna energijskih potreb

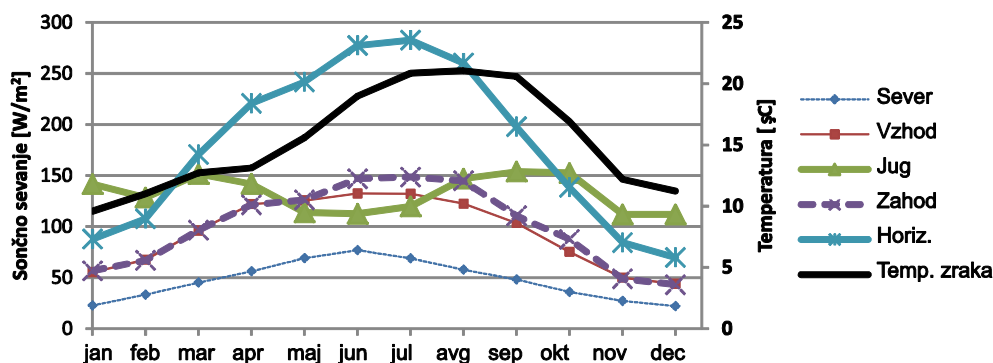
Validacija privzetega pristopa za izračun potreb po energiji temelji na istem računskem primeru. V naslednjih poglavjih so opisani vsi dodatni podatki in postopki izračunov.

Podana je primerjava rezultatov dobljenih s privzetim postopkom z rezultati iz napredne dinamične analize z uporabo programa *DesignBuilder / EnergyPlus* (2012).

4.2.1 Podnebni podatki in toplotne karakteristike tal

Hiša se nahaja v mestu Coimbra, ki pripada klimatski regiji Csb. Pripadajoče mesečne vrednosti temperature zraka in globalnega sončnega sevanja so predstavljene na sliki 4.5.

Upoštewane toplotne karakteristike tal so privzete iz preglednice 3.10.



Slika 4.5: Podnebni podatki za Coimbra: sončno sevanje in temperatura zunanje trake

4.2.2 Podatki v zvezi z zasedenostjo

Urnik zasedenosti in pripadajoč toplotni tok zaradi notranje obremenitve (aktivnost stanovalcev, delovanje naprav in osvetlitev) sta bila opredeljena z upoštevanjem vrednosti podanih v SIST EN ISO 13790. Te vrednosti so bile že navedene v preglednici 3.13. Privzeta bivanjska temperatura v zimski sezoni znaša 20 °C, v in poletni pa 25 °C.

4.2.3 Sistemi v stavbi

Za tehnične informacije in urnik delovanja sistemov v stavbi (ogrevanje, hlajenje, prezračevanje in oskrba s toplo sanitarno vodo) so bile uporabljene privzete vrednosti, ki so podane v preglednici 4.5.

Preglednica 4.5: Vhodni podatki za sisteme v stavbi (privzete vrednosti)

sistem	vrednosti
prezračevanje (nastavitev: 20°C – 25°C) ⁽¹⁾	COP za ogrevanje = 4,0 COP za hlajenje = 3,0
oskrba s toplo sanitarno vodo ²	izkoristek: 0,9
stopnja prezračevanja + infiltracije ⁽³⁾ (konstantne vrednosti)	zrak zamenjan 0,6 krat na uro (ogrevanje) zrak zamenjan 1,2 krat na uro (hlajenje)

(1) iz SIST EN ISO 13790 (2008) – Preglednica G.12;

(2) v skladu s SIST EN 15316-3-1 (2007);

(3) odvisno od zrakotesnosti ovoja stavbe in pasivnih strategij hlajenja.

4.2.4 Zastekljen del ovoja in specifikacije senčil

Karakteristike in lastnosti zastekljenih elementov so podane v preglednici 4.6. V obravnavanem primeru so upoštevana okna s PVC okvirjem in z dvojno zasteklitvijo.

Upoštevane toplotne lastnosti senčil so podane v preglednici 4.7.

Preglednica 4.6: Optične in toplotne lastnosti zasteklitve (steklo + okvir)

materiali	U [W/m ² .K]	SHGC
PVC okvir z dvojno zasteklitvijo (8+6 mm, zračna plast 14 mm)	2,597	0,780

Preglednica 4.7: Toplotne in optične lastnosti senčil

element	prepustnost za sončno sevanje	odbojnost sončne svetlobe	R [m ² .K/W]	g_{gl+sh}
rolete	0,02	0,80	0,260*	0,04**

*upoštevana roleta skupaj z zračno plastjo (SIST EN ISO 10077, 2007); **SIST EN 13363-1, 2007.

4.2.5 Neprosojni del ovoja

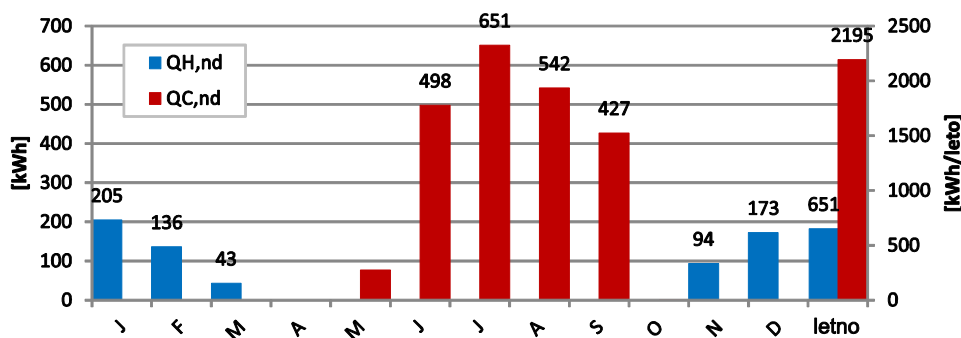
Karakteristike in lastnosti neprosojnih elementov fasade so privzete iz makro-komponent, glej tabelo 4.2.

Barva zunanjega neprosojnega dela ovoja stavbe vpliva na količino sončnih dobitkov. V konkretnem primeru je bila upoštevana svetla barva fasade s koeficientom absorpcije 0,4.

4.2.6 Rezultati energijske učinkovitosti stavbe

Za obravnavan primer znaša letna potreba po energiji, na podlagi mesečnega algoritma, za ogrevanje 651,3 kWh, za hlajenje prostorov pa 2195,0 kWh. Od tod znaša skupna letna potreba po energiji za ogrevanje in hlajenje prostorov 2846,3 kWh (23,0 kWh/m²), za oskrbo s toplo sanitarno vodo pa 2642 kWh (21,3 kWh/m²).

Potreba po energiji za ogrevanje in hlajenje prostorov po posameznih mesecih je prikazana na sliki 4.6.



Slika 4.6: Potrebe po energiji za ogrevanje in hlajenje prostorov (določeno na podlagi mesečnega algoritma)

4.2.7 Primerjava z napredno numerično simulacijo

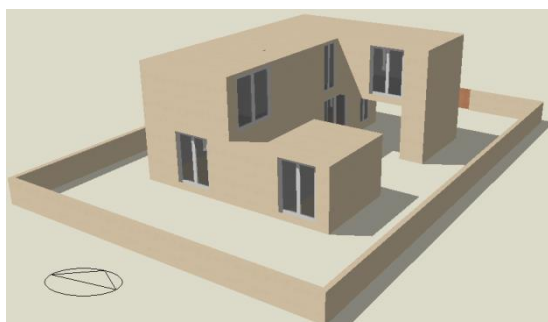
Za oceno natančnosti računske metode na osnovi mesečnega algoritma je bila opravljena primerjava rezultatov, dobljenih z omenjeno poenostavljeno metodo, z rezultati na podlagi napredne dinamične simulacije.

4.2.7.1 Model za izvedbo dinamične simulacije

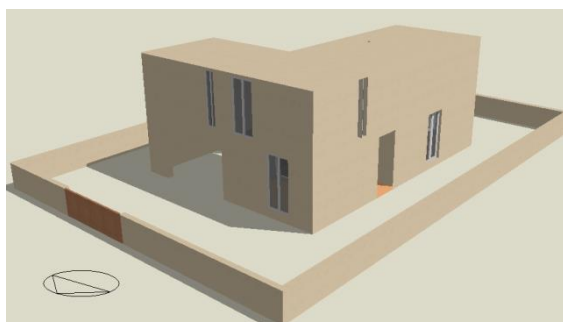
Napredna dinamična simulacija toplotnega odziva obravnavane stavbe je bila izvedena s programom DesignBuilder (2012). V simulaciji upoštevan vir podnebnih podatkov je isti, kot upoštevan v primeru poenostavljenega pristopa. Vendar pa so v tem primeru, namesto mesečnih vrednosti temperature suhega termometra in sončnega sevanja, upoštevane urne vrednosti vseh podnebnih parametrov.

Napredno tridimenzionalno modeliranje omogoča simulacijo celotne arhitekturne zasnove objekta predstavljene na slikah 4.1 in 4.2. Slika 4.7 prikazuje dva pogleda na model zgrajen v programu DesignBuilder, ki je bil uporabljen za dinamično analizo. Celoten model stavbe je sestavljen iz desetih različnih temperaturnih con, ki ustrezajo notranji razdelitvi stavbe na sliki 4.8:

- (i) prostor pod dvignjeno pritlično etažo, modeliran kot neprezračevan prostor;
- (ii) pritličje s tremi temperaturnimi conami;
- (iii) nadstropje s petimi temperaturnimi conami;
- (iv) prostor, ki je skupen obema etažama, in vključuje hodnike s stopniščem.



a) Pogled iz JZ smeri



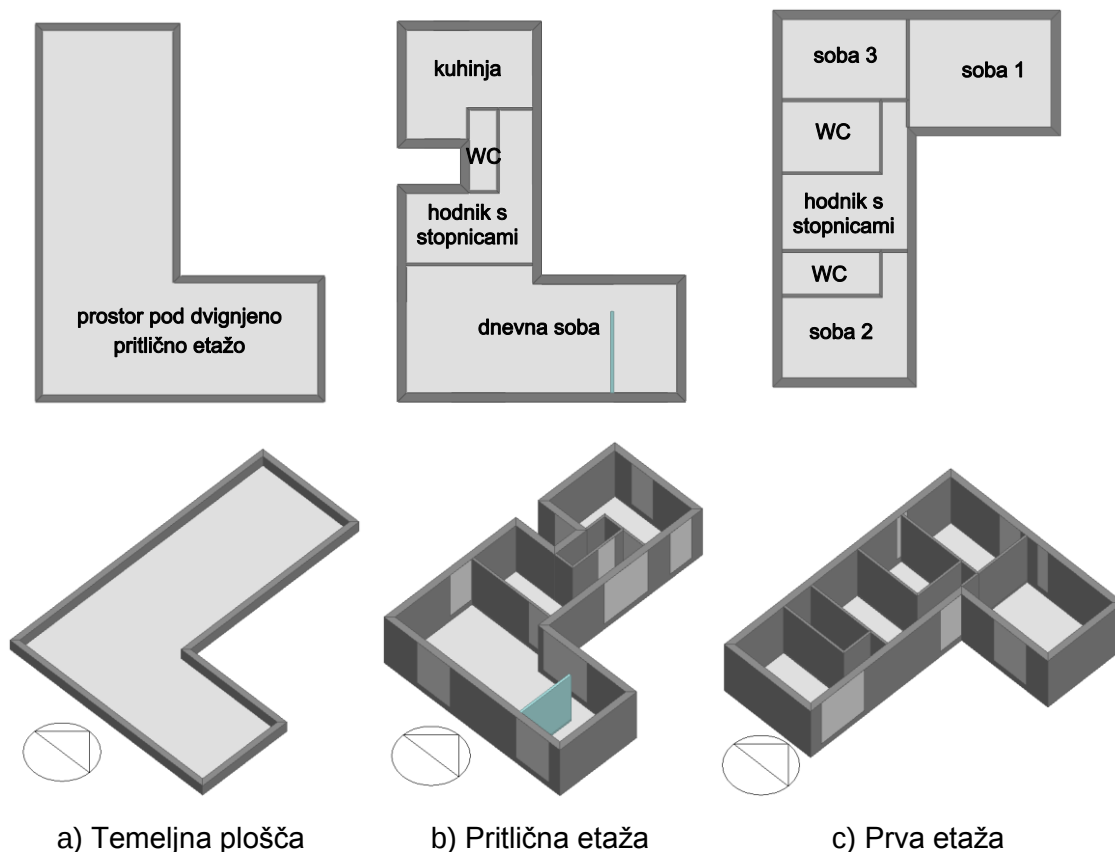
b) Pogled iz SV strani

Slika 4.7: Pogleda na model stavbe

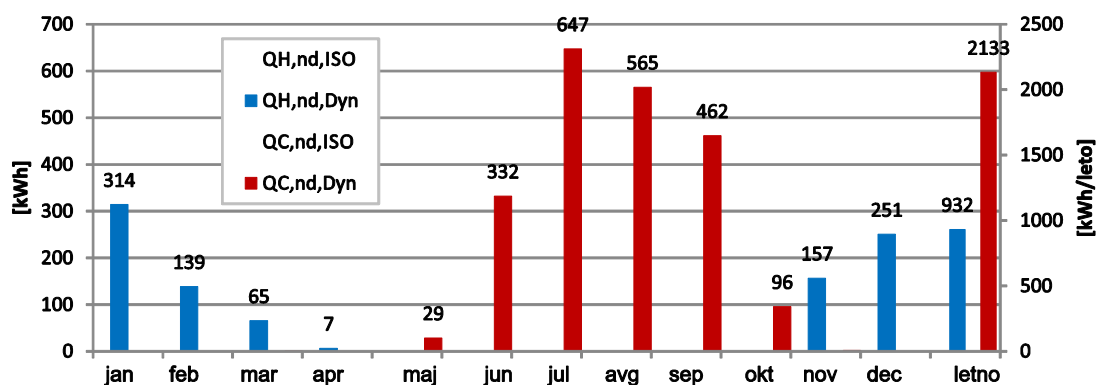
V modelu upoštevani konstrukcijski elementi so enaki že predhodno opisanim elementom uporabljenim v pristopu makro-komponent (glej preglednice 4.2, 4.6 in 4.7, posebej za prosojne in zastekljene komponente ter za senčila). Prav tako je bil upoštevan enak režim za

regulacijo senčenja oken. Poleg tega so bili iz predhodne analize privzeti vhodni parametri za urnik zasedenosti, prezračevanje, stopnjo infiltracije, učinkovitost in urnik delovanja sistema za prezračevanje.

Grafična primerjava potrebne energije za ogrevanje in hlajenje izračunane na podlagi obeh pristopov, posebej za mesečno in letno časovno obdobje, je prikazana na sliki 4.9. Letna potrebna energija, dobljena na podlagi dinamične simulacije, za ogrevanje prostorov znaša 932,4 kWh, za pa hlajenje 2133,3 kWh, kar skupaj znaša 3065,7 kWh ($24,8 \text{ kWh/m}^2$) celotne letne energijske potrebe.



Slika 4.8: Prikaz etaž obravnavane stavbe



Slika 4.9: Potrebna energija stavbe za ogrevanje in hlajenje prostorov: primerjava rezultatov med dinamično analizo (Dyn) in mesečnim algoritmom (ISO)

Kot je razvidno iz slike 4.9 se vrednosti potrebne energije dobljene s poenostavljenim pristopom (mesečna metoda) dobro ujemajo z rezultatom na podlagi dinamičnih izračunov. Primerjava celotnih energijskih potreb (ogrevanje in hlajenje) med razvitim modelom ($2846,3 \text{ kWh/leto}$) in dinamičnim izračunom pokaže napako $-7,2 \%$.

4.3 Končne ugotovitve

Oba predstavljena poenostavljena pristopa se izogibata uporabi kompleksnih orodij kot je LCA, ki ponavadi zahteva določen nivo strokovnega znanja na obravnavanem področju. Hkrati omogočata znatno zmanjšanje potrebnega časa za izvedbo takšnih analiz. Validacija obeh pristopov je bila opravljena na podlagi primerjave rezultatov z naprednimi analizami. V ta namen sta bila, posebej za analizo življenjskega cikla in določitev energijskih potreb, uporabljena komercialna programa *GaBi 6* (2012) in *DesignBuilder* (2012).

Na osnovi opravljene primerjave rezultatov obeh tipov analiz je mogoče zaključiti, da je natančnost obeh uporabljenih poenostavljenih pristopov povsem sprejemljiva.

LITERATURA

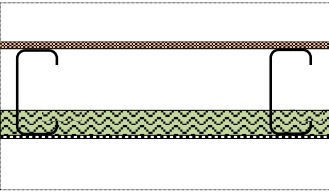
- Blendspace <https://www.blendspace.com/lessons/hMYwDSTKeg6ssQ/essential-question-how-can-i-protect-this-environment> (last accessed in 2013).
- CPA, 2012. Construction Product Association "A guide to understanding the embodied impacts of construction products" [ISBN 978-0-9567726-6-4]
- DesignBuilder 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)
- 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
- 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 Ewijk 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/oea/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
- SIST EN 13363-1. (2007). Senčila v kombinaciji z zasteklitvijo - Izračun prepustnosti za energijo sončnega sevanja in prepustnosti svetlobe - 1. del: Poenostavljena metoda, SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo.
- SIST EN 15193. (2007) Energijske značilnosti stavb - Energijske zahteve za osvetlitev, SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo.
- SIST EN 15265. (2007) Energijske značilnosti stavb - Računanje porabljene energije za segrevanje in hlajenje prostora z dinamično metodo - Splošna merila in validacija postopka, SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo.
- SIST EN 15316-3-1, (2007) Grelni sistemi v stavbah - Metoda izračuna energijskih zahtev in učinkovitosti sistema - 3-1.del.: Hišni sistemi in značilnosti potreb za toplo vodo (zahteve porabe) , SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo.
- SIST EN 15603. 2008. Energijske karakteristike stavb – Splošna raba energije in opredelitev potreb po energiji, SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo.
- SIST EN 15643-1. 2010. Trajnostnost gradbenih objektov - Ocenjevanje trajnostnosti stavb - 1. del: Splošni okvir, SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo.
- SIST EN 15643-2. 2011. Trajnostnost gradbenih objektov - Ocenjevanje stavb - 2. del: Okvir za ocenjevanje učinkov ravnanja z okoljem, SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo.
- SIST EN 15804. 2012. Trajnostnost gradbenih objektov - Okoljske deklaracije za proizvode - Skupna pravila za kategorije proizvodov za gradbene proizvode, SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo.

- SIST EN 15978. 2011. Trajnostnost gradbenih objektov - Vrednotenje učinkov ravnanja z okoljem v stavbah - Računska metoda, SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo.
- SIST EN ISO 10077, (2007) Toplotne lastnosti oken, vrat in polken - Izračun toplotne prehodnosti - 1. del: Splošno (ISO 10077-1:2006), SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo.
- SIST EN ISO 13370-1, (2008) Toplotne karakteristike stavb - Prenos toplote skozi zemljo - Računske metode (ISO 13370:2007), SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo.
- SIST EN ISO 13786, (2008) Toplotne značilnosti delov stavb - Dinamične toplotne značilnosti - Računske metode (ISO 13786:2007), SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo.
- SIST EN ISO 13789, (2008) Toplotne značilnosti stavb - Toplotni koeficienti pri prenosu toplote in prezračevanja - Računska metoda (ISO 13789:2007), SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo.
- SIST EN ISO 13790, (2008) Energijske lastnosti stavb - Račun rabe energije za ogrevanje in hlajenje prostorov (ISO 13790:2008), SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo.
- SIST EN ISO 14025. (2010). Okoljske označbe in deklaracije - Okoljske deklaracije tipa III - Načela in postopki (ISO 14025:2006), SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo.
- SIST EN ISO 14040. (2006). Ravnanje z okoljem - Ocenjevanje življenjskega cikla - Načela in okviri (ISO 14040:2006), SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo.
- SIST EN ISO 14044. (2006). Ravnanje z okoljem - Ocenjevanje življenjskega cikla – Zahteve in smernice (ISO 14044:2006), SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo.
- SIST EN ISO 6946, (2008) Gradbene komponente in gradbeni elementi - Toplotna upornost in toplotna prehodnost - Računska metoda (ISO 6946:2007), SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo.
- 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)

DODATEK 1 – PODATKOVNA BAZA MAKRO-KOMPONENT

B1010.10 Stropna nosilna konstrukcija

B1010.10.1a	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	OSB (mm)	18	zažig	80
	zračna plast (mm)	160	-	
	kamena volna (mm)	40	reciklaža	80
	mavčna plošča (mm)	15	reciklaža	80
	LWS (kg/m ²)	14	reciklaža	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 SO ₂ -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 CO ₂ -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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² stropne plošče v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
OSB plošča	PE International	Nemčija	2008
mavčna plošča	PE International	Evropa	2008
lahki jekleni profili (LWS)	Worldsteel	svet	2007
kamena volna	PE International	Evropa	2011

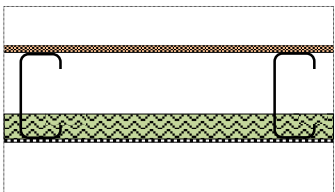
Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
zažigi OSB plošč	PE International	Nemčija	2008
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011
reciklaža jekla	Worldsteel	svet	2007

B1010.10 Stropna nosilna konstrukcija

B1010.10.1b	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	OSB (mm)	18	zažig	80
	zračna plast (mm)	160	-	-
	EPS (mm)	40	zažig	80
	mavčna plošča (mm)	15	reciklaža	80
	LWS (kg/m ²)	14	reciklaža	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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² stropne plošče v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
OSB plošča	PE International	Nemčija	2008
mavčna plošča	PE International	Evropa	2008
lahki jekleni profili (LWS)	Worldsteel	svet	2007
EPS	PE International	Evropa	2011

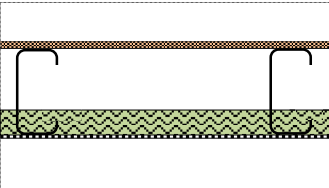
Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
zažigi OSB plošč	PE International	Nemčija	2008
zažigi EPS	PE International	Evropa	2011
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011
reciklaža jekla	Worldsteel	svet	2007

B1010.10 Stropna nosilna konstrukcija

B1010.10.1c	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	OSB (mm)	18	zažig	80
	zračna plast (mm)	160		
	XPS (mm)	40	zažig	80
	mavčna plošča (mm)	15	reciklaža	80
	LWS (kg/m ²)	14	reciklaža	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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² stropne plošče v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
OSB plošča	PE International	Nemčija	2008
mavčna plošča	PE International	Evropa	2008
lahki jekleni profili (LWS)	Worldsteel	svet	2007
XPS	PE International	Evropa	2011

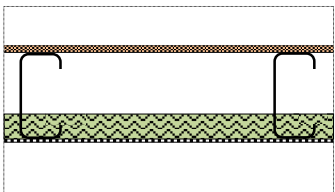
Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
zažigi OSB plošč	PE International	Nemčija	2008
zažigi XPS	PE International	Evropa	2011
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011
reciklaža jekla	Worldsteel	svet	2007

B1010.10 Stropna nosilna konstrukcija

B1010.10.1d	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	OSB (mm)	18	zažig	80
	zračna plast (mm)	160		
	PUR (mm)	40	zažig	80
	mavčna plošča (mm)	15	reciklaža	80
	LWS (kg/m ²)	14	reciklaža	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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² stropne plošče v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
OSB plošča	PE International	Nemčija	2008
mavčna plošča	PE International	Evropa	2008
lahki jekleni profili (LWS)	Worldsteel	svet	2007
PUR	PE International	Evropa	2011

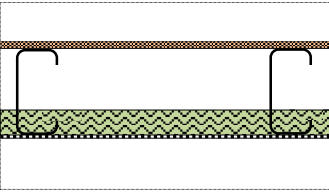
Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
zažigi OSB plošč	PE International	Nemčija	2008
zažigi PUR	PE International	Evropa	2011
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011
reciklaža jekla	Worldsteel	svet	2007

B1010.10 Stropna nosilna konstrukcija

B1010.10.1e	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	OSB (mm)	18	zažig	80
	zračna plast (mm)	160		
	pluta (mm)	40	reciklaža	80
	mavčna plošča (mm)	15	reciklaža	80
	LWS (kg/m2)	14	reciklaža	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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² stropne plošče v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
OSB plošča	PE International	Nemčija	2008
mavčna plošča	PE International	Evropa	2008
lahki jekleni profili (LWS)	Worldsteel	svet	2007
pluta	PE International	Nemčija	2011

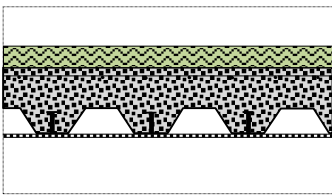
Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
zažigi OSB plošč	PE International	Nemčija	2008
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011
reciklaža jekla	Worldsteel	svet	2007

B1010.10 Stropna nosilna konstrukcija

B1010.10.2a	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	PE (mm)	20	zažig	80
	Beton (kg/m ²)	410	reciklaža	70
	Armaturne pal. (kg/m ²)	8.24	reciklaža	70
	Profilirana ploč. (kg/m ²)	11.10	reciklaža	70
	Mavčna plošča (mm)	15	reciklaža	80
	Jeklena konstr. (kg/m ²)	40	reciklaža	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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² stropne plošče v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
Beton	PE International	Nemčija	2011
Armaturne palice	Worldsteel	svet	2007
Profilirana pločevina	Worldsteel	svet	2007
Konstruktivno jeklo	Worldsteel	svet	2007
mavčna plošča	PE International	Evropa	2008
PE	PE International	Nemčija	2011

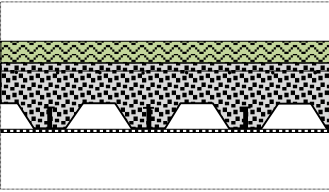
Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
zažigi PE	PE International	Evropa	2011
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011
reciklaža jekla	Worldsteel	svet	2007

B1010.10 Stropna nosilna konstrukcija

B1010.10.2b	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	EPS (mm)	20	zažig	80
	beton (kg/m ²)	410	reciklaža	70
	arm. palice (kg/m ²)	8.24	reciklaža	70
	profil. pločevina (kg/m ²)	11.10	reciklaža	70
	mavčna plošča (mm)	15	reciklaža	80
	jeklena konstr. (kg/m ²)	40	reciklaža	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 SO ₂ -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 CO ₂ -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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² stropne plošče v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
Beton	PE International	Nemčija	2011
Armaturne palice	Worldsteel	svet	2007
Profilirana pločevina	Worldsteel	svet	2007
Konstrukcijsko jeklo	Worldsteel	svet	2007
mavčna plošča	PE International	Evropa	2008
EPS	PE International	Evropa	2011

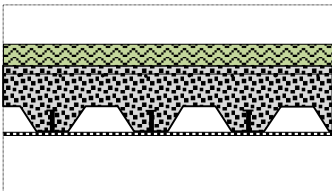
Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
zažigi EPS	PE International	Evropa	2011
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011
reciklaža jekla	Worldsteel	svet	2007

B1010.10 Stropna nosilna konstrukcija

B1010.10.2c	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	XPS (mm)	20	zažig	80
	beton (kg/m ²)	410	reciklaža	70
	arm. palice (kg/m ²)	8.24	reciklaža	70
	profil. pločevina (kg/m ²)	11.10	reciklaža	70
	mavčna plošča (mm)	15	reciklaža	80
	jeklena konstr. (kg/m ²)	40	reciklaža	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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² stropne plošče v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
Beton	PE International	Nemčija	2011
Armaturne palice	Worldsteel	svet	2007
Profilirana pločevina	Worldsteel	svet	2007
Konstrukcijsko jeklo	Worldsteel	svet	2007
mavčna plošča	PE International	Evropa	2008
EPS	PE International	Nemčija	2011

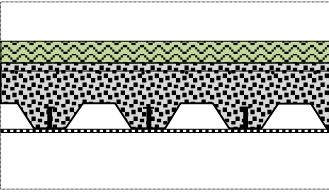
Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
zažigi XPS	PE International	Evropa	2011
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011
reciklaža jekla	Worldsteel	svet	2007

B1010.10 Stropna nosilna konstrukcija

B1010.10.2d	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	pluta (mm)	20	reciklaža	80
	beton (kg/m ²)	410	reciklaža	70
	arm. palice (kg/m ²)	8.24	reciklaža	70
	profil. pločevina (kg/m ²)	11.10	reciklaža	70
	mavčna plošča (mm)	15	reciklaža	80
	jeklena konstr. (kg/m ²)	40	reciklaža	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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² stropne plošče v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
Beton	PE International	Nemčija	2011
Armaturne palice	Worldsteel	svet	2007
Profilirana pločevina	Worldsteel	svet	2007
Konstrukcijsko jeklo	Worldsteel	svet	2007
mavčna plošča	PE International	Evropa	2008
pluta	PE International	Nemčija	2011

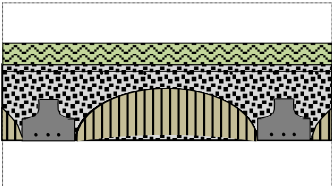
Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011
reciklaža jekla	Worldsteel	svet	2007

B1010.10 Stropna nosilna konstrukcija

B1010.10.3a	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	PE (mm)	20	zažig	80
	beton (kg/m ²)	455.4	reciklaža	70
	armaturne palalice (kg/m ²)	21.17	reciklaža	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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² stropne plošče v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
Beton	PE International	Nemčija	2011
Armaturne palice	Worldsteel	svet	2007
PE	PE International	Nemčija	2011

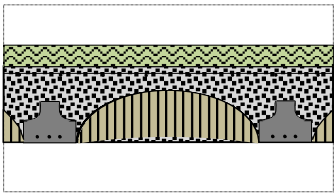
Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011
reciklaža jekla	Worldsteel	svet	2007
zažigi PE	PE International	Evropa	2011

B1010.10 Stropna nosilna konstrukcija

B1010.10.3b	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	EPS (mm)	20	zažig	80
	beton (kg/m ²)	455.4	reciklaža	70
	armaturne palalice (kg/m ²)	21.17	reciklaža	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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² stropne plošče v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
Beton	PE International	Nemčija	2011
Armaturne palice	Worldsteel	svet	2007
EPS	PE International	Evropa	2011

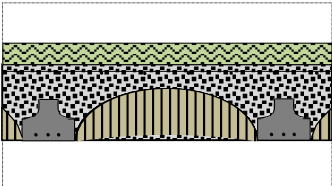
Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011
reciklaža jekla	Worldsteel	svet	2007
zažigi EPS	PE International	Evropa	2011

B1010.10 Stropna nosilna konstrukcija

B1010.10.3c	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	XPS (mm)	20	zažig	80
	beton (kg/m ²)	455.4	reciklaža	70
	armaturne palice (kg/m ²)	21.17	reciklaža	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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² stropne plošče v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
Beton	PE International	Nemčija	2011
Armaturne palice	Worldsteel	svet	2007
XPS	PE International	Evropa	2011

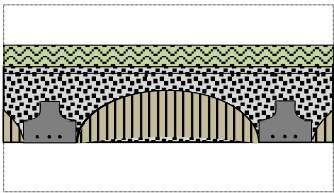
Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011
reciklaža jekla	Worldsteel	svet	2007
zažigi XPS	PE International	Evropa	2011

B1010.10 Stropna nosilna konstrukcija

B1010.10.3d	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	pluta (mm)	20	reciklaža	80
	beton (kg/m ²)	455.4	reciklaža	70
	armaturne palalice (kg/m ²)	21.17	reciklaža	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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² stropne plošče v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
Beton	PE International	Nemčija	2011
Armaturne palice	Worldsteel	svet	2007
pluta	PE International	Nemčija	2011

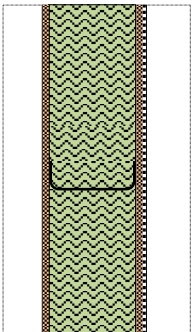
Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011
reciklaža jekla	Worldsteel	svet	2007

B2010.20 Nosilna konstrukcija zunanjega zidu

B2010.20.1a	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	OSB (mm)	13	zažig	80
	kamena volna (mm)	120	reciklaža	80
	mavčna plošča (mm)	15	deponiranje	
	lahki jekleni profili (kg/m ²)	15	reciklaža	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 SO ₂ -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 CO ₂ -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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² zunanje stene v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
OSB	PE International	Nemčija	2008
mavčna plošča	PE International	Evropa	2008
lahki jekleni profili (LWS)	Worldsteel	svet	2007
kamena volna	PE International	Evropa	2011

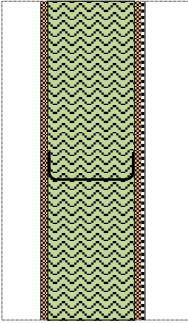
Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
zažigi OSB plošč	PE International	Nemčija	2008
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011
reciklaža jekla	Worldsteel	svet	2007

B2010.20 Nosilna konstrukcija zunanega zidu

B2010.20.1b	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	OSB (mm)	13	zažig	80
	EPS (mm)	120	zažig	80
	mavčna plošča (mm)	15	deponiranje	
	lahki jekleni profili (kg/m ²)	15	reciklaža	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 SO ₂ -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 CO ₂ -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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² zunanje stene v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
OSB	PE International	Nemčija	2008
mavčna plošča	PE International	Evropa	2008
lahki jekleni profili (LWS)	Worldsteel	svet	2007
EPS	PE International	Evropa	2011

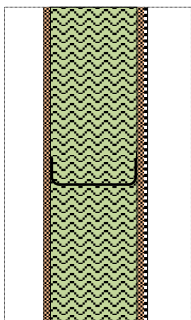
Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
zažigi OSB plošč	PE International	Nemčija	2008
zažigi EPS	PE International	Evropa	2011
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011
reciklaža jekla	Worldsteel	svet	2007

B2010.20 Nosilna konstrukcija zunanjega zidu

B2010.20.1c	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	OSB (mm)	13	zažig	80
	XPS (mm)	120	zažig	80
	mavčna plošča (mm)	15	deponiranje	
	lahki jekleni profili (kg/m ²)	15	reciklaža	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 SO ₂ -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 CO ₂ -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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² zunanje stene v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
OSB	PE International	Nemčija	2008
mavčna plošča	PE International	Evropa	2008
lahki jekleni profili (LWS)	Worldsteel	svet	2007
XPS	PE International	Nemčija	2011

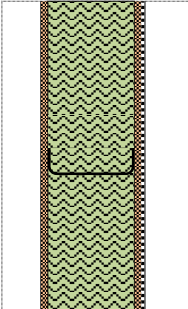
Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
zažigi OSB plošč	PE International	Nemčija	2008
zažigi XPS	PE International	Evropa	2011
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011
reciklaža jekla	Worldsteel	svet	2007

B2010.20 Nosilna konstrukcija zunanega zidu

B2010.20.1d	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	OSB (mm)	13	zažig	80
	PUR (mm)	120	zažig	80
	mavčna plošča (mm)	15	deponiranje	
	lahki jekleni profili (kg/m ²)	15	reciklaža	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 SO ₂ -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 CO ₂ -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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² zunanje stene v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
OSB	PE International	Nemčija	2008
mavčna plošča	PE International	Evropa	2008
lahki jekleni profili (LWS)	Worldsteel	svet	2007
PUR	PE International	Nemčija	2011

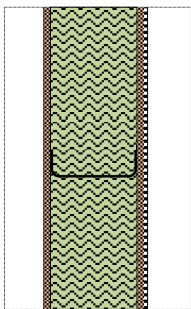
Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
zažigi OSB plošč	PE International	Nemčija	2008
zažigi PUR	PE International	Evropa	2011
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011
reciklaža jekla	Worldsteel	svet	2007

B2010.20 Nosilna konstrukcija zunanega zidu

B2010.20.1e	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	OSB (mm)	13	zažig	80
	pluta (mm)	120	reciklaža	80
	mavčna plošča (mm)	15	deponiranje	
	lahki jekleni profili (kg/m ²)	15	reciklaža	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 SO ₂ -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 CO ₂ -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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² zunanje stene v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
OSB	PE International	Nemčija	2008
mavčna plošča	PE International	Evropa	2008
lahki jekleni profili (LWS)	Worldsteel	svet	2007
pluta	PE International	Nemčija	2011

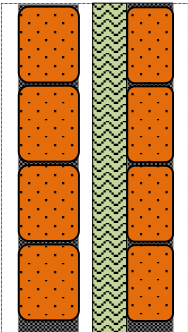
Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
zažigi OSB plošč	PE International	Nemčija	2008
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011
reciklaža jekla	Worldsteel	svet	2007

B2010.20 Nosilna konstrukcija zunanega zidu

B2010.20.2a	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	opečnat zid (mm)	11	deponiranje	
	zračna plast (mm)	0		
	kamena volna (mm)	60	reciklaža	80
	opečnati zid (mm)	11	deponiranje	

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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² zunanje stene v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
Opeka	PE International	Nemčija	2011
kamena volna	PE International	Evropa	2011

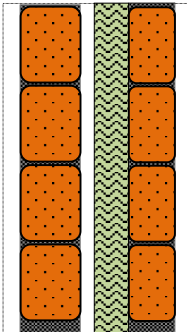
Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011

B2010.20 Nosilna konstrukcija zunanega zidu

B2010.20.2b	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	opečnati zid (mm)	11	deponiranje	
	zračna plast (mm)	0		
	EPS (mm)	60	zažig	80
	opečnati zid (mm)	11	deponiranje	

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 SO ₂ -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 CO ₂ -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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² zunanje stene v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
Opeka	PE International	Nemčija	2011
EPS	PE International	Evropa	2011

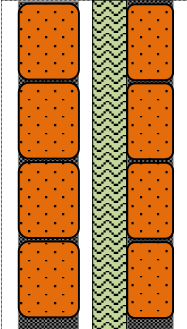
Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
zažigi EPS	PE International	Evropa	2011
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011

B2010.20 Nosilna konstrukcija zunanega zidu

B2010.20.2c	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	opečnati zid (mm)	11	deponiranje	
	zračna plast (mm)	0		
	XPS (mm)	60	zažig	80
	opečnati zid (mm)	11	deponiranje	

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 SO ₂ -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 CO ₂ -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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² zunanje stene v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
Opeka	PE International	Nemčija	2011
XPS	PE International	Nemčija	2011

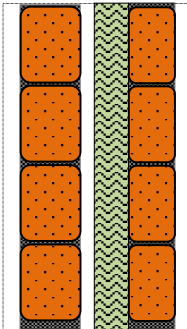
Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
zažigi XPS	PE International	Evropa	2011
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011

B2010.20 Nosilna konstrukcija zunanjega zidu

B2010.20.2d	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	opečnat zid (mm)	11	deponiranje	
	zračna plast (mm)	0		
	PUR (mm)	60	zažig	80
	opečnati zid (mm)	11	deponiranje	

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 SO ₂ -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 CO ₂ -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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² zunanje stene v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
Opeka	PE International	Nemčija	2011
PUR	PE International	Nemčija	2011

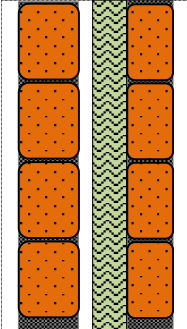
Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
zažigi PUR	PE International	Evropa	2011
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011

B2010.20 Nosilna konstrukcija zunanega zidu

B2010.20.2e	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	opečnati zid (mm)	11	deponiranje	
	zračna plast (mm)	0		
	pluta (mm)	60	reciklaža	80
	opečnati zid (mm)	11	deponiranje	

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 SO ₂ -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 CO ₂ -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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² zunanje stene v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
Opeka	PE International	Nemčija	2011
pluta	PE International	Nemčija	2011

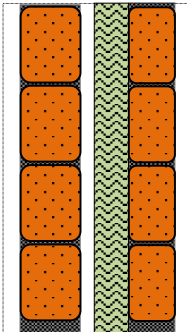
Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v modulih C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011

B2010.20 Nosilna konstrukcija zunanega zidu

B2010.20.2f	materiali	debelina/ gostota	scenarij ob koncu življenjskega cikla	RR (%)
	opečnati zid (mm)	11	deponiranje	
	zračna plast (mm)	0		
	steklena volna (mm)	60	deponiranje	
	opečnati zid (mm)	11	deponiranje	

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 SO ₂ -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 CO ₂ -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

Funkcionalna enakovrednica:

1 m² zunanje stene v stavbi, projektirane za življenjsko dobo 50 let, s toplotno prehodnostjo (U) 0,92 W/m²K in toplotno kapaciteto (κ_m) 61060 J/m²K.

Dodatne informacije:**Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A1-A3**

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
Opeka	PE International	Nemčija	2011
Steklena volna	PE International	Evropa	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli A4 in C2 (privzeta razdalja 20 km)

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
prevoz s tovornjakom	PE International	svet	2011

Seznam podatkovnih nizov uporabljen v moduli C4-D

proces	vir podatkov	geografska pokritost	datum
deponiranje inertnih odpadkov	PE International	Nemčija	2011
deponiranje steklene volne	PE International	Nemčija	2010