

LVS³

Teraskonstruksioonide jätkusuutlikkuse valorisatsioon

TEOREETILINE TAUST

Veebruar 2014

Projekti toetaja:

Research Fund for Coal and Steel of the European Community



Teoreetiline taust

Kuigi käesoleva dokumendi koostamisel on püütud tagada informatsiooni terviklikkust ja kvaliteeti, ei vastuta projekti partnerid selles dokumendis esitatud informatsiooni kasutamisest võimalike varale või inimestele tekitatud kahjude eest.

Käesoleva materjali mittekommertslikel eesmärkidel paljundamine on lubatud, kui tehakse vastav viide ja teavitatakse projekti koordinaatorit. Levitamine alltoodud veebilehest erinevate kanalite kaudu on võimalik ainult projektipartnerite loal. Vastava sooviga tuleks pöörduda projekti koordinaatori poole aadressil: ARCELORMITTAL BELVAL & DIFFERANGE S.A., Rue de Luxembourg 66, Esch-sur-Alzette, Luxembourg.

Käesolev on projekti (RFS2-CT-2013-00016) LVS³ – Teraskonstruksioonide jätkusuutlikkuse valorisatsioon (Large Valorisation on Sustainability of Steel Structures) osa. Seda projekti on kaasfinantseerinud Euroopa Komisjoni fond Research Fund for Coal and Steel (RFCS).

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

SISUKORD

1	SISSEJUHATUS	5
2	HOONE ELUTSÜKLI ANALÜÜS	5
2.1	ELUTSÜKLIL PÕHINEV MÕTTEVIIS.....	5
2.2	HOONE JÄTKUSUUTLIKKUSE HINDAMISE METOODIKAD	7
2.3	ELUTSÜKLI ANALÜÜSI NORMATIIVNE RAAMISTIK	8
2.3.1	Eesmärgi ja ulatuse määratlus.....	9
2.3.2	Elutsükli inventuuranalüüs	10
2.3.3	Elutsükli mõju analüüs	10
2.3.4	Elutsükli interpreteerimine.....	19
2.3.5	Näide	19
2.4	HOONETE ELUTSÜKLI ANALÜÜSI EUROOPA STANDARDID.....	21
2.4.1	CEN TC350.....	21
2.4.2	Hoone tasand (EN 15978)	22
2.4.3	Toote tasand (EN 15804).....	26
2.5	MUUD STANDARDID JA REGULATSIOONID (PEAMISELT KASUTUSFAASIS).....	27
3	HOONE ANALÜÜSI LIHTSUSTATUD METOODIKA	29
3.1	SISSEJUHATUS	29
3.2	MAKROKOMPONENTIDEL PÕHINEV ELUTSÜKLI ANALÜÜS.....	29
3.2.1	Üldised etapid	29
3.2.2	Ümbertöödeldavate materjalide paigutamine	32
3.2.3	Makrokomponentide kirjeldus	37
3.2.4	Makrokomponentide rakendamise näide	38
3.3	ENERGIATARBE MÄÄRAMISE ALGORITM (EKSPLUATATSIOONI FAASIS)	42
3.3.1	Sissejuhatus	42
3.3.2	Hoone asukoht ja kliima	42
3.3.3	Arvutusmeetod energiavajaduse määramiseks	47
4	KASUTATUD MEETODITE VALIDEERIMINE	83
4.1	KONSTRUKTSIOONITÜÜPIDE MEETODI VALIDEERIMINE	83
4.1.1	Juhtumiuuringu kirjeldus	84
4.1.2	Konstruksioonitüüpide valik.....	85
4.1.3	Konstruksioonitüüpide meetodi rakendus	88
4.1.4	Võrdlus põhjaliku elutsükli analüüsiga	89
4.2	MEETODI VALIDEERIMINE ENERGIATAVAJADUSE ARVUTAMISEKS	91
4.2.1	Kliimaandmed ja pinnase soojustehnilised omadused	91
4.2.2	Akende ja varjestuselementide spetsifikatsioonid	93
4.2.3	Läbipaistmatud välispiirded.....	93
4.2.4	Hoone energiatõhususe tulemused	93

4.2.5 Võrdlus kaasaegse dünaamilise simulatsiooniga	94
4.3 KOKKUVÕTE	96
KIRJANDUS	97
Lisa 1 – makrokomponentide andmebaas	100

1 SISSEJUHATUS

Käesoleva dokumendi eesmärk on pakkuda põhjalikku informatsiooni elutsükli analüüsi meetodite arengust ja usaldusväärsuse kontrollist põhitähelepanuga teraskonstruksioonidel. See dokument loodi projekti **LVS³: Large Valorisation on Sustainability of Steel Structures** (RFS2-CT-2013-00016) käigus.

Käesolevas dokumendis käsitletakse kaht teineteist täiendavat meetodikat:

- (i) Makrokomponentide meetod, mis tegeleb ehitise või ehitise komponentide elutsükli hindamisega, kuid ei käsitle energiat ehitise kasutusfaasis;
- (ii) Meetod, mis keskendub ehitise kasutusfaasile ja võtab kvantitatiivselt arvesse kasutusfaasi energiat.

Mõlemad meetodid töötati välja Euroopa Komisjoni RFCS projektis *SB_Steel: Sustainability of Steel Buildings* (SB_Steel, 2014).

Käesoleva projekti käigus rakendati need meetodid olemasolevasse tarkvarasse. Esimene neist töötab programmis *LCA calculator*, mis arendati välja Coimbra Ülikoolis (Portugal) koos ECCS-ga iPad-s ja iPhone-s kasutamiseks; ja teine, AMECO, arendati välja ArcelorMittal ja CTICM poolt.

Dokument koosneb kolmest osast. Esimeses osas (Peatükk 2), antakse sissejuhatav ülevaade elutsükli põhinevast mõtteviisist, millele järgneb erinevate ehitise jätkusuutlikkust hindavate meetodikate ning rahvusvaheliste standardite kohase elutsükli analüüsi üldise raamistiku tutvustus. Dokumendi teises osas (Peatükk 3) esitatakse ehitise kogu elutsükli keskkonnamõjude ja energiavajaduse analüüsiks kasutatud meetodikate üksikasjalik kirjeldus. Dokumendi viimases osas (Peatükk 4) tutvustatakse nende meetodite kasutamist näidetes.

2 HOONE ELUTSÜKLI ANALÜÜS

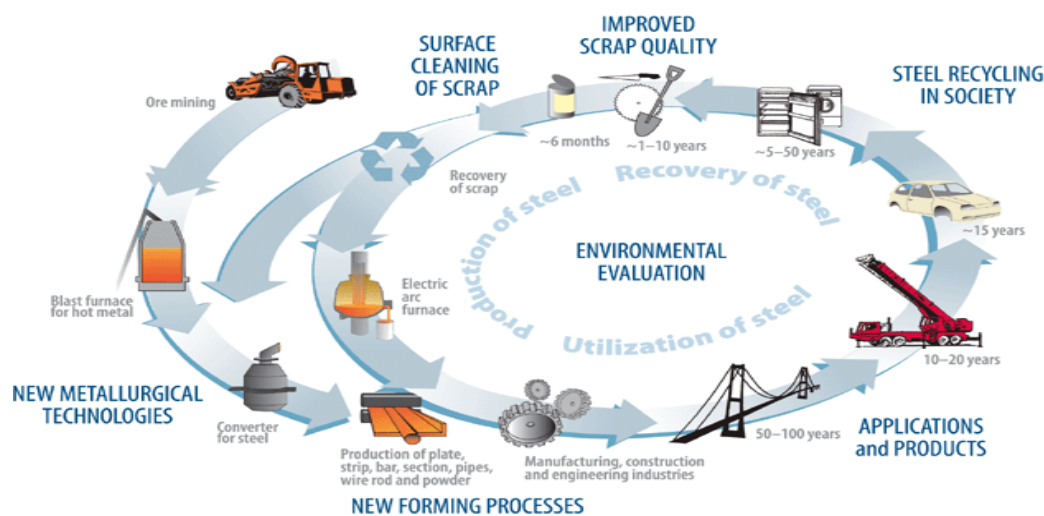
2.1 Elutsükli põhinev mõtteviis

Elutsükli analüüs (Life cycle assessment, LCA) on protsess, mille eesmärgiks on hinnata toote tootmisest ja kasutamisest põhjustatud koormust keskkonnale ning võimalusi selle mõjutamiseks.

Elutsükli analüüsi käigus kvantifitseeritakse materjalikasutust, energiavajadust ja jäätmeid toote kogu elutsükli jooksul. (s.o. tooraine varumist ehitise eluea lõpuni), vt joonis 2.1.

Elutsükli analüüsi metoodika soovitab keskkonnamõjude hindamisel kasutada Integrated Product Policy (COM (2003)302).

Potentsiaalsed keskkonnamõjud avalduvad hoone või ehitise eluea kõigil etappidel. Elutsükli põhise mõtteviisi eeliseks on see, et keskkonnakoormust ei nihutata ühelt eluea etapilt teisele, ühest geograafilisest asukohast teise, ühest keskkonna osast teise (õhust vette või pinnasesse) (UNEP, 2004).



Joonis 2.1: Elutsükli analüüsi metoodika (stalkretsloppet.se)

Lisaks sellele võimaldab elutsükli põhine lähenemine teha paremaid valikuid pikaajalises perspektiivis. Kogu toote elutsükli ahelas hällist hauani on kõigil osalistel vastutus keskkonnamõjude eest (UNEP, 2004). Kvantifitseerides kõikides elutsükli faasides toimuva emissiooni õhku, vette ja pinnasesse võimaldab elutsükli põhine mõtteviis määrata kõige kriitilisema protsessi toote või süsteemi eluea jooksul ja kavandada võimalikud mõjude vähendamise abinõud.

Siiski on sellisel analüüsil ka puudusi:

- ✓ LCA on tavaliselt aeganõudev ja kallis, kuna vajab eksperdi tasemel teadmisi;
- ✓ Puudub üldtunnustatud LCA metoodika;
- ✓ Mõningad eeldused LCA rakendamisel on subjektiivsed (näiteks algandmed toote kohta, hinnatavate keskkonnamõjude valik);
- ✓ LCA tulemused on orienteeritud riiklikule või piirkondlikule tasandile ja seetõttu ei ole alati kasutatavad kohalikul tasandil;
- ✓ LCA täpsus sõltub vastavate andmete kvaliteedist ja kättesaadavusest.

Selles projektis kasutatud elutsükli analüüsi metoodika püüab vabaneda mõnest ülaltoodud puudusest.

Järgmises alalõigus esitatakse lühike ülevaade hoone jätkusuutlikkuse hindamise metoodikatest.

2.2 Hoone jätkusuutlikkuse hindamise metoodikad

Ehituse keskkonnamõjud on tööstussektoris ühed suuremad. Viimastel aastatel on huvi ehitus keskkonnamõjude analüüsi vastu kasvanud.

Praegu on olemas kaks suuremat vahendite rühma ehituse keskkonnamõjude analüüsiks (Reijnders and Roekel, 1999):

- (i) Kvalitatiivsed kriteeriumitel ja hinnangutel põhinevad vahendid;
- (ii) Elutsükli kvantitatiivsel sisendite ja väljundite analüüsil põhinevad vahendid.

Esimeses rühmas on sellised süsteemid nagu LEED (USA-s), BREAM (UK-s), GBTool (International Initiative for a Sustainable Built Environment (iISBE)), etc. Need meetodid põhinevad tavaliselt hoonete auditeerimisel ja eelnevalt kehtestatud parameetritele hinnete määramisel. Kuigi üldiselt on meetod kvalitatiivne, võivad mõned parameetrid olla ka kvantitatiivsed ja kasutada materjalide puhul isegi elutsükli analüüsi (LCA). Tavaliselt kasutatakse neid süsteeme roheehituse sertifikaatide ja ökomärgiste taotlemiseks. Need vahendid jäävad käesoleva dokumendi käsitusalaast välja. Järgnevas on fookuses elutsükli analüüsil (LCA) põhinevad meetodid.

LCA võib otseselt rakendada ehitussektoris. Sellegipoolest on mõningaid probleeme standards elutsükli analüüsi protseduuri rakendamisel hoonete puhul ja ka ehituses üldisemalt. Põhjused on järgmised (IEA, 2001):

- (i) Hoone eeldatav eluiga on pikk ja täpselt teadmata, seetõttu on suur tõenäosus saada ebatäpseid tulemusi,
- (ii) Hooned on seotud asukohaga ja paljud mõjud on kohaliku iseloomuga,
- (iii) Ehitustooted on tavaliselt tehtud komposiitmaterjalidest, mistõttu on vaja rohkem andmeid tootmisprotsessi kohta,
- (iv) Kasutusfaasi energiakulu sõltub kasutajast ja seadmetest, mis aja jooksul muutuvad,
- (v) Hoone on multifunktsionaalne, mistõttu hoone erinevad osad toimivad erinevalt,
- (vi) Hooned on koosmõjus teiste tehiskeskkonna elementidega, nagu teed, torustikud, rohealad ning seetõttu võib hoone isoleeritud käsitus viia täiesti vääralt LCA lõpptulemuseni.

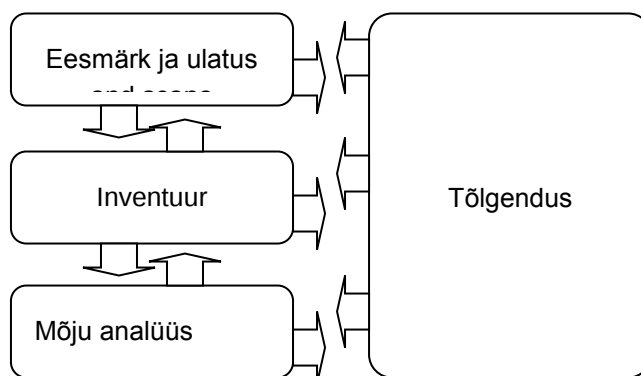
Ehitise elutsükli analüüsil eristatakse kaht tüüpi LCA vahendeid – ehitusmaterjalide ja hoone komponentide jaoks mõeldud vahendid (näiteks BEES (Lippiatt, 2002) ja ICA vahendid tervikhoone analüüsiks (näiteks Athena (Trusty, 1997), Envest (Howard et al. 1999), EcoQuantum (Kortman et al., 1998)). Viimased on tavaliselt keerukamad, kuna hoone toimimist mõjutavad üksikute komponentide vastasmõjud, samuti kasutajate ja looduskeskkonna mõjutused. Sobiva vahendi valik sõltub projektis seatud keskkonnamojust eesmärkidest.

LCA kui projekteerimisfaasi töövahendi täpsust ja sobivust on analüüsitud Euroopa temaatilises võrgustikus PRESCO (Practical Recommendations for Sustainable Construction) (Kellenberger, 2005). Selles projektis võrreldi erinevaid LCA vahendeid juhtumipõhiselt eesmärgiga ühtlustada LCA teostamist hoonete puhul. Lisaks võib keskkonnamojuste hindamise vahendite võrdlusi leida ka Jönsson (2000) ja Forsberg & von Malmborg (2004) töödes.

Nagu juba öeldud, keskendub see document LCA-le ja täpsemalt selle rakendamisele teraskonstruksiooniga hoonetele. Järgnevates alapeatükkides tutvustatakse LCA normatiivset raamistikku. Esiteks rahvusvahelised standardid ISO 14040 (2006) ja ISO 14044 (2006), mis kehtestavad üldise LCA raamistiku ning seejärel uued ehituse jätkusuutlikkust käsitlevad Euroopa standardid. Kui esimesena nimetatud ISO standardid on üldkasutatavad, siis Euroopa standardid käsitlevad hooneid ja ehitusprotsessi.

2.3 Elutsükli analüüsi normatiivne raamistik

Rahvusvahelised standardid ISO 14040 (2006) ja 14044 (2006) määratlevad elutsükli analüüsi üldise raamistiku, põhimõtted ja nõuded. Nende standardite kohaselt sisaldab elutsükli analüüs eesmärgi ja ulatust, materjalide ja komponentide loendit (inventuur) koos vastavate andmetega, keskkonnamoju hinnangut ja tulemuste tõlgendamist. Analüüsi erinevad faasid on seotud (vt joonis 2.2) ning mõnikord on vajalik ka iteratiivne protseduur vajaliku eesmärgi saavutamiseks. Järgnevates alapeatükkides kirjeldatakse protsessi erinevaid faase.



Joonis 2.2: LCA üldine skeem (ISO 14044:2006)

2.3.1 Eesmärgi ja ulatuse määratlus

Elutsükli analüüsi eesmärgis sõnastatakse analüüsi otstarve, põhjused ja eeldatav sihtrühm, s.t. kellele on mõeldud tulemusi edastada.

LCA analüüsi ulatuse määratlemisel näidatakse käsitletavat ehitise toimivad osad, nende otstarve ning süsteemi piirid.

2.3.1.1 Funktsioon ja funktsionaalne üksus

LCA analüüsi ulatus määratleb selgelt käsitletava süsteemi funktsioonid. Funktsionaalne üksus on tootesüsteemi funktsionaalsete väljundite toimivuse mõõt.

Funktsionaalse üksuse põhieesmärk on näidata, millega sisend ja väljund on seotud. Seda seost on vaja, et tagada LCA arvutuste võrreldavus. Tulemuste võrreldavus on eriti kriitiline siis, kui LCA tulemusi kasutatakse süsteemide võrdlemiseks.

2.3.1.2 Süsteemi piirid

Süsteemi piirid määratlevad, missuguseid protsesse LCA käigus analüüsitakse. Tehismaterjali puhul katab LCA kõik etapid toormaterjali ootmisest kuni eluea lõpuni, vt joonis 2.3.



Joonis 2.3: LCA analüüsitavad protsessid tehismaterjali puhul

Kui LCA katab ainult materjali tootmise algstaadiumi, on see hällist-väravani analüüs. Kui käsitletakse kogu tsüklit (toormaterjali tootmisest eluea lõpuni), siis on tegemist hällist-hauani analüüsiga. Kui käsitletakse ka ümbertöötlemise protsesse

eluea lõpul ning materjale saab ümbertöödeldud materjale saab taaskasutada toorainene, on tegemist analüüsiga hällist-hällini. Süsteemi piirid määratakse mitme faktori poolt, sealhulgas analüüsi eeldatav otstarve, tehtud eeldused, andmete ja hinna piirangud, eeldatav analüüsi kasutaja.

Sisendi ja väljundi valik peab tagama, et sisend ja väljund ja nende piirid oleksid lihtvood.

2.3.1.3 Nõuded andmete kvaliteedile

Analüüsi eesmärgi ja ulatuse täitmiseks on ISO 14044-s määratud järgmised nõuded:

- ajaline ulatus: andmete vanus ja minimaalne ajavahemik, mille jooksul tuleks andmeid koguda;
- geograafiline ulatus: geograafiline piirkond, kust andmed kogutakse
- tehnoloogiline ulatus: spetsiifiline tehnoloogia või tehnoloogiate segu;
- täpsus: andmete variatsioon andmeliikide kaupa;
- täielikkus: mõõdetava või uuritava osakaal kogu protsessist;
- esindatus: andmete tõepärasuse kvalitatiivne hinnang;
- ühetaolisus: meetodika ühetaolise rakendamise kvalitatiivne hinnang erinevatele andmetele;
- reprodutseeritavus: kvalitatiivne hinnang selle kohta, kas teised sõltumatud kasutajad saavad sama meetodika ja andmete kasutamisel samasugused tulemused ;
- informatsiooni ebakindlus (s.o. andmed, mudelid, eeldused).

2.3.2 Elutsükli inventuuranalüüs

Inventuuranalüüs hõlmab andmete kogumist ja protseduure tootesüsteemi sisendite ja väljundite kvanifitseerimiseks. Nendeks sisenditeks ja väljunditeks võivad olla tooraine kasutamine ja jäätmete heitmine õhku, vette või pinnasesse. Kvalitatiivsed ja kvantitatiivsed andmed inventuuriks kogutakse süsteemi piiridesse jääva iga protsessiosa kohta. Andmete kogumine võib olla ressursimahukas tegevus.

2.3.3 Elutsükli mõju analüüs

2.3.3.1 Üldine arvutusmeetod

LCA analüüsi mõjude hindamise faasi eesmärgiks on potentsiaalsete keskkonnamõjude hindamine kasutades elutsükli inventuuranalüüsi tulemusi. Üldiselt hõlmab see protsess inventuuranalüüsi andmete sidumist keskkonnamõjudega ja koosneb kahest osast:

- (i) Kohustuslikud elemendid, nagu liigitus ja iseloomustus;
- (ii) Valikulised elemendid, nagu normaliseerimine, grupeerimine, kaalumine.

Liigitus tähendab eelnevat mõjude kategooriate valikut vastavalt analüüsi eesmärkidele ja LCA tulemuste jaotamist vastavalt neile kategooriatele. LCA tulemuse suhtelise osakaalu hindamiseks vastavas mõjukategoorias kasutatakse mõjutegureid. Vastavalt sellele meetodile on mõjukategooriad lineaarsed funktsioonid, s.t. mõjutegurid ei sõltu keskkonnale avaldatava mõju suurusest, vt avaldis 2.1:

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

Valem (2.1)

kus m_i on inventuurivoo i mass ja $charact_factor_{cat,i}$ on inventuurivoo i mõjutegur mõjukategooriale.

LCA valikuliste elementide puhul on tavaliselt vajalik normaliseerimine, et näidata, mis osakaal mõjukategoorial üldistes keskkonnamõjudes. Kaalumisega saab normaliseeritud näitaja numbrilise väärtuse vastavalt suhtelisele tähtsusele. Kaalumise põhineb pigem väärtuhinnangutel kui looduteadustel, nii teeb ISO 14044 vahet sisemistel ja välimistel rakendustel ja kui tulemusi tuleb võrrelda ja avalikustada, siis kaalumist ei peaks kasutama.

Grupeerimine on ka üks valikuline LCA samm, millega mõjukategooriad jaotatakse gruppidesse. Sel juhul vastavalt ISO 14044 võib kasutada kahte protseduuri: liigitus kategooria näitajate nimiväärtuste järgi ja järjestamine järgarvude skaalal.

Käesolevas dokumendis kasutatakse LCA kohustuslikke elemente ja valikulisi elemente edaspidi ei käsitleta.

2.3.3.2 Potentsiaalsete keskkonnamõjude arvutamine

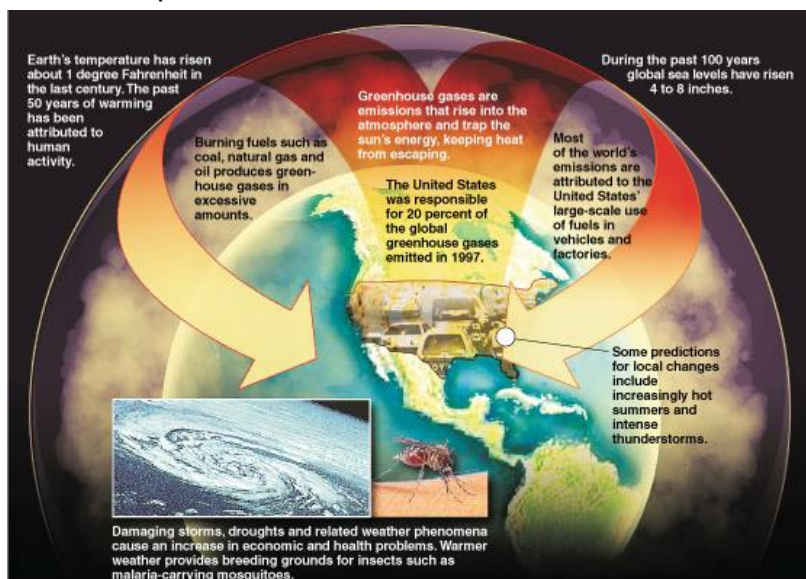
LCA eesmärgiks on potentsiaalsete keskkonnamõjude hindamine arvestades määratletud sisendit ja väljundit. Järgnevates alapeatükkides tutvustatakse kõige levinumaid keskkonnamõjude kategooriaid LCA-s, koos vastava arvutusmeetodiga lihtsustatud kujul.

2.3.3.2.1 Globaalne soojenemise potentsiaal (GWP)

Joonisel 2.4 esitatud "kasvuhoone efekt" tekib infrapunaste (IR) Maa atmosfääris olevate aktiivsete gaaside (näiteks H₂O, CO₂ ja O₃) tõttu, mis absorbeerivad maa

(infrapunast) energiat (või kiirgust) ja peegeldavad osa sellest soojusest tagasi maale, soojendades niiviisi maapinda ja atmosfääri alumist kihti.

Nende gaaside, mida tuntakse ka kasvuhoone gaaside (GHG) nime all, kontsentratsioon on suurenenud tööstuse arenemisega ja tugevdab kasvuhooneefekti maal, põhjustades temperatuuri tõusu maapinnal ning sellest tulenevat potentsiaalseid kliimamuutusi.



Kõik GHG ei ole sarnase mõjuga. Kui CO₂ on kõige levinum GHG, siis on mitmeid teisi gaase, mis mõjuvad kliimamuutustele samamoodi kui CO₂. Erinevate gaaside mõju väljendatakse Globaalse soojenemise potentsiaaliga (GWP).

Joonis 2.4: GLobaalne soojenemine (EPS, 2009)

GWP on selline CO₂ hulk, mille vabanemisel tekiks sama kiirgusefekt kui 1 kg vastava GHG vabanemisel teatud aja jooksul. GWP abil on võimalik kvantifitseerida teatud gaasi mõju globaalsele soojenemisele.

GWPsid arvutati valitsustevahelisel Kliimamuutuste paneelil (IPCC, 2007) kolme ajahorisondi jaoks – 20, 100 ja 500 aastat, tulemiused on toodud tabelis 2.1.

Tabel 2.1 – GWPs for given time horizons (in kg CO₂ eq./kg) (IPCC, 2007)

	20 years	100 years	500 years
Carbon Dioxide (CO ₂)	1	1	1
Methane (CH ₄)	62	25	7
Nitrous oxide (N ₂ O)	275	298	156

Seega vastavalt avaldisele (2.2) arvutatakse 2Gloaalse sojenemise” indikaator järgmiselt:

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

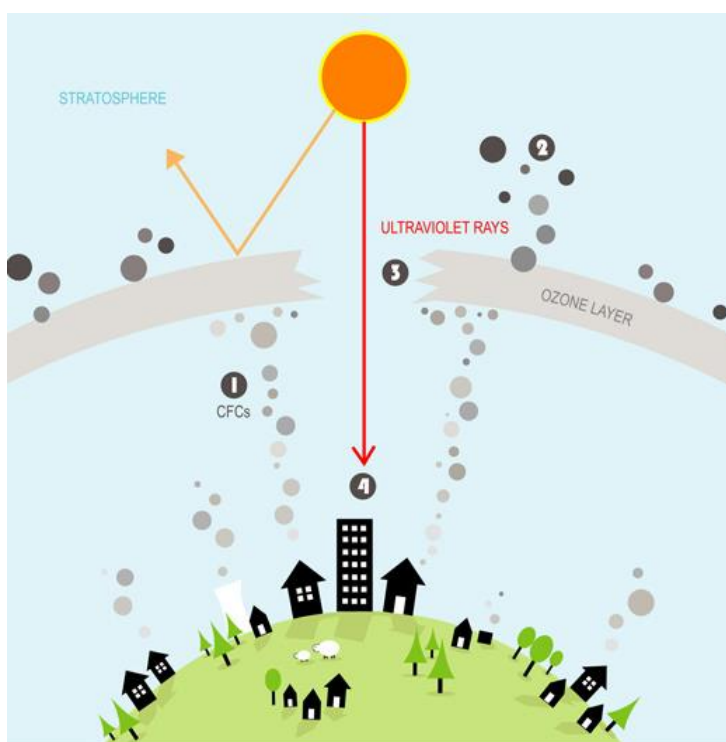
Valem (2.2)

kus, m_i on eralduva aine i mass (kg). Seda indikaatorit väljendatakse kg CO₂ ekvivalentides.

Siin kasutatavas metoodikas vaadeldakse ainult 100 aastast ajahorisonti.

2.3.3.2.2 Osooni lagunemise potentsiaal (ODP)

Osoonikihti lagundavad gaasid lagundavad stratosfääri osoni, eraldades vabu radikaale, mis lõhuvad osooni (O₃). Lagunenud osoonikiht ei suuda enam nii Osooni kiht ei suuda enam piisavalt kaitset pakkuda atmosfääri ultraviolettkiirguse eest, mis võib põhjustada näiteks vähki, samuti suureneb pikeseikiirgusest tingitud vigastusohu taimdele ja loomadele.



Joonis 2.5: Osooni lagunemine (BlendSpace, 2013)

Osoonikihi kõige ohtlikumad tema lagunemise mõttes on CFCs ja HCFCs. Mure terviskahjustuste pärast viis lõpuks Montreali protokoll allakirjutamiseni, mis keelas mitmed osoonikihi ohtlike gaaside kasutuse.

Osooni lagunemise potentsiaali väljendatakse globaalset osooni vähenemisena mingi aine mõjul võrreldes osooni lagunemisega referentsaine CFC-11 mõjul. Nii saadakse ODP referentsühikuks kg chlorofluoro-carbon-11 (CFC-11) ekvivalent.

Sellise referentsmudeli töötas välja World Meteorological Organization (WMO) defineeris erinevate gaaside osooni lagundamisvõime. Püsivate olude jaoks on mõningate ainete ODP väärtused toodud tabelis 2.2 for selected substances (Heijungs et al., 1999).

Tabel 2.2 – Mõningate ainete ODP väärtused (kg CFC-11 ekv/kg) (Heijungs et al., 1999)

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

Osooni lagunemise indikaatori saab arvutada järgneva avaldisega,

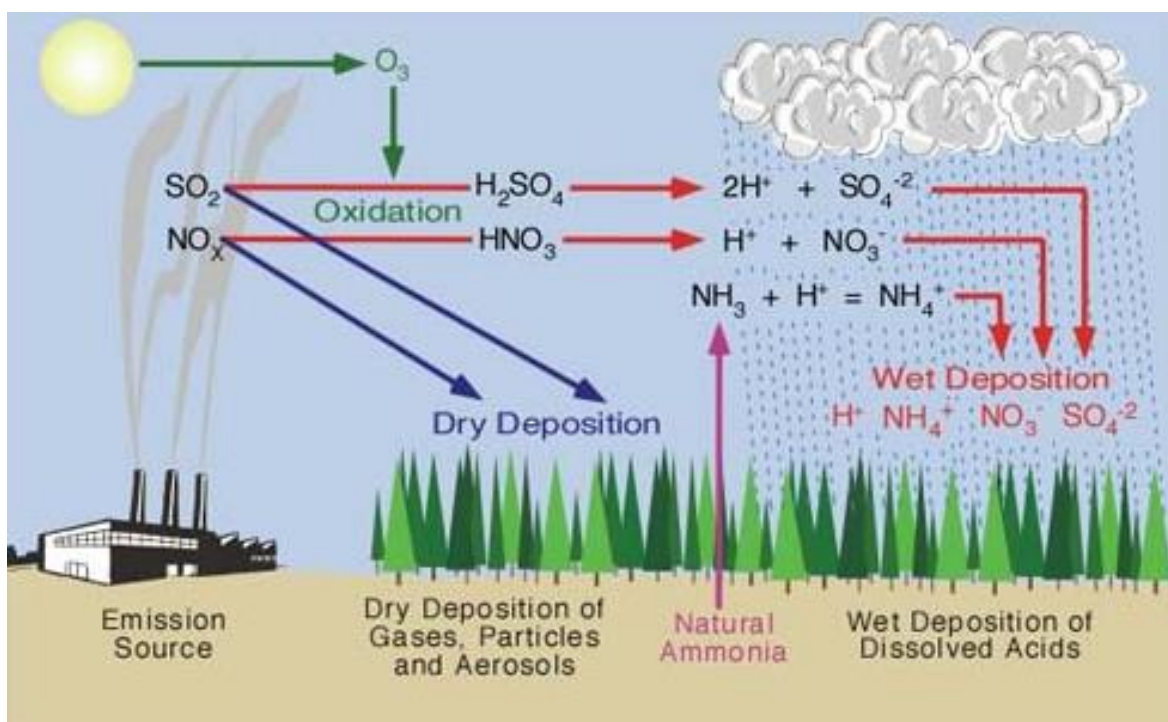
$$\text{Ozone Depletion} = \sum_i \text{ODP}_i \times m_i$$

Valem (2.3)

kus, m_i on aine i eraldunud mass (kg). Selle indikaatori ühikuks on *kg CFC-11 eekvivalenti*.

2.3.3.2.3 Hapestumise potentsiaal (AP)

Hapestumine on protsess, milles saastunud õhk (põhiliselt ammoniaak (NH_3), vääveldioksiid (SO_2) ja lämmastikoksiidid (NO_x)) muudetakse happelisteks ühenditeks, nagu näidatud joonisel 2.6. Atmosfääri sattunud happelised ühendid jõuavad maale tagasi happevihmana või lumena. Kui selline vihm sajab maha (sagely esialgse saastumise kohast kaugel), põhjustab see ökosüsteemi kahjustusi, mille ulatus sõltub ökosüsteemi tugevusest.



Joonis 2.6: Hapestumise potentsiaal (The energy library, 2013)

Hapestumise potentsiaali mõõdetakse aine võimega eraldada H^+ ioone, mis põhjustavad hapestumist või selle asemel võib hapestumist mõõta ka eralduva SO_2 mõju ekvivalendina.

Käesolevas töös kasutatud hapestumise indikaatorid on saadud RAINS-LCA mudliga, mis võtab arvesse ka tausta andmeid saaste kohta arvesse (Huijbregts,

2001). Nii on saadud keskmised European hapestumise iseloomulike tegurite väärtused, mis on toodud tabelis 2.3.

Tabel 2.3 – Hapestumise potentsiaal (kg SO₂ ekv.) (Huijbregts, 2001)

	Ammoniaak (NH ₃)	Lämmastikoksiid (NO _x)	Vääveldioksiid (SO ₂)
AP _i	1.60	0.50	1.20

Hapestumise indikaatori same arvutada avaldisest

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

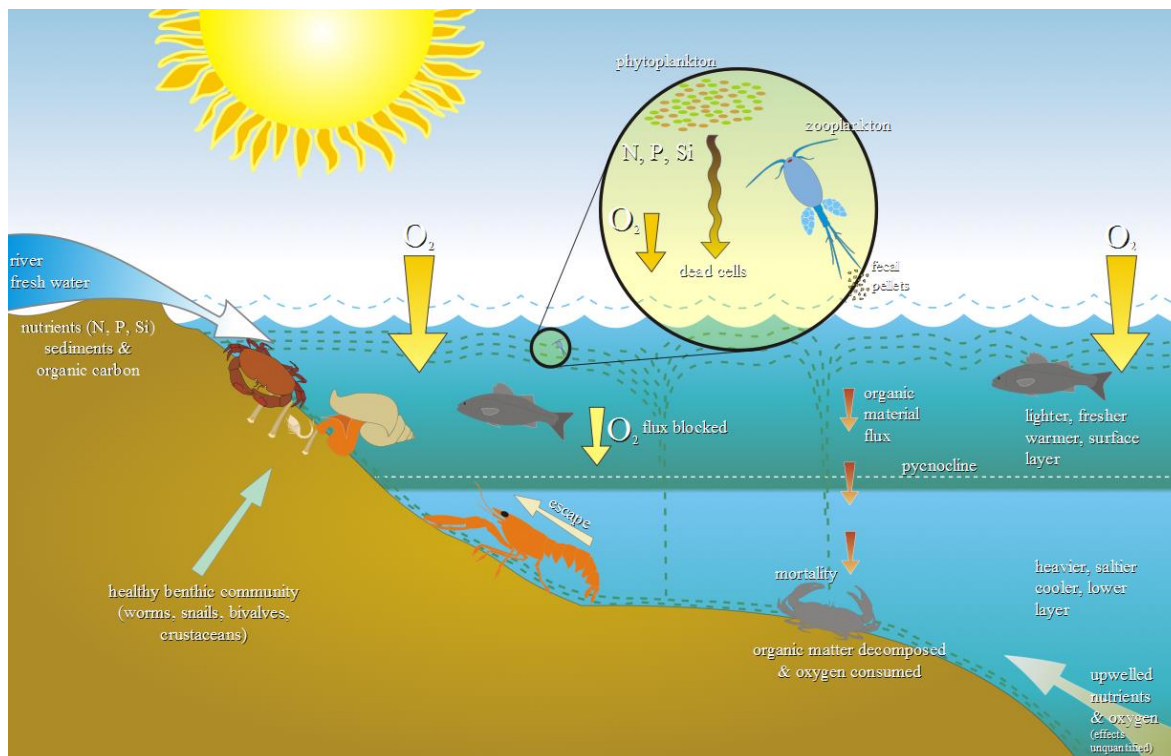
Valem (2.4)

kus, m_i eralduva aine i mass (kg). Seda indikaatorit väljendatakse kg SO₂ ekvivalendina.

2.3.3.2.4 Eutrofitseerumise potentsiaal (EP)

Väetisi, nagu näiteks nitraadid ja fosfaadid lisatakse mullale selleks, et stimuleerida taimede põllumajanduslike taimede kasvu. Need toitained on eluks vajalikud, kuid kui nad satuvad vette või jäävad pinnasesse, võib see põhjustada taimede liigset kasvu, mis võib olla kahjulik teistele organismidele, kui taimed hakkavad lagunema, näiteks nii toimub veekogudes vetikatega. Hapestumine, nagu ka joonisel 2.7 on näidatud, põhjustab veekogude saastumist, mis viib veetaimestiku ja veeloomastiku hukkumiseni, kuna teatud organismid ei talu üleväetamist. Tulemuseks on loodusliku mitmekesisuse vähenemine.

Eutrofitseerumist mõõdetakse kg-des nitraadi või fosfaadi ekvivalendina. See näitab, kui palju mingi aine põhjustab vetikate levikut võrreldes nitraadi või fosfaadi kui referentsainega. Põhilised eutrofitseerumist põhjustavad ained on nitraadid, ammoniaak, lämmasikhape ja fosfaadid ning fosforhape.



Joonis 2.7: Eutrofitseerumise potentsiaal (Wikipedia, 2013a)

Võttes fosfaadi referentsaineks, on valitud ainete eutrofiseerumist iseloomustavad tegurid järgmised (Heijungs et al., 1999):

Tabel 2.4 – Eutrophitseerumise potentsiaal (kgPO_4^{3-} ekv.) (Heijungs et al., 1999)

	Ammoniaak (NH_3)	Lämmastikoksiid (NO_x)	Nitraat (N)	Fosfaat (P)
EPi	0.35	0.13	0.10	1.00

Eutrofitseerumise indikaatori same avaldisest

$$\text{Eutrophication} = \sum_i \text{EP}_i \times m_i$$

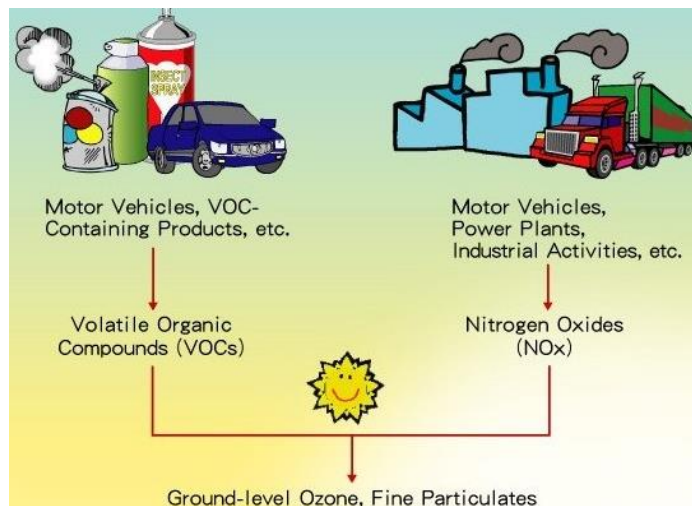
Valem (2.5)

kus, m_i (kg) õhku, vette või mulda eralduva aine i mass. Selle indikaatori ühikuks on kg PO_4^{3-} ekvivalenti.

2.3.3.2.5 Fotokeemiline osooni tekke potentsiaal (POCP)

Päikese toimel võivad atmosfääris, mis sisaldab lämmastikoksiide, tekkida osoon ja muud saasteained. Kuigi osoon on vajalik atmosfääri kõrgemates kihtides, kus ta kaitseb maad UV kiirguse eest, on atmosfääri madalates kihtides olev osoon

kahjulik, kuna kahjustab viljasaaki ning võib inimestel tekitada astmat ja muid hingasmisüsteemi haigusi.



Kõige nähtavam POCP kõrge kontsentratsiooni tulemus on suvised udud suurte linnade kohal (Los Angeles või Peking). Põhiline NO_x emissiooni allikas on autode heitgaasid, VOC aga eralduvad värvidest jm pinnakatetest.

Joonis 2.8: Fotokeemiline osooni tekke potentsiaal (EPD, 2013)

POCP mõjukategooria on aine suhteline võime tekitada osooni koostoimes NO_x ja päikesevalgusega. POCP väljendamiseks kasutatakse referentsainena etüleen. POCP mõjutegurid on määratud United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) koostatud trajektoormudeli järgi.

POCP on arvutatud kahe stsenaariumi jaoks (Heijungs et al., 1999):

- (i) Suhteliselt kõrge NO_x kontsentratsiooniga stsenaarium;
- (ii) Suhteliselt madala NO_x kontsentratsiooniga stsenaarium.

Nende kahe olukorra jaoks on mõjutegurid toodud tabelis 2.5.

Tabel 2.5 – POCP mõningate ainete jaoks erinevate NO_x kontsentratsioonide puhul (kg C₂H₄ ekv/kg) (Heijungs et al., 1999)

	Kõrge-NO _x POCPs	Madal-NO _x POCPs
Atseetaldehüd (CH ₃ CHO)	0.641	0.200
Butaan (C ₄ H ₁₀)	0.352	0.500
Süsinikmonooksiid (CO)	0.027	0.040
Etüün (C ₂ H ₂)	0.085	0.400
Metaan (CH ₄)	0.006	0.007
Lämmastikoksiid (NO _x)	0.028	Andmeid pole
Propeen (C ₃ H ₆)	1.123	0.600
Vääveloksiid (SO _x)	0.048	Andmeid pole
Tolueen (C ₆ H ₅ CH ₃)	0.637	0.500

Seega fotoooksüdatsiooni indikaatori saab määrata avaldisest,

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

Valem (2.6)

kus m_i on eralduva aine i mass (kg). Selle indikaatori ühikuks on *kg etüleen* (C_2H_4) ekvivalendina.

Kasutatud metoodikas on käsitletud ainult kõrge NO_x kontsentratsiooniga olukordi.

2.3.3.2.6 Abiootilise vähenemise potentsiaal

Abiootilise vähenemise indikaatoritega püütakse väljendada taastumatute loodusvarade varude vähenemist nende tarbimise tulemusena. Kasutatakse kaht tüüpi indikaatoreid:

- Abiootiliselt vähenevad elemendid, mis käsitleb tooraineks kasutatavaid elemente ja nende maake;
- Abiootiliselt vähenev energai/fossiilsed kütused, mis käsitleb fossilsete kütuste kasutamist.



Joonis 2.9: Abiootilise vähenemise potentsiaal (Wikipedia, 2013b)

Elementide abiootiline vähenemine (ADP_{elements}) määratakse iga kaevanduse jaoks varude ja kaevanduse intensiivsuse järgi. ADP põhineb tootmine/reservid suhtel, mida võrreldakse referentsiks võetud antimooniga (Sb) (Guinée et al., 2002). Abiootilise vähenemise potentsiaal (elementidele) ressursi i jaoks (ADP_i) saadakse suhtena kaevandatud ressursi ja selle ressursi taastatava osa vahel, mida

väljendatakse referentsressursi antimoni kg-des. Mõjutegurid mõningate ressursside jaoks on toodud tabelis 2.6.

Tabel 2.6 – Abiootilise vähenemise potentsiaalid mõningatele elementidele (Sb ekv/kg) (Guinée et al., 2002)

Ressurss	ADP element
Alumiinium	1.09E-09
Kaadmium	1.57E-01
Vask	1.37E-03
Raud	5.24E-08
Tina	6.34E-03

Niisiis saab abiootilise vähenemise (elementidele) arvutada järgnevast avaldisest

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

Valem (2.7)

kus, m_i on ressursi i kaevandatud kogus (kg). Seda indikaatori ühikuks on *kg antimoni* (referentsressurss).

Varem mõõdeti fossiilseid kütuseid samamoodi, kuid alates 2010 aastast arvestatakse neid veidi erinevalt. Nimelt vaadatakse fossiilsete kütuste puhul nende absoluutset kogust, võttes aluseks nende energiasisalduse. (Guinée et al., 2002). Seega ei võeta arvesse fossiilsete kütuste ebaühtlust leidumist, kuna need on lihtsalt asendatavad, tegelikult on erinevus ainult umbes 17% kivisöe (kõige levinum) ja gaasi (kõige ebaühtlasemalt leiduv) vahel. Abiootilise vähenemise indikaatori ühikuks on MJ.

2.3.4 Elutsükli interpreteerimine

Interpreteerimine on LCA viimane samm, kus inventuuranalüüsi ja mõjudeanalüüsi tulemusi vaadeldakse koos. Selle staadiumi põhieesmärk on formuleerida LCA lõppjärelused. Lisaks sellele tuleks analüüsida LCA eelmiste etappide tulemusi ja tehtud valikuid, s.t. kas LCA-s kasutatud eeldused, mudelid, parameetrid ja lähteandmed on kooskõlas eesmärgi ja ulatusega.

2.3.5 Näide

Eelnevalt kirjeldatud LCA erinevate sammude illustreerimiseks vaatame väikest näidet.

Eeldatakse, et 1 kg tehissoojustusmaterjali tootmisel tekivad järgmised emissioonid (vt Tabel 2.7), mis määrati inventuuranalüüsi etapil:

Tabel 2.7 – Emissioonid 1 kg soojustusmaterjali tootmisel

Emissioon	Väärtus (kg)
süsinikmonooksiid (CO)	0.12
süsinikdioksiid (CO ₂)	0.60
ammoniaak (NH ₃)	0.01
metaan (CH ₄)	0.05
lämmastikoksiidid (NO _x)	1.02
fosfor (P)	0.35
vääveldioksiid (SO ₂)	0.10

Järgmisel etapil, mõjude analüüsil, valitakse keskkonnamõjude kategooriad, näiteks:

- (i) globaalse soojenemise otentsiaal (GWP),
- (ii) hapestumispotentsiaal (AP),
- (iii) eutrofikatsioonipotentsiaal (EP).

Mõjukordajad igale emissioonile kategooriate kaupa on toodud tabelis 2.8.

Tabel 2.8 – Valitud keskkonnakategooriate mõjukordajad

	GWP	AP	EP
	(kg CO₂ ekv.)	(kg SO₂ ekv.)	(kg PO₄- ekv.)
süsinikoksiid (CO)	1.53	-	-
süsinikdioksiid (CO ₂)	1.00	-	-
ammoniaak (NH ₃)	-	1.60	0.35
metaan (CH ₄)	25.00	-	-
lämmastikoksiid (NO _x)	-	0.50	0.13
fosfor (P)	-	-	3.06
vääveldioksiid (SO ₂)	-	1.20	-

Iga keskkonnakategooria tulemused saadakse vastava emissiooni korrutamisel selle mõjukordajaga (näit. GWP puhul : $0.12 \times 1.53 + 0.60 \times 1.00 + 0.05 \times 23 = 1.93$ kg CO₂ ekv.), saadud tulemused on Tabelis 2.9.

Tabel 2.9 – Valitud keskkonnamõjude indikaatorite lõplikud tulemused

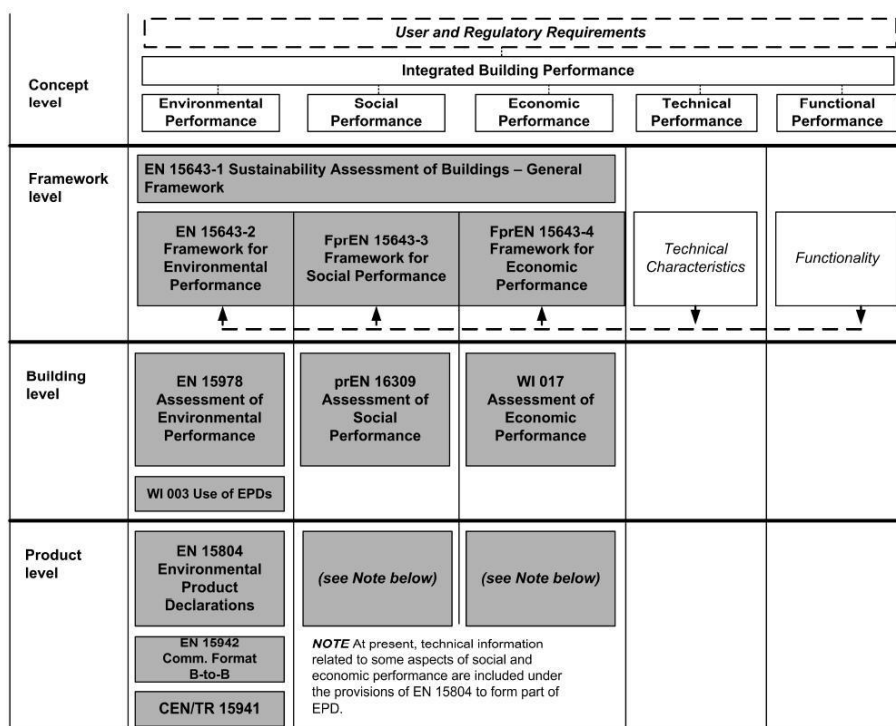
GWP (kg CO₂ ekv.)	AP (kg SO₂ ekv.)	EP (kg PO₄- ekv.)
1.93	0.65	1.21

2.4 Hoonete elutsükli analüüsi Euroopa standardid

2.4.1 CEN TC350

Euroopa Standardiorganisatsioon (CEN) sai 2004 mandaadi hoonete keskkonnamõjude analüüsi horisontaalse standardiseeritud meetodi arendamiseks. TC350 laiendas seda mandaati jätkusuutlikkusele ja valis elutsükli põhise lähenemisviisi selle analüüsi aluseks. Seega koostab TC standardeid, tehnilisi raporteid ja tehnilisi spetsifikatsioone hoonete jätkusuutlikkuse metoodika ja indikaatorite arendamiseks.

CEN-TC 350 loodav normatiivne raamistik hoone jätkusuutlikkuse analüüsiks koosneb käsitleb keskkonna, majanduslikke ja sotsiaalseid aspekte. (EN 15643-1, 2010), vt joonis 2.10.



Joonis 2.10: CEN TC350 tööprogramm (EN 15643-1, 2010)

Jooniselt 2.10 on näha, et TC töötab neljal tasandil (kontseptsioon/raamistik/hoone/tooted) ja viit tüüpi toimivusega (keskkonna/sotsiaalne/majanduslik/tehniline/funktsionaalne). Keskkonnamõju analüüs on nendest kõige kaugemale arendatud, standardid on loodud hoone ja toote tasandil.

Käesolevas projektis rakendatud elutsükli keskkonnamõtjude analüüs järgib kahte standardit.: EN 15978 (2011) ja EN 15804 (2012), vastavalt hoone ja materjali tasandil.

2.4.2 Hoone tasand (EN 15978)

EN 15978 (2011) käsitleb elutsükli analüüsi meetodit uutele ja olemasolevatele hoonetele. Eesmärgiks on toetada otsuste tegemist ja keskkonnamõtjude alaste dokumentide täitmist.

Soovitatakse lugeda kogu standardit. Allpool on esitatud peamised teemad: funktsionaalne ekvivalent, elutsükli faasid ja keskkonnamõtjude indikaatorid.

2.4.2.1 Funktsionaalne ekvivalent

Standardi kohaselt on funktsionaalne ekvivalent “kvantifitseeritud funktsionaalsed nõuded ja/või tehnilised nõuded või hoone või hoone osa kohta kasutamiseks võrdluse jaoks. Seega, hoone või süsteemide võrdlus on võimalik ainult siis, kui funktsioonid on samad. Hoone funktsionaalses ekvivalendis peavad olema arvestatud vähemalt järgmised aspektid.:

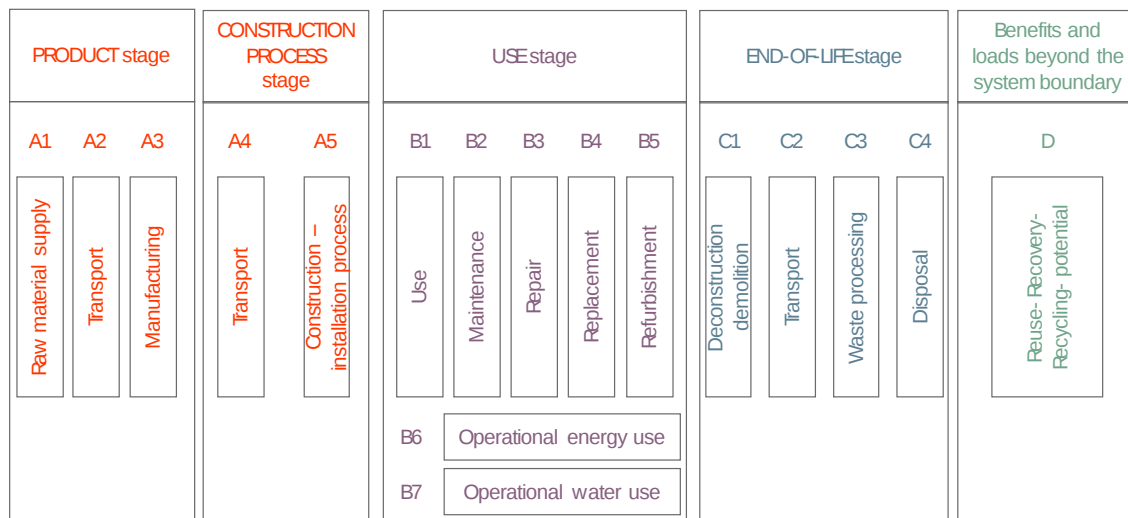
- (i) Hoone tüüp (e.g. elamu, büroo, jne.);
- (ii) kasutusrežiim;
- (iii) vastavad tehnilised ja funktsionaalsed nõuded;
- (iv) nõutav eluiga.

2.4.2.2 Elutsükli faasid

Süsteemi piirid määravad elutsükli analüüsi ulatuse, s. o., määravad protsessi osad, mida arvestatakse analüüsil. Standardi kohaselt sisaldab keskkonnamõtjude analüüs kõiki protsessile eelnevaid ja järgnevaid protsesse, mis on vajalikud hoone funktsionaalsuse säilitamiseks.

Muidugi, on vajalik hoones sisalduvate komponentide andmed hoone keskkonnamõtjude hindamiseks. See info peab olema esitatud vastavalt EN 15804 metoodikale (vt järgmine alapeatükk).

Selles standardis esitatakse hoone elutsükkel moodulitena, vt joonis 2.11.



Joonis 2.11: Hoone elutsükli moodulid (EN 15978, 2011)

Tootefaasis on moodulid A1 kuni A3, ehitamise faasis on moodulid A4 kuni A5, kasutusfaasis on moodulid B1 kuni B7, eluea lõpu faasis on moodulid C1 kuni C4, ja moodul D, mis hõlmab süsteemi väliseid aspekte. Järgmistes alapeatükkides kirjeldatakse neid faase ja vastavaid mooduleid.

2.4.2.2.1 Toote faas

Toote faasi kuuluvad moodulid A1 kuni A3. Süsteemi ja looduse vaheline piir on paikneb nii, et sellesse faasi jäävad materjali ja energia tootmisega seotud protsessid ja edasised töötlemis- ja transpordiprotsessid kui tehase värvani, samuti nende protsesside toodetud jäätmete töötlemine. Sellesse faasi kuuluvad:

- ✓ A1 – Toormaterjalide varumine ja töötlemine; eelmisest tootesüsteemist pärit materjalide ja toodete taaskasutus toorainena;
- ✓ A2 – Transport tehase väravani ja sisetransport tehases;
- ✓ A3 – Lisamaterjalide tootmine; pakendite tootmine.

2.4.2.2.2 Ehitusfaas

Ehitusfaasi kuuluvad moodulid:

- ✓ A4 – Transport tehaseväravast ehitusplatsile;
- ✓ A5 – Toote paigaldamine hoonesse koos, lisamaterjalide transpordi ja selleks ehitusplatsil vajamineva energia ja veega..

2.4.2.2.3 Kasutusfaas

Kasutusfaasis on kahte tüüpi moodulid. Hoone hooldusega seotud moodulid (moodulid B1-B5) ja hoone kasutamise ja toimimisega seotud (moodulid B6-B7):

- ✓ B1 – Paigaldatud toote kasutamine, arvestades selle komponentide või ehitustööde põhjustatud mistahes emissiooni keskkonda hoone normaalse (ettenähtud viisil) kasutuse puhul.;
- ✓ B2 – Hooldus sisaldab kõiki planeeritud tehnilisi ja nendega seotud korralduslikke tegevusi kogu kasutusaja jooksul toote hoidmiseks sellises seisundis, et ta toimiks tehniliselt ja funktsionaalselt nõuetele vastavalt ja säilitaks ka esteetilise kvaliteedi;
- ✓ B3 – Remondi alla kuuluvad tehnilised ja korralduslikud tegevused kasutusaja jooksul, mis on seotud hoonesse paigaldatud ehitustoote või selle osade remondi või tema esialgse oleku taastamisega nii, et ta suudaks nõuetekohaselt toimida.;
- ✓ B4 – Asendamise alla kuuluvad tehnilised ja korralduslikud tegevused kasutusaja jooksul, mis on vajalikud ehituselemendi asendamiseks, et taastada ehitusote nõuetekohane funktsionaalne ja tehniline toimimine;
- ✓ B5 – Renoveerimine tähendab tehnilisi ja korralduslikke tegevusi kasutusaja jooksul, mis on vajalikud hoone seisukorra taastamiseks, et täita ettenähtud funktsioone;
- ✓ B6 - Energiatarve hoone tehnosüsteemide toimimiseks koos keskkonnamõjudega, sealhulgas transport ja energia kasutusega seotud mistahes jäätmed;
- ✓ B7 – Tehnosüsteemide jaoks vajalik vesi, koos keskkonnamõjudega, sealhulgas vee elutsükliga seotud keskkonnamõjud, nagu näiteks vee tootmine, transport ja heitvee käitlemine.

2.4.2.2.4 Eluea lõpu faas

Hoone eluea lõpufaas sisaldab kõiki väljundeid, milleks on hoone lahtimonteerimise ja lammutamise tulemusena tekkinud jäätmed. Eluea lõpufaasis on valikulised moodulid:

- ✓ C1 – Toote lahtimoneerimine ja lammutamine hoones, sealhulgas ka materjalide esialgne sorteerimine ehitusplastil;
- ✓ C2 – Eemaldatud toote transport kui jäätmekäitluse osa, näiteks transport ümbertöötlemisettevõttesse ja jäätmete lõplikule kõrvalduskohale;
- ✓ C3 - Jäätmekäitus, s.t. lammutusest tulenevate jäätmefraktsioonide kogumine ning taaskasutusse ja ümbertöötlemisse suunatavate jäämevoogude käitlemine.

- ✓ C4 - Jäätmete kõrvaldamine, mis sisaldab ka kõrvalduspaiga ettevalmistamist.

2.4.2.2.5 Toote süsteemi piiridest välja jäävad mõjud

Moodulisse D kuuluvad kõik keskkonnamõju tegurid, mis tulenevad toodete taaskasutamisest, materjalide ümbertöötlemisest ja/või energiakandjad, mis väljuvad tootesüsteemist sekundaarmaterjali või -kütusena.

2.4.2.3 Elutsükli mõju analüüs

Elutsükli keskkonnamõju analüüsi faasi puhul käsitletakse vastavalt EN 15978 kaht kategooriat: keskkonnaindikaatorid kirjeldavad keskkonnamõjusid ja keskkonnaindikaatorid kirjeldavad sisend- ja väljundvoogusid. Mõlemaid indikaatoritüüpe tutvustatakse järgnevas alapeatükis.

2.4.2.3.1 Keskkonnamõjusid kirjeldavad indikaatorid

Keskkonnamõjude kirjeldamiseks on kuus indikaatorit, mis on toodud Tabelis 2.10.

Tabel 2.10 – Keskkonnamõjusid kirjeldavad indikaatorid (EN15978)

Indikaator	Ühik
Globaalne soojenemispotentsiaal, GWP	kg CO ₂ ekviv.
Stratosfääri osooni lagundamise võime, ODP;	kg CFC 11 ekviv.
Pinnase ja vee hapestumispotentsiaal; AP;	kg SO ₂ ⁻ ekviv
Eutrofitseerumispotentsiaal, EP;	kg (PO ₄) ³⁻ ekviv
Troposfääri osooni fotokeemilise moodustumise potentsiaal, POCP;	kg Ethene ekviv
Elementide abiootilise lagundamise potentsiaal; ADP_element	kg Sb ekviv
Fossiilsete kütuste abiootilise lagundamise potentsiaal ADP_fossiilsed kütused	MJ

Neid indikaatoreid tutvustati juba eelmistes alapeatükkides.

2.4.2.3.2 Sisend- ja väljundvoogusid kirjeldavad indikaatorid

Sisend- ja väljundvoogude kirjeldamiseks kasutatakse täiendavaid indikaatoreid. Ressursside kirjeldamiseks mõeldud indikaatorid on toodud Tabelis 2.11. Need indikaatorid kirjeldavad taastuvate ja taastumatute primaarenergia ja veeressursside kasutamist ja need arvutatakse otse LCI sisendvoost.

Tabel 2.11 – Ressursside kasutamist kirjeldavad indikaatorid (EN15978)

Indikaator	Ühik
Taastuva primaarenergia kulu ilma toorainena kasutatud primaarenergiata	MJ, net calorific value
Toorainena kasutatud primaarenergia kulu	MJ, net calorific value
Taastumatu primaarenergia kulu ilma toorainena kasutatud primaarenergiata	MJ, net calorific value
Toorainena kasutatud primaarenergia kulu	MJ, net calorific value
Sekundaarmaterjali kulu	kg
Taastuvate sekundaarkütuste kulu	MJ
Taastumatute sekundaarkütuste kulu	MJ
Puhta vee kulu	m ³

LCI sisendvoogudel põhinevad samuti indikaatorid, mis kirjeldavad jäätmekategooriaid ja väljundvoogusid, neis esimesed on toodud Tabelis 2.12 ja teised Tabelis 2.13. Nende indikaatorite väärtuste määramiseks on koostatud stsenaariumid vastavate protsesside ja faaside kohaselt.

Tabel 2.12 – Jäätmekategooriaid kirjeldavad indikaatorid (EN15978)

Indikaator	Ühik
Kõrvaldatud ohtlikud jäätmed	Kg
Kõrvaldatud mitteohtlikud jäätmed	Kg
Kõrvaldatud radioaktiivsed jäätmed	Kg

Tabel 2.13 – Süsteemist väljuvate väljundvoogusid kirjeldavad indikaatorid (EN15978)

Indicator	Unit
Taaskasutatavad komponendid	kg
Ümbertöödeldavad materjalid	kg
Materjalid energia tootmiseks (mitte arvestada jäätmete põletamist)	kg
Eksportitud energia	MJ iga energiakandja kohta

2.4.3 Toote tasand (EN 15804)

Toote tasandil määratakse standardis EN 15804 tootekategooriatele reeglid ehitustoote keskkonnadeklaratsiooni (EDP) koostamiseks. EPD-d on III tüüpi

keskkonnadeklaratsioonid vastavalt ISO 14025 (2006) ja on ühtlasi hea lähtematerjal elutsükli analüüsi tegemiseks.

EPD on LCA eritüüp, mis viiakse läbi vastavalt toote kategooria reeglitele (Product Category Rules, PCR) nii nagu näidatud joonisel 2.12. Mitmeid PCR saab kasutada ehitustoodete jaoks (CPA, 2012), kuid võrrelda saab ainult sama PCR kohaselt koostatud EPD.



Joonis 2.12: CPA-s kirjeldatud EPD (2012)

Standardis EN 15804 esitatud reeglite eesmärk on anda hindajale ühtne, võrreldav ja usaldusväärne informatsioon, mida saab hoone tasandil koondada.

LCA reeglid materjali tasandil on samasugused kui eelpool kirjeldatud hoone tasandi reeglid. Materjali tasandil tehtud LCA ulatus võib olla sama kui hoone puhul (vt joonis 2.11). Siiski on standardis EN 15804 kohustuslik ainult toote faasi deklaratsioon (moodulid A1 kuni A3), muude elutsükli faaside deklareerimine on vabatahtlik.

Selle standardi kohaselt määrab funktsionaalne üksus, kuidas ehitustoote materjalivoo LCA tulemused tuleks normaliseerida. Samas on selles standardis toodud ka lisaksus: deklareeritud üksus. Deklareeritud üksust võib kasutada funktsionaalse üksuse asemel, kui toote funktsioon hoone tasandil ei ole teada.

2.5 Muud standardid ja regulatsioonid (peamiselt kasutusfaasis)

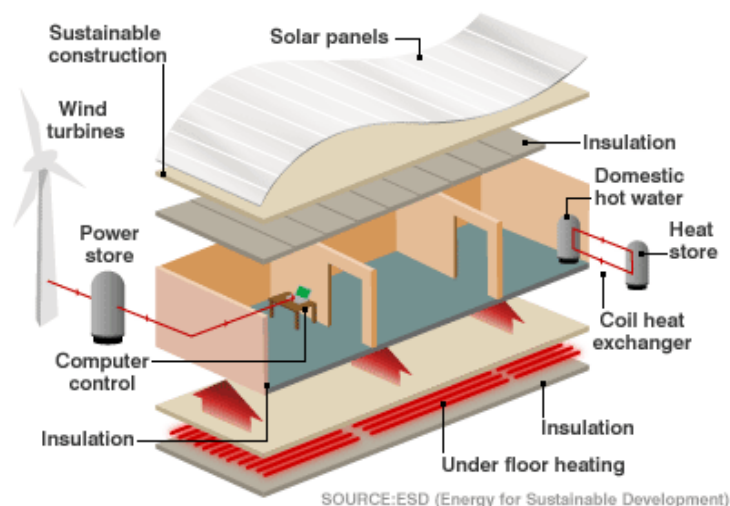
Nagu eelpool öeldud, määratakse standardis EN 15978 (2011) kõik potentsiaalsed ehitusega kogu elutsükli jooksul seotud keskkonnamõjud moodulsüsteemis (joonis 2.11). Selles süsteemis moodul B6 vastab kasutus energiale, s.o. energiale, mis kulub hoonega integreeritud tehnosüsteemidele kasutusfaasis. Seega kulub see energia jahutuse, kütte, sooja tarbevee, ventilatsiooni, valgustuse ja täiendavate seadmete nagu pumbad ja automaatika toimiseks. Siiski ei ole standardis EN15978 reegleid energiaarvutusteks; määratud on, et energiaarvutused tuleb

teha vastavalt Energy Performance of Building Directive (EPBD, EU 2002) ja selle rahvuslikele rakendustele.

EPBD on põhiline seadusandlik dokument Euroopa Liidu tasemel hoonete energiatõhususe saavutamiseks. Neli põhimõtet, mida liikmesriigid peavad EPBD kohaselt järgima on (EU 2002):

- ✓ Ühtne metoodika hoonete energiatõhususe hindamisel;
- ✓ Miinimumnõuded uute ja renoveeritavate hoonete energiatõhususele;
- ✓ Uute ja renoveeritavate hoonete energiatõhususe sertifitseerimine ning avalike hoonete puhul vastava informatsiooni avalik esitlemine.
- ✓ Küttesüsteemi ja konditsioneerseadmete regulaarne ülevaatus hoonetes ja eraldi kontroll üle 15 aastastele kütteseadmetele.

EPBD uus versioon (2010) seab seadusliku raamistiku rahvuslike ehitusseaduste muutmiseks ja esitab liginullenergia hoonete poliitika, mis tähendab, et aastast 2020 peavad kõik uued honed olema liginullenergia hooned (joonisel 2.13 on esitatud 0 süsinikemissiooniga hoone skeem).



Joonis 2.13: Null-süsinik hoone skeem

Vaatamata EPBD-s esitatud üldistele nõuetele, ei ole seal arvutusmetoodikat ja iga liikmesriik võib otsustada, kuidas seda rakendada. Enamik riike kavatsevad kasutada CEN või muid rahvusvahelisi standardeid. Sellest lähtudes on käesolevas dokumendis käsitletud veel kahte standardit:

- (i) ISO 13790 (2008), mis käsitleb kõiki küttesüsteemi komponente, mida arvestatakse soojuslikes arvutustes,
- (ii) EN 15316-3-1 (2007), mis käsitleb sooja tarbeveega seotud energiavajadust.

3 HOONE ANALÜÜSI LIHTSUSTATUD METOODIKA

3.1 Sissejuhatus

Ehitussektorilt nõutakse jätkusuutlikkuse põhimõtete järgimist: keskkonnajuhtimise sertifikaadid, rohemärgised jne., kuid seotud osapooltel ei ole sagely piisavalt teadmisi, kuidas ehitustoodete keskkonnasäästlikku toimivust analüüsida.

Uute hoonete soojustehnilise toimivuse hindamine on viimastel aastatel saanud küllalt selge reeglistiku, mille kohaselt on projekteerijatel võimalik hooneid soojustehniliselt kasutusfaasis analüüsida. Erinevalt sellest on vähem teada asjastunud energiast ja materjalide süsiniku jalajäljest, samas on nende parameetrite lisamine hanketingimustesse üha sagenenud.

Elutsükli analüüsi kasutuelevõtu soodustamiseks on käesolevas peatükis esitatud kaks lihtsustatud meetodit:

- (i) Makrokomponentidel põhinev lihtsustatud elutsükli analüüs;
- (ii) Meetod hoone jahutuseks ja kütteks (s.h. soe tarbevesi) vajaliku energia arvutamiseks.

Mõlemad meetodid töötati välja Euroopa Liidu poolt rahastatud uurimisprojekti *SB_Steel* (2014) ja nad põhinevad Euroopa standarditel EN 15978 ja EN 15804.

Esiteks kirjeldatakse elutsükli analüüsi, siis esitatakse lihtsustatud energiakulu arvutus ja vastav kalibreerimisprotseduur.

3.2 Makrokomponentidel põhinev elutsükli analüüs

Hoone kestal, välimisel ja sisemisel on hoone energiakulutustele ja keskkonnamõjudele suur tähtsus. Seetõttu otsustati luua makrokomponendid – hoone põhikomponentide tüüplahendused. Makrokomponendid on erinevatest materjalidest ettemääratud tüüplahendused sama hoone komponendi jaoks (Gervásio et al., 2014).

Hoone iga komponendi jaoks on loodud erinevaid lahendusi. Makrokomponentidel põhinevat elutsükli analüüsi kirjeldatakse järgmises alapeatükis.

3.2.1 Üldised etapid

3.2.1.1 Eesmärk ja ulatus

Selle meetodi eesmärk on kvantifitseerida lihtsa hoone või hoone komponentide keskkonnamõjusid, kasutades etteantud makrokomponente. See võimaldab teha analüüsi kahel tasandil: (i) komponentide tasandil; ja (ii) hoone tasandil.

3.2.1.1.1 Funktsionaalne üksus

Hoone tasandil on funktsionaalne üksus kindlat tüüpi hoone (näiteks elamu, büroohoone jne.), mis on projekteeritud ettenähtud eluajaks (näiteks 50 aastat) ja peab täitma standardseid nõudeid..

Hoone komponendi tasandil on funktsionaalseks üksuseks (m²-tes) hoone kindlat tüüpi component (näit. välissein, vahelagi jne), mida kasutatakse hoone eluaja jooksul (näit 50 aastat). Sel juhul hoone komponendi funktsioon võib, kuid ei pea olema arvesse võetud (võrdlevate hinnangute puhul peab hoone komponendi funktsioon olema arvesse võetud).

3.2.1.1.2 Süsteemi piirid

Hoone elutsükli analüüs sisaldab toormaterjali varumist (moodulid A1 kuni A3), ehitusfaasi (moodul A4), kasutusfaasi (moodulid B1 kuni B5), eluea lõpufaasi (moodulid C1 kuni C4) ja netotulu ümbertöötlemisest (moodul D), vastavalt tabelile 3.1.

Modulit B6 ei arvestata. Siiski on järgmises alapeatükis mõnigaid selle mooduli küsimusi käsitletud.

Samuti ei käsitleta moduleid A5, B1 ja B7. Ehitusprotsessi keskkonnamõjud (moodul A5) (sealhulgas töövahendite kasutus, ehitusplatsi juhtimine ja jäätmete tekitamine) võib jätta hoone tasandil arvestamata (Gervásio et al., 2014).

Moodul B1 katab hoonesse paigaldatud materjalide emissiooni, mida ei arvestata kasutufaasis.

Tabel 3.1: Hoone elutsükli informatsioonimoodulid (vastavalt standardile EN 15643-2:2011)

Tootefaas			Ehitusfaas		Kasutusfaas							Eluea lõpufaas				
Tooraine varumine	Transport	Valmistamine	Transport	Ehitusprotsess	Kasutus	Hoolitus	Remont	Asendamine	Renoveerimine	Kasutusfaasi energiakulu	Kasutufaasi veekulu	Lammutamine	Transport	Jäätmekäitlus	Jäätmete kõrvaldamine	Taaskasutus/ümbertöötlus
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

Kuna tänapäeval on nõuded ehitusmaterjalide energiakulukusele väga ranged, ei ole sellel moodulil suurt tähtsust. Lõpuks, vee kulu kvantiivselt (moodul B7) ei arvestata, kuna see ei sõltu valitud konstruktsiooni variandist.

3.2.1.2 Elutsükli inventuur

Nagu öeldud, andmete kvaliteedi kontroll on LCA analüüsi standardite nõue. Ehitustoodete andmeid tuleb kontrollida standardi kohaselt EN 15804:

- Ajamõõde: andmebaase tuleb uuendada vähemalt 10 aasta jooksul kunstlike andmete puhul ja 5 aasta jooksul tootja poolt antud andmete puhul;
- Geograafiline mõõde: andmed toote või toogrupi geograafilise asukohas kohaselt;
- Tehnoloogiline mõõde: andmed peegeldavad füüsikalist reaalsust deklareeritud toote või tootegrupi kohta;
- Täielikkus: Andmed on täielikud vastavalt süsteemi piiridele, arvestades sisendite ja väljundite piirkriteeriumeid.

Enamik keskkonnavalaseid andmeid saadakse PE International andmebaasist (2006), väljaarvatud teraseandmed. Lisaks sellele annab andmeid terase kohta Worldsteel Association (2002) koostöös PE International. Seepärast on meetodika samasugune. See tagab andmete haldamise vastavuse, samuti materjalide ja komponentide seosed, nagu näidatud tabelis 3.2 põhimaterjalide ja makrokomponentide kohta.

Tabel 3.2: Põhiaterjalide ja makrokomponentide andmete kvaliteedikontroll.

1.1.1.1	Ajamõõde	Geograafiline mõõde	Tehnoloogiline mõõde	Täielikkus
Terasprofiil	2007, aasta keskmine	Euroopa	Euroopa tootjad	> 99% massist ja energiast
Terasarmatuur	2007, aasta keskmine	Maailm	Maailma tootjad	> 99% massist ja energiast
Terasplekk	2007, aasta keskmine	Euroopa	Euroopa tootjad	> 99% massist ja energiast
Betoon C20/25	2011, aasta keskmine	Saksamaa	Saksa tootjad	> 95% massist ja energiast
Kiudplaat OSB	2008, aasta keskmine	Saksamaa	Saksa tootjad	> 99% massist ja energiast
Kipsplaadid	2008, aasta keskmine	Euroopa	Euroopa tootjad	> 95% massist ja energiast
Tellised	2011, aasta keskmine	Saksamaa	Saksa tootjad	> 95% massist ja energiast

Kivivill	2011, aasta keskmine	Euroopa	Euroopa tootjad	> 95% massist ja energiast
Vahtpolüstüreen EPS	2011, no data	Euroopa	andmed puuduvad	andmed puuduvad
Pressitud polüstüreen XPS	2011, aasta keskmine	Saksamaa	Saksa tootjad	> 95% massist ja energiast
Jäik polüstüreenvaht PUR	2011, aasta keskmine	Saksamaa	Saksa tootjad	> 95% massist ja energiast
Kork	2011, aasta keskmine	Saksamaa	Saksa tootjad	> 95% massist ja energiast
Klaasvill	2011, aasta keskmine	Euroopa	Euroopa tootjad	> 95% massist ja energiast
Polüetüleenvaht PE	2011, aasta keskmine	Saksamaa	Saksa tootjad	> 95% massist ja energiast

3.2.1.3 Elutsükli keskkonnamõjude analüüs

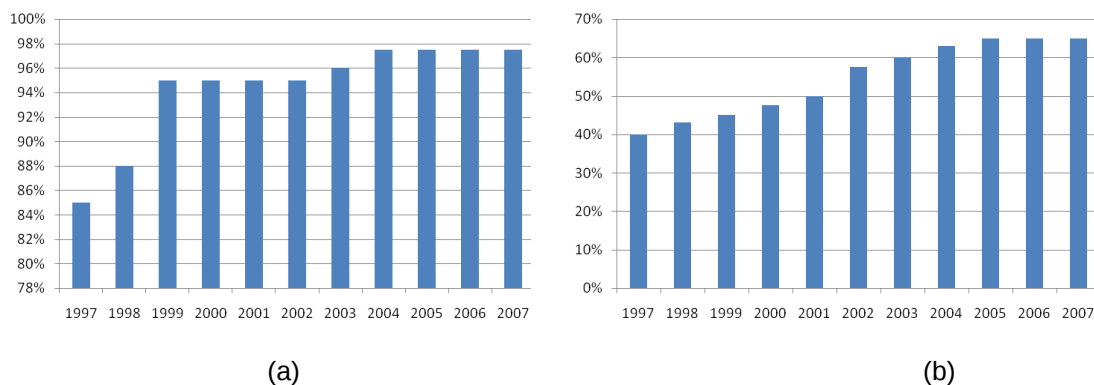
Keskkonnamõjude kategooriad, mida elutsüklianalüüsis arvestatakse, on toodud tabelis 2.10 ja vastavad Euroopa standardite soovitudele hoonete keskkonnatoimivuse alal (EN 15643-2 and EN 15978).

Kasutusele on võetud nendes standardites toodud modulaarsuse kontseptsioon. Seega on lõpptulemuses toodud iga makrokomponendi elutsükli analüüsi tulemus moodulite kaupa või iga faasi kogusumma.

Iga komponendi keskkonnamõjude analüüsiks kasutati tarkvara GaBi software (2012).

3.2.2 Ümbertöödeldavate materjalide paigutamine

Teras on 100% ümbertöödeldav ja vanarauast saab sama kvaliteediga terast, mis see oli algsest (Worldsteel Association, 2009). Seepärast eluea lõpul tõenäoliselt hoone lammutatakse ja teras saadetakse ümbertöötlemisele või taaskasutusele (osaliselt või täielikult). Vastavalt Steel Recycling Institute (2009) andmetele Põhja-Ameerikas, on konstruktsiooniterase ümbertöötlemise protsent 97.5%. Graafikud joonisel 3.1 näitavad konstruktsiooniterase ja armatuuri ümbertöötlemise trende ehitussektoris.



Joon. 3.1: Ümbertöötuse määr (a) konstruktsiooniteras (b) armatuur (Steel Recycling Institute, 2009)

Terase ümbertöötlus ja taaskasutus on multifunktsionaalne tegevus, mida kirjeldatakse allpool olevas tekstis.

3.2.2.1 Sissejuhatus

Enamikus tööstusprotsessides on multifunktsionaalsed, enamikus tööstuslike protsessides on multifunktsionaalsed, st nende toodang hõlmab rohkem kui ühe toote ja tootmise sisendiks tooteid sisaldavad sageli vahe- või keeldutud. Jaotamise probleem tekib siis, kui asjakohane otsus on vajalik selleks, et eraldada sisend / väljund voolude funktsionaalne üksus, mida toote süsteemis uuritakse.

Jaotus on määratletud ISO 14040 (2006) kui "uuritava protsessi või toote süsteemi ja ühe või mitme teise protsessi ja või toote süsteemi sisendi ja väljundi voogude osadeks jaotamine nende vahel". Seega eraldamise protsess keskendub osadeks jaotamisele voogude vahel üksus või toodete kohta. Vastavalt ISO 14044 (2006), jaotamist tuleks vältida kas jagades üksus protsessi tuleb eraldada kaheks või enamaks alamprotsesside ja nõutakse sisendi ja väljundi andmed, mis puudutavad nende alamprotsesside või laiendab toote süsteemi peab sisaldama lisafunktsioone seotud kõrvalsaadused (süsteemi laiendamine).

Süsteemi laiendus sisaldab välditud keskkonnakoormuse lähenemisviisi, mis eemaldab ülejäägifunktsioonid multifunktsionaalsetest protsessidest lahutades neist vastavad monofunktsionaalsed protsessid, et saada monofunktsionaalne protsess.

Kui protsesside jagamine osadesse ega süsteemi laiendamine ei ole teostatav ulatuse ja uuringu eesmärgi tõttu, siis on jaotamine on vältimatu. Sel juhul on kaks varianti soovitatud ISO 14044 (2006): (i) süsteemi sisendi ja väljundi jaotamine põhineb füüsistel (või keemilise või bioloogilise) põhjuslikel seostel; või (ii) jaotamise aluseks on muud seosed (näiteks majanduslikul väärtusel põhinev). Korduvkasutuse ja ringlussevõtu arvesse võtmine on multifunktsionaalne teema,

mistõttu on vajalik jaotamine. Eespool mainitud jaotamise põhimõtted ja menetlused on rakendatavad ka ümbertöötlemise ja taaskasutamise olukordades, kuid sel juhul tuleb jaotamise kasutamisel arvestada ka materjalide omaduste muutumisega (SO 14044, 2006).

Sel juhul võib esineda kolm võimalikku arvamust. (Werner, 2005):

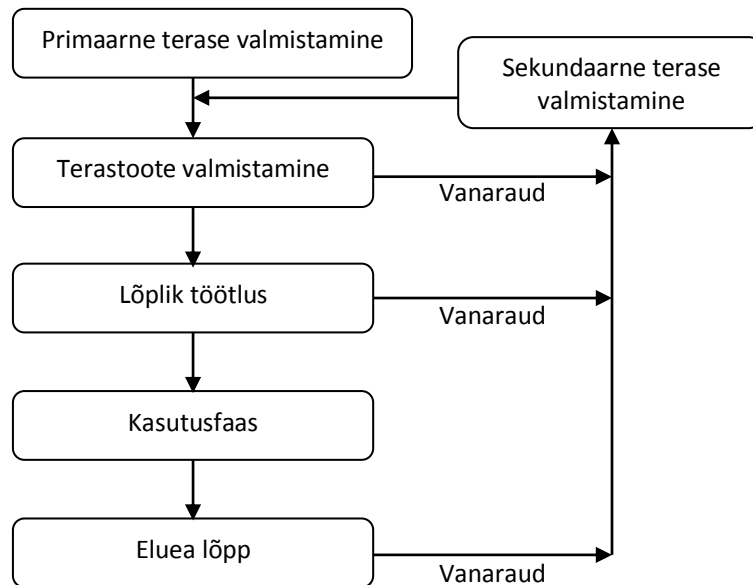
- i) Materjal omadused ei muutu toote süsteemi ulatuses, materjali taaskasutatakse samas rakenduses;
- ii) Materjal omadused muutuvad toote süsteemi ulatuses, materjali tuleb taaskasutada samas rakenduses;
- iii) Materjali omadused muutuvad toote süsteemi ulatuses, materjali on võimalik kasutada teistes rakendustes.

Esimesel juhul on suletud ahela olukorda, kus eeldatavalt asendatakse kogu algmaterjal ja seetõttu ei ole keskkonnamõju koormust primaarse materjali tootmisest või lõplik jäätmete kõrvaldamine on eraldatud toote tootmise süsteemi. Teisel juhul on tegemist avatud ahelaga lähenemisega eeldades suletud ahela olukorda. Sel juhul materjali omaduste muutusi peetakse ebaoluliseks ja ringlussevõtt toimub suletud ahelale kohaselt. Viimase juhul on avatud ahela olukord, kus eeldatakse, et algmaterjali asendamine toimub osaliselt. Sel juhul keskkonna koormus algmaterjali tootmisest või jäätmete lõplik kõrvaldamine tuleb osaliselt paigutada uuritavale süsteemile.

Vastavalt ISO 14044 (2006), kui tegemist on suletud ahelaga, siis jaotamist välditakse, kuna materjalide taaskasutus asendab uue toormaterjali kasutamise.

3.2.2.2 Vanaraua paigutamise vältimine

Terasel elutsükli jooksul tekib terasest tootmisfaasis, lõplikus töötlemise faasi ja eluea lõpu faasis (vt. 3.2). Seega eraldamise menetlust tuleb arvesse võtta vanaraua väljundite puhul süsteemi kogu eluea jooksul. Lisaks, nagu on kirjeldatud allpool tekstis, teras töödeldakse läbi erinevate tootmise teede ja vanaraua sisendite eraldamine terase valmistamise staadiumitele on samuti asi, millega tuleks arvestada.



Joonis 3.2: Süsteemi piirid LCI puhul, s.h. vanaraud eluea lõpus (LCI, 2002)

Lõpuks, terast saab ümbertöödelda või taaskasutada mitu korda ja siis on vaja sobivat meetodit, kuidas käsitleda mitmekordse ümbertöötlemise ja taaskasutamisega teraskomponente. Seetõttu on käesolevas metoodikas aluseks suletud materjali tsükkel ümbertöödeldud materjalile, mis töötati välja Worldsteel Assotsiatsiooni poolt (LCI, 2002). See metoodika on välja töötatud selleks, et luua LCI andmekogu terasetoodetele, arvestades eluea lõpu ümbertöötlust. Suletud tsükli meetodi kasutamine on õigustatud, kuna vanaraud sulatatakse uue terase tootmiseks ilma omadusi muutmata. Sellisel juhul, vastavalt ISO standard 14044, jaotamise vajadust ei ole, kuna sekundaarsete materjalide kasutusega hoitakse ära primaartooraine kulu.

Terast võib toota kahel viisil: kõrgahi (BF) ja elektrikaarahjus (EAF). Peamine erinevus kahe meetodi vahel on vanaraua sisendis: BF puhul valmistatakse teras peaaegu eranditult primaartoorainest; samas kui EAF puhul põhineb terase tootmine peamiselt vanametallil.

Seega, pidades silmas peamiselt kahte meetodit terase valmistamisel ja võttes aluseks LCI andmed terase tootmisel BF meetodil (eeldades, 100% primaartoorainet), mis antud XPR poolt ja LCI andmed terase tootmisel EAF meetodil (eeldades 100% sekundaarterast), mis antud Xre poolt, siis vanarauaga seotud LCI saadakse avaldisest (3.1)

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

Valem (3.1)

kus, Y on is the metalli saagis, mis näitab vanaraua teraseks ümbertöötlusprotsessi efektiivsust. Vastavalt A Worldsteel Association andmetele (LCI, 2002), on vaja 1.05 kg vanarauda 1 kg sekundaarterase tootmiseks.

BF tehnoloogia puhul eeldades 100% primaartooraine kasutust ja ümbertöötamise aste (kui palju terasest läheb eluea lõpus vanarauana ümbertöötlemisele) on RR , siis eluea lõpul vanaraua netokogus on RR . Seega LCI 1 kg terase puhul, s.h. eluea lõpufaas, on võrdne primaartootmise LCI, võttes arvesse vanaraua krediitina ja on leitav avaldisest (3.2)

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

Valem (3.2)

Teine variant, eeldades 1 kg sekundaarterase tootmist EAF tehnoloogiaga, ja eluea lõpus RR kg terast läheb ümbertöötlemisele, siis vanaraua kasutatud netokogus on $(1/Y - RR)$. Sel juhul LCI 1 kg terase jaoks, s.h. eluea lõpufaasi protsess, on võrdne sekundaarterase LCI võttes arvesse kasutatud vanaraua deebetina ja on leitav avaldisest (3.3)

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

Valem (3.3)

Teisendades avaldist (3.3) saame avaldise (3.2), mis näitab, et süsteemi LCI ei sõltu lähtematerjalist. See sõltub terase ümbertöötlemise määrast eluea lõpus ja ümbertöötlemisprotsessi saagisest. Seega, avaldis (3.3) lubab paigutada vanaraua sõltumata terase tootmistehnoloogiast.

Eelnevad avaldised tuletati eeldusel, et 100% on primaartooraine või 100% sekundaartooraine. Tegelikult on mõlema tehnoloogia puhul võimalikud segatooraine kasutamine. Sel juhul avaldises (3.1) võib deebet või krediidi ümber kirjutada:

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

Valem (3.4)

kus, $(RR - S)$ tähistab vanaraua netokogust eluea lõpus. Kui terasest valmistoote LCI andmed on X' , siis toote LCI koos eluea lõpu ümbertöötlusega on,

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

Valem (3.5)

Avaldis (3.5) on võetud kasutusele LCA metoodikates, mis on esitatud järgmises peatükis, terastoodete LCI andmete saamiseks, s.h. ümbertöötlemine eluea lõpus.

3.2.3 Makrokomponentide kirjeldus

Makrokomponentide määratlus on tehtud vastavalt UniFormat klassifikatsioonile (2010). Arvestati järgmiste kategooriatega: (A) Aluskonstruktsioon, (B) Väline kandekonstruktsioon (C) Sisekonstruktsioonid - interjöö. Iga põhikategooria on omakorda jaotatud alamkategooriateks. Klassifikatsioon on esitatud tabelis 3.3

Tabel 3.3: Hoone komponentide klassifikatsioon (UniFormat, 2010)

(A) Aluskonstruktsioon	(A40) Plaat pinnasel	(A4010) Standard plaat pinnasel	
(B) Väline kandekonstruktsioon	(B10) Pealmine konstruktsioon	(B1010) Põranda konstruktsioon	(B1010.10) Vahelae kandekonstruktsioon
			(B1010.20) Vahelae plaadid
		(B1020) Katuse konstruktsioon	(B1020.10) katuse kandekonstruktsioon
			(B1020.20) Katus-plaat
	(B20) Välised vertikaalkonstruktsioonid	(B2010) Välisseinad	(B2010.10) Välisseina vineer
			(B2010.20) Välisseina karkass
		(B2020) Välisaknad	
		(B2050) Välisuksed	
	(B30) Välised horisontaalkonstruktsioonid	(B3010) Katus	
		(B3060) Horisontaalavad	
(C) Sisekonstruktsioonid	(C10) Sisekonstruktsioonid	(C1010) Sisevaheseinad	
	(C20) Siseviimistlus	(C2010) Seinaviimistlus	
		(C2030) Põrandad	
		(C2050) Laeviimistlus	

Iga hoone komponendis (vt table 3.3) on vastavatel makrokomponentidel sama funktsioon ja samad omadused. Iga makrokomponenti funktsionaalne üksus on 1 m² hoone komponenti, kui hoone elueaks on 50 aastat.

See lähenemisviis töötati välja hoonete hindamiseks pojekteerimise algaasis (Gervásio et al., 2014). Sega, et kompenseerida andmete puudujääki projekteerimise algaasis, on kandekonstruktsiooni (valtsprofiilid, kerged terasest kergprofiilid, betoonkonstruktsioonid) paigutatud makrokomponentidesse, näiteks Vahelae kandekonstruktsioon (B1010.10) või katuse kandekonstruktsioon (B1020.10), 1 m² kohta.

Iga makrokomponendi jaoks antud informatsiooni illustreerib tabel 3.4. Lisaks erinevate materjalikihtide omadustele on toodud ka soojusjuhtivus (U) (võttes arvesse külmasillad, kus need on) ja soojusinerents (κ_m), et saaks arvutada hoone kasutusaegset energiat.

Makrokomponendid on koondatud andmebaasidesse, mis on toodud käesoleva dokumendi lisas 1.

3.2.4 Makrokomponentide rakendamise näide

Mõningatel juhtudel, et oleks kaetud hoone makrokomponendi kõik funktsioonid, tuleb samaaegselt arvestada mitme makrokomponendiga. Siin on toodud illustreeriv näide elamu sisemise vahelaeplaadi kohta.

3.2.4.1 Makrokomponentide koostamine

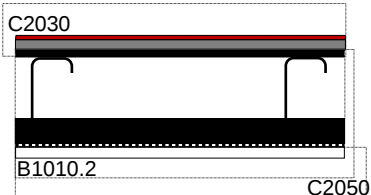
Hoone sisemise vahelaep jaoks valiti järgmised makrokomponendid:

- (i) Põranda makrokomponent (C2030),
- (ii) Vahelaep kandekonstruksiooni makrokomponent (B1010.10),
- (iii) Lagede viimistluse makrokomponent (C2050).

Valitud makrokomponentide kogum on kirjeldatud tabelis 3.4.

Antud juhul soojusjuhtivust (U) ei ole toodud, kuna tegemist on sisemise vahelaega ja sellepärast ei mõjuta selle soojusjuhtivus hoone energiakulu.

Tabel 3.4: Makrokomponentide kogum sisemise vahelaeplaadi jaoks

Makrokomponentide kogum	Makrokomponendid	Materjal	Paksus (mm)/ Tihedus (kg/m ²)	U-arv (W/m ² .K)	κ_m (J/m ² .K)
	C2030 Põrand	Keraamiline plaat	31 kg/m ²	-	61062
		Betoonist tasanduskiht	13 mm		
	B1010.10 Vahelaep kandekonstruksioon	OSB	18 mm		
		Õhkvähe	160 mm		
		Kivivill	40 mm		
		Kerge terasprofiil	14 kg/m ²		
		Kipsplaat	15 mm		
	C2050 Lae viimistlus	Värv	0.125 kg/m ²		

3.2.4.2 Funktsionaalne üksus ja materjalide hinnanguline kasutusiga

Hoone komponendi funktsionaalseks üksuseks on elamu vahelaplaad (1 m²), nõutava kasutusajaga 50 aastat. Valitud makrokomponendid peavad vastama funktsionaalsele üksusele esitatud nõuetele. Seega, erienvate materjalide eluiga tuleb arvesse võtta. Tabelis 3.5 on toodud materjalide hinnangulised kasutusead.

Tabel 3.5: Materjalide eeldatavad kasutusead

Makrokomponent	Materjal	Ühik	Hinnanguline kasutusiga [aastat]
Põrand	Keraamilised plaadid	m ²	25
	Betoonist tasanduskiht	m ²	50
Põranda karkass	Külmpanutatud terasprofiil	kg/m ²	50
Põrandaplaad	Kivivill	m ²	50
	OSB	m ²	50
	Kipsplaat	m ²	50
Lae viimistlus	Värv	m ²	10

Funktsionaalse üksuse nõuete täitmiseks tuleb osad materjalid asendada või remontida ettenähtud aja jooksul.

3.2.4.3 Stsenaariumid ja eeldused

Keskkonnamõjude hindamiseks on vaja teada hoone kasutamisega seotud stsenaariume ja eeldusi.

Funktsionaalse üksuse elueaks on ette nähtud 50 aastat. See tähendab, et iga makrokomponendi materjal peab vastama sellele nõudele ning materjalid, mille kasutusiga on lühem, tuleb asendada või remontida. Igale materjalile on ette nähtud erinev stsenaarium elutsükli analüüsi jaoks. Eluea lõpufaasis toimitakse iga materjaliga erinevalt vastavalt selle omadustele.

Kõik eelpool kirjeldatud stsenaariumid on kooskõlas standarditega EN 15643-2 ja EN 15978.

3.2.4.3.1 Materjalide transpordi stsenaariumid (Moodulid A4 ja C2)

Vahemaad tootmispaigast ehitusplatsile (moodul A4) ja lammutuspaigast ümbertöötlemise/kõrvaldamise kohta (moodul C2) eeldatakse olevat 20 km ja transport toimub veokiga, mille kandevõime on 22 tonni. Siiski võib projekteerija määrata ka erinevaid vahemaid, mis võimaldab erinevate materjalide transpordi tundlikkusanalüüsi.

Kasutusfaasi stsenaariumid (Moodulid B1:B7)

Erinevatele materjalidele on stsenaariumid ette antud, et oleks täidetud 50 aasta kasutusea nõue. Sellest tulenevalt on kasutusel kaks stsenaariumit makrokomponentidele:

- Keraamiliste plaatide vahetus iga 25 aasta järel;
- Lagged värvimine iga 10 aasta järel.

3.2.4.3.2 Stsenaariumid eluea lõpu faasis (Moodulid C1:C4) ja ümbertöötlus (Moodul D)

Erinevatele materjalidele pakutakse välja erinevaid stsenaariumeid vastavalt nende materjalide omadustele, vt table 3.6. Nii näiteks OSB põletatakse biokütuse jaamas (80%) ja seda arvestatakse energia taastootmisena. Teras ümbertöötlemise määr on 90% ja seda arvestatakse neto vanarauana eluea lõpu faasis. Kivill töödeldakse ümber taaskasutamiseks 80% määraga, kuid kuna andmed taaskasutuse ja ümbertöötlemise kohta on lünklikud, ei võeta seda arvesse muud moodi kui vähendatakse prügilasse saadetavate jäätmete hulka.

Tabel 3.6: EOL võimalused eri materjalide jaoks

Materjal	Kõrvaldamise/ümbertöötlemise stsenaarium	Krediit
Kerammiilised plaadid	Prügila (100%)	-
Betoon tasand. kiht	Prügila (100%)	-
Kipsplaadid	Prügila (100%)	-
Kivivill	Ümbertöötlus (80%) + Prügila (20%)	-
OSB	Põletamine (80%) + Prügila (20%)	Energia taastootmine
Kerge terasprofiil	Ümbertöötlus (90%) + Prügila (10%)	Neto vanaraua

Kõik muud materjalid saadetakse prügilasse kui inertmaterjalid.

3.2.4.4 Keskkonnamõjude analüüs

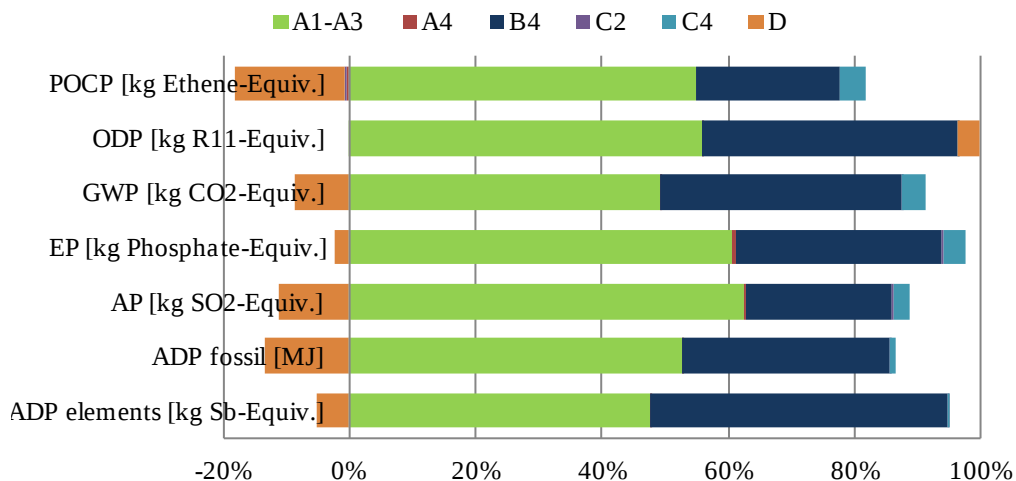
Makrokomponentide (kirjeldused vt table 2.4) mõju analüüsi tulemused on toodud 1 m² kohta tabelis 3.7.

Tabel 3.7: Makrokomponentide LCA keskkonnamõjude analüüsi (1 m² kohta)

Mõju kategooria	A1-A3	A4	B4	C2	C4	D	KOKKU
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 fossiil [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 ³⁻ 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 Ethene Ekv.]	3.41E-02	-2.58E-04	1.43E-02	-2.23E-04	2.62E-03	-1.07E-02	3.98E-02

Eri kategooriate osakaal moodulite kaupa on näidatud joonisel. 3.3. Moodulid A1-A3 domineerivad kõikide katgooriade puhul (üle 50% enamike kategooriate puhul), järgneb Moodul B4 osakaaluga 10% kuni 20%. Moodul D on arvestatava osakaaluga (ligi 10%) enamikele mõjukatgooriadele. Vähemolulised on moodul C4 (ligi 5% mõnedel juhtudel), ja selle järgi tulevad ülejäänud moodulid tühiste osakaaludega.



Joonis 3.3: Elutsükli keskkonnamõjud makrokomponentidele (1 m² kohta)

Kõik makrokomponendid arvutatakse ühtemoodi. Makrokomponentide abil saab teha elutsükli analüüsi elemendi tasandil või hoone tasandil.

3.3 Energiatarbe määramise algoritm (ekspluatatsiooni faasis)

3.3.1 Sissejuhatus

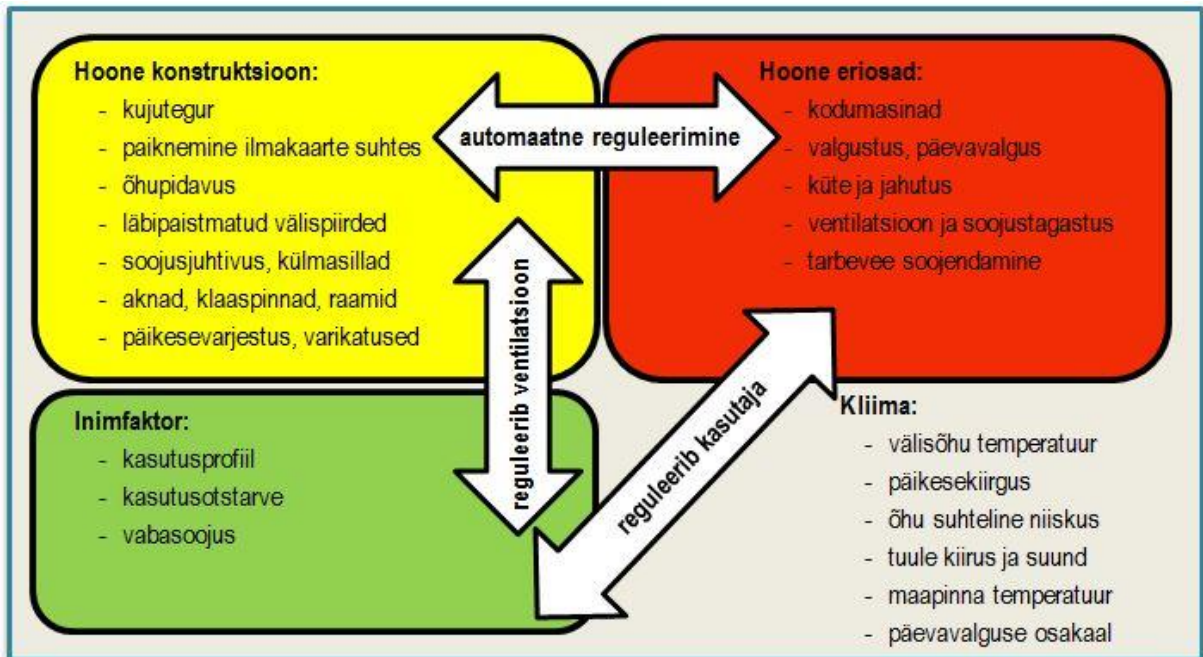
Nagu eelnevalt osutatud, määratleb EN 15978 (2011) kõik võimalikud hoone elutsükli vältel hoonega seonduvad keskkonnamõjud (materjalide tootmine, kasutamine, toimimine peale kasutusea lõppemist ja taaskasutamine, ümbertöötlemine ja taastamise võimalikkus) moodulsüsteemi alusel. Selles süsteemis vastab moodul B6 hoone ekspluatatsiooniaegsele energiatarbele ehk hoone energiatarbele.

Mooduli B6 piirid peavad olema EN 15603 (2008) abil kooskõlas ehitiste energiatõhususe direktiiviga (EPBD) ja sisaldama hoone kütmisele, jahutusele, sooja tarbevee tootmisele, ventilatsioonile, valgustusele ja lisasüsteemidele kuluvat energiat.

Käesolev lihtsustatud lähenemisviis põhineb hoonet iseloomustavatel ja hoonesse paigaldatud (tehno)seadmete näitajatel. Mudel võimaldab määrata ruumide kütmiseks, jahutamiseks ja sooja tarbevee tootmiseks kuluva energia. Energiakulu mehaanilisele ventilatsioonile ja valgustusele ei käsitleta, kuna need kaks komponenti ei ole otseselt seotud ehitisele valitud konstruktsioonilahendusega. Ruumide kütmiseks ja jahutuseks kuluva energia arvutus järgib ISO 13790 (2008) esitatud kuupõhist kvaasi-statsionaarset meetodit. See standard hõlmab kõiki hoone soojuslike arvutuste tegemiseks vajaminevaid komponente ja esitab dünaamilise soojusliku mõju arvestamiseks vajalikud korrelatsioonitegurid. Sooja tarbevee tootmiseks vajaminev energia arvutatakse vastavalt EN 15316-3-1 (2007).

3.3.2 Hoone asukoht ja kliima

Selleks, et arvutada hoone ekspluatatsiooniaegne energiatarve, on oluline arvestada hoone soojuslikku käitumist ja energiatõhusust mõjutavaid muutujaid.



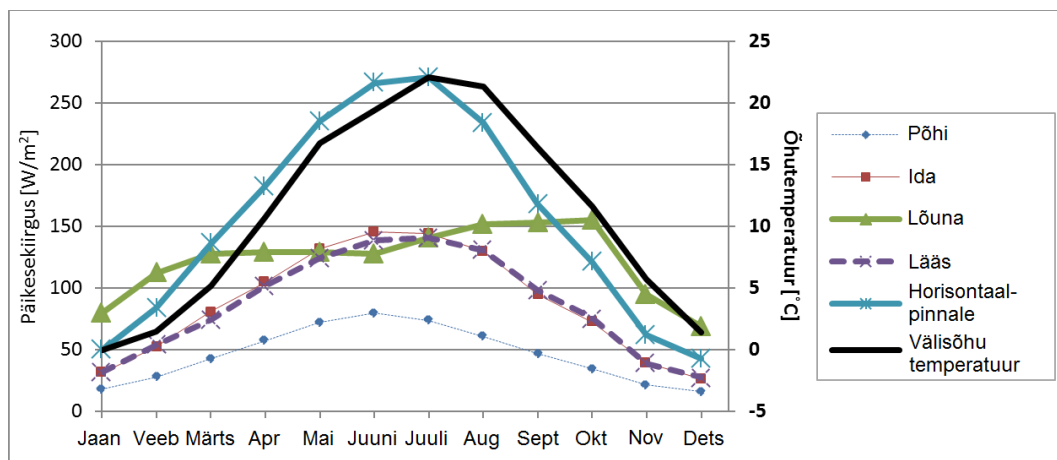
Joonis 3.4 Hoone energiatarvet enim mõjutavad faktorid (Santos jt, 2012)

Need parameetrid saab jaotada nelja gruppi järgmiselt: kliima, välispiirded, hoone tehnosüsteemid ja inimfaktor (vt Joonis 3.4). Kuidas enamikke neist faktoritest summaarse energiatarbe määramisel arvesse võtta, on põhjalikumalt kirjeldatud järgmistes peatükkides.

Hoone asukoha kliimaatilised tingimused on olulise tähtsusega hoone soojusliku toimivuse arvutustes (Santos jt, 2011, 2012). Põhilised kliimaparameetrid, mis peavad olema energiatarbe prognoosimiseks defineeritud on järgmised:

- i) välisõhu temperatuur;
- ii) päikeseikiirus etteantud orientatsiooniga pinna suhtes.

Joonis 3.5-el on graafiliselt esitatud kuude keskmised andmed Timisoaras, Rumeenias.



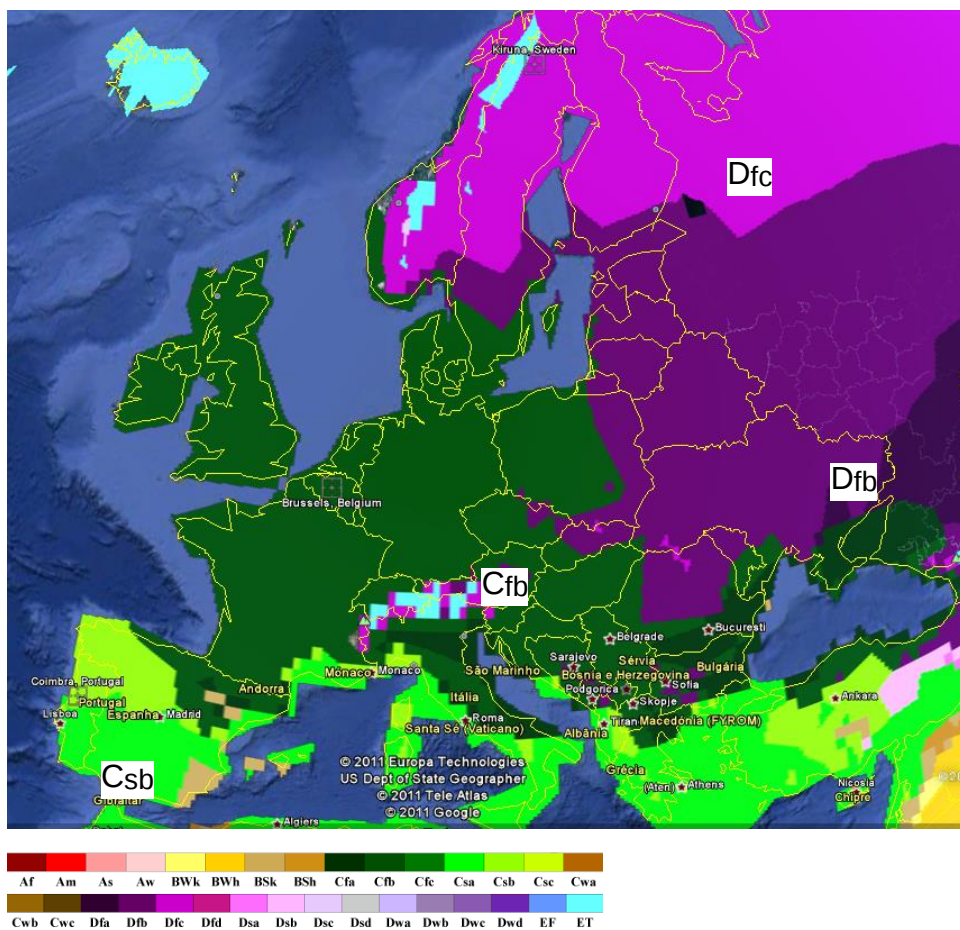
Joonis 3.5 Kuude keskmine välisõhu temperatuur ja päikese kiirgus erinevatele vertikaalpindadele Timisoaras, Rumeenias

Hetkel on meetod kalibreeritud viiele kliimapiirkonnale (klassifitseeritud vastavalt Köppen-Geiger kliimaklassifikatsioonile): i) Csa; (ii) Csb; (iii) Cfb; (iv) Dfb; (v) Dfc. Köppen-Geigeri kliimaklassifikatsioon on üks enim kasutatavatest kliima klassifitseerimise süsteemidest (Kottek jt, 2006). Joonis 3.6-el on esitatud Köppen-Geigeri kliimaklassifikatsioon Euroopas. Kaardilt joonistub selgelt välja laiuskraadi, merepinnast kõrguse ja ranniku läheduse mõju kliimale. Madalamatel laiuskraadidel paiknevates piirkondades (alla 45°N) (Lõuna-Euroopas, näiteks Vahemere riigid) on kliima märgistatud Csa ja Csb, kus tähistused on järgmised: „C – niiske kliima maheda talvega“ koos „s – kuiv suvi“ ja „a- kuum suvi“ või „b - soe suvi“.

Suurematel laiuskraadidel paiknevates piirkondades (45-55°N vahel), Lääne-Euroopas ja Kesk-Euroopa läänepoolsetes riikides on kliima märgistatud Cfb, kus tähistused on järgmised: „C – niiske kliima maheda talvega“ koos „f – niiske, kuiva hooaega ei ole“ ja „b - soe suvi“. Ida-Euroopas ja Kesk-Euroopa idapoolisel küljel (Atlandi ookeani rannikust kaugel) on kliima märgistatud Dfb, kus tähistused on järgmised: „D - niiske kliima külma talvega“ koos „f – niiske, kuiva hooaega ei ole“ ja „b – soe suvi“.

Veel kõrgemate laiuskraadidega piirkondades (üle 55°N), Põhjamaades, on kliima enamasti märgistatud Dfc, kus tähistused on järgmised: "D - niiske kliima külma talvega " koos "f – niiske, kuiva hooaega ei ole " ja "c - jahe suvi".

Viimane on sarnane Ida-Euroopa ja idapoolse Kesk-Euroopa kliimaga, ainus erinevus on külmem suveperiood.



Peamised kliimatüübid		Sademed		Temperatuur		
A:	troopiline vihmane kliima	W:	kõrb	h:	kuiv ja kuum	F: külmakõrbe kliima, igilumi- ja jää
B:	kuiv kliima	S:	poolkõrb, stepp	k:	kuiv ja külm	T: tundrakliima
C:	niiske kliima maheda talvega	f:	niiske, kuiva hooaega ei ole	a:	kuum suvi	
D:	niiske kliima külma talvega	s:	kuiv hooaeg suvel	b:	soe suvi	
E:	polaarkliima	w:	kuiv hooaeg talvel	c:	jahe suvi	
		m:	mussoonkliima (lühike kuivaperiood)	d:	väga külm talv	

Joonis 3.6 Köppen-Geigeri kliimaklassifikatsioon Euroopa kaardil (Kottek et al., 2006; Google Earth 2014)

Järgnevalt rakendatakse erinevate Euroopa paikade jaoks koostatud kliimaandmete andmebaasi. Tabel 3.8-s on esitatud 48 linna, millele on Köppen-Geigeri järgi kliima tüüp määratud. Enamik neist andmetest saadi EnergyPlus

energiasimulatsiooni tarkvara kliima andmebaasist (EERE-USDoE, 2014) ning ülejäänud andmestik koguti uurimisprojekti koostööpartnerite abiga.

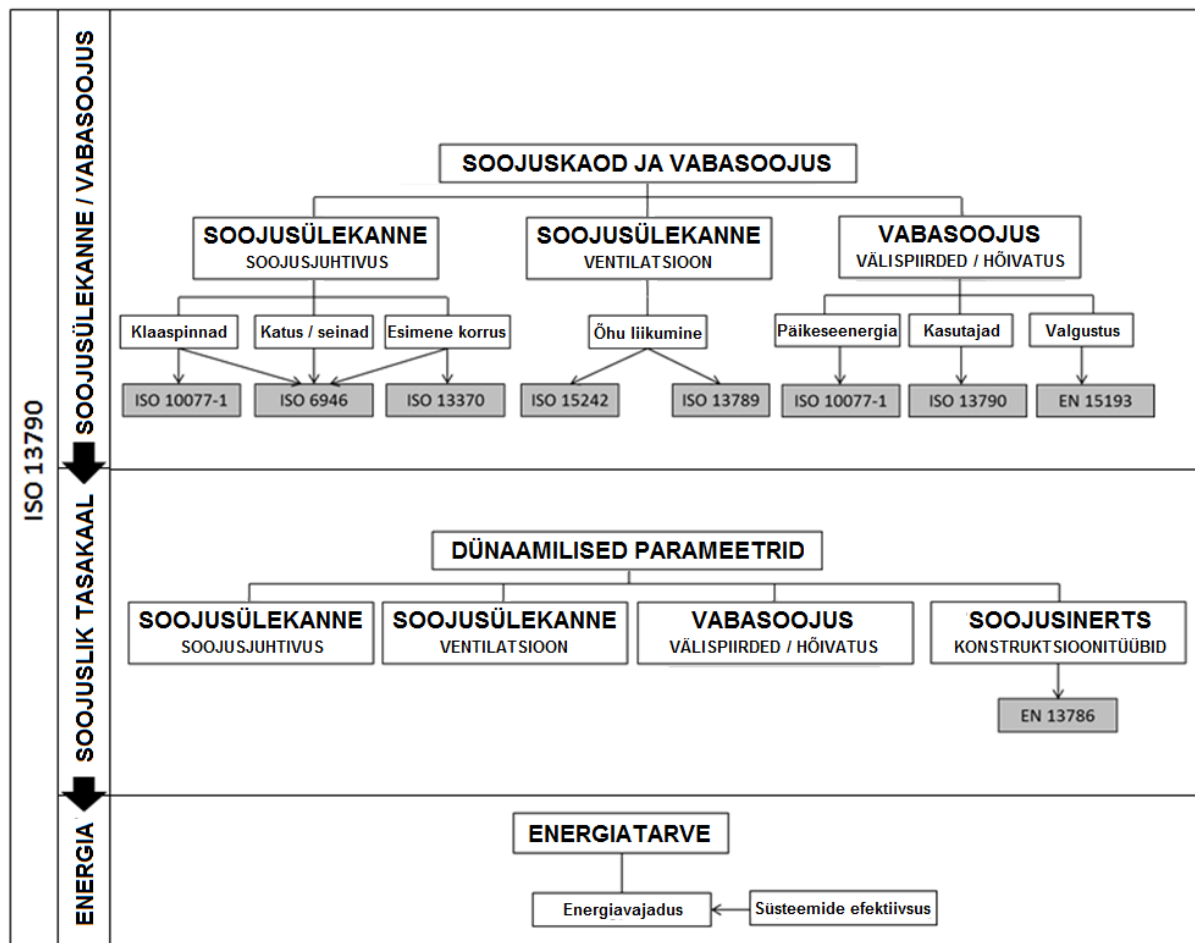
Tabel 3.8 Nimekiri linnadest, millele on kliimaandmed määratud

Linn	Riik	Kliima	
		tüüp	Laiuskraad
Amsterdam	Holland	Cfb	52
Ankara	Türgi	Csb	39
Arhangelsk	Venemaa	Dfc	64
Ateena	Kreeka	Csa	37
Barcelona	Hispaania	Csa	41
Berliin	Saksamaa	Cfb	52
Bilbao	Hispaania	Cfb	43
Bratislava	Slovakkia	Cfb	48
Brüssel	Belgia	Cfb	50
Bukarest	Rumeenia	Cfa	44
Coimbra	Portugal	Csb	40
Genova	Itaalia	Csb	44
Graz	Austria	Dfb	47
Hamburg	Saksamaa	Cfb	53
Helsingi	Soome	Dfb	60
Istambul	Türgi	Csa	40
Kiiev	Ukraina	Dfb	50
Kiruna	Rootsi	Dfc	67
La Coruña	Hispaania	Csb	43
Lissabon	Portugal	Csa	38
Ljubljana	Sloveenia	Cfb	46
London	Inglismaa	Cfb	50
Madrid	Hispaania	Csa	40
Marseille	Prantsusmaa	Csa	43
Milano	Itaalia	Cfb	45
Minsk	Valgevene	Dfb	53

Montpellier	Prantsusmaa	Csa	43
Moskva	Venemaa	Dfb	55
München	Saksamaa	Cfb	48
Nantes	Prantsusmaa	Cfb	47
Nice	Prantsusmaa	Csb	43
Oslo	Norra	Dfb	59
Ostersund	Rootsi	Dfc	63
Pariis	Prantsusmaa	Cfb	48
Porto	Portugal	Csb	41
Praha	Tšehhi	Cfb	50
Rooma	Itaalia	Csa	41
Salamanca	Hispaania	Csb	40
Sanremo	Itaalia	Csb	43
Sevilla	Hispaania	Csa	37
Stockholm	Rootsi	Dfb	59
Tampere	Soome	Dfc	61
Thessaloniki	Kreeka	Cfa	40
Timisoara	Rumeenia	Cfb	45
Viin	Austria	Dfb	48
Vigo	Hispaania	Csb	42
Varssavi	Poola	Dfb	52
Zürich	Šveits	Cfb	47

3.3.3 Arvutusmeetod energiavajaduse määramiseks

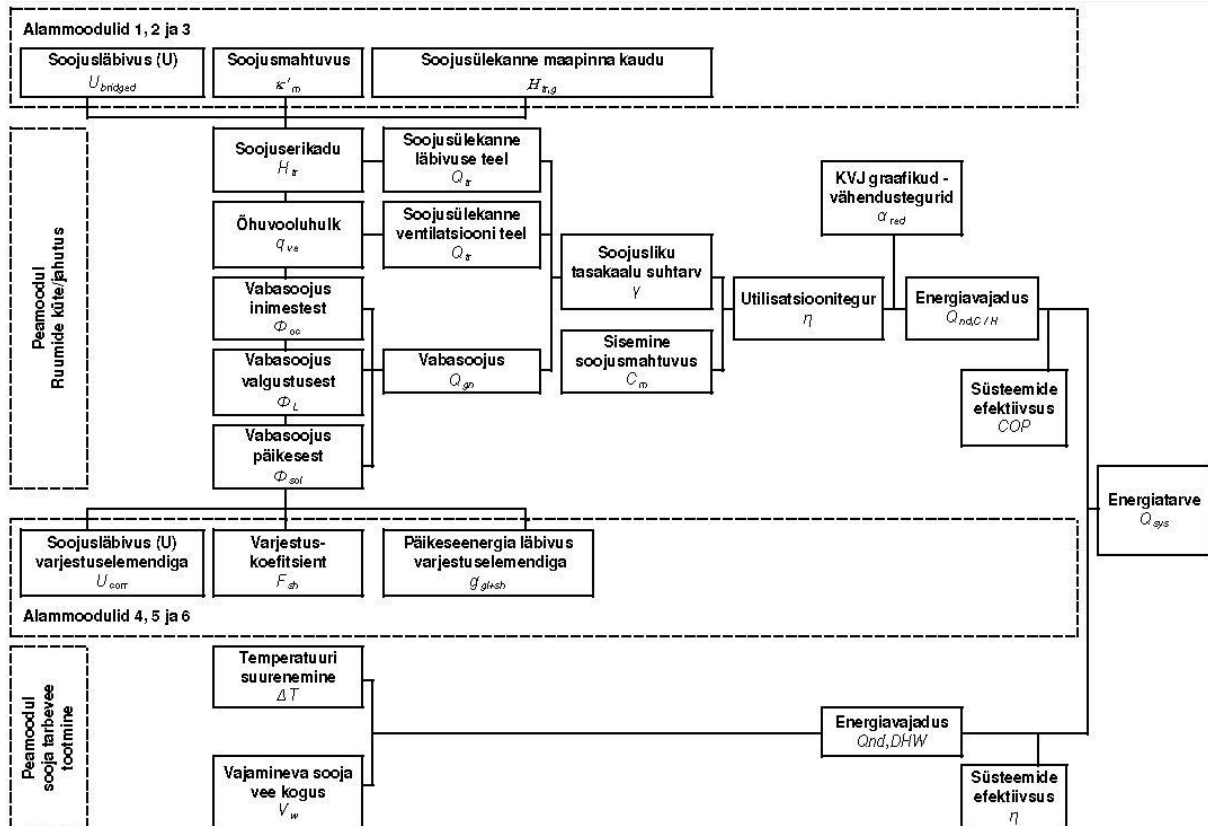
Käesolev lähenemisviis võimaldab arvutada kuupõhist energiavajadust ruumide kütteks, jahutuseks ja sooja tarbevee tootmiseks. Selleks, et määrata kõigi soojuslikes arvutustes arvesse võetavate protsesside proportsionaalsust, on vaja toetuda standarditele vastavalt Joonis 3.7-le.



Joonis 3.7 Algoritmi plokk skeem ja ruumide konditsioneerimiseks vajalikud standardid

Joonis 3.7-lt nähtub, et 13790 (2008) on põhiline arvutusmudel kasutatav standard, mis omakorda viitab spetsiifilistemade arvutuste tarvis teistele standarditele.

Võttes arvesse sooja tarbevee tootmiseks kuluvat energiat kogu hoone energiatarbes (peamiselt elamutes), on oluline hinnata selle osakaalu. Nagu ka eelnevalt mainitud, toimub arvutus EN 15316-3-1 (2007) suuniste kohaselt. Energiavajaduse kalkuleerimiseks vajamineva algoritmi ülesehitus on esitatud Joonis 3.8-el.



Joonis 3.8 Hoone energiatarbe arvutuse plokskeem

Alammoodulid 1 ja 2, mis hoomavad vastavalt välispiirete soojusläbivust ja soojusmahtuvust, on arvatatud eelnevalt kasutaja poolt valitud konstruktsioonitüüpide järgi. Alammooduliga 3 kaetakse soojusülekanne pinnasega. Alammoodulid 4, 5 ja 6 kirjeldavad varjestuselementide ja hoone kujust tingitud varjestuse mõju arvestamiseks vajaminevaid parameetreid. Praeguses AMECO versioonis on võimalik vaadelda ainult riskülikulise põhiplaani hooneid.

3.3.3.1 Ruumide kütte- ja jahutusenergia vajadus

Valem 3.6 ja Valem 3.7 on põhilised ISO 13790 (2008) mahus esitatud valemid kuupõhise, (m), energiavajaduse määramiseks eeldades tehnosüsteemide pidevat töötamist (nomenklatuur ISO 13790):

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

Valem 3.6

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

Valem 3.7

kus,

$Q_{H,nd}$, kütteenergia vajadus (kWh);

$Q_{C,nd}$, jahutusenergia vajadus (kWh);

Q_{tr} , summaarne soojusülekanne läbivuse teel (kWh);

Q_{ve} , summaarne soojusülekanne ventilatsiooni kaudu (kWh);

$\eta_{H,gn}$, vabasoojuse utilisatsioonitegur (-);

$\eta_{C,ls}$, soojuskadude utilisatsioonitegur (-).

Juhised kõigi nende energiavajaduse määramisel vajaminevate tegurite arvutamiseks on antud järgmistes peatükkides.

3.3.3.1.1 Soojusülekanne läbivuse teel

Hoone soojuslik tasakaal sõltub erinevate välispiirete soojusläbivusest:

- i) välisseinad;
- ii) katus;
- iii) väline põrand (välisõhu kohal paiknev põrand) (selle olemasolul);
- iv) klaaspiirded (klaaspind koos raamistusega);
- v) põrand pinnasel või pinnase kohal.

Välispiirete i) kuni iv) puhul võetakse soojusläbivuse arvutamisel arvesse ainult läbivuslikku soojusülekannet. Seega on soojuskadu (või vabasoojus) võrdeline sise- ja välistemperatuuride erinevusega ja välispiirete soojusläbivusega (thermal transmittance coefficient), nagu järeldub valemitest Valem 3.8, Valem 3.9 ja Valem 3.10. Soojuslevi pinnasesse sisaldab kaudselt maapinna soojusinerti mõju. See tähendab, et põrandakonstruksiooni soojusläbivuse arvutamisel kasutatakse teistsugust lähenemist kui ülejäänud komponentide puhul, Valem 3.11.

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

Valem 3.8

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

Valem 3.9

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

Valem 3.10

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

Valem 3.11

kus,

Q_{tr} , summaarne soojusülekanne läbivuse teel (kWh);

$H_{tr,adj}$, kogu soojuserikadu (W/K);

$\theta_{int,sec,H}$ ja $\theta_{int,sec,C}$, on vastavalt hoone kütte- ja jahutuse režiimis nõutavad temperatuurid (°C);

t , kalendrikuu kestus vastavalt ISO 13790 (Ms);

H_D , soojuserikadu väliskeskkonda läbivuse teel (W/K) läbi seinte, $H_{D,W}$; katuse, $H_{D,R}$; väline pörand, $H_{D,EF}$; klaaspiirete, $H_{D,Gl}$;

H_{GF} , soojuserikadu läbi pörandakonstruktsiooni (W/K);

$b_{tr,g}$, kuupõhine pinnase korrigeerimisfaktor monthly ground adjustment factor (W/K);

A_i , välispiirde elemendi i pindala (m²);

U_i , välispiirde elemendi i soojusläbivus, W/(m²·K);

U_{GF} , pörandakonstruktsiooni soojusläbivus (plaat koos pinnasega) (W/m²·K).

Arvutustes kasutatavad ajast sõltuvad väärtused on saadud standardist ISO 13790 ja on toodud Tabel 3.9-es.

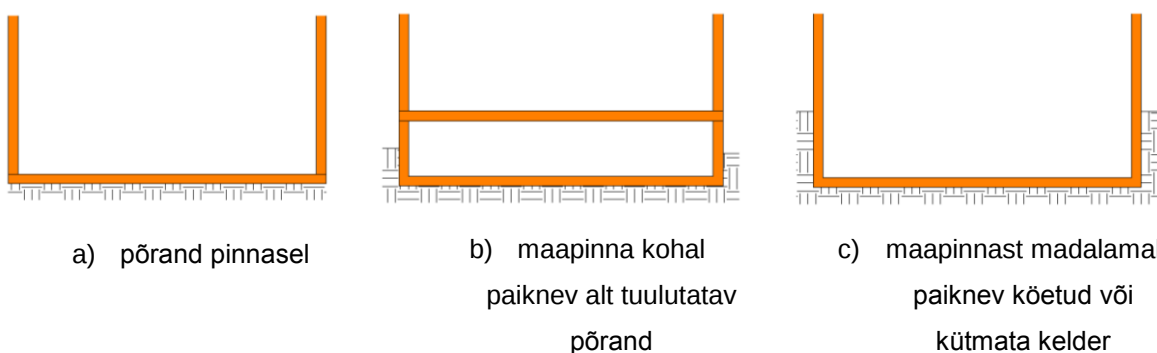
Tabel 3.9 Ajast sõltuvad väärtused

	JAAN	VEEB	MÄR	APR	MAI	JUUNI	JUULI	AUG	SEP	OKT	NOV	DETS
<i>m</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kuu kestus (MonthLength), <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
Päevade arv kuus (MonthDay), (päeva)	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Tööpäevade arv (NbDayWorking), (päeva)	23	20	21	22	23	20	23	22	21	23	21	22

Kõik välispiirete soojusläbivused, välja arvatud põrandakonstruksiooni puhul, arvutatakse vastavalt standardile EN ISO 6946:2007.

Soojuslevi pinnasesse

Soojuslevi pinnasesse leitakse erinevalt olenevalt sellest, kas esimese korruse (keldrikorruse) põrandakonstruksioon on rajatud pinnasele toetuva põrandana või pinnase kohale (vt Joonis 3.9).



Joonis 3.9 Hoone esimese korruse (keldrikorruse) põrandakonstruksioonide tüübid

Arvutamisel järgitakse ISO 13370:2007 suuniseid. Soojuslevi pinnasesse (või pinnasest hoonesse) leitakse modifitseerides põrandakonstruksiooni soojusläbivust selliselt, et pinnast arvestatakse täiendava soojusisolatsioonina. Lisaks kohandatakse põrandakonstruksiooni soojusläbivust ka vastavalt kalendrikuule – võttes arvesse soojusvoogu, mille arvutamisel arvestatakse

pinnase soojusinertsiga. Erinevate pinnaste soojustehnilised omadused on esitatud Tabel 3.10-es.

Tabel 3.10 Pinnase soojustehnilised omadused (ISO 13370:2007)

	Soojuserijuhtivus λ [W/(m·K)]	Soojuserimahtuvus mahuühiku kohta ρ_c [MJ/(m ³ ·K)]
Savi või möll	1.5	3.00
Liiv või kruus	2.0	2.00
Homogeenne kivim	3.5	2.00
Vaikimisi (kui konkreetne pinnase liik pole teada)	2.0	2.00

Soojuslevi läbi akende

Algoritmis kasutatakse erinevate aknatüüpide (EN 15193) optiliste ja termiliste omaduste vaheväärtuste andmebaasi. Aknatüübid koos omadustega on esitatud tabelis Tabel 3.11, kus $g_{gl,n}$ on päikeseenergia läbivus juhul, kui kiirgus on risti klaasi pinnaga ja U_{Gl} on akna soojusläbivus.

Tabel 3.11 Erinevate aknatüüpide optilised ja termilised omadused

Aknatüüp	$g_{gl,n}$	U_{Gl}
Ühekordne	0.87	5.8
Kahekordne	0.78	2.9
Kahekordne selektiivklaasiga 1	0.72	1.7
Kahekordne selektiivklaasiga 2	0.67	1.4
Kahekordne selektiivklaasiga 2	0.65	1.2
Kolmekordne	0.7	2.0
Kolmekordne selektiivklaasiga 1	0.5	0.8
Kolmekordne selektiivklaasiga 2	0.5	0.6

Soojuslevi läbi akende arvutatakse vastavalt valemile Valem 3.10. Arvestades varjestuselemendi positiivset mõju öösel, tuleb korrigeerida ka soojuslähivust. Korrigeeritud soojuslähivus $U_{Gl,corr}$ (W/m²·K) arvutatakse järgmise valemi abil:

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

Valem 3.12

kus,

$U_{Gl+shut}$, akna ja varjestuselemendi summaarne soojuslähivus, W/(m²·K);
 f_{shut} , varjestuselemendi rakendusperioodi vältel akumulatsioonunud temperatuuride erinevuse osakaal; dimensionless fraction of accumulated temperature difference for period with shutter;
 U_{Gl} , akna soojuslähivus, W/(m²·K).

Akna ja varjestuselemendi summaarne soojuslähivus $U_{Gl+shut}$ arvutatakse järgmiselt:

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

Valem 3.13

kus,

R_{sh} , varjestuselemendi soojustakistus (m²·K/W);
 ΔR , täiendav soojustakistus tulenevalt varjestuselemendi õhu lähivusest (m²·K/W).

Algoritmis kasutatakse R_{sh} ja ΔR jaoks vaikeväärtusi, mis on saadud standardist ISO 10077-1 (2007). Need väärtused olenevad varjestuselemendi materjalist ja õhu läbilaskvusest vastavalt tabelile Tabel 3.12.

Tabel 3.12 Erinevate varjestuselementide soojustakistus

Varjestuselemendi tüüp	R_{sh} [m ² .K/W]	Õhu läbivus		
		Kõrge/Väga kõrge	Keskmine	Madal
		ΔR [m ² .K/W]		
Välimine alumiiniumist rullkate (soojustamata)	0.01	0.00	0.12	0.00
Välimine läbipaistmatu puidust seade (soojustamata)	0.10	0.00	0.16	0.00
Välimine puidust rullkate (soojustamata)	0.10	0.00	0.16	0.00
Välimine plastikust rullkate (soojustamata)	0.10	0.00	0.16	0.00
Välimised puidust ribikardinad	0.01	0.09	0.00	0.00
Välimised metallist ribikardinad	0.01	0.09	0.00	0.00
Välimine läbipaistmatu ruloo	0.01	0.09	0.00	0.00
Välimine pooläbipaistev ruloo	0.01	0.09	0.00	0.00
Sisemine kate	0.01	0.00	0.00	0.24
Sisemised läbipaistmatu kardin	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisemine läbipaistev kardin	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisemine läbipaistmatu puidust seade	0.10	0.00	0.00	0.31
Plastikust vahttäidisega rullkate	0.15	0.00	0.19	0.00
Puidust aknalauk, 25mm kuni 30mm	0.20	0.00	0.22	0.00

Varjestuselemendi kasutusperioodi vältel akumulbeerunud temperatuuri erinevuse osakaal f_{shut} on tuletatud tunnipõhistest väärtustest. Seda loeti võrdseks öötundide osakaaluga.

3.3.3.1.2 Soojusülekanne ventilatsiooni teel

Ventilatsioonitingimuste seadmine selliselt, et oleks optimeeritud hoone soojustehniline käitumine, on üks hoone passiivse jahutuse/kütmise viise. Talveperioodil on soovitatav vähendada ventilatsiooni õhuvooluhulka, et vähendada soojuskadusid, samas suvel võib olla mõistlik õhuvoolu hulkade suurendamine, kui välisõhu temperatuur on sobilik passiivse kütmissviisi ärakasutamiseks. Seega on algoritmis võimalik arvestada erinevate kütmiseks ja jahutamiseks vajaminevate õhuvooluhulkadega.

Metoodika ventilatsiooni kaudu toimuva soojusülekanne arvestamiseks on kirjeldatud standardi ISO 13790:2008 punktis 9.3 ja esitatud järgmistes valemities:

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

Valem 3.14

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

Valem 3.15

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

Valem 3.16

kus,

 $\rho_a \cdot c_a$, õhu soojusmahtuvus ruumala kohta (J/m³.K); $q_{ve,k,mn}$, elemendi k ajaga kaalutud keskmine õhuvooluhulk k (m³/s); $b_{ve,k}$, õhuvooluelemendi k temperatuuri reguleerimise tegur (-).

Kui süsteem ei ole eelsoojendusega (ehk puudub soojustagasti), siis on temperatuuri reguleerimise tegur, $b_{ve,k}$, võrdne 1, vastasel juhul kasutatakse valemit:

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

Valem 3.17

kus,

 $f_{ve,frac,k}$, elemendist k tuleva soojustagastit läbiva õhuvooluhulga osakaal; η_{hru} , soojustagasti kasutegur.

3.3.3.1.3 VABASOOJUS

Seadmete ja hoone kasutajate poolt tekitatud lisasoojus võetakse arvesse vabasoojusena. See on oluline osa hoone soojuslikust tasakaalust. Algoritm on võimalik tekkiv vabasoojus ise ette anda kui ka kasutada vaikeväärtusi (standardist ISO 13790:2008), mis on koosneb hoone kasutusprofiilist ja sellele vastavast soojusvoost. Vabasoojuse arvutamiseks kasutatakse järgmist valemit:

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

Valem 3.18

kus,

 $\Phi_{int,mn,k}$, vabasoojusallika k tekitatav keskmine soojusvoog ajaühikus (W); $\Phi_{int,mn,u,l}$, vabasoojusallika l tekitatav keskmine soojusvoog külgnvates konditsioneerimata ruumides ajaühikus (W); $b_{tr,l}$, vähendustegur külgnvatele konditsioneerimata ruumidele; t , kalendrikuu pikkus (Ms).

Vabasoojus võib pärineda kas i) hoone kasutajatelt või ii) seadmetelt. Tabel 3.13-s on esitatud soojusvoo normväärtused hoone kasutajatelt ja seadmetelt erinevatel nädalapäevadel ja kellaaegadel.

Tabel 3.13 Hoone kasutajatelt ja seadmetelt eralduv soojusvoog elamutes vastavalt nädalapäevadele ja kellaaegadele (standardist ISO 13790:2008)

Päev	Kellaaeg	Elutuba ja köök $(\Phi_{int,oc} + \Phi_{int,A})/A_f$ [W/m ²]	Muud konditsioneeritud ruumid (näiteks magamistoad $(\Phi_{int,oc} + \Phi_{int,A})/A_f$ [W/m ²]
Esmaspäevast reedeni	07:00 kuni 17:00	8.0	1.0
	17:00 kuni 23:00	20.0	1.0
	23:00 kuni 07:00	2.0	6.0
Laupäev ja pühapäev	07:00 kuni 17:00	8.0	2.0
	17:00 kuni 23:00	20.0	4.0
	23:00 kuni 07:00	2.0	6.0

3.3.3.1.4 PÄIKESEST TULENEV VABASOOJUS

Päikesest tulenev vabasoojus on hoone soojusliku tasakaalu võrrandis järgmiseks oluliseks muutujaks. Üldvalem selle arvutamiseks on alljärgnev:

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

Valem 3.19

kus,

- $\Phi_{sol,mn,k}$, keskmine soojusvoog päikeseenergia allikalt k ajaühikus (W);
- $\Phi_{sol,mn,u,l}$, keskmine soojusvoog päikeseenergia allikalt külgnevates konditsioneerimata ruumides (W);
- $b_{tr,l}$, vähendustegur külgnevatele konditsioneerimata ruumidele;
- t , kalendrikuu pikkus (Ms).

Tuleb arvutada iga päikesekollektori efektiivne pindala. Standardis ISO 13790 (2008) kirjeldatud meetodid võimaldavad võtta arvesse aknakatete (varjestuse) mõju, hoones kujust tingitud varjestuse ja kliimast sõltuvad nähtused. Neid käsitletakse järgmistes peatükkides.

Päikesest tulenev vabasoojus leitakse järgmise valemi abil:

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

Valem 3.20

kus,

- $F_{sh,ob,k}$, väliste varjestust tekitavate takistuste vähendustegur (-);
- $A_{sol,k}$, päikesekollektori k efektiivne pindala (-);
- $I_{sol,k}$, kogutud päikeseenergia kollektori kogumispindala k ühe ruutmeetri kohta (W/m²);
- $F_{r,k}$, kollektori k ja taeva vaheline kujutegur (-);
- $\Phi_{r,k}$, täiendav soojusvoog päikesekollektori k kiirguslikust soojuslevist taevasse (W/m²).

Välise varjestust tekitavate takistuste vähendustegur, $F_{sh,ob,k}$, jäetakse selles AMECO versioonis arvestamata. Akende efektiivne päikeseenergia kogumispindala arvutatakse järgmise valemiga:

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

Valem 3.21

kus,

$F_{sh,gl}$, varjestuse vähendustegur liigutatavatele varjestuselementidele (-);
 g_{gl} , kogu päikeseenergia läbivus läbipaistval elemendi osal (-);
 F_F , aknaraami pindala osakaal kogu akna pindalast (-);
 $A_{w,p}$, aknapinna projektsioon (m²).

Täiendavalt on võimalik võtta arvesse varjestuselementide positiivset mõju akende ees (näiteks jahutusperioodi vältel). Selleks tuleb määrata varjestuselemendi poolt tekitatava varjestuse vähendustegur järgmise valemi abil:

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

Valem 3.22

kus,

g_{gl+sh} , akna kogu päikeseenergia läbivus, kui varjestuselement on kasutuses;
 $f_{sh,with}$, varjestuselemendi rakendamise kaalutud osakaal ajast

Varjestuselemendiga kaetud akna päikeseenergia läbivus väärtused, g_{gl+sh} , on esitatud Tabel 3.14-es ja on baseeruvad RCCTE (2006).

Tabel 3.14 Varjestuselemendiga kaetud akna päikeseenergia läbivus, g_{gl+sh} vastavalt aknatüübile

Varjestuselemendi tüüp	Varjestuselemendi toon		
	Hele	Keskmine	Tume
Välimine läbipaistmatu puidust seade (soojustamata)	0.03	0.05	0.06
Välimine puidust rullkate (soojustamata)	0.04	0.05	0.07
Välimine alumiiniumist rullkate (soojustamata)	0.04	0.07	0.09
Välimine plastikust rullkate (soojustamata)	0.04	0.07	0.09
Välimised puidust ribikardinad	0.08	0.08	0.08
Välimised metallist ribikardinad	0.09	0.09	0.09
Välimine läbipaistmatu ruloo	0.04	0.06	0.08
Välimine poolläbipaistev ruloo	0.16	0.18	0.2
Sisemine kate	0.47	0.59	0.69
Sisemine läbipaistmatu kardin	0.37	0.46	0.55
Sisemine läbipaistev kardin	0.39	0.48	0.58
Sisemine läbipaistmatu puidust seade	0.35	0.46	0.58
Välimine plastikust rullkate (soojustatud)	0.04	0.07	0.09
Puidust aknaluuk, 25mm kuni 30mm paksusega	0.04	0.05	0.07

varjestuselemendi rakendamise kaalutud osakaal ajast, $f_{sh,with}$, arvutatakse iga ilmakaare suhtes eraldi ja kasutatakse päikesekiirguse tunniväärtusi (määratud kasutades EnergyPlus'i, mis baseerub Perezi päikesekiirguse arvutamise mudelil). See on osakaal ajast, mil päikesekiirgus on nõutavast väärtusest kõrgem vaadeldava ilmakaare suunal.

Ilma varjestuselemendi ja hägustatud (non-scattering) klaasita akna puhul arvutatakse kogu päikeseenergia läbivus, g_{gl} , vastavalt valemile,

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

Valem 3.23

kus,

F_w , parandustegur hägustamata aknale (-);

$g_{gl,n}$, päikeseenergia läbivus kiirguse puhul risti klaasiga või SHGC-päikesese vabasoojuse tegur (-).

Kui varjestuselement on kasutuses või on tegemist hägustatud (scattered) klaasiga, siis arvutatakse keskmine päikeseenergia läbivus vastavalt otsese ja hajusa kiirguse osakaalude kaalutud summale. See parameeter arvutatakse igale kuule eraldi kasutades järgmist valemit:

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

Valem 3.24

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

Valem 3.25

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

Valem 3.26

kus,

a_{gl} , kaalumistegur, mis sõltub akna asukohast (paiknemisest ilmakaarte suhtes, kaldest), kliimast ja aastaajast (-);

$g_{gl,alt}$, päikeseenergia läbivus etteantud päikesekiirguse kõrgusnurgal, alt_g , vastavalt akna asukohale (paiknemisest ilmakaarte suhtes, kaldest), kliimale ja aastaajale (-);

$g_{gl,dif}$, isotroopse hajusa päikesekiirguse päikeseenergia läbivus (-);

$I_{dir,i}$, otsese päikesekiirguse tunni i keskmine kiirgus (W/m²);

I_{sol} , kogu päikesekiirguse tunni i keskmine kiirgus (W/m²);

α_i , päikese langemisnurk (°);

n , tundide arv kalendrikuus.

Otsene päikesekiirgus $I_{dir,i}$, kogu päikesekiirgus I_{sol} ja päikese langemisnurk α_i on saadud kasutades tarkvara *EnergyPlus*, mis tugineb päikeseenergia arvutuste tegemisel Perezi mudelile.

Aknaraami pindala osakaal kogu akna pindalast, F_F , arvutatakse vastavalt standardile ISO 10077-1 (2006). Tihti kasutatakse ka väärtuseid 0,2 või 0,3, vastavalt sellele kumb annab aknale maksimaalse päikeseenergia läbivuse

väärtuse. Vaikeväärtuseks piirkondades, kus kütteperiood on domineeriv, valiti 0,3 (ISO 13790, punkt 11.4.5).

Aknapinna projektsioon, $A_{w,p}$, sisaldab nii klaasi kui ka raami pinda, sest akna soojustehnilised näitajad on tarkvaras määratud kogu aknale. Seda meetodit soovitatakse ka ISO 13789:2007 Lisa B.

Päikesekollektori efektiivne pindala arvutatakse läbipaistmatute elementide puhul vastavalt valemile:

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

Valem 3.27

kus,

$\alpha_{s,c}$, läbipaistmatu elemendi päikesekiirguse neeldumistegur (-);

R_{se} , läbipaistmatu elemendi välispinna soojustakistus vastavalt ISO 6946:2007 ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$);

U_c , läbipaistmatu elemendi soojusläbivus, mis on arvutatud vastavalt ISO 6946:2007, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

A_c , läbipaistmatu elemendi paralleelprojektsiooni pindala (m^2);

Ühikuta päikesekiirguse neeldumistegur sõltub elemendi välispinna toonist vastavalt alljärgnevale tabelile (RCCTE, 2006).

Tabel 3.15 Läbipaistmatu elemendi päikesekiirguse neeldumistegur vastavalt toonile (RCCTE, 2006)

Toon	$\alpha_{s,c}$
Hele	0.3
Keskmine	0.5
Tume	0.8

Päikesekiirgus, $I_{sol,k}$, on arvutatavas kalendrikuus valitud ajasammu keskmine väärtus ning sõltub kliimast, laiusnurgast, fassaadi kaldenurgast ja paiknemisest ilmakaarte suhtes.

Päikesekollektori k ja taeva vaheline kujutegur, $F_{r,k}$, on 1,0 varjestuseta horisontaalse kollektori korral ja 0,5 vertikaalse kollektori korral. Täiendav soojusvoog päikesekollektori k kiirguslikust soojuslevist taevasse, $\Phi_{r,k}$,

arvestatakse päikesekiirgusest tuleneva vabasoojuse hulgas. Selline soojusülekanne kiirguse kaudu tekib temperatuuride erinevuse tõttu kollektori pinna (eeldusel, et see on võrdne välisõhu temperatuuriga) ja taevakaare vahel. Järgnevalt esitatud Valem 3.28 võimaldab seda soojusülekanne nähtust arvutada.

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

Valem 3.28

kus,

h_r , välispinna kiirguslik soojusläbivus ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$);

$\Delta\theta_{er}$, välisõhu temperatuuri ja taeva kiirgustemperatuuri keskmine erinevus ($^{\circ}\text{C}$).

Standard ISO 13790:2008 postuleerib, et välispinna kiirgusliku soojusläbivuse, h_r ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$), võib võtta võrdseks $5 \cdot \epsilon$ (ϵ on materjali emissioonitegur), mis vastab keskmisele pinna ja taeva kiirgustemperatuurile 10°C .

Vastavalt standardile ISO 13790 (punkt 11.4.6) võib keskmise erinevuse välisõhu temperatuuri ja taeva kiirgustemperatuuri, $\Delta\theta_{er}$, võtta 9°C lähispolaarsetel aladel, 13°C troopilistel aladel ja 11°C vahepealsetes piirkondades.

3.3.3.1.5 DÜNAAMILISED PARAMEETRID

Kütterežiimis on vabasoojuse utilisatsioonitegur, $\eta_{H,gn,m}$, leitav järgmiste valemite abil:

$$\text{If } \gamma_H > 0 \text{ and } \gamma_H \neq 1, \text{ then: } \eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}}$$

Valem 3.29

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

Valem 3.30

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

Valem 3.31

kus,

$\gamma_H = Q_{H,gn}/Q_{H,ht}$ on soojusliku tasakaalu suhtarv;

$a_H = a_{H,0} + \tau/\tau_{H,0}$ on ühikuta parameeter;

$\tau = C_m/H$ on hoone ajakonstant, mis võtab arvesse hoone soojuslikku inertsi ja soojusülekannet välispiirete läbivuse ja ventilatsiooni teel;

$a_{H,0}$ ja $\tau_{H,0}$ on ühikuta parameetrid, millest esimene vastab suurusele 1 ja teine suurusele 15 (vastavalt ISO 13790).

Kuupõhine utilisatsioonitegur jahutusrežiimis leitakse kasutades üht järgmistest valemitest:

$$\text{If } \gamma_C > 0 \text{ and } \gamma_C \neq 1, \text{ then: } \eta_{C,Is} = \frac{1 - \gamma_C^{-a_C}}{1 - \gamma_C^{-(a_C+1)}}$$

Valem 3.32

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

Valem 3.33

$$\text{If } \gamma_C < 0, \text{ then: } \eta_{C,Is} = 1$$

Valem 3.34

Parameetrid utilisatsioonitegurite määramiseks on sarnased kütterežiimi puhul kasutatutega, kuid väärtused vastavad jahutusrežiimile (ühikuta parameetrid $a_{C,0}$ ja $\tau_{C,0}$ on samuti vastavalt 1 ja 15 standardi ISO 13790 põhjal).

Hoone termilist massiivsust iseloomustab arvutustes hoone ajakonstant, τ , mis esitatakse tundides ja saadakse vastavalt järgmisele valemile:

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

Valem 3.35

kus,

C_m , hoone või hoone osa sisemine soojusmahtuvus (J/K);

$H_{tr,adj}$, vastav kogu soojuserikadu Valem 3.10 abil;

$H_{ve,adj}$, vastav kogu soojuserikadu Valem 3.15 abil.

Hoone sisemine soojusmahtuvus, C_m (J/K), leitakse kõigi siseõhuga kontaktis olevate konstruktsioonielementide soojusmahtuvuste summana (ISO 13790) vastavalt valemile:

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

Valem 3.36

kus,

k_j on sisemine soojusmahtuvus konstruktsioonielemendi j pindala kohta, J/(K·m²);

A_j on konstruktsioonielemendi j pindala (m²).

Sisemine soojusmahtuvus konstruktsioonielemendi j pindala kohta, k_j , arvutatakse iga konstruktsioonitüübi kohta eraldi standardi EN ISO 13786:2007 LISA A lihtsustatud meetodi järgi.

Hoone sisemise soojusmahtuvuse kiiremaks määramiseks sätestab ISO 13790 vaikeväärtused ruutmeetri kohta vastavalt hoone klassile. Kõnealused väärtused on esitatud Tabel 3.16-s kuupõhise ja hooajapõhise meetodi tarvis.

Tabel 3.16 Vaikeväärtused sisemisele soojusmahtuvusele (ISO 13790, 2008)

Klass	C_m [J/K]
Väga kerge	80000 · A_f
Kerge	110000 · A_f
Keskmine	165000 · A_f
Massiivne	260000 · A_f
Väga massiivne	370000 · A_f

A_f - Põrandapind

Kütte- ja jahutusperioodi pikkus

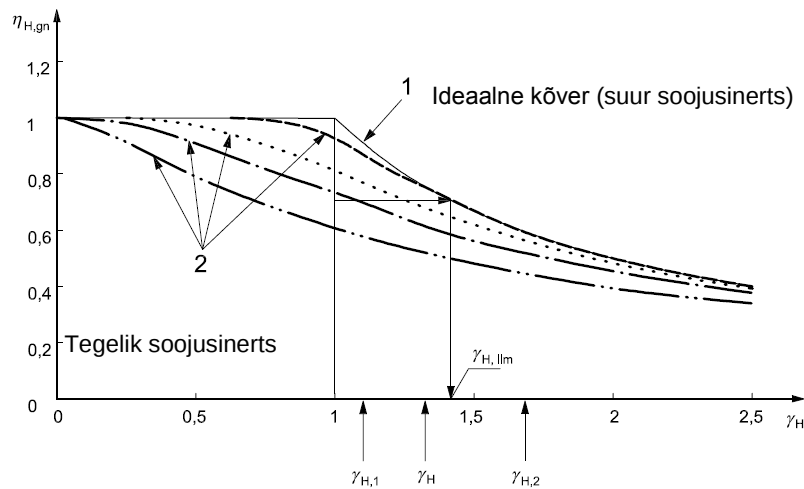
Kütte- ja jahutusenergia vajadusega kuude osakaalu hindamiseks on standardis ISO 13790 esitatud kaks meetodit, mis baseeruvad soojusliku tasakaalu suhtarvul ja ühikuta parameetritel a_c and a_H . Kuigi nimetatud standard pakub välja kaks meetodit, esitatakse siin üksikasjalikum (punkt 7.4.1.1 – meetod b), sest seda on käesolevalt otstarbekam rakendada.

Kütteterežiim:

Kütteperioodi pikkuse hindamiseks ühes kuus arvutatakse ideaalne soojusliku tasakaalu suhtarv (ideal heat-balance ratio), $\gamma_{H,lim}$, mis vastab ideaalsele vabasoojuse utilisatsioonifaktorile, $\eta_{H,gn}$. Viimase väärtus nullib ruumi kütteenergia vajaduse. The latter takes a value that makes null the energy need to heat the space. See on kehtib ideaalsele hoone puhul, millel on lõpmatu soojusinerts, kus $\gamma_{H,lim} = 1.0$ ja seega $\eta_{H,gn} = 1.0$.

Kuna reaalselt ei ole hoone soojusinerts lõpmatu, siis ei kasutata kogu vabasoojust efektiivselt kütteks ja siseõhu temperatuuri tõstmiseks mugavustemperatuurini (comfort temperature) (ülekütmise tõttu). Seega on vabasoojuse utilisatsioonitegur madalam ja suurem vabasoojuse hulk mängib olulist rolli, et soojusliku tasakaalu võrrandis viia kütteenergia vajadus nullini.

See põhjendus ei kehti soojusülekanne korral (kui soojusliku tasakaalu suhtarv on väiksem 1, tähendab see, et soojuskaod on suuremad kui tekkiv vabasoojus; kuna soojuse utilisatsioonitegur (heat utilization factor) ei saa olla suurem 1, ei ole võimalik energiavajadust nullini viia. Seega pole võimalik määrata optimaalset soojusliku tasakaalu suhtarvu madalamat kui 1). See on graafiliselt selgitatud Joonis 3.10-el.



Joonis 3.10 Parameetrid jahutus- ja kütteenergia vajaduse osakaalu määramiseks ühe kuu mastaabis (ISO 13790)

Optimaalne soojusliku tasakaalu suhtarv heat-balance ratio arvutatakse järgmise valemi abil:

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

Valem 3.37

Kütteenergia vajaduse määramiseks ühe kuu mastaabis on vaja arvutada γ_H kuu alguses ja kuu lõpus. Kuu alguse keskmine γ_H saadakse analüüsitava kuu γ_H ja eelmise kuu järgi. Kuu lõpu γ_H saadakse analüüsitava kuu γ_H ja sellele järgneva kuu keskmise järgi. Vajatakse kahte täiendavat “uut” parameetrit $\gamma_{H,1}$ ja $\gamma_{H,2}$. $\gamma_{H,1}$ vastab eelmise arvutuskäigu minimaalsele kahest leitud γ_H ja $\gamma_{H,2}$ vastab maksimumile. Need parameetrid, $\gamma_{H,1}$ ja $\gamma_{H,2}$, on soojusliku tasakaalu suhtarvud vastavalt kuu alguses ja kuu lõpus ning leitakse järgmiste valemite abil:

$$\text{If } \gamma_{H,2} < \gamma_{H,lim}, \text{ then } f_H = 1$$

Valem 3.38

$$\text{If } \gamma_{H,1} > \gamma_{H,lim}, \text{ then } f_H = 0$$

Valem 3.39

Valem 3.39 tähendab sisuliselt, et kui kuu alguse või lõpu madalaim soojusliku tasakaalu suhtarv on kõrgem kui optimaalne, siis sellel kuul puudub vajadus kütta. Kui ükski neist tingimustest ei ole täidetud, siis kehtivad järgmised valemid:

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

Valem 3.40

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

Valem 3.41

Need valemid järgivad sama loogikat, mis Valem 3.38 ja Valem 3.39, kuid selle erinevusega, et Valem 3.40 ja Valem 3.41 puhul γ_H viitab kuu keskmisele väärtusele, mitte kuu algusele või lõpule.

Kütteperioodi pikkuse võib määrata ka iga kuu f_H summast järgmise valemi abil:

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

Valem 3.42

Jahutusrežiim:

Jahutusrežiimi puhul saab arvutuskäigus kasutada samu põhimõtteid nagu kütterežiimi puhul. Seega ei ole siin täiendavaid selgitusi lisatud. Jahutusenergia vajaduse osakaal ühe kuu mastaabis arvutatakse optimaalse soojusliku tasakaalu suhtarvu pöördvõrdelisest suhtest, $(1/\gamma_c)_{lim}$. See parameeter leitakse vastavalt järgmisele seosele:

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

Valem 3.43

Piirväärtused suurustele $(1/\gamma_c)_1$ ja $(1/\gamma_c)_2$ leitakse kasutades Valem 3.44 ja Valem 3.45:

$$\text{If } (1/\gamma_C)_2 < (1/\gamma_C)_{lim}, \text{ then } f_C = 1$$

Valem 3.44

$$\text{If } (1/\gamma_C)_1 > (1/\gamma_C)_{lim}, \text{ then } f_C = 0$$

Valem 3.45

Samaselt kütterežiimiga, kui ükski eelnevatest tingimustest pole täidetud, siis kehtivad järgnevad seosed:

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

Valem 3.46

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

Valem 3.47

Jahutusperioodi pikkuse saab arvutada ka iga kuu f_C summeerimisel vastavalt järgmisele valemile:

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

Valem 3.48

Energiavajadus muutuva töörežiimiga tehnosüsteemidele

Graafiku alusel (s.t muutuva töörežiimiga) töötavate KVJ süsteemide väiksem energivajadus arvutatakse püsirežiimiga töötavate tehnosüsteemide energivajaduse arvutuste alusel (ja Valem 3.7) vastavalt standardi ISO 13790 (2008) juhiste. Selleks vähendatakse jahutus- ja kütteenergia, vastavalt $Q_{H,nd}$ ja $Q_{C,nd}$, vajadust ühikuta vähendusteguri kaudu muutuva töörežiimiga jahutus- ja küttesüsteemidele, mis on vastavalt $a_{C,red}$ and $a_{H,red}$. Osakaal kuust kütte- ja jahutusenergia vajadusega, vastavalt $f_{H,m}$ ja $f_{C,m}$, rakendatakse siin samuti. Seega on muutuva töörežiimiga kütte- ja jahutusseadmete energivajadus leitav järgmiste valemite abil:

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

Valem 3.49

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

Valem 3.50

KVJ süsteemide muutuval töörežiimil töötamisest tingitud energiavajaduse vähendustegurit mõjutavad ka hoone ajakonstant, τ , ja soojusliku tasakaalu suhtarvud, γ_H and γ_C nagu nähtub ka järgmistest seostest,

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

Valem 3.51

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

Valem 3.52

kus,

b_{red} on fikseeritud suurusega parameeter, mis võetakse võrdseks 3-ga (nii kütte- kui ka jahutusrežiimis);

$f_{H,hr}$ on osakaal tundidest, mil süsteemid on töös;

$f_{C,day}$ on osakaal päevadest nädalas, mil süsteemid on töös.

3.3.3.2 Energiavajadus sooja tarbevee tootmiseks

Energiavajadus sooja tarbevee tootmiseks, $MJ/kuus$, arvutatakse vastavalt standardi EN 15316-3-1 (2007) juhisteile. Seda mõjutab hoone tüüp, pindala ja hoonesse siseneva vee temperatuuri ja tarbevee temperatuuri vahe tarbimispunktis vastavalt alljärgnevale valemile:

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

Valem 3.53

kus,

$V_{w,m}$ on kuupõhine vajamineva sooja tarbevee kogus vastavalt standardile EN 15316-3-1 (2007);

$\theta_{w,t}$ on sooja tarbevee temperatuur tarbimispunktis [$^{\circ}\text{C}$];

$\theta_{w,o}$, hoonesse siseneva vee temperatuur [$^{\circ}\text{C}$].

Ühe eluaseme päevane sooja tarbevee vajadus arvutatakse sõltuvalt põranda pinnast ($\text{m}^3/\text{ööpäevas}$) vastavalt järgnevale valemile:

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

Valem 3.54

kus,

a , ühikuline vee vajadus veele temperatuuriga 60°C /päevas;

N_U , arvessevõetavate ühikute arv.

Ühe eluaseme igakuine sooja tarbevee vajadus, $V_{w,m}$, saadakse päevase sooja tarbevee vajaduse, V_w , korrutamisel päevade arvuga ühes kalendrikuus.

Parameetrid a ja N_U , sõltuvad hoone tüübist, selle hõivatusest/kasutusaktiivsusest ja saab arvutada vastavalt põranda pinnale, A_f , järgmiselt:

$$\text{If } A_f > 30\text{m}^2, \text{ then } a = \frac{62 \cdot \ln(A_f) - 160}{A_f}$$

Valem 3.55

$$\text{If } 15 \leq A_f \leq 30\text{m}^2, \text{ then } a = 2$$

Valem 3.56

3.3.3.3 Energia tarbimine

Arvutatud energiavajadus ei võta arvesse ruumide konditsioneerimiseks ja sooja tarbevee tootmiseks paigaldatud seadmete efektiivsust. Algoritmis arvestatakse, et hoonesse paigaldatud süsteemid võivad olla erineva efektiivsusega, sest sageli ei ole kütte- ja jahutus soojustegurid samad. Seega on energiavajadus ruumide kütteks, jahutuseks ning sooja tarbevee tootmiseks sõltuv konkreetsete seadmete

efektiivsusest. Üldine valem, mis sobib igat tüüpi energiatarbe arvutamiseks, on järgmine:

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

Valem 3.57

kus,

Q_{nd} , energiavajadus;

η_{sys} , süsteemi kasutegur.

Vaikeväärtused tehnosüsteemi energiatõhususele vastavalt energiaallikale on esitatud järgnevas tabelites. Enamik neist väärtustest on võetud RCCTE (2006).

Tabel 3.17 Küttesüsteemi kasutegur ja kasutatav energiaallikas

Kütteseade	$\eta_{H,sys}$	Energiaallikas
Elektriküttekeha	1	Elekter
Gaasikatel	0.87	Gaas
Vedelkütusekatel	0.8	Vedelkütus
Tahkekütuse katel	0.6	Tahkekütus
Õhksoojuspump (kütteks)	4	Elekter

Tabel 3.18 Jahutussüsteemi kasutegur ja kasutatav energiaallikas

Jahutusseade	$\eta_{C,sys}$	Energiaallikas
Õhksoojuspump (jahutuseks)	3	Elekter
Kompressoriga jahutusseade	3	Elekter
Absorptsioon jahutusseade	0.8	Elekter

Tabel 3.19 Sooja tarbevee tootmissüsteemi kasutegur ja kasutatav energiaallikas

Veesoojendi	$\eta_{DHW,sys}$	Energiaallikas
Elektriboiler	0.9	Elekter
Gaasiboiler	0.6	Gaas
Autonoomne kondensaatseade	0.72	Gaas
Autonoomne kütteseade	0.4	Gaas

Hoone kogu energiatarbimine arvutatakse summeerides ruumide kütmiseks, jahutuseks ja sooja tarbevee tootmiseks vajaminevate seadmete energiatarbe:

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

Valem 3.58

Primaarenergia arvutamiseks korrutatakse üleminekutegur, F_{pu} [kgoe/kWh], tehnosüsteemide energiatarbega:

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

Valem 3.59

Üleminekutegur energiatarbelt primaarenergiale sõltub iga tehnosüsteemi jaoks valitud energiaallikast. Vaikeväärtused on saadud RCCTE (2006) ja esitatud Tabel 3.20-s.

Tabel 3.20 Üleminekutegur energiatarbelt primaarenergiale (RCCTE, 2006)

Eneriaallikas	F_{pu} [kgoe/kWh]
Elekter	0.29
Gaas-, vedel- või tahkekütus	0.086

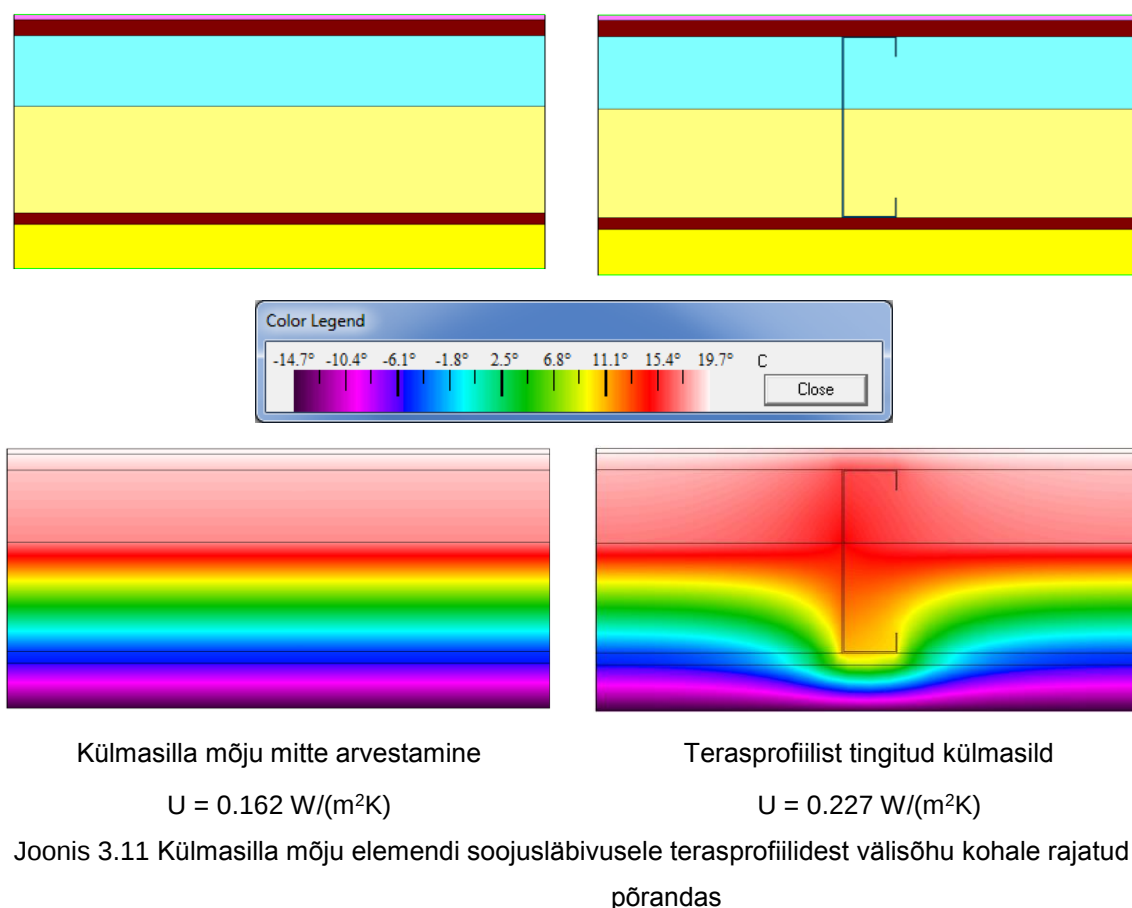
3.3.3.4 Soojusinerts

Hoone soojusinerts iseloomustava parameetri, sisemise soojusmahtuvuse C_m , arvutused tehakse vastavalt standardi ISO 13790 juhiste Valem 3.36 järgi. Hoonesiseste konstruktsioonide soojusmahtuvus vastavalt elemendi pindalale arvutatakse standardi EN ISO 13786 (2007) LISA A ettekirjutuste alusel. See lihtsustatud meetod on sobilik soojalaine (heat wave) läbistamissügavuse (penetration depth) arvutamiseks siseruumis paiknevate materjalidele. Kirjeldatud

meetodi puhul arvutatakse kihtide soojusmahtuvust maksimaalse sügavuseni 100 mm (alates elemendi sisepinnast).

3.3.3.5 Külmasillad

Korduvate külmasildade efekt (nt tulenevalt terasprofiilidest nagu näidatud Joonis 3.11-l) konstruktsioonelemendide sees (nt seintes ja plaatides) võetakse arvesse elemendi soojusläbivuses (U -arv). See soojusläbivus on iga konstruktsioonitüübi puhul eraldi tarkvara andmebaasis olemas. Joon- ja punktkülmasildade mõju loetakse tühiseks.



Külmasilda sisaldavate elementide soojusläbivus on määratav paragrahvis 6 kirjeldatud meetodiga standardi ISO 6946 (2007) järgi ja täiustatud Gorgolewski (2007) poolt, sest esimene on kohaldatav ainult juhul, kui terasprofiilid soojustuskihti ei läbi. Teine meetod tugineb konstruktsioonelemendi soojustakistuse kahe piirväärtuse määramisel ja parandusteguritel, mis sõltuvad profiili mõõtmetest ja sammust. Alumine piirväärtus arvutatakse kombineerides iga

paralleelse kihi takistust, s.o eeldatakse, et igas tasapinnas on sama temperatuur. Ülemine soojustakistuse piirväärtus arvutatakse summeerides iga soojuse liikumise tee soojustakistus.

Kui elemendis külmasild puudub, siis rakendatakse homogeensete kihtide meetodit, mis võtab arvesse järjestikuste kihtide soojustakistused.

Algoritmi kalibreerimine

Ruumide kütteks ja jahutuseks vajamineva energia prognoosimiseks väljatöötatud algoritmi, mis baseerub standardi ISO 13790 kuupõhise kvaasi-statsionaarsel meetodil, täpsuse kontrollimiseks ja parandamiseks viidi läbi mitu kontrolli- ja kalibreerimisprotseduuri.

Esmalt kontrolliti kuupõhise algoritmi täpsust ühe kontorisektsiooni baasil vaadeldes kahteist testjuhtumit, mis on lahtikirjutatud standardis EN 15265.

Järgmisena, kuna tegelikud hooned on oluliselt kompleksemad kui üks hoonesektsioon, kalibreeriti algoritmi mitme hooneosaga elamus, kasutades parandustegureid nelja peamise hoone soojusliku tasakaalu komponendi juures ja ka ühikuta dünaamilisi parameetreid.

Viimaks, punktis 4.2 valideeritakse algoritm kasutades seda konkreetset juhtumiuuringus (väikeelamu) ja võrreldes saadud tulemusi kaasaegse dünaamilise analüüsi tarkvaraga *DesignBuilder /EnergyPlus*.

Täpsuse kontroll EN 15265 raames

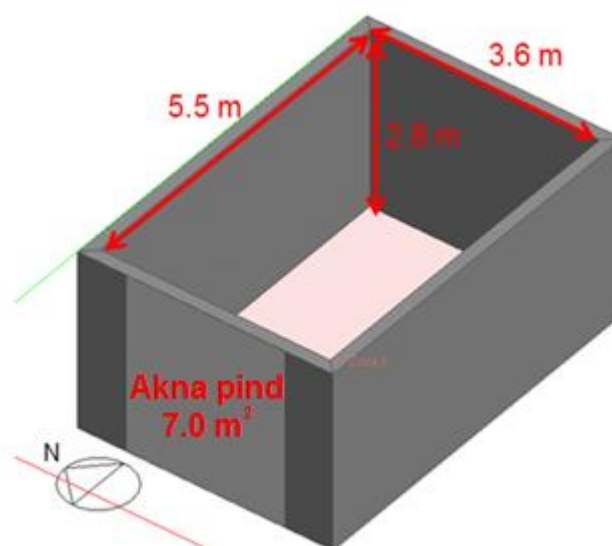
Käesolevas peatükis esitatakse mõningad testjuhtumid ühe kontorisektsiooni (Joonis 3.12) raames läbiviidud kaheteistkümnest testjuhtumist (Tabel 3.21, EN 15265 (2007)) algoritmi täpsuse kontrollimiseks.

Eelmises lõigus väljatoodud standard kasutab baasjuhtumist läänesuunalise klaasfassaadiga ruumi ja analüüsib seda erinevate ääretingimuste korral, varieerides vabasoojuse ja päikeselt tuleneva vabasoojusega ning pideva ja muutuva töörežiimiga kütte/jahutusega.

Kõigi kaheteistkümne kõnealuse testjuhtumi puhul pakub standard baasväärtused kütte- ja jahutusenergia vajadusele vastavalt hoone geograafilisele asukohale (Trappes, Prantsusmaa), millele on olemas tunnise sammuga kliimaandmed välisõhu temperatuurile ja päikesekiirgusele.

Tabel 3.21 Standardis EN 15265 (2007) kirjeldatud testjuhtumid ruumide kütte- ja jahutusenergia vajaduse määramiseks kasutades dünaamilisi meetodeid

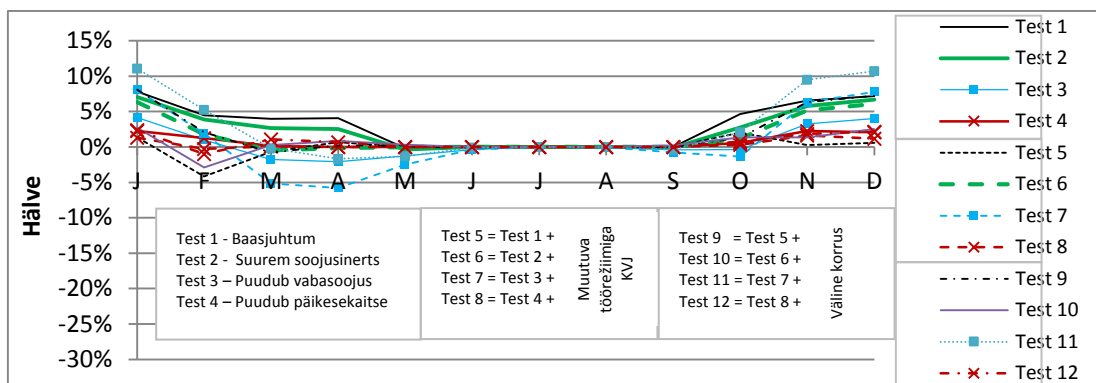
Informatiivne	Normatiivne	Normatiivne
Test 1 Baasjuhtum	Test 5 = Test 1 + Muutuva	Test 9 = Test 5 +
Test 2 Suurem soojusinerts	Test 6 = Test 2 + töörežiimiga	Test 10 = Test 6 +
Test 3 Vabasoojus puudub	Test 7 = Test 3 + KVJ	Test 11 = Test 7 + Väline korrus
Test 4 Päikesekaitse puudub	Test 8 = Test 4 + (ainult esmaspäevast reedeni 8:00-18:00)	Test 12 = Test 8 +



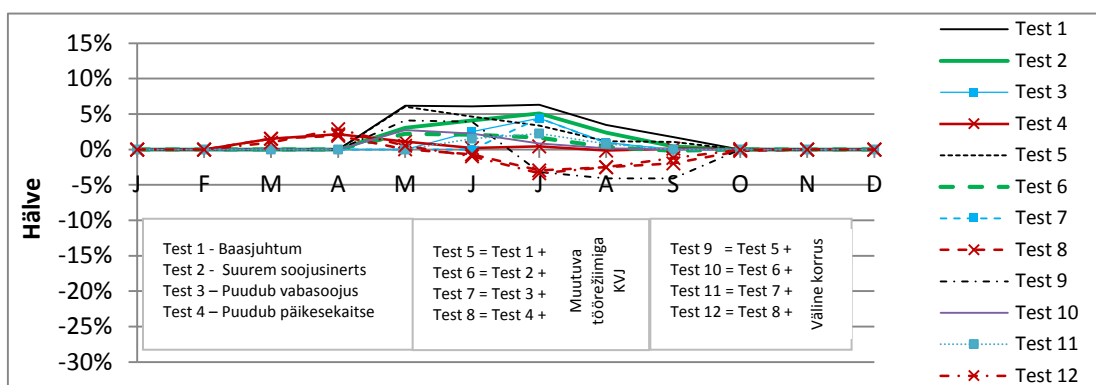
Joonis 3.12 Üksiku kontorisektsiooni mudel vastavalt standardile EN 15265

Kuna hoone soojusliku tasakaalu tõttu on oluline hinnata soojuslike tingimuste täpsust ja neid standard EN 15265 ette ei anna, siis analüüsiti testjuhtumeid ka kaasaegses dünaamilises arvutustarkvaras *DesignBuilder*, mis kasutab energiasimulatsiooni tarkvara *EnergyPlus* algoritmi. Testruum määratleti väga täpselt nii dünaamilises arvutustarkvaras kui ka kuupõhises algoritmis, et saada hinnang tarbitava energia vajadusele. Joonis 3.12 illustreerub kvaasi-statsionaarse meetodiga saadud hälvet kuude kaupa (referentsina *EnergyPlus* tarkvara algoritmiga läbiviidud dünaamilise simulatsiooni tulemus) ja on esitatud

protsendina kogu aastasest energiavajadusest. Joonis 3.13-lt nähtub, et maksimaalne tekkiv hälve ühes kuus on alla 12 % ja on suurem suvekuudel jahutusrežiimil ning talvekuudel kütterežiimil.



a) Kütterežiim



b) Jahutusrežiim

Joonis 3.13 Algoritmi hälve kuude kaupa (kvaasi-statsionaarne meetod) – baastulemus:
EnergyPlus (tunnitulemused kaasaegse dünaamilise arvutustarkvaraga)

3.3.3.6 Kalibreerimistegurid

Kuupõhine kvaasi-statsionaarne meetod sisaldab mitmeid lihtsustusi võrreldes kaasaegse dünaamilise simulatsioonitarkvaraga (mis baseerub tunniandmetel). Mitmed parameetrid seonduvad otseselt nende lihtsustustega:

- (i) dünaamilised kuupõhised utilisatsioonitegurid, $\eta_{H,gn,m}$ ja $\eta_{C,ls,m}$, eeldatakse konstantseks ja sõltumatuks kliimatingimustest ja kasutusprofiilist igas kliimaatilises piirkonnas;

- (ii) erinevad soojusülekanne komponendid, Q_{tr} , Q_{ve} , Q_{int} ja Q_{sol} , arvutatakse vastavalt kütte- ja jahutussüsteemis nõutud konstantsele siseõhu temperatuurile.

Lisaks sellele mõjutavad ülaltoodud parameetreid kaudselt ka kliimaandmed, kasutusprofiil ja hoone kuju.

Seega, vaatamata kuupõhise kvaasi-statsionaarse meetodi heale ühilduvusele EN 15265 ettenähtud testjuhtumitega, võivad hoone keerukam põhiplaan, keerukamad eksploatatsioonitingimused ja erinevad kliimatingimused põhjustada olulise kõrvalekalde lihtsustatud meetodiga saadud tulemustest. Seda tõdetakse ka standardis ISO 13790, kus on esitatud võimalikud erinevused 50% kuni 150%ni, andes sinnajuurde juhised kuupõhiste utilisatsioonitegurite tuletamiseks (ISO 13790 LISA I).

Et võimalikku hajumist minimeerida, on defineeritud ja kalibreeritud uued parandustegurid, mis võimaldavad parandada hinnangut järgmistele soojusülekanne komponentidele: (i) soojusülekanne läbivuse teel; (ii) soojusülekanne ventilatsiooni kaudu; (iii) hoonesisene vabasoojus; (iv) päikesest tulenev vabasoojus, vastavalt järgmistele valemitele:

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

Valem 3.60

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

Valem 3.61

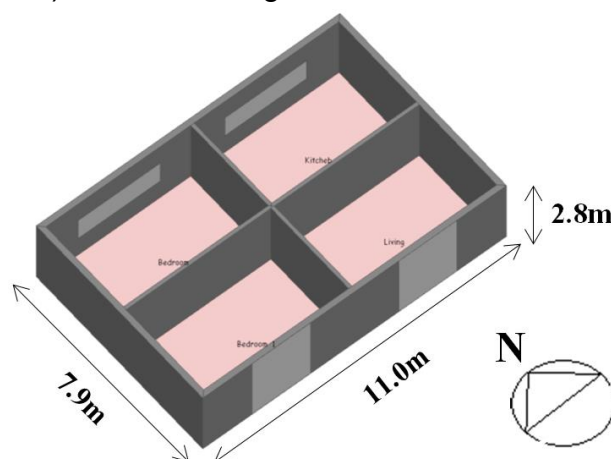
$$Q_{gn} = f_{int} \cdot Q_{int,m} + f_{sol} \cdot Q_{sol,m}$$

Valem 3.62

kus, $H_{tr,adj,c}$, on korrigeeritud soojusülekanne läbivuse teel; f_{tr} on parandustegur läbivuse teel toimuvale soojusülekannele; $H_{ve,adj,c}$ on korrigeeritud soojusülekanne ventilatsiooni teel; f_{ve} on parandustegur ventilatsiooni teel toimuvale soojusülekannele; f_{int} on hoonesisese vabasoojuse parandustegur ja f_{sol} päikesest tuleneva vabasoojuse parandustegur, va kiirguslik soojuslevi taevasse. Igale kliimapiirkonnale on kalibreeritud eraldi parandustegurid.

Lisaks eelpool nimetatud nelja põhilise soojusülekanne komponendi parandustegurile, ühikuta parameetrid a_{H0} , τ_{H0} , a_{C0} ja τ_{C0} , on samuti kalibreeritud eraldi igale kliimapiirkonnale.

Kuna kuupõhise algoritmi eesmärk on prognoosida kogu hoone energiavajadust, mitte keskenduda vaid ühele hoone sektsioonile nagu standardis EN 15265 (2007), siis kõik kalibreerimised viidi läbi uute testjuhtumitega, mis põhinevad tüüpilise hoone (korteri) omadustel nagu esitatud Joonis 3.14-el.



Joonis 3.14 Näide testjuhtumis kasutatud hoone mudelist kuupõhise algoritmi kalibreerimiseks

Nendes testjuhtumites kasutatakse hoone välispiiretel samu soojustehnilisi omadusi nagu standardi EN 15265 (2007) testjuhtumis (Tabel 3.22), kui teistsuguste ääritingimustega (mitte-adiabaatilised seinad ja katus) ja suurem põranda pind (79.2 m^2). Eeldatav õhuvahetuskordsus on $1,0 \text{ 1/h}$ (konstantne).

Tabel 3.22 Testjuhtumis kasutatavate välispiirete soojustehnilised omadused

Välispiire	Soojusläbivus [W/(m ² ·K)]	κ_m [J/(m ² ·K)]
Välissein	0.493	81297
Sisesein	-	9146
Katus	0.243	6697
Põrand pinnasel või pinnase kohal	-	63380

Kuna standardi EN 15265 (2007) testjuhtumid hõlmavad kontoriruumide on oluline muudatus kalibreerimismudelites seotud kasutusprofiili ja tehnosüsteemide

töögraafikuga. Kasutusprofiil ja vastav soojusvoog korterelamutele on tuletatud standardist ISO 13790 (2008) (vt Tabel 3.13).

Arvestades klaaspindade olulisust päikesest tuleneva vabasoojuse talletamisel ja soojuslähbivusel, uuriti erinevaid seina- ja pörandapindala suhteid, nagu esitatud Tabel 3.23-s. Samuti käsitleti kalibreerimisprotsessis olukordi varjestuselemendiga ja ilma.

Tabel 3.23 Põhilised testjuhtumid kasutatud muutujad arvutusmodeli kalibreerimiseks

Testjuhtum	GFR [%]	NGWR [%]	SGWR [%]	Varjestus
T1	35	36	54	ON
T2				OFF
T3	25	20	40	ON
T4				OFF
T5	15	12	24	ON
T6				OFF

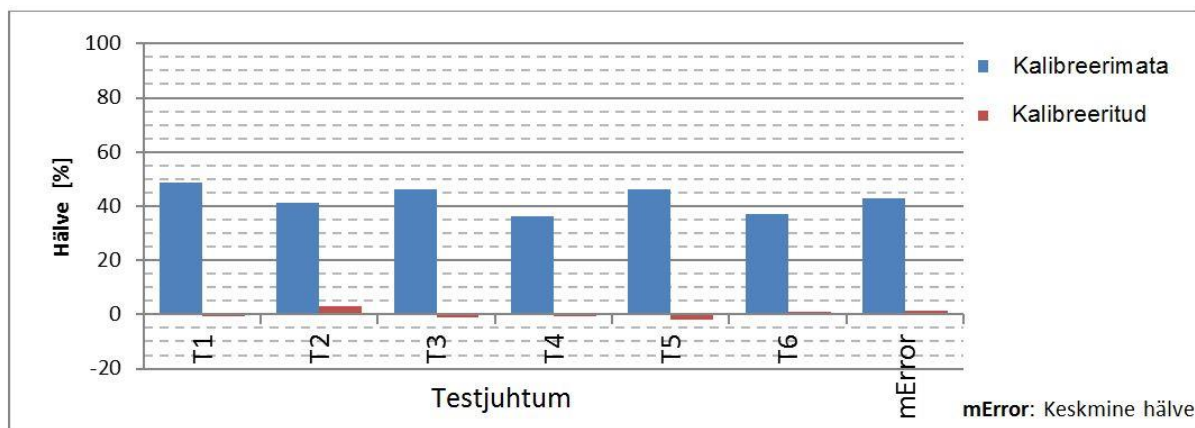
GFR: klaaspindade suhe põranda pinda (glazed to floor ratio);

NGWR: põhjasuunalise klaasfassaadi suhe seina pinda (north-oriented glazed to wall ratio);

SGWR: lõunasuunalise klaasfassaadi suhe seina pinda (south-oriented glazed to wall ratio).

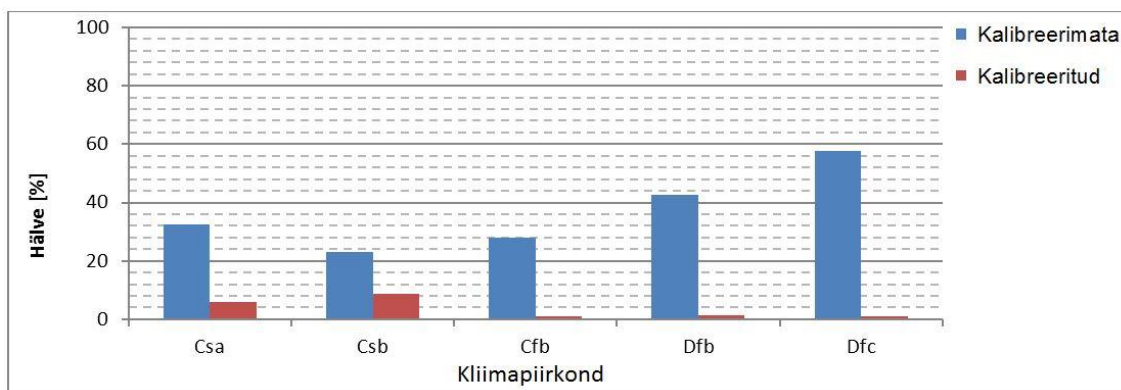
Kõiki testjuhtumeid kontrolliti viies erinevas kliimapiirkonnas: i) Csa; (ii) Csb; (iii) Cfb; (iv) Dfb; and (v) Dfc. Parandustegurid tuletati minimeerides vea iga kliimapiirkonna testjuhtumite alamhulgale, mis mõnel juhul ületas 500 juhtumit.

Joonis 3.12 illustreerib täpsuse paranemist parandustegurite kasutamisel ja ilma kliimatsoonis Dfb, kus keskmiselt paraneb tulemus 43-lt % absoluutselt vealt vähem kui 2-le %.



Joonis 3.15 Standardi ISO 13790 järgi koostatud kuupõhise meetodi Dfb kliimapiirkonna täpsuse parandamine: aastane energiakulu ruumide kütteks ja jahutuseks

Joonis 3.16 võtab kokku käsitletud viie kliimapiirkonna parendused. Ilma parandusteta on meetodi täpsus väiksem külmema kliimaga piirkondades, suurim hälve esines Dfc kliimapiirkonnas ja väiksem Csb kliimapiirkonnas. Kuupõhine meetod näitas väiksemat täpsust energiavajaduse hindamisel külmematel kuudel, kuna võrdluseks kasutatud dünaamiline meetod tõestas, et vabasoojust kasutatakse efektiivsemalt ruumide kütteks kui lihtsustatud meetodis hinnatud. See efekt on seda ilmsem, mida väiksem on päikesest tulenev vabasoojus. Üldiselt on parandusteguritega kõik hälbed väiksemad kui 10%.



Joonis 3.16 Kuupõhise (arvutus)meetodi keskmine hälve kalibreerimisteguritega ja ilma

Varjestuelemendiga ja ilma on saadav hälve erinev. Seetõttu on kalibreerimistegurid neil kahel juhul erinevad.

Tabel 3.24-s ja Tabel 3.25-s on esitatud parandustegurid eristatult vastavalt kasutatavale varjestusseadmele.

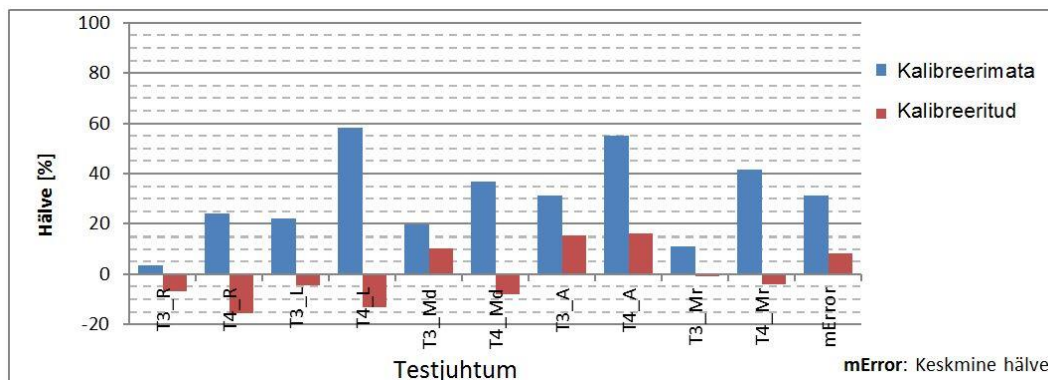
Tabel 3.24 Kalibreerimistegurid juhul kui kasutatakse varjestuselementi

Varjestuselemendid ON												
	Kütterežiim						Jahutusrežiim					
Kliimapiirkond	a_{H0}	τ_{H0}	Q_{tr}	Q_{ve}	Q_{sol}	Q_{int}	a_{C0}	τ_{C0}	Q_{tr}	Q_{ve}	Q_{sol}	Q_{int}
Csa	1.00	15.67	1.00	1.00	0.90	0.93	1.20	15.00	1.07	1.00	0.83	0.90
Csb	1.33	15.00	1.00	1.07	0.97	0.93	1.10	15.00	1.03	1.10	0.97	1.00
Cfb	1.33	15.00	0.93	0.83	1.10	1.07	1.30	15.00	1.00	1.00	1.00	1.03
Dfb	1.30	14.67	0.83	0.90	1.25	1.25	1.00	15.00	1.07	1.07	0.97	1.00
Dfc	1.25	14.33	0.83	0.83	1.17	1.50	1.00	15.00	1.00	1.00	1.00	1.00

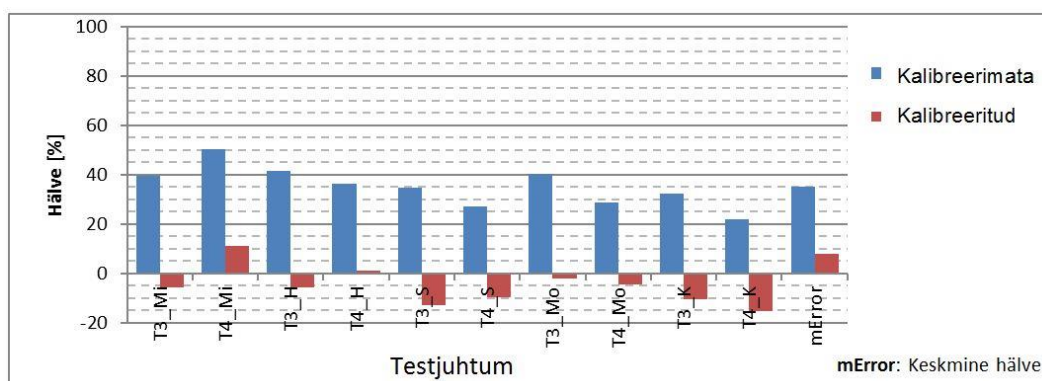
Tabel 3.25 Kalibreerimistegurid juhul kui varjestuselementi ei kasutata

	Varjestuselemendid OFF											
Kliimapiirkond	a_{H0}	τ_{H0}	Qtr	Qve	$Qsol$	$Qint$	a_{C0}	τ_{C0}	Qtr	Qve	$Qsol$	$Qint$
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

Kuna kuupõhine algoritm võimaldab arvesse võtta erinevaid varjestuselementide aktiveerimisrežiime talvel ja suvel, on kalibreerimistegurid jahutusrežiimile võetud Tabel 3.24-st ja kütterežiimile Tabel 3.25-st. Kalibreerimistegureid rakendati testjuhtumitele 3 ja 4 (25% klaaspinda pörandapinna suhtes, Tabel 3.23), mis asuvad viies linnas kliimapiirkondades Csa and Dfb, et hinnata tekkivat hälvet asukohale vastava kliima kasutamisel. Joonis 3.17-elt nähtub, et tekkiv hälve oneneb asukohast. Suurim hälve esines Ateena (16,2%) ja Kiievi (15,5%) puhul, vastavalt piirkondades Csa ja Dfb. Olenemata sellest aga jääb nende kahe kliimapiirkonna (Csa: 8.2% ja Dfb: 7.9%) keskmine hälve alla 10%.



a) R:Rooma; L: Lissabon; Md: Madrid; A: Ateena; Mr: Marseille



b) Mi: Minsk; H: Helsingi; S: Stockholm; Mo: Moskva; K: Kiiev

Joonis 3.17 Kalibreerimise täpsus kui kasutada erinevates kliimapiirkondades paiknevate linnade kliimat: a) Csa; b) Dfb

4 KASUTATUD MEETODITE VALIDEERIMINE

Järgnevalt kirjeldatakse eelmistes peatükkides kasutatud meetodite valideerimist. Mõlemal juhul viiakse läbi lihtsustatud meetodi baasil juhtumiuuring, mille tulemusi võrreldakse põhjalikuma lähenemisviisi tulemustega. Põhjalikum, täiendatud analüüs, viiakse läbi kasutades hoone elutsükli hindamisel kommertstarkvara *GaBi* 6 (2012) ja energiatarbe määramisel tarkvara *DesignBuilder* (2012).

4.1 Konstruktsioonitüüpide meetodi valideerimine

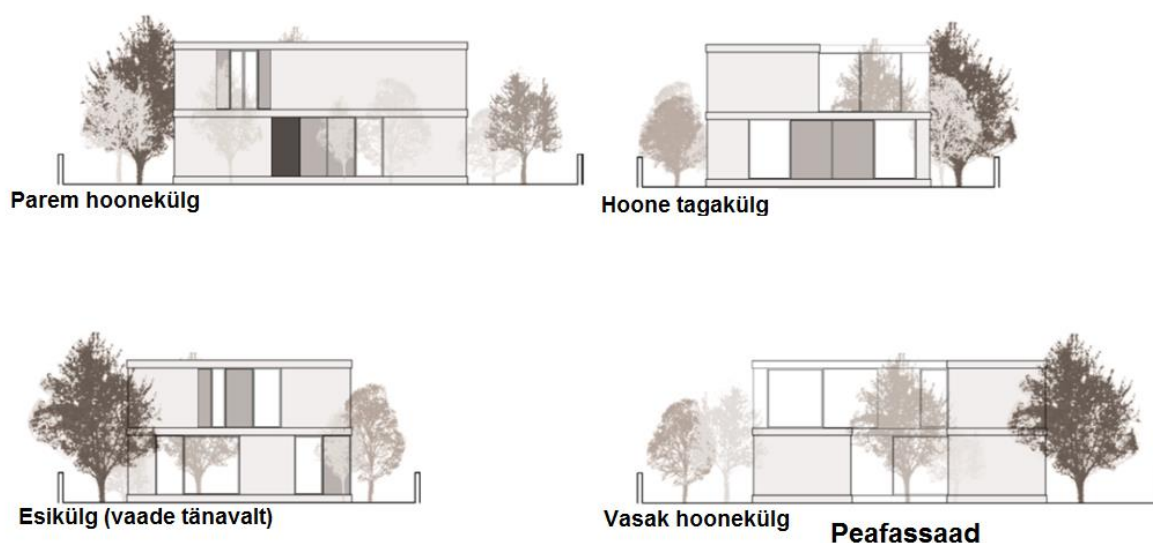
Konstruktsioonitüüpide meetodi valideerimine põhineb juhtumiuuringul, kus uuritava hoonena kasutati Portugalis paiknevat eramaja. Kasutatud meetodi

tulemusi võrreldakse *GaBi* tarkvaraga saadud tulemustega. Analüüs viiakse läbi kogu hoonele.

4.1.1 Juhtumiuuringu kirjeldus

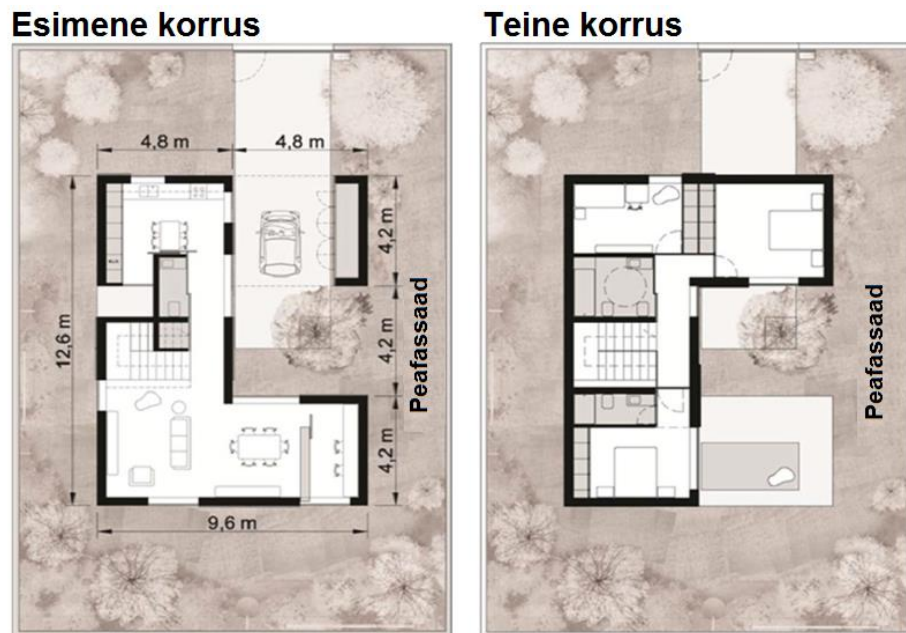
Tegemist on kahekordse ühe pere elamuga, mis asub Coimbra linnas, Portugalis. Hoone vaated ja plaanid on esitatud vastavalt joonistel Joonis 4.1 ja Joonis 4.2.

Vaated



Joonis 4.1 Hoone vaated

Kogu hoone pind on ligikaudu 202.0 m², millest kummalgi korrusel paikneb ca 101 m². Teisel korrusel asub terrass suurusega ligikaudu 20.2 m². Hoone kogukõrgus on 6 m.



Joonis 4.2 Hoone plaanid

Klaaspinnad fassaadis on märgitud ka hoone plaanidel. Tabel 4.1-s on esitatud hoone välispiirete pindalad.

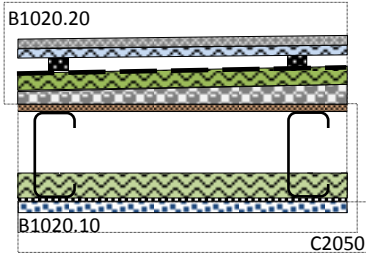
Tabel 4.1 Klaaspinnad ja tavaseinte pinnad eskiisi staadiumis

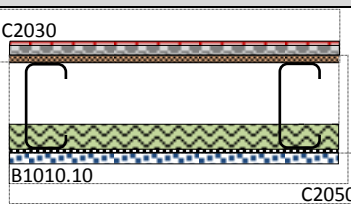
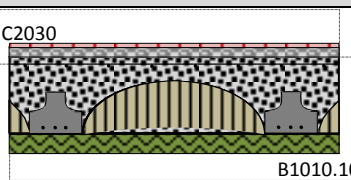
	Põhi [m ²]	Ida [m ²]	Lõuna [m ²]	Lääs [m ²]	Kokku [m ²]
Tavaseinad	41.3	49.9	38.3	60.4	189.9
Klaaspinnad	13.0	17.3	15.6	4.3	50.2

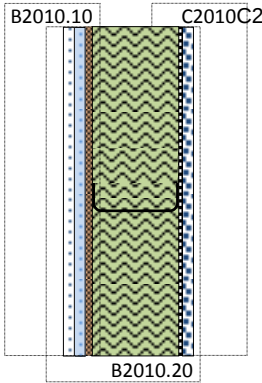
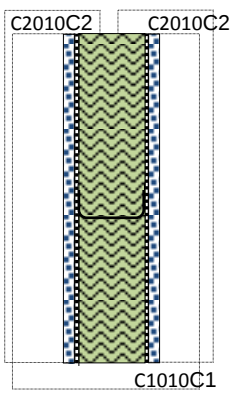
4.1.2 Konstruktsioonitüüpide valik

Et oleks võimalik hinnata hoone elutsüklit valitakse hoone põhilised konstruktsioonitüübid- katuse ja põrandakonstruktsioonid ning välisseina- ja siseinte konstruktsioonid, mis on ka esitatud Tabel 4.2-s.

Tabel 4.2 Põhilised valitud konstruktsioonitüübid

	Konstrukt-sioonitüübi asukoht	Konstruktsioonikihtide materjalid	Paksuse d [mm] Tihedus [kg/m ³]	Soo-jus-läbivus [W/m ² .K]	K _m [J/m ² .K]
Käidav katus					
	B1020.20 Katuse katte- konstruktsi oon	Tsementplaat	30 mm	0.37 ^(*)	13435
		XPS plaat	30 mm		
		Õhkvahe	30 mm		
		Katuse aluskate	1.63 kg/m ²		
		XPS	0 mm		
		Betoonist tasanduskiht	40 mm		
	B1020.10 Katuse kande- konstruktsi oon	OSB	18 mmm		
		Õhkvahe	80 mm		
		Kivivill	120 mm		
		Kerge terasprofiil	17 kg/m ²		
		Kipsplaat	15 mm		
	C2050 Lae viimistlus	Värv	0.125 kg/m ²		

Vahelagi					
	C2030 Põranda kattematerjal	Keraamilised plaadid	31 kg/m ²	-	61062
		Betoonist tasanduskiht	13 mm		
	B1010.10 Vahelae kande- konstruktsioon	OSB	18 mm		
		Õhkvahe	160 mm		
		Kivivill	40 mm		
		Kerge terasprofiil	14 kg/m ²		
		Kipsplaat	15 mm		
	C2050 Lae viimistlus	Värv	0.125 kg/m ²		
	Põrand pinnasel või pinnase kohal				
	C2030 Põrandakatte materjal	Keraamilised plaadid	31 kg/m ²	0.599	65957
		Betoonist tasanduskiht	13 mm		
	B1010.10 Põranda kande- konstruktsioon	Monteeritav raudbetoonplaat	180 mm		
		XPS	40 mm		

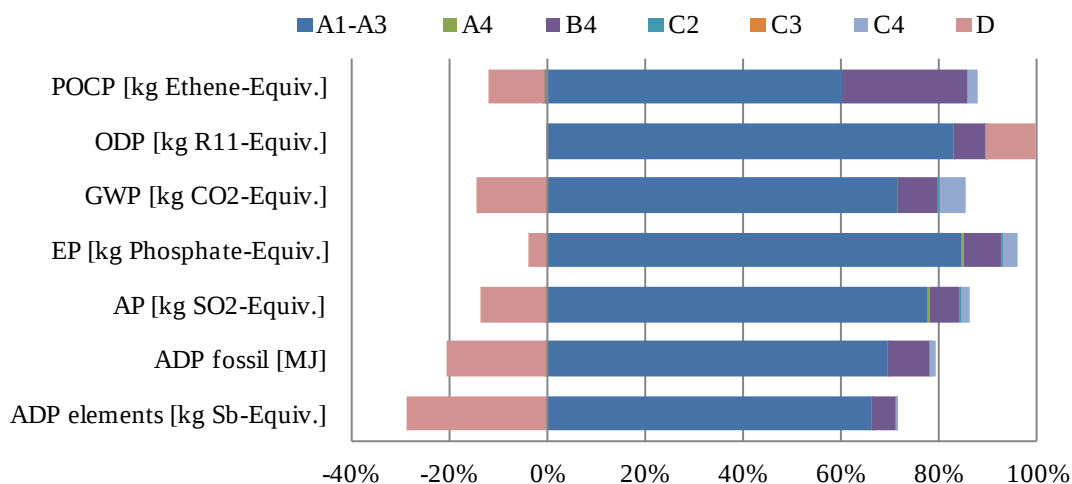
Välissein					
	B2010.10 Fassaadi kattematerjal	SILS (soojus-isolatsiooni liitsüsteem)	13.8 kg/m ²	0.29 ^(*)	13391
	B2010.20 Välisseina konstruktsioon	OSB	13 mm		
		Kivivill	120 mm		
		Kerge terasprofiil	15 kg/m ²		
		Kipsplaat	15 mm		
	C2010 Sisepinna viimistlus	Värv	0.125 kg/m ²		
Vahesein					
	C2010 Viimistlus	Värv	0.125 kg/m ²	-	26782
	C1010 Vahesein konstruktsioon	Kipsplaat	15 mm		
		Kivivill	60 mm		
		Kerge terasprofiil	10 kg/m ²		
		Kipsplaat	15 mm		
	C2010 Viimistlus	Värv	0.125 kg/m ²		

(*) Korrigeeritud väärtused arvestades külmasildu

4.1.3 Konstruktsioonitüüpide meetodi rakendus

Vastavalt hoone geomeetriaale ja kasutades valitud konstruktsioonitüüpe (vt Tabel 4.2), tehakse keskkonnamõju arvutus kogu hoonele arvestades kasutuseaks 50 aastat. Tulemused on esitatud Joonis 4.3-le vastavalt standardis EN 15978 defineeritud moodulitele. See graafik annab ülevaate iga mooduli panusest vastavalt mõju kategooriale. Graafikult nähtub, et materjalide tootmisele kuluv

energia (moodulid A1-A3) domineerib kõikides mõjukategooriates (osalusega rohkem kui 60%).



Joonis 4.3 Iga mooduli panus vastavalt keskkonnamõju klassile

Ekspluatatsiooni (moodul B4) ja materjalide taastöötlemine ning taastamine (moodul D) mängivad olulist rolli enamikes keskkonnamõju kategooriates, nendele järgneb lammutusfaas (moodulid C2 – C4). Negatiivsed väärtused Joonis 4.3-el on saadud moodulile D ja näitavad, et tulemus on saadud materjalide taastöötlemisest ja/või materjalide taastamisest peale lammutust. Iga keskkonnamõju kategooria on summeeritud Joonis 4.3-el.

Tabel 4.3 Hoone elutsükli keskkonnamõju analüüs

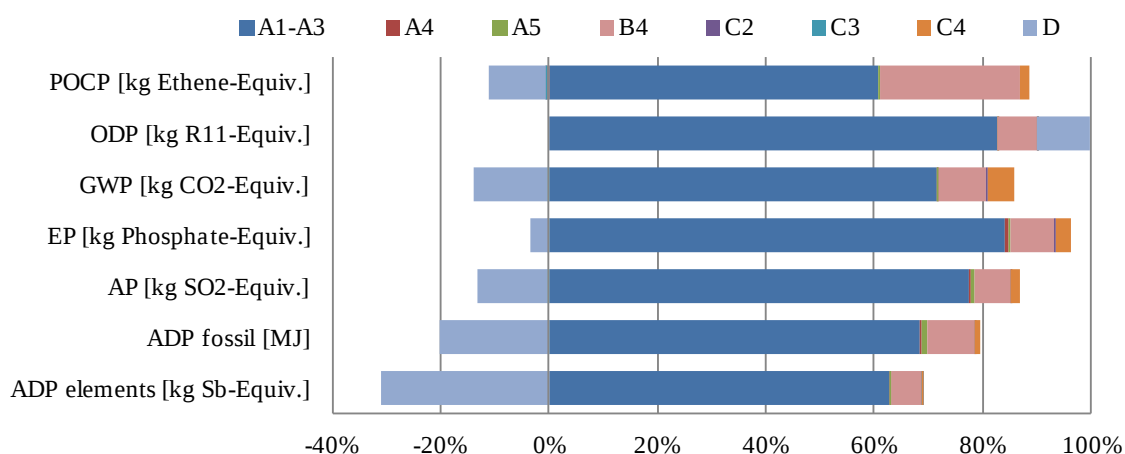
Keskkonnamõju klass	TOTAL
ADP elemendid [kg Sb-Ekv.]	1.11E-01
ADP fossiil [MJ]	4.38E+05
AP [kg SO2-Ekv.]	1.35E+02
EP [kg Phosphate-Ekv.]	1.53E+01
GWP [kg CO2-Ekv.]	3.54E+04
ODP [kg R11-Ekv.]	1.00E-03
POCP [kg Ethene-Ekv.]	3.71E+01

4.1.4 Võrdlus põhjaliku elutsükli analüüsiga

Selles peatükis analüüsitakse ühepere elamut võttes arvesse kogu hoone üksikasjad ja elutsükli etapid. See elutsükli analüüs siin täidab eelnevalt kirjeldatud

konstruktsioonitüüpide meetodi lüngad, nimelt hoone vundamendid ning ehitusjärgu (moodul A5). Kogu elutsükli analüüs teostati *GaBi 6 tarkvaraga (2012)*. Hoone vundamendid on rajatud raudbetoonist ja hoone esimene korrus on ligikaudu 50 cm kõrgusel maapinnast. Elutsükli lõpus raudbetoon taastöödeldakse ning eeldatakse, et maht ei muutu.

Ehitusjärgus (moodul A5) võetakse arvesse järgmisi protsesse: (i) ehitusplatsi ettevalmistus (pinnase kaevandamine ja transport jäätmejaama) ja (ii) ehitusprotsess (eritehnika kasutamine konstruktsioonelementide paika sättimiseks ja kahveltõstuk paneelide tõstmiseks). Ehitusprotsessi kestvuseks loeti 1,5 kuud. Elutsükli analüüsi tulemused, kus on arvesse võetud kõik hoone elutsükli etapid, on esitatud Joonis 4.4-l.



Joonis 4.4 Hoone kogu elutsükli analüüs

Materjalide tootmise faas (moodul A1-A3) domineerib endiselt kõikides keskkonnamõju kategooriates (osalusega üle 60%). Ehitusprotsessi (moodulid A4-A5) mõju keskkonnale on tühine, varieerudes vahemikus 0% kõigis ODP, POCP ja $ADP_{elements}$ kategooriates kuni 2.1% ADP_{fossil} keskkonnamõju kategoorias. Eksploaatatsiooni faas (moodul B4) ja materjalide taastöötlemine ning taastamine (moodul D) mõjutavad oluliselt enamikke mõjukategooriaid. Sellele järgneb lammutusetapp (moodulid C2 – C4). Tuleb märkida, et need järeldused saadi juba lihtsustatud lähenemisviisi juures, vaatamata tehtud lihtsustustele.

Lõpetuseks, iga keskkonnamõju kategooria suhteline hälve vastavalt lihtsustatud meetodi suhtele kogu elutsükli analüüsi on esitatud Tabel 4.4-s.

Tabel 4.4 Iga keskkonnamõju kategooria hälve (%) konstruktsioonitüüpide meetodi kasutamisel

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

Enamike keskkonnamõju kategooriate puhul on viga tühine. Mõistagi võib teiste konstruktsioonisüsteemide kasutamine viia ehitusprotsessi olulisuse suurenemiseni. Seetõttu, olenemata konstruktsioonitüüpide meetodi lihtsustustest, on selle meetodiga saadud tulemused kooskõlas põhjaliku elutsükli analüüsi tulemustega.

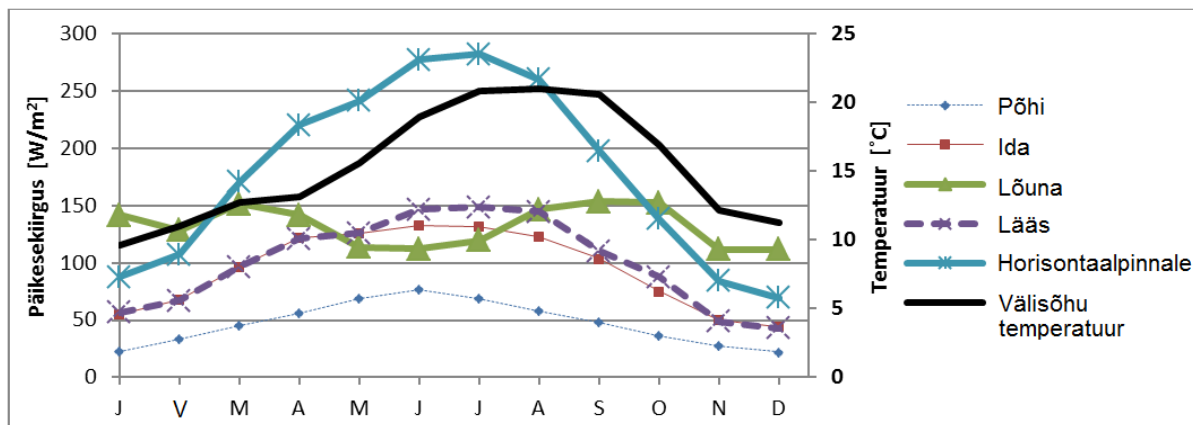
4.2 Meetodi valideerimine energiavajaduse arvutamiseks

Meetodi valideerimine energiavajaduse arvutamiseks põhineb samal juhtumiuuringul. Järgmistes lõikudes kirjeldatakse täiendavaid sisestusandmeid ja arvutusprotsessi.

Saadud tulemusi võrreldakse kaasaegse dünaamilise analüüsi tarkvara *DesignBuilder/EnergyPlus* (2012) tulemustega.

4.2.1 Kliimaandmed ja pinnase soojustehnilised omadused

Hoone asub Coimbra linnas, mis paikneb kliimapiirkonnas Csb. Vastava piirkonna kuupõhised välisõhu temperatuuri ja kogu päikesekiirguse väärtused on esitatud Joonis 4.5-el.



Joonis 4.5 Coimbra linna kliimaandmed: päikese kiirgus ja välisõhu temperatuur

Pinnase soojustehnilised omadused loeti vaikimisi samaks Tabel 3.3-es esitatutega.

Hoone kasutusprofiiliga seotud andmed

Hoone kasutusprofiil ja vabasoojusest tulenev soojusvoog (inimaktiivsus, seadmed ja valgustus) võeti arvesse standardis ISO 13790 toodud vaikeväärtustega ja on varasemalt esitatud Tabel 3.6-s. Siseõhu mugavustemperatuuriks valiti talveperioodil 20°C ja suveperioodil 25°C.

Tehnoseadmed

Samamoodi võeti ka tehnosüsteemide (küte, jahutus, ventilatsioon ja sooja tarbevee tootmine) tehnilise teabe ja töögraafikute tarvis kogum vaikeväärtusi, mis on esitatud Tabel 4.5-es.

Tabel 4.5 Tehnosüsteemide sisendandmed (vaikeväärtused)

Tehnosüsteemid	Väärtused
Siseõhu konditsioneerimine (Nõutav temperatuur 20°C – 25°C) ⁽¹⁾	Soojustegur küttel = 4.0 Soojustegur jahutusel = 3.0
Sooja tarbevee tootmine ²	Kasutegur: 0.9
Õhuvahetuskordsus - ventilatsioon + infiltratsioon ⁽³⁾ (konstantsed väärtused)	0.6 1/h (Kütteterežiimis) 1.2 1/h (Jahutusrežiimis)

(1) standardist ISO13790 (2008) – Tabel G.12;

(2) vastavalt standardile EN 15316-3-1 (2007);

(3) sõltub hoone välispiirete õhutihedusest ning passiivse jahutuse strateegiatest.

4.2.2 Akende ja varjestuselementide spetsifikatsioonid

Akende tüübid ja omadused on esitatud Tabel 4.6. Käesoleval juhul kasutati PVC raamiga kahekordset paketti.

Tabel 4.6 Akende (klaas + raam) optilised ja soojustehnilised omadused

Materialid	Soojusläbivus	
	U [W/m ² .K]	SHGC
PVC raam ja kahekordne klaaspakett (8+6 mm, õhkvahega 14 mm)	2.597	0.780

Varjestuselementide soojustehnilised omadused võeti Tabel 4.7-st.

Tabel 4.7 Varjestuselementide soojustehnilised ja optilised omadused

Element	Päikesekiirguse läbivus	Päikesekiirguse peegeldavus	R [m ² .K/W]	g _{gl+sh}
Aknakatted	0.02	0.80	0.260*	0,04**

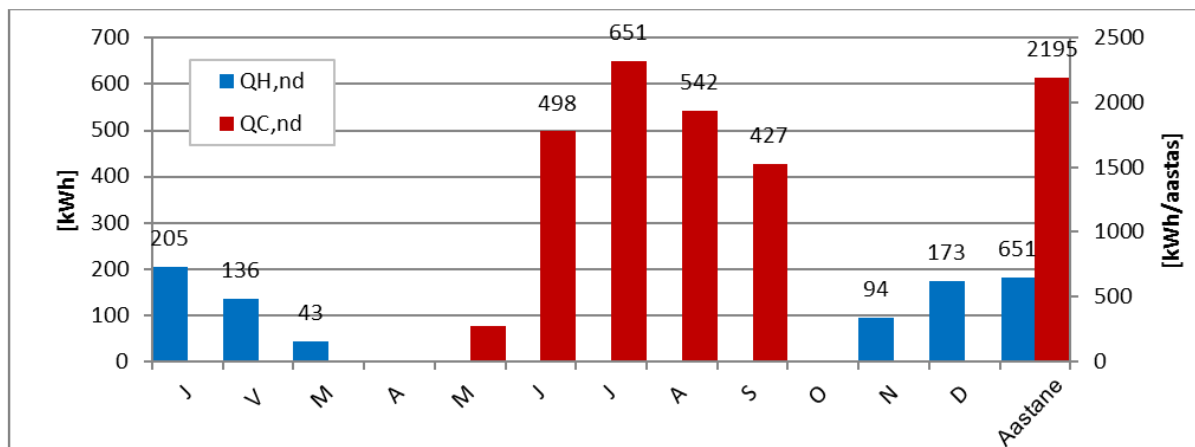
*sisaldab varjestuselementi ja õhkvahet (ISO 10077, 2006); **EN 13363-1, 2007.

4.2.3 Läbipaistmatud välispiirded

Läbipaistmatute välispiirete tüübid ja omadused võetakse konstruktsioonitüüpide hulgast (vt Tabel 4.2). Välispiirete toon mõjutab päikesekiirgusest tuleneva vabasoojuse hulka. Arvestati, et hoone fassaadid on heledat tooni neeldumisteguriga 0.4.

4.2.4 Hoone energiatõhususe tulemused

Käesoleval juhul on kuupõhise algoritmiga arvatatud energiavajadus ruumide kütteks 651.3 kWh ja ruumide jahutuseks 2195.0 kWh aastas. Seega, kogu aastane energiavajadus siseõhu konditsioneerimiseks on 2846.3 kWh (23.0 kWh/m²) ja sooja tarbevee tootmiseks 2642 kWh (21.3 kWh/m²). Energiavajadus ruumide jahutuseks ja kütmiseks, kuude kaupa, on esitatud Joonis 4.6-el.



Joonis 4.6 Energiavajadus ruumide kütteks ja jahutuseks (arvutatud kuupõhise algoritmiga)

4.2.5 Võrdlus kaasaegse dünaamilise simulatsiooniga

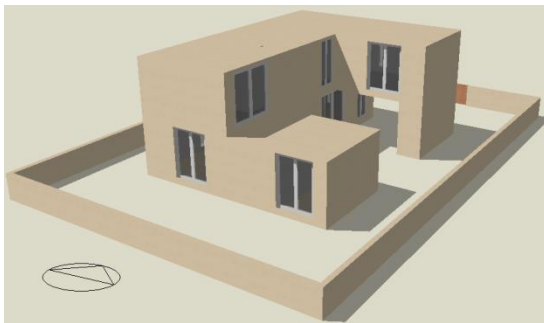
Kuupõhise algoritmi täpsuse hindamiseks võrreldi selle tulemusi kaasaegse dünaamilise simulatsioonitarkvaraga.

4.2.5.1 Dünaamilise simulatsiooni arvutusmude

Kaasaegne dünaamiline hoone soojusliku toimivuse simulatsioon viidi läbi kasutades *DesignBuilder* (2012) tarkvara. Kasutatud kliimaandmed on samad, mis lihtsustatud meetodi puhul. Antud juhul kasutati välisõhu temperatuuri ja päikesekiirguse kuupõhiste andmete asemel tunniandmeid kõigi kliimaparameetrite puhul.

Kolmedimensionaalne täiustatud modelleerimine võimaldab simuleerida ka hoone keerukat arhitektuuri, mis on esitatud joonistel Joonis 4.1 ja Joonis 4.2. Joonis 4.7 illustreerib *DesignBuilderi* mudelist võetud hoone kahte vaadet, mida kasutati dünaamilises simulatsioonis. Hoone mudel koostati kasutades kümmet erinevat soojuslikku tsooni, mis piirnevad hoone vaheseintega (vt Joonis 4.8):

- (i) sokli õhuruum, mis modelleeriti ilma tingimusi seadmata;
- (ii) esimene korrus kolme tsooniga;
- (iii) teine korrus viie tsooniga;
- (iv) ala, mis on mõlemal korrusel ühine- koridorid ja trepikoda.

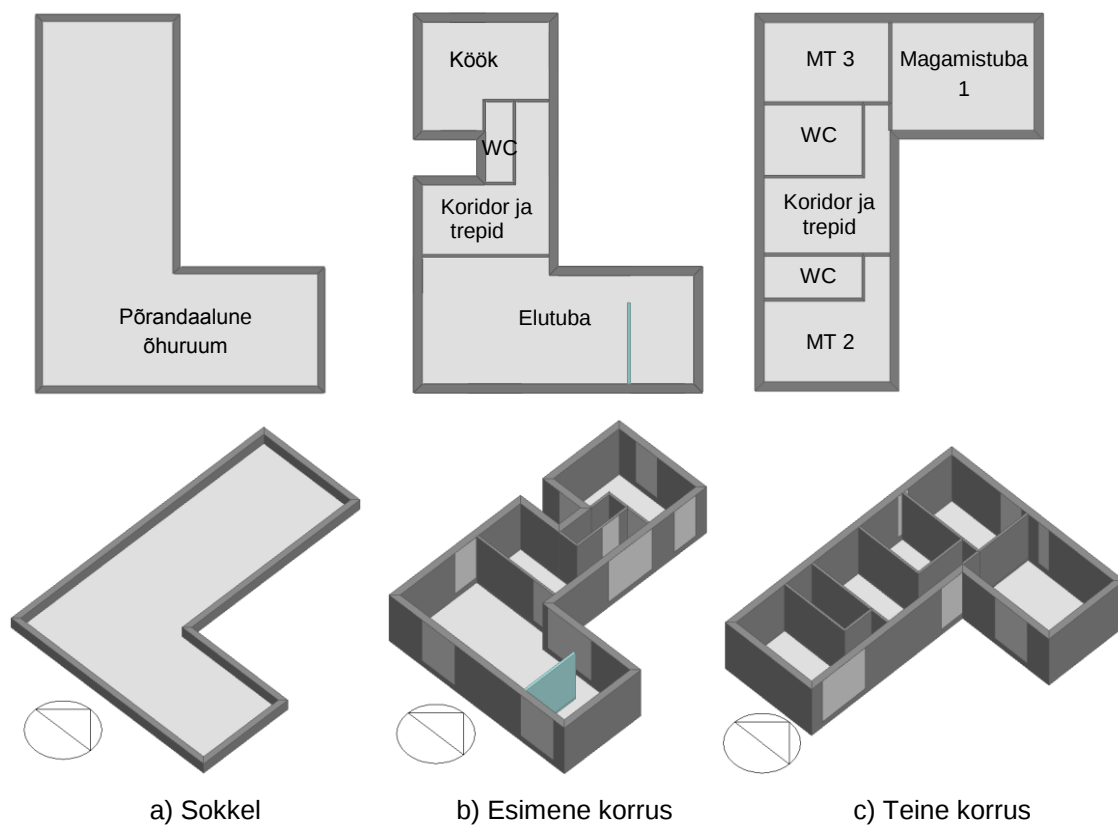


a) Lõuna- ja läänesuunaline vaade



b) Põhja- ja idasuunaline vaade

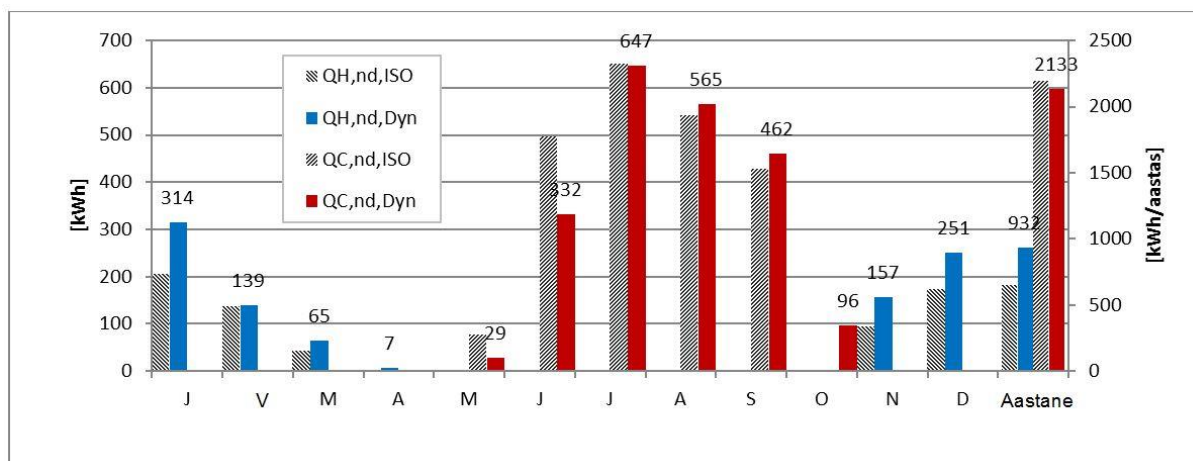
Joonis 4.7 Hoone mudeli vaated



Joonis 4.8 Korruste plaanid

Mudelis kasutatud konstruktsioonelemendid on samad eelpool kirjeldatud konstruktsioonitüüpide meetodis kasutatutega (vt Tabel 4.2, Tabel 4.6 ja Tabel 4.7, vastavalt läbipaistmatutele ja klaaspiiretele ning varjestuselementidele). Varjestuse reguleerimiseks kasutatakse samuti sama meetodit. Lisaks sellele, kasutusprofiil, ventilatsiooni ja infiltratsiooni õhuhulgad, ruumiõhu konditsioneerimise seadmete efektiivsus ja töögraafik on võetud eelnevast analüüsist.

Mõlema meetodiga leitud kütte- ja jahutusenergia vajadus on graafiliselt esitatud kuupõhiste ja aastapõhiste andmetega Joonis 4.9-I. Dünaamiliste simulatsioonide põhjal on kütte- ja jahutusenergia vajadus ühe aasta kohta on vastavalt 932.4 kWh ja 2133.3 kWh; mis teeb kogu energiavajaduseks 3065.7 kWh aastas (24.8 kWh/m^2).



Joonis 4.9 Hoone kütte- ja jahutusenergia vajadus: dünaamilised simulatsioonid (Dyn) versus kuupõhine algoritm (ISO)

Joonis 4.9-Ilt nähtub, et energiavajadus, mis on arvutatud lihtsustatud meetodiga (kuupõhine algoritm) langeb hästi kokku dünaamiliste simulatsioonidega saadud tulemustega. Võrreldes lihtsustatud meetodiga saadud hoone ekspluatatsioonis vajamineva energiat dünaamiliste arvutustega (2846.3 kWh/year) on viga -7,2%.

4.3 KOKKUVÕTE

Kaks selles juhendis esitatud lihtsustatud meetodit aitavad vältida keeruliste tarkvarade nagu näiteks LCA kasutamist, mis tavaliselt nõuavad põhjalikke erialaseid teadmisi ja annavad olulise ajavõidu sellise analüüsi läbiviimisel.

Mõlema meetodi valideerimine põhineb võrdlusel kaasaegse kommertstarkvaraga *GaBi 6* (2012) ja *DesignBuilder* (2012) vastavalt elutsükli analüüsiks ja energiatarbe määramiseks. Tulemuste võrdlus mõlema analüüsi tüübi puhul võimaldab järeldada, et mõlema meetodi täpsus on piisav ja mõistlik.

KIRJANDUS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

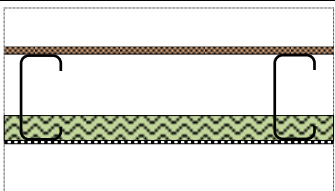
ISO 14040. 2006. Environmental management – life cycle assessment – Principles and framework. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.

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

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

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

LISA 1 – MAKROKOMPONENTIDE ANDMEBAAS

B1010.10 Põranda konstruktsioon					
B1010.10.1a	Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea lõpu stsenaarium	RR (%)	
	OSB (mm)	18	Põletamine	80	
	Öhkvahe (mm)	160			
	Kivivill (mm)	40	Ümbertöötlus	80	
	Kipsplaat (mm)	15	Ümbertöötlus	80	
	LWS (kg/m2)	14	Ümbertöötlus	90	
B1010.10.1a - LCA					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,83E-05	1,76E-09	1,54E-09	3,37E-08	-1,96E-04
ADP fossil [MJ]	5,48E+02	6,54E-01	5,72E-01	1,31E+00	-3,35E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,70E-01	2,11E-04	1,83E-04	5,74E-04	-4,45E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,41E-02	4,86E-05	4,20E-05	8,79E-05	-1,01E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	5,12E+01	4,71E-02	4,12E-02	3,86E-01	-1,46E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	7,65E-07	8,25E-13	7,21E-13	7,21E-11	1,76E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,53E-02	-6,89E-05	-5,95E-05	1,49E-04	-1,07E-02

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone vahelaeplaati, projekteeritud kasutusiga 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinerts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainfo:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
OSB	PE International	Germany	2008
Kipsplaat	PE International	Europe	2008
Kerge terasprofiil (LWS)	Worldsteel	World	2007
Kivivill	PE International	Europe	2011

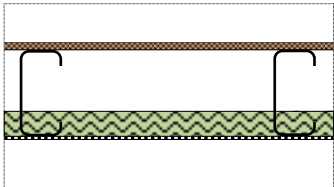
Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eeldades kauguseks 20 km)

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Veokiga transport	PE International	World	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
OSB põletamine	PE International	Saksamaa	2008
Inertmaterjalide ladestamine	PE International	Saksamaa	2011
Terase ümbertöötlus	Worldsteel	World	2007

B1010.10 Põranda konstruktsioon

B1010.10.1b	Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea lõpu stsenaarium	RR (%)
	OSB (mm)	18	Põletamine	80
	Õhkvahe (mm)	160	-	-
	EPS (mm)	40	Põletamine	80
	Kipsplaat (mm)	15	Ümbertöötlus	80
	LWS (kg/m ²)	14	Ümbertöötlus	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

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone vahelaepaati, projekteeritud kasutusiga 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinererts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainformatsioon:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

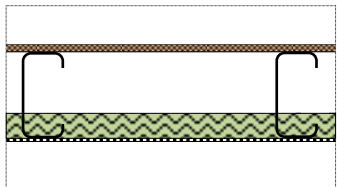
Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
OSB	PE International	Saksamaa	2008
Kipsplaat	PE International	Euroopa	2008
Kergprofiil terasest (LWS)	Worldsteel	Maailm	2007
EPS	PE International	Euroopa	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eeldades kaugust 20 km)

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Transport veokiga	PE International	Maailm	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Process	Data source	Geograafilised tingimused	Aasta
OSB põletamine	PE International	Saksamaa	2008
EPS põletamine	PE International	Euroopa	2011
Inertmaterjali ladestamine	PE International	Saksamaa	2011
Terase ümbertöötlus	Worldsteel	Maailm	2007

B1010.10 Põranda konstruktsioon					
B1010.10.1c	Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea lõpu stsenaarium	RR (%)	
	OSB (mm)	18	Põletamine	80	
	Öhkvahe (mm)	160	-		
	XPS (mm)	40	Põletamine	80	
	Kipsplaat (mm)	15	Ümbertöötlus	80	
	LWS (kg/m2)	14	Ümbertöötlus	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 SO2-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 CO2-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

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone vahelaeplaati, projekteeritud kasutusiga 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinerts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainformatsioon:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
OSB	PE International	Saksamaa	2008
Kipsplaat	PE International	Euroopa	2008
Kergprofiil terasest (LWS)	Worldsteel	Maailm	2007
XPS	PE International	Saksamaa	2011

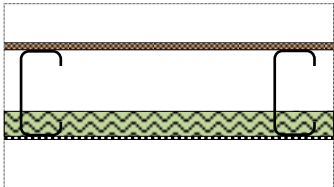
Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eeldades kaugust 20 km)

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Transport veokiga	PE International	Maailm	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
OSB põletamine	PE International	Saksamaa	2008
XPS põletamine	PE International	Euroopa	2011
Inertmaterjali ladestamine	PE International	Saksamaa	2011
Terase ümbertöötlus	Worldsteel	Maailm	2007

B1010.10 Põranda konstruktsioon

B1010.10.1d	Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea lõpu stsenaarium	RR (%)
	OSB (mm)	18	Põletamine	80
	Öhkvahe (mm)	160	-	
	PUR (mm)	40	Põletamine	80
	Kipsplaat (mm)	15	Ümbertöötlus	80
	LWS (kg/m ²)	14	Ümbertöötlus	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

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone vahelaepaati, projekteeritud kasutusiga 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinererts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainformatsioon:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
OSB	PE International	Saksamaa	2008
Kipsplaat	PE International	Euroopa	2008
Kergprofiil terasest (LWS)	Worldsteel	Maailm	2007
PUR	PE International	Saksamaa	2011

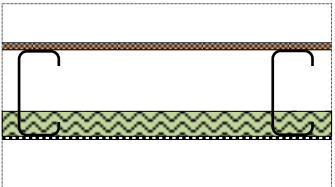
Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eeldades kaugust 20 km)

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Transport veokiga	PE International	Maailm	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
OSB põletamine	PE International	Saksamaa	2008
PUR põletamine	PE International	Euroopa	2011
Inertmaterjali ladestamine	PE International	Saksamaa	2011
Terase ümbertöötlus	Worldsteel	World	2007

B1010.10 Põranda konstruktsioon

B1010.10.1e	Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea lõpu stsenaarium	RR (%)
	OSB (mm)	18	Põletamine	80
	Öhkvahe (mm)	160	-	
	Kork (mm)	40	Ümbertöötlus	80
	Kipsplaat (mm)	15	Ümbertöötlus	80
	LWS (kg/m2)	14	Ümbertöötlus	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

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone vahelaeplaati, projekteeritud kasutusiga 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinererts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainformatsioon:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

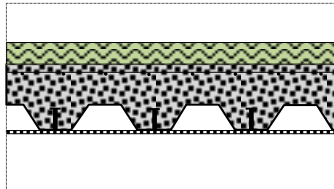
Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
OSB	PE International	Saksamaa	2008
Kipsplaat	PE International	Euroopa	2008
Kergprofiil terasest (LWS)	Worldsteel	Maailm	2007
Kork	PE International	Saksamaa	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eeldades kaugust 20 km)

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Transport veokiga	PE International	Maailm	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
OSB põletamine	PE International	Saksamaa	2008
Inertmaterjali ladestamine	PE International	Saksamaa	2011
Terase ümbertöötlus	Worldsteel	World	2007

B1010.10 Vahelae konstruktsioon					
B1010.10.2a	Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea lõpu stsenaarium	RR (%)	
	PE (mm)	20	Põletamine	80	
	Betoon (kg/m2)	410	Ümbertöötlus	70	
	Armatuur (kg/m2)	8.24	Ümbertöötlus	70	
	Profiilplekk (kg/m2)	11.10	Ümbertöötlus	70	
	Kipsplaat (mm)	15	Ümbertöötlus	80	
	Terastala (kg/m2)	40	Ümbertöötlus	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 SO2-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 CO2-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

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone vahelaepaati, projekteeritud kasutusiga 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinererts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainformatsioon:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

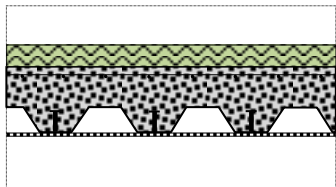
Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Betoon	PE International	Saksamaa	2011
Armatuurvardad	Worldsteel	Maailm	2007
Profiilplekk	Worldsteel	Maailm	2007
Konstruktsiooniteras	Worldsteel	Maailm	2007
Kipsplaat	PE International	Euroopa	2008
PE	PE International	Saksamaa	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eeldades kaugust 20 km)

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Transport veokiga	PE International	Maailm	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
PE põletamine	PE International	Euroopa	2011
Inertmaterjalide ladestamine	PE International	Saksamaa	2011
Terase ümbertöötlemine	Worldsteel	Maailm	2007

B1010.10 Floor structural frame					
B1010.10.2b	Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea lõpu stsenaarium	RR (%)	
	EPS (mm)	20	Põletamine	80	
	Betoon (kg/m2)	410	Ümbertöötlus	70	
	Armatuur (kg/m2)	8.24	Ümbertöötlus	70	
	Profiilplekk (kg/m2)	11.10	Ümbertöötlus	70	
	Kipsplaat (mm)	15	Ümbertöötlus	80	
	Terastala (kg/m2)	40	Ümbertöötlus	90	
B1010.10.2b - LCA					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-4,62E-04	2,08E-08	1,81E-08	1,26E-06	-3,32E-04
ADP fossil [MJ]	1,54E+03	7,71E+00	6,74E+00	4,89E+01	-3,37E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	3,92E-01	2,49E-03	2,16E-03	2,13E-02	-8,94E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	3,64E-02	5,73E-04	4,96E-04	3,27E-03	-2,61E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	1,50E+02	5,55E-01	4,86E-01	1,54E+01	-3,62E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	1,91E-06	9,73E-12	8,50E-12	2,68E-09	1,04E-06
POCP [kg Ethene-Equiv.]	6,92E-02	-8,13E-04	-7,01E-04	5,53E-03	-1,88E-02

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone vahelaepaati, projekteeritud kasutusiga 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinererts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainformatsioon:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Betoon	PE International	Saksamaa	2011
Armatuurvardad	Worldsteel	Maailm	2007
Profiilplekk	Worldsteel	Maailm	2007
Konstruktiooniteras	Worldsteel	Maailm	2007
Kipsplaat	PE International	Euroopa	2008
EPS	PE International	Euroopa	2011

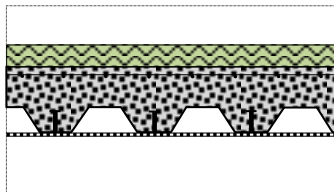
Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eeldades kaugust 20 km)

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Transport veokiga	PE International	Maailm	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
EPS põletamine	PE International	Euroopa	2011
Inertmaterjalide ladestamine	PE International	Saksamaa	2011
Terase ümbertöötlemine	Worldsteel	Maailm	2007

B1010.10 Floor structural frame

B1010.10.2c	Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea lõpu stsenaarium	RR (%)
	XPS (mm)	20	Põletamine	80
	Betoon (kg/m2)	410	Ümbertöötlus	70
	Armatuur (kg/m2)	8.24	Ümbertöötlus	70
	Profiilplekk (kg/m2)	11.10	Ümbertöötlus	70
	Kipsplaat (mm)	15	Ümbertöötlus	80
	Terastala (kg/m2)	40	Ümbertöötlus	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 SO2-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 CO2-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

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone vahelaepaati, projekteeritud kasutusiga 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinererts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainformatsioon:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

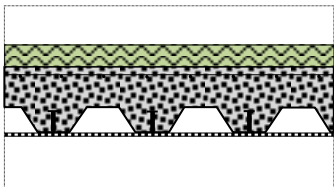
Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Betoon	PE International	Saksamaa	2011
Armatuurvardad	Worldsteel	Maailm	2007
Profiilplekk	Worldsteel	Maailm	2007
Konstruksiooniteras	Worldsteel	Maailm	2007
Kipsplaat	PE International	Euroopa	2008
XPS	PE International	Saksamaa	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eldades kaugust 20 km)

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Transport veokiga	PE International	Maailm	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
XPS põletamine	PE International	Euroopa	2011
Inertmaterjalide ladestamine	PE International	Saksamaa	2011
Terase ümbertöötlemine	Worldsteel	Maailm	2007

B1010.10 Floor structural frame					
B1010.10.2d	Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea lõpu stsenaarium	RR (%)	
	Kork (mm)	20	Ümbertöötlus	80	
	Betoon (kg/m2)	410	Ümbertöötlus	70	
	Armatuur (kg/m2)	8.24	Ümbertöötlus	70	
	Profiilplekk (kg/m2)	11.10	Ümbertöötlus	70	
	Kipsplaat (mm)	15	Ümbertöötlus	80	
	Terastala (kg/m2)	40	Ümbertöötlus	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 SO2-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 CO2-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

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone vahelaeplaati, projekteeritud kasutusiga 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinererts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainformatsioon:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Betoon	PE International	Saksamaa	2011
Armatuurvardad	Worldsteel	Maailm	2007
Profiilplekk	Worldsteel	Maailm	2007
Konstruksiooniteras	Worldsteel	Maailm	2007
Kipsplaat	PE International	Euroopa	2008
Kork	PE International	Saksamaa	2011

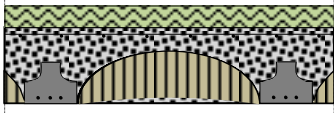
Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eeldades kaugust 20 km)

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Transport veokiga	PE International	Maailm	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Landfill of inert materials	PE International	Germany	2011
Recycling steel	Worldsteel	World	2007

B1010.10 Vahelae konstruktsioon

B1010.10.3a	Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea lõpu stsenaarium	RR (%)
	PE (mm)	20	Põletamine	80
	betoon (kg/m ²)	455.4	Ümbertöötlus	70
	armatuur (kg/m ²)	21.17	Ümbertöötlus	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

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone vahelaepaati, projekteeritud kasutusiga 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinererts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainformatsioon:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

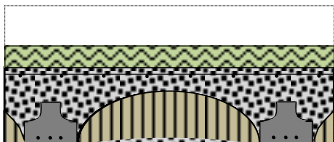
Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Betoon	PE International	Saksamaa	2011
Armatuurvardad	Worldsteel	Maailm	2007
PE	PE International	Saksamaa	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eeldades kaugust 20 km)

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Transport veokiga	PE International	Maailm	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
PE põletamine	PE International	Euroopa	2011
Inertmaterjalide laestamine	PE International	Saksamaa	2011
Terase ümbertöötlemine	Worldsteel	Maailm	2007

B1010.10 Vahelae konstruktsioon					
B1010.10.3b 	Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea lõpu stsenaarium	RR (%)	
	EPS (mm)	20	Põletamine	80	
	betoon (kg/m2)	455.4	Ümbertöötlus	70	
	armatuur (kg/m2)	21.17	Ümbertöötlus	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 SO2-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 CO2-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

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone vahelaeplaati, projekteeritud kasutusiga 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinererts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainformatsioon:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Betoon	PE International	Saksamaa	2011
Armatuurvardad	Worldsteel	Maailm	2007
EPS	PE International	Euroopa	2011

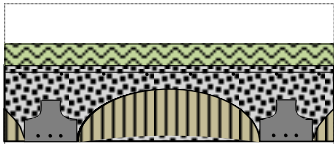
Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eeldades kaugust 20 km)

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Transport veokiga	PE International	Maailm	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Inertmaterjalide ladestamine	PE International	Saksamaa	2011
Terase ümbertöötlus	Worldsteel	Maailm	2007
EPS põletamine	PE International	Euroopa	2011

B1010.10 Vahelae konstruktsioon

B1010.10.3c	Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea lõpu stsenaarium	RR (%)
	XPS (mm)	20	Põletamine	80
	betoon (kg/m ²)	455.4	Ümbertöötlus	70
	armatuur (kg/m ²)	21.17	Ümbertöötlus	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

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone vahelaepaati, projekteeritud kasutusiga 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinererts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainformatsioon:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

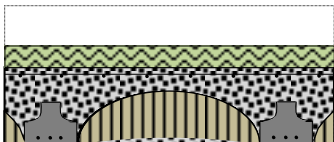
Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Betoon	PE International	Saksamaa	2011
Armatuurvardad	Worldsteel	Maailm	2007
XPS	PE International	Euroopa	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eeldades kaugust 20 km)

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Transport veokiga	PE International	Maailm	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Inertmaterjalide ladestamine	PE International	Saksamaa	2011
Terase ümbertöötlus	Worldsteel	Maailm	2007
XPS põletamine	PE International	Euroopa	2011

B1010.10 Vahelae konstruktsioon					
	Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea lõpu stsenaarium	RR (%)	
	Kork (mm)	20	Ümbertöötlus	80	
	betoon (kg/m2)	455.4	Ümbertöötlus	70	
	armatuur (kg/m2)	21.17	Ümbertöötlus	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 SO2-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 CO2-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

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone vahelaepaati, projekteeritud kasutusiga 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinererts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainformatsioon:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Betoon	PE International	Saksamaa	2011
Armatuurvardad	Worldsteel	Maailm	2007
Kork	PE International	Saksamaa	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eeldades kaugust 20 km)

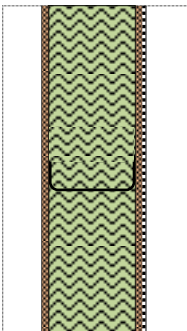
Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Transport veokiga	PE International	Maailm	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Process	Data source	Geographical coverage	Date
Inertmaterjalide ladestamine	PE International	Saksamaa	2011
Terase ümbertöötlus	Worldsteel	Maailm	2007

B2010.20 Välisseina konstruktsioon

B2010.20.1a



Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea lõpu stsenaarium	RR (%)
OSB (mm)	13	Põletamine	80
Kivivill (mm)	120	Ümbertöötlus	80
Kipsplaat (mm)	15	Ladestamine	
LWS (kg/m2)	15	Ümbertöötlus	90

B1010.20.1a

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

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone välisseina, projekteeritud kasutusiga 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinererts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainformatsioon:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

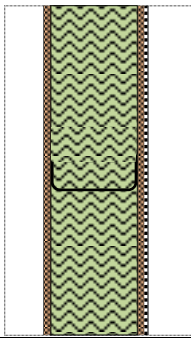
Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
OSB	PE International	Saksamaa	2008
Kipsplaat	PE International	Euroopa	2008
Kerge terasprofiil (LWS)	Worldsteel	Maailm	2007
Kivivill	PE International	Euroopa	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eeldades kaugust 20 km)

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Transport veokiga	PE International	Maailm	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
OSB põletamine	PE International	Saksamaa	2008
Inertmaterjali ladestamine	PE International	Saksamaa	2011
Ümbertöötlus	Worldsteel	World	2007

B2010.20 Välisseina konstruktsioon					
B2010.20.1b	Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea lõpu stsenaarium	RR (%)	
	OSB (mm)	13	Põletamine	80	
	EPS (mm)	120	Põletamine	80	
	Kipsplaat (mm)	15	Ladestamine		
	LWS (kg/m2)	15	Ümbertöötlus	90	
B1010.20.1b					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,82E-05	1,93E-09	1,62E-09	5,61E-08	-2,10E-04
ADP fossil [MJ]	6,75E+02	7,18E-01	6,00E-01	1,84E+00	-3,70E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,44E-01	2,32E-04	1,92E-04	8,87E-04	-7,24E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,03E-02	5,34E-05	4,41E-05	1,50E-04	-2,60E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	5,18E+01	5,17E-02	4,33E-02	6,79E+00	-2,22E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	8,13E-07	9,05E-13	7,57E-13	8,54E-11	3,41E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	6,33E-02	-7,57E-05	-6,24E-05	1,70E-04	-1,27E-02

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone välisseina, projekteeritud kasutusiga 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinererts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainformatsioon:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

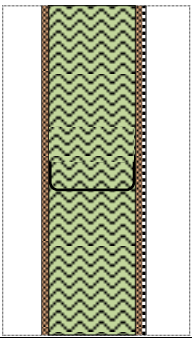
Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
OSB	PE International	Saksamaa	2008
Kipsplaat	PE International	Euroopa	2008
Kerge terasprofiil (LWS)	Worldsteel	Maailm	2007
EPS	PE International	Euroopa	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eeldades kaugust 20 km)

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Transport veokiga	PE International	Maailm	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
OSB põletamine OSB	PE International	Saksamaa	2008
EPS põletamine	PE International	Euroopa	2011
Inertmaterjalide ladestamine	PE International	Saksamaa	2011
Terase ümbertöötlus	Worldsteel	Maailm	2007

B2010.20 Välisseina konstruktsioon				
B2010.20.1c	Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea lõpu stsenaarium	RR (%)
	OSB (mm)	13	Põletamine	80
	XPS (mm)	120	Põletamine	80
	Kipsplaat (mm)	15	Ladestamine	
	LWS (kg/m2)	15	Ümbertöötlus	90

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

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone välisseina, projekteeritud kasutusiga 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinererts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainformatsioon:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

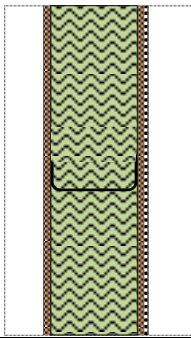
Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
OSB	PE International	Saksamaa	2008
Kipsplaat	PE International	Euroopa	2008
Kerge terasprofiil (LWS)	Worldsteel	Maailm	2007
XPS	PE International	Saksamaa	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eeldades kaugust 20 km)

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Transport veokiga	PE International	Maailm	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
OSB põletamine OSB	PE International	Saksamaa	2008
XPS põletamine	PE International	Euroopa	2011
Inertmaterjalide ladestamine	PE International	Saksamaa	2011
Terase ümbertöötlus	Worldsteel	Maailm	2007

B2010.20 Välisseina konstruktsioon					
B2010.20.1d	Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea lõpu stsenaarium	RR (%)	
	OSB (mm)	13	Põletamine	80	
	PUR (mm)	120	Põletamine	80	
	Kipsplaat (mm)	15	Ladestamine		
	LWS (kg/m2)	15	Ümbertöötlus	90	
B1010.20.1d					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	8,52E-05	2,24E-09	1,84E-09	7,64E-08	-2,10E-04
ADP fossil [MJ]	9,22E+02	8,33E-01	6,85E-01	3,02E+00	-3,70E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,66E-01	2,69E-04	2,19E-04	3,30E-03	-7,23E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,43E-02	6,20E-05	5,04E-05	7,68E-04	-2,60E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	6,70E+01	6,00E-02	4,94E-02	7,11E+00	-2,22E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	6,44E-07	1,05E-12	8,65E-13	1,30E-10	3,41E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,81E-02	-8,79E-05	-7,13E-05	3,15E-04	-1,27E-02

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone välisseina, projekteeritud kasutusiga 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinererts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainformatsioon:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
OSB	PE International	Saksamaa	2008
Kipsplaat	PE International	Euroopa	2008
Kerge terasprofiil (LWS)	Worldsteel	Maailm	2007
PUR	PE International	Saksamaa	2011

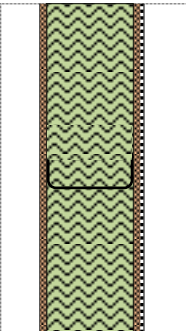
Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eeldades kaugust 20 km)

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Transport veokiga	PE International	Maailm	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
OSB põletamine OSB	PE International	Saksamaa	2008
PUR põletamine	PE International	Euroopa	2011
Inertmaterjalide ladestamine	PE International	Saksamaa	2011
Terase ümbertöötlus	Worldsteel	Maailm	2007

B2010.20 Välisseina konstruktsioon

B2010.20.1e	Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea lõpu stsenaarium	RR (%)
	OSB (mm)	13	Põletamine	80
	Kork (mm)	120	Ümbertöötlus	80
	Kipsplaat (mm)	15	Ladestamine	
	LWS (kg/m2)	15	Ümbertöötlus	90

B1010.20.1e

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,72E-05	3,49E-09	1,60E-09	3,48E-08	-2,10E-04
ADP fossil [MJ]	5,78E+02	1,30E+00	5,94E-01	1,36E+00	-3,05E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,60E-01	4,19E-04	1,90E-04	5,92E-04	-4,81E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,55E-02	9,64E-05	4,37E-05	9,07E-05	-1,17E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	5,39E+01	9,34E-02	4,28E-02	3,98E-01	-1,73E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	6,40E-07	1,64E-12	7,49E-13	7,44E-11	3,41E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,50E-02	-1,37E-04	-6,17E-05	1,54E-04	-1,13E-02

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone välisseina, projekteeritud kasutusiga 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinererts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainformatsioon:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

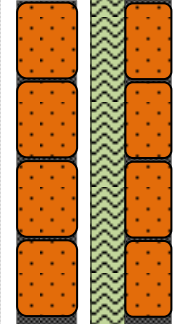
Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
OSB	PE International	Saksamaa	2008
Kipsplaat	PE International	Euroopa	2008
Kerge terasprofiil (LWS)	Worldsteel	Maailm	2007
Kork	PE International	Saksamaa	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eeldades kaugust 20 km)

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Transport veokiga	PE International	Maailm	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
OSB põletamine	PE International	Saksamaa	2008
Inertmaterjalide ladestamine	PE International	Saksamaa	2011
Terase ümbertöötlus	Worldsteel	Maailm	2007

B2010.20 Välisseina konstruktsioon					
B2010.20.2a	Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea stsenaarium	lõpu RR (%)	
	Tellis sein (mm)	11	Prügila		
	Õhkvahe	0			
	Kivivill (mm)	60	Ümbertöötlus	80	
	Tellissein (mm)	11	Prügila		
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

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone välisseina, projekteeritud kasutusiga 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinererts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainformatsioon:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

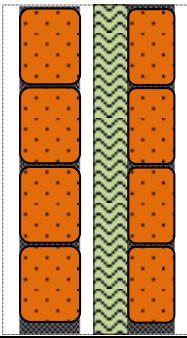
Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Tellis	PE International	Saksamaa	2011
Kivivill	PE International	Euroopa	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eeldades kaugust 20 km)

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Transport veoikiga	PE International	Maailm	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Inertmaterjalide ladestamine	PE International	Saksamaa	2011

B2010.20 Välisseina konstruktsioon					
B2010.20.2b	Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea lõpu stsenaarium	RR (%)	
	Tellis sein (mm)	11	Prügila		
	Õhkvahe	0			
	EPS (mm)	60	Põletamine	80	
	Tellissein (mm)	11	Prügila		
B1010.20.2b					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,81E-06	1,34E-08	1,17E-08	1,56E-06	-4,49E-08
ADP fossil [MJ]	5,94E+02	4,97E+00	4,35E+00	6,06E+01	-3,21E+01
AP [kg SO2-Equiv.]	7,23E-02	1,61E-03	1,39E-03	2,65E-02	-1,22E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	8,96E-03	3,70E-04	3,20E-04	4,06E-03	-7,17E-04
GWP [kg CO2-Equiv.]	7,46E+01	3,58E-01	3,13E-01	2,09E+01	-2,46E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	8,86E-08	6,27E-12	5,48E-12	3,31E-09	-4,97E-11
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,74E-02	-5,24E-04	-4,52E-04	6,85E-03	-7,02E-04

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone välisseina, projekteeritud kasutusega 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinererts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainformatsioon:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

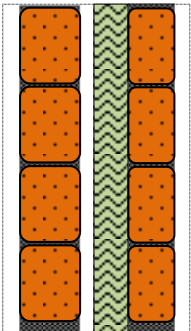
Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Tellis	PE International	Saksamaa	2011
EPS	PE International	Euroopa	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eeldades kaugust 20 km)

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Transport veokiga	PE International	Maailm	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
EPS põletamine	PE International	Euroopa	2011
Inertmaterjalide ladestamine	PE International	Saksamaa	2011

B2010.20 Välisseina konstruktsioon				
B2010.20.2c	Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea lõpu stsenaarium	RR (%)
	Tellissein (mm)	11	Prügila	
	Õhkvahe	0		
	XPS (mm)	60	Põletamine	80
	Tellissein (mm)	11	Prügila	

B1010.20.2c					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	3,64E-06	1,34E-08	1,17E-08	1,57E-06	-7,18E-08
ADP fossil [MJ]	6,51E+02	4,98E+00	4,36E+00	6,08E+01	-5,14E+01
AP [kg SO2-Equiv.]	7,67E-02	1,61E-03	1,39E-03	2,66E-02	-1,95E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	9,23E-03	3,71E-04	3,20E-04	4,09E-03	-1,15E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	7,63E+01	3,59E-01	3,14E-01	2,29E+01	-3,94E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	3,00E-09	6,29E-12	5,50E-12	3,32E-09	-7,96E-11
POCP [kg Ethene-Equiv.]	1,15E-02	-5,25E-04	-4,53E-04	6,87E-03	-1,12E-03

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone välisseina, projekteeritud kasutusiga 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinerts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainformatsioon:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Tellis	PE International	Saksamaa	2011
XPS	PE International	Saksamaa	2011

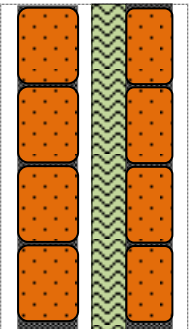
Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eeldades kaugust 20 km)

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Transport veokiga	PE International	Maailm	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
XPS põletamine	PE International	Euroopa	2011
Inertmaterjalide ladestamine	PE International	Saksamaa	2011

B2010.20 Välisseina konstruktsioon

B2010.20.2d	Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea lõpu stsenaarium	RR (%)
	Tellis sein (mm)	11	Prügila	
	Õhkvahe	0		
	PUR (mm)	60	Põletamine	80
	Tellissein (mm)	11	Prügila	

B1010.20.2d

	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	3,13E-05	1,34E-08	1,17E-08	1,57E-06	-4,52E-08
ADP fossil [MJ]	7,17E+02	4,98E+00	4,36E+00	6,12E+01	-3,22E+01
AP [kg SO2-Equiv.]	8,33E-02	1,61E-03	1,39E-03	2,77E-02	-1,21E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,09E-02	3,71E-04	3,20E-04	4,37E-03	-7,15E-04
GWP [kg CO2-Equiv.]	8,22E+01	3,59E-01	3,14E-01	2,11E+01	-2,46E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	4,11E-09	6,29E-12	5,50E-12	3,34E-09	-4,99E-11
POCP [kg Ethene-Equiv.]	9,80E-03	-5,25E-04	-4,53E-04	6,92E-03	-7,02E-04

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone välisseina, projekteeritud kasutusiga 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinererts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainformatsioon:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

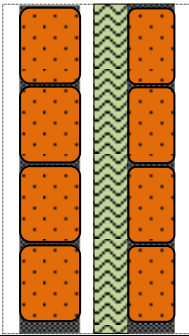
Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Tellis	PE International	Saksamaa	2011
PUR	PE International	Saksamaa	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eeldades kaugust 20 km)

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Transport veokiga	PE International	Maailm	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Date
PUR põletamine	PE International	Euroopa	2011
Inertmaterjalide ladestamine	PE International	Saksamaa	2011

B2010.20 Välisseina konstruktsioon					
B2010.20.2e	Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea lõpu stsenaarium	RR (%)	
	Tellis sein (mm)	11	Prügila		
	Õhkvahe	0			
	Kork (mm)	60	Ümbertöötlemine	80	
	Tellissein (mm)	11	Prügila		
B1010.20.2e					
		A1-A3	A4	C2	C4
	ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,27E-06	1,35E-08	1,18E-08	1,55E-06
	ADP fossil [MJ]	5,46E+02	5,03E+00	4,40E+00	6,03E+01
	AP [kg SO2-Equiv.]	8,06E-02	1,63E-03	1,41E-03	2,63E-02
	EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,16E-02	3,74E-04	3,23E-04	4,03E-03
	GWP [kg CO2-Equiv.]	7,57E+01	3,62E-01	3,17E-01	1,77E+01
	ODP [kg R11-Equiv.]	2,30E-09	6,35E-12	5,55E-12	3,31E-09
	POCP [kg Ethene-Equiv.]	8,25E-03	-5,30E-04	-4,57E-04	6,84E-03

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone välisseina, projekteeritud kasutusiga 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinererts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainformatsioon:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Tellis	PE International	Saksamaa	2011
Kork	PE International	Saksamaa	2011

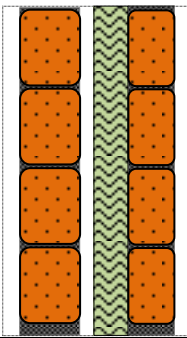
Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eeldades kaugust 20 km)

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Transport veokiga	PE International	Maailm	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Inertmaterjalide ladestamine	PE International	Saksamaa	2011

B2010.20 Välisseina konstruktsioon

B2010.20.2f	Materjalid	Paksus/ tihedus	Eluea lõpu stsenaarium	RR (%)
	Tellis sein (mm)	11	Prügila	
	Õhkvahe	0		
	Klaasvill (mm)	60	Prügila	
	Tellissein (mm)	11	Prügila	

B1010.20.2f

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

Funktsionaalne ekvivalent:

1 m² hoone välisseina, projekteeritud kasutusiga 50 aastat, soojusjuhtivus (U) 0.92 W/m².K ja soojusinererts (κ_m) of 61060 J/m².K.

Lisainformatsioon:**Andmed, mida kasutatakse Moodulites A1-A3**

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Tellis	PE International	Saksamaa	2011
Klaasvill	PE International	Euroopa	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites A4 ja C2 (eeldades kaugust 20 km)

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Transport veokiga	PE International	Maailm	2011

Andmed, mida kasutatakse Moodulites C4-D

Protsess	Andmebaas	Geograafilised tingimused	Aasta
Inertmaterjalide ladestamine	PE International	Saksamaa	2011
Klaasvilla ladestamine	PE International	Saksamaa	2010