
Áhrif byggingarefna og orkunýtingar á kolefnisspor bygginga



GRÆNNI
BYGGÐ
GREEN BUILDING
COUNCIL ICELAND



Áhrif byggingarefna og orkunýtingar á kolefnisspor bygginga

- Samanburður á kolefnisspori byggingarefna og orkunotkunar í BREEAM vottaðri og óvottaðri byggingu

Höfundur: Páll Hafstað

EPD samanburður: Björgvin Brynjarsson (EFLA)

Rýni: Anna Kristín Hjartardóttir (EFLA), Áróra Árnadóttir (Grænni byggð), Sigurður Loftur Thorlacius (EFLA)

Gefið út af Grænni byggð, í samstarfi við Húsnæðis- og mannvirkjastofnun, með styrk frá umhverfis-, orku- og loftslagsráðuneytinu. Styrkurinn var veittur til að gera LCA samanburð á BREEAM vottaðri og óvottaðri byggingu vegna aðgerðar 5.2.1 í Vegvísi að vistvænni mannvirkjagerð 2030: Greina ávinning og kostnað umhverfisvottana.

2023, útgáfa 1



Efnisyfirlit

Efnisyfirlit 2

1. Inngangur 3

2. Aðferðir 4

3. Skoðun á BREEAM vottunarkerfinu 5

3.1 Um BREEAM International New Construction 5

3.2 Notkun BREEAM á Íslandi 6

3.3 Flokkun BREEAM krafna eftir áhrifum á losun 6

4. Viðmiðunarbyggingar 13

5. Vistferilsgreining 18

5.1 Markmið og umfang vistferilsgreiningar (e. Goal and scope) 18

5.2 Upplýsingaöflun og úrvinnsla (e. Life Cycle Inventory Analysis) 20

5.3 Niðurstöður vistferilsgreiningar (e. Life Cycle Impact Assessment) 23

6. Samanburður á losun byggingarefna með umhverfisyfirlýsingar 26

7. Túlkun, samantekt og lokaorð 28

Heimildir 31



1. Inngangur

Í þessari skýrslu er farið yfir greiningu á því hvaða áhrif aukin varmaorkunýtni og val á umhverfisyfirlýsingum getur haft á kolefnisspor byggingarefna og orkunotkunar í íslensku samhengi. Greiningin felst í því að bera byggingu sem uppfyllir kröfur byggingareglugerðar saman við varmaorkunýtna byggingu skv. kröfum BREEAM um orkunýtni upphitarar (Ene 01). Í greiningunni er einnig metið hvaða áhrif það getur haft að velja nokkur byggingarefni með umhverfisyfirlýsingu (Mat 01 skilyrði 5) af handahófi. Alþjóðlega BREEAM vistvottunarkerfið hefur verið notað í vaxandi mæli á Íslandi m.a. í þeim tilgangi að minnka umhverfisáhrif bygginga ásamt því að auka virði og gæði þeirra. BREEAM vistvottunarkerfið er alhliða kerfi, þar sem uppfylla þarf kröfur sem snúa að umhverfislegri-, félagslegri- og efnahagslegri sjálfbærni. Tilgangur þessarar greiningar er að skoða tvær BREEAM kröfur (Ene 01, Mat 01 skilyrði 5) og meta hversu mikið þær geta dregið úr útblæstri gróðurhúsalofttegunda vegna framleiðslu byggingarefna og orkunotkunar byggingarinnar. Það er gert með því að bera saman annars vegar byggingu sem uppfyllir BREEAM kröfur til varmaorkunýtni og BREEAM kröfu um val á vörum með umhverfisyfirlýsingar og hins vegar grunnlínubyggingu í íslensku samhengi. Markmiðið er að sýna með tölulegum hætti hversu mikils árangurs má vænta af því að hanna varmaorkunýtnar byggingar skv. Ene 01 kröfu BREEAM og velja byggingarefni með umhverfisyfirlýsingu af handahófi. Til að meta þennan tölulega mun verður aðferðarfræði vistferilsgreininga notuð, þó ekki sé um að ræða fulla vistferilsgreiningu.





2. Aðferðir

Aðferð í framkvæmd þessa verkefnis er þriðþætt: 1) Greining á BREEAM vottunarkerfinu og upplýsingaöflun um notkun þess á Íslandi, 2) Uppsetning á viðmiðunarbyggingum og 3) Vistferilsgreining.

Fyrsti hluti greiningarinnar felst í því að skoða hvaða þættir kerfisins koma kolefnisspori bygginga við og hve mikið vægi þeir þættir hafa í heildarstigagjöfnni. Gagnlegra upplýsinga frá fagfólki sem hafa reynslu af BREEAM verkefnum á Íslandi er einnig aflað í fyrsta hluta greiningarinnar til þess að fá innsýn í hverjar algengustu áherslur verkkaupa sem sækjast eftir vottun eru og hvernig stig fyrir þætti sem tengjast kolefnisspori séu venjulega sótt.

Í öðrum hluta greiningar eru viðmiðunarbyggingarnar settar upp sem notaðar eru í vistferilsgreiningunni. Hönnun á fræðilegri fjölbýlishúsabyggingu er gerð svo að hún uppfylli einangrunargildiskröfur o.fl. í byggingarreglugerð og þessi hönnun er síðan uppfærð þannig að hún uppfylli BREEAM kröfu Ene 01 um orkunýtni í upphitun og kælingu byggingar. Einnig eru valin 8 efni með umhverfisyfirlýsingu af handahófi þannig byggingin uppfylli skilyrði 5 í BREEAM kröfu Mat 01 um val 5 efna með umhverfisyfirlýsingu að lágmarki. Þessar tvær hönnunarútfærslur eru síðan bornar saman í vistferilsgreiningunni.

Í þriðja hluta greiningarinnar er gerð vistferilsgreining, sem skiptist í a) Markmið og umfang, b) Magntöku viðmiðunarbygginga, c) Niðurstöður og d) Túlkun. Í vistferilsgreiningu eru kerfismörk greiningarinnar skilgreind, magntökuskra gerð yfir öll byggingarefni og orkunotkun reksturs viðmiðunarbygginganna, og síðan útreikningar og niðurstöður. Notast er við vistferilsgreiningagagnagrunninn Ecoinvent 3.8 og einnig umhverfisyfirlýsingar (EPD) frá ákveðnum byggingarefnaframleiðendum.





3. Skoðun á BREEAM vottunarkerfinu

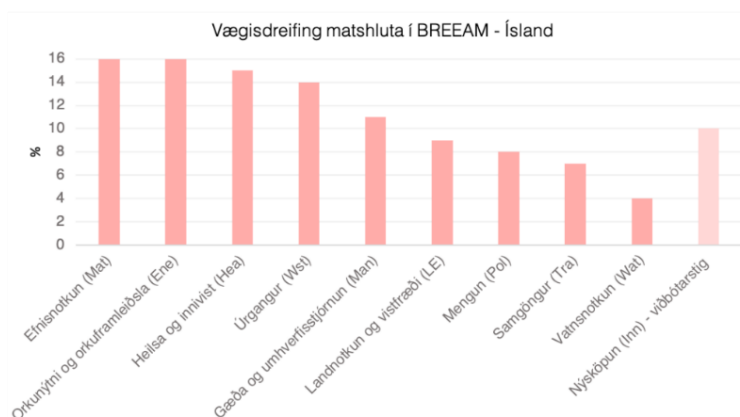
3.1 Um BREEAM International New Construction

BREEAM er eitt þekktasta og rótgrónasta vistvottunarkerfið fyrir byggingar á heimsvísu (Grænni byggð & BREEAM, 2019). Í nýjstu handbók BREEAM fyrir nýbyggingar, *BREEAM International New Construction Version 6.0*, eru allar kröfur vottunarkerfisins skráðar og aðferðir við stigagjöf allra þátta kerfisins útskýrðar. Í þessari handbók er jafnframt farið yfir grunnmarkmið vottunarkerfisins og það sem BREEAM stendur fyrir, en þar segir að BREEAM sé alþjóðleg vottun sem sé aðlöguð að staðbundum aðstæðum í sérhverju verkefni og að öllum vottunarferlum sé framfylgt af alþjóðlegum stjórnendum, fagfólki og matsmönnum. Með þessu móti á að vera hægt að ná fram grunnmarkmiði vistvottunarkerfisins sem er að draga úr umhverfisáhrifum bygginga. Nánar tiltekið eru meginmarkmið BREEAM:

- Að draga úr umhverfisáhrifum bygginga yfir allan líftíma þeirra.
- Að búa til kerfi sem gerir kleift að byggingar fái viðurkenningu fyrir góðan árangur í umhverfismálum.
- Að veita traust auðkenni sem byggingar geta fengið fyrir árgangur í umhverfismálum.
- Að auka eftirspurn og virði vistvænna bygginga, byggingavara og aðfangakeðja (BRE Global, 2021).

Á heimsvísu eru byggingaframkvæmdir og rekstur bygginga gríðarlega stórir þættir í losun gróðurhúsalofttegunda og öðrum umhverfisáhrifum og því eru markmið BREEAM vottunarkerfisins mjög viðeigandi. Árið 2020 var losun gróðurhúsalofttegunda frá byggingariðnaði á heimsvísu 37% af orkutengdri losun af mannavöldum. Losun vegna orkunotkunar í rekstri bygginga var 27% og losun frá framleiðslu byggingarefna var 10% af heildarlosun (United Nations Environment Programme, 2021). Nú hafa um 601.000 byggingar verið BREEAM vottaðar í 93 löndum í heiminum (BREEAM, 2023).

Í handbókinni eru 10 matshlutar sem hafa mismunandi vægi og hefur hver þeirra nokkra matsþætti sem hafa skilgreindan stigafjölda. BREEAM hefur gefið út vægisdreifingu á matshlutunum sérstaklega fyrir Ísland og á mynd 1 má sjá matshlutana og dreifingu á vægi þeirra fyrir Ísland. Stigin í matshlutunum „Nýsköpun“ eru viðbótarstig sem hægt er að fá til hækkunar en þó getur lokaeinkunn aldrei farið yfir 100 stig.



Mynd 1: Matshlutar BREEAM og vægisdreifing



3.2 Notkun BREEAM á Íslandi

Á Íslandi fer notkun BREEAM vaxandi og eru nú í heildina 29 verkefni skráð sem annað hvort hafa verið vottuð eða eru í vottunarferli (BRE Global, 2023). Viðmið og hvatar hafa verið búnir til sem ýta undir að framkvæmdaraðilar sækist eftir BREEAM vottun í nýbyggingaframkvæmdum. Framkvæmdasýslan-Ríkiseignir miðar við að allar opinberar nýbyggingaframkvæmdir sem kosta meira en 500 milljónir króna verði BREEAM vottaðar og einnig býður Hafnarfjarðarbær framkvæmdaraðilum sem byggja BREEAM vottaðar byggingar afslátt á lóðaverði, 20% afslátt fyrir byggingar með „very good“ í einkunn og 30% fyrir byggingar með „excellent“ í einkunn (Hafnarfjörður, 2019). Reykjavíkurborg hefur einnig notast við BREEAM í nokkrum framkvæmdum á vegum borgarinnar og má þar nefna Sundhöll Reykjavíkur og Dalskóla sem dæmi (Húsnæðis- og mannvirkjastofnun, e.d.).

Jafnframt er BREEAM vottun nýrra bygginga og viðhalds á eignum Reykjavíkurborgar ein af aðgerðunum í loftslagsáætlun borgarinnar en samkvæmt áætluninni á þessi aðgerð að draga úr losun (Reykjavíkurborg, 2021). Reykjavíkurborg virðist því gera ráð fyrir því að BREEAM vottanir skili samdrætti í losun á gróðurhúsalofttegundum. Ætla mætti að fleiri aðilar í samfélaginu hafi þær væntingar til BREEAM. Þó það sé ekki hægt í öllum tilvikum þá er æskilegt að áætla hversu miklum samdrætti loftslagsaðgerðir skila, til að sýna fram á að ávinningur aðgerðanna sé raunverulegur.

Til þess að fá innsýn í hvernig BREEAM hefur verið notað á Íslandi var rætt við fagaðila hjá EFLU verkfræðistofu í Reykjavík sem hefur unnið með verkkaupum sem sækjast eftir vottun í nýbyggingum á Íslandi. Það samtal gaf til kynna hverjar væru almennt algengustu áherslur verkkaupa þegar þeir sækjast eftir BREEAM vottun í sínum byggingarverkefnum.

Ástæða þess að verkkaupar sækjast eftir BREEAM vottun geta verið margþættar. Vottunin getur verið hluti af markmiðasetningu verkkaupa í umhverfismálum eða verið forsenda þess að fá „græna“ fjármögnun eða lækun á lóðaleigugjöldum. Einnig getur verið að verkkaupi sé að leita eftir tryggingu fyrir þáttum eins og t.d. góðri og heilnæmri innivist, betra verklagi við framkvæmdina, jákvæðum samfélagslegum áhrifum á samgöngur, skipulag og vistkerfið eða öðru sem BREEAM kerfið býður upp á að votta. Vottunin er ákveðinn „gæðastimpill“ og eykur virði verkefnisins og seinna eignarinnar. Því er áhugi verkkaupa á að minnka kolefnisspor bygginga á sínum snærum ekki endilega það sem verður til þess að farið sé í BREEAM vottunarferli. BREEAM er sveigjanlegt vistvottunarkerfi þar sem verkkaupi getur valið hvaða stig hann sækist eftir til að ná tiltekinni einkunn. Í BREEAM eru fáar skyldukröfur eða lágmarkskröfur og þær setja ekki mikinn þrýsting á aðgerðir sem lækka kolefnisspor.

3.3 Flokkun BREEAM krafna eftir áhrifum á losun

Rýni á BREEAM vottunarkerfið var gerð til að fá yfirsýn yfir möguleika vottunarinnar til að lækka kolefnisspor og til að sjá hvernig viðeigandi hönnunarútfærsla fyrir vottaða byggingu gæti verið gerð. Rýnt var í nýjustu útgáfu handbókar BREEAM vottunarkerfisins fyrir nýbyggingar, *BREEAM International New Construction - Version 6.0*, þar sem þetta verkefni er afmarkað við nýbyggingu á stöku fjölbýlishúsi. Farið var yfir öll stig í matsþáttum handbókarinnar sem eru viðeigandi fyrir fjölbýlishús og voru þau flokkuð í þrjá flokka eftir því hvort þau gætu lækkað kolefnisspor „beint“, „óbeint“ eða „ekki“. Dæmi um stig sem eru sett í „beint“ flokkinn eru stig sem fást fyrir betri nýtingu á byggingarefnum sem dregur beint úr efnisnotkun og þar af leiðandi úr losun tengdri framleiðslu á þeim. Dæmi um stig í „óbeint“ flokknum eru stig sem gefin eru fyrir aðstöðu sem hvetur notendur bygginga til að nota umhverfisvænni ferðamáta. Hvort kolefnisspor sé lækkað með slíkum



aðgerðum veltur að lokum á hegðun notenda. Taka ber fram að þó stig falli undir „óbeint“ flokkinn þá er samt ekki hægt að útiloka að þau dragi marktækt úr losun gróðurhúsalofttegunda þó það sé erfitt að áætla og magnsetja. Til dæmis fyrir samgöngur, þá var gerð vistferilsgreining á heilu hverfi í Noregi sem benti til þess að losun vegna samgangna á rekstrartíma bygginga væri álíka mikil og vegna byggingar og notkunar bygginganna sjálfra, jafnvel að teknu tilliti til orkuskipta í samgöngum (Lausset, 2019). Stig sem sett eru í flokkinn sem tengjast kolefnisspori ekki eru til dæmis stig sem fást fyrir loftgæði innandyrna. Einnig var farið yfir lágmarkskröfur í BREEAM sem skylda er að uppfylla til að fá vottun og þær metnar í ljósi þess hvernig áhrif þær hafa á kolefnisspor. Í töflu 1 má sjá yfirferð á BREEAM kröfum og hvort þær hafi áhrif á losun gróðurhúsalofttegunda. Að lokum voru valdar tvær BREEAM kröfur til að skoða nánar (Ene 01, Mat 01 skilyrði 5) í vistferilsgreiningu til að takmarka umfang greiningarinnar. Eins og sést í töflunni þá eru margar aðrar kröfur í BREEAM sem geta stuðlað að samdrætti í losun gróðurhúsalofttegunda en þær er erfiðara að magnsetja og/eða náðist ekki innan tímaramma þessa verkefnis.

Tafla 1: Yfirferð á kröfum BREEAM og hvort þær hafi bein, óbein eða engin áhrif á losun gróðurhúsalofttegunda. Einnig er sýnt hvaða kröfur eru valdar til að greina nánar í vistferilsgreiningu.

BREEAM krafa	Stig	Tengsl við losun	Lýsing á mögulegum áhrifum á losun gróðurhúsalofttegunda	Möguleg áhrif á losun*	Valdar kröfur
Man 01	4	Óbeint	Verkkaupa er gert að setja sér sjálfbærnimarkmið fyrir verkefnið. Tækifæri til að setja markmið um að lækka kolefnisspor.	Miðlungs	
Man 02 Líftíma- kostnaðar- greining	4	Ekki	Tengist kostnaði en ekki kolefnisspori. Hvetur þó almennt til þess að valin séu efni sem endast lengur.	Engin	
Man 03 Ábyrgt fram- kvæmda- svæði	6	Beint	Verktaka er gert að mæla og halda utan um eldsneytisnotkun, rafmagnsnotkun og heitavatnsnotkun á framkvæmdatíma, bæði á framkvæmdasvæði og vegna flutninga efna (frá verksmiðju) og úrgangs (til förgunar), auk þess að reikna út, halda utan um og skila inn CO ₂ losun vegna þessa. BREEAM ætlar að nota þær upplýsingar til að setja árangursviðmið í framtíðinni. Verktaka er líka gert að vera með orkusparandi lausnir á verkstað, t.d. orkunýtin lýsing, hitastillar, tímarofar, orkunýttinn búnaður. Verktaka er gert að kanna hvort sé möguleiki á nýtingu á öðrum uppsprettum af orku.	Mikil	
Man 04 Virgni- og viðtöku- prófanir	4	Beint	Góðar virkni- og viðtökuprófanir tryggja að öll þjónustukerfi starfi rétt, t.d. upphitun. Á meðal þess sem er farið fram á er loftþéttleikapróf og hitamyndun til að tryggja loftþéttleika byggingar og forðast kuldaþrýr. Á Íslandi er loftþéttleikaprófið látið duga. Góður loftþéttleiki dregur úr orkuþörf til upphitunar.	Lítill	
Man 05 Eftirfylgni	3	Óbeint	Á meðal þess sem er farið fram á er að safna saman og mæla orkunotkun fyrsta árið, til að meta hvort hún sé eins og búist var við með það að miði að gera lagfæringar ef þarf. Það er því hvati til að draga úr orkunotkun í rekstri ef hún reynist meiri en áætlað var. Einnig eru gerðar árstíðabundnar prófanir þjónustukerfa þegar álag er mest, t.d. prófun á upphitunarkerfi þegar er kalt að vetri eða kælikerfi þegar er heitt að sumri. Bæði gert til að tryggja góða innivist en einnig til að lágmarka óþarfa orkunotkun.	Lítill	
Hea 01	4	Óbeint	Hvatt er til að hámarka notkun dagsbirtu til lýsingar sem	Lítill	



Sjónræn þægindi			getur dregið úr orkunotkun. Einnig er farið fram á svæðaskipta og notendastýrða raflýsingu innandyra. Með því er notkunin sniðin að þörfinni og þannig komist hjá óþarfa raflýsingu.		
Hea 02 Loftgæði innandyra	3	Beint	Í kröfunni er bæði hægt að fá stig fyrir vélræna loftræstingu og náttúrulega loftræstingu. Fyrir vélræna loftræstingu er m.a. krafa um CO ₂ nema til að sniða notkun að þörfinni og þannig komast hjá óþarfa loftræstingu. Ef nota á náttúrulega loftræstingu þá þarf að gera áætlun um hvernig sú loftræsting veitir nægjanlega miklu fersku lofti inn. Náttúrulega loftræstingin þarf að vera notendastýrð til að sniða notkun að þörfinni og komast hjá óþarfa loftræstingu.	Miðlungs	
Hea 03 Öryggi á rannsóknarstofum	NA	Ekki	Á ekki við í íbúðarbyggingum.	Engin	
Hea 04 Hitavist	3	Óbeint	Snýst um að tryggja innivist m.t.t. hitastigs. Gæti stuðlað að meiri eða minni orkunotkun, eftir því hvort sé þörf á að hækka eða lækka hitastig til að tryggja góða hitavist. Taka þarf tillit til loftslagsbreytinga í kröfunni. Einnig er farið fram á svæðaskipta og notendastýrða upphitun. Með því er notkunin sniðin að þörfinni og þannig komist hjá óþarfa upphitun.	Lítill	
Hea 05 Hljóðvist	3	Ekki	Snýst um hönnun á góðri hljóðvist. Hefur að einhverju leyti áhrif á efnisval.	Engin	
Hea 06 Aðgengi	3	Óbeint	Hvatt er að sé tryggt gott og öruggt aðgengi að byggingu fyrir gangandi og hjólandi. Hvetur til notkunar á loftslagsvænum samgöngumátum en breiðari stígar gætu mögulega aukið efnisnotkun.	Miðlungs	
Hea 07 Náttúruvá	1	Ekki	Krafan var felld út á Íslandi.	Engin	
Hea 08 Útisvæði	1	Ekki	Tengist því að hafa aðgengilegt útisvæði fyrir íbúa.	Engin	
Hea 09 Vatnsgæði	1	Óbeint	Krafa hvetur til notkunar drykkjarfonta sem kæla drykkjarvatn. Gæti falið í sér orkunotkun við kælingu vatns.	Lítill	
Ene 01	13	Beint	Veigamesta krafan í orkukaflanum. Krafan hvetur til þess að dregið sé úr orkunotkun vegna upphitunar og kælingar. Gera þarf orkuútreikninga og bera saman bygginguna við reglugerðarbyggingu og fyrirmyndarbyggingu (Best Practice). SIMIEN hugbúnaður er notaður á Íslandi í þessa útreikninga. Í útreikningunum er oftast einnig reiknuð út orkunotkun vegna heits neysluvatns, lýsingar, tæknilegs búnaðar, vífta, dælna. Í kröfunni eru einnig veitt stig ef vinnustofa er haldin með hönnunarteymi til að hámarka orkunýtni og ef orkuútreikningar eru gerðir reglulega í gegnum hönnunarferlið til að áætla orkunotkun í rekstri. Hægt er að fá viðbótarstig í kröfunni ef hluta af allri "orkuþörf þjónustukerfa er mætt með vistvænni orkuvinnslu (low or zero carbon) á lóðinni (on-site) eða í grenndinni (near-site), auk þess að mæta hluta af orkuþörf búnaðar. Þá er einnig hægt að fá viðbótarstig ef verkkaupi eða notandi byggingar skuldbindur sig til að greiða fyrir eftirfylgni með orkunotkun eftir að bygging er tekin í notkun, þ.m.t. að endurkeyra orkulíkan byggingar með	Mikil	x



raungögnum.				
Ene 02b	2	Óbeint	Rafmagns- og eldsneytisnotkun byggingar birt á skjá í rauntíma til notenda, ásamt tilheyrandi kostnaði og CO ₂ losun, hvetur til að dregið sér úr rafmagnsnotkun.	Miðlungs
Ene 03	1	Beint	Hönnun sem þarf ekki útilýsingu eða val á orkunýttinni útilýsingu sem er stillt með hreyfiskynjurum eða tímarofa þannig að hún sé ekki í gangi á daginn.	Lítill
Ene 04 Lág-kolefnis- hönnun	3	Beint	Veitt er stig fyrir passívar lausnir (Hea 04) ef þær draga úr orkunotkun eða losun CO ₂ í rekstri um 5%. Með passívum lausnum er átt við hönnun sem forðast vélrænar lausnir og hámarkar notkun á náttúrulegum uppsprettum af orku eins og t.d. sólarljósi og jarðvarma á svæðinu. Þetta er gert með því að huga að staðsetningu, afstöðu og formi byggingar, veðurfarsaðstæðna, möguleika á geymslu varma o.s.frv. Einnig er veitt stig ef notaðar eru náttúrulegar lausnir til að kæla bygginguna (frí kæling). Einnig er veitt stig fyrir gerð á greiningu til að meta hvort endurnýjanleg orkuvinnsla á staðnum eða aðrar Low-Zero-Carbon lausnir geta skilað lægri CO ₂ losun og kostnaði. Niðurstaða slíkra greininga í íslensku samhengi hafa oftast verið á þá leið að það borgi sig í kostnaði og CO ₂ losun að nota orku frá dreifikerfi.	Mikil
Ene 05	NA	Ekki	Á ekki við í íbúðarbyggingum.	Engin
Ene 06	3	Beint	Val á orkunýttum lyftubúnaði.	Lítill
Ene 07	NA	Ekki	Á ekki við í íbúðarbyggingum.	Engin
Ene 08	2	Beint	Val á orkunýttum búnaði, þ.e. skrifstofubúnaði (tölvum, skjáir, prentarar), raftækjum, heimilistækjum (ísskápar, uppþvottavélar, þvottavélar, þurrkarar).	Miðlungs
Ene 09	NA	Óbeint	Aðstaða til náttúrulegrar þurrkunar, hvetur til þess að ekki sé notuð vélræn þurrkun (þurrkari). Var metið í fyrri handbók BREEAM International New Construction 2016 en er ekki lengur metið í nýjustu útgáfu, Version 6.	Lítill
Tra 01	4	Óbeint	Hvetur til að staðsetja byggingu nálægt almenningsamgöngum, hvetur þannig til notkunar þeirra.	Mikil
Tra 02	2	Óbeint	Hvetur til að staðsetja byggingu nálægt þjónustu til að lágmarka ferðapörf og tilheyrandi losun.	Miðlungs
Tra 03b	2	Óbeint	Hvetur til notkunar vistvænna ferðamáta, almenningsgangna, rafbíla, hjóla og deilibíla.	Mikil
Tra 04	NA	Óbeint	Hámarksfjöldi bílastæða, hefur letjandi áhrif á notkun einkabílsins og hvetur þannig til notkunar vistvænna ferðamáta. Á ekki við í íbúðarbyggingum nema um dvalarstofnanir sé að ræða.	Mikil
Tra 05	1	Óbeint	Samgönguáætlun sem miðar að því að hvetja til notkunar vistvænna ferðamáta.	Mikil
Tra 06	1	Óbeint	Hvetur til fjarvinnu (heimavinnu) og dregur þannig úr ferðapörf.	Mikil
Wat 01	5	Ekki		Engin
Wat 02	1	Ekki		Engin
Wat 03	1	Ekki		Engin
Wat 04	1	Ekki		Engin
Mat 01	6	Beint	Krafan er tvískipt og snýst annars vegar um gerð vistferilsgreiningar (LCA) fyrir bygginguna og hins vegar um val byggingarefna með umhverfisfyrirséðri (EPD). Í fyrri hlutanum er veittur vaxandi fjöldi stiga eftir því hversu	Mikil x



góður LCA hugbúnaðurinn er og eftir því hversu margir byggingarhlutar voru teknir með í LCA greiningunni. Ekki er veitt sérstaklega stig fyrir að ná árangri í að draga úr kolefnisspori eða öðrum umhverfisáhrifum byggingar en með því að gera greininguna eru upplýsingarnar um umhverfisáhrif gerðar aðgengilegar. Með því að gera vistferilsgreiningu er hægt að sjá hvað veldur mestum umhverfisáhrifum í byggingunni og undirbyggja þannig ákvarðanatöku þegar kemur að því að draga úr umhverfisáhrifum byggingarinnar. Þessi krafa hefur verið helsti hvatinn fyrir því að gera vistferilsgreiningar fyrir byggingar á Íslandi og að mörgu leyti henni að þakka að það séu til upplýsingar um kolefnisspor íslenskra bygginga.

Í seinni hlutanum eru veitt stig ef valin eru 5 eða 10 efnir með umhverfisyfirlýsingu (EPD) á bakvið sig. Þetta býr til eftirspurn eftir umhverfisyfirlýsingum og hvetur þannig framleiðendur til að meta umhverfisáhrifin af framleiðslu sinna vara. En þessi tegund umhverfisyfirlýsinga (Type 3 EPD) felur ekki í sér neinn samanburð við aðrar vörur á markaði. Þ.e.a.s. það er ekkert í umhverfisyfirlýsingunni sem segir að þessi tiltekna vara sé umhverfisvænni en einhver önnur. Val á vöru með umhverfisyfirlýsingu er því engin trygging fyrir því að sú vara sé nokkuð umhverfisvænni en aðrar vörur.

Mat 03	4	Ekki		Engin
Mat 05	1	Óbeint	Lágmarkar viðhaldsþörf með því að hvetja til lausna sem forða byggingu frá skemmdum vegna óhappa og niðurbroti vegna álags frá náttúru.	Miðlungs
Mat 06	1	Beint	Hvetur til að efnisnotkun sé lágörkuð á öllum stigum verkefnis.	Mikil
Wst 01	3	Beint	Setja verður markmið um að draga úr úrgangi á verkstað, auk þess að mæla og vakta. Flokka verður allan byggingarúrgang í ákveðið marga flokka, hvetur til góðrar flokkunar og aukinnar endurvinnslu og endurnýtingar. Veitir einnig stig fyrir að lágmarka magn úrgangs sem fer til urðunar.	Mikil
Wst 02	1	Beint	Stig veitt fyrir endurvinnslu steypu.	Mikil
Wst 03b	2	Óbeint	Veita góða aðstöðu til flokkunar úrgangs á rekstratíma og heimajarðgerðar.	Miðlungs
Wst 04	1	Ekki	Á ekki við.	Engin
Wst 05	1	Óbeint	Bygging sé hönnuð til að þola loftslagsbreytingar yfir líftíma, lágmarkar viðhaldsþörf og líkur á að bygging verði fyrir skemmdum.	Miðlungs
Wst 06	NA	Óbeint	Bygging sé hönnuð til að geta breytt um notkun þannig ekki þurfi að rífa hana ef þarfir breytast í framtíðinni og koma þannig í veg fyrir ótímabært niðurrif byggingar. Á ekki við um íbúðarbyggingar.	Mikil
LE 01	3	Óbeint	Bygging sé staðsett þannig að ekki þurfi að raska náttúrulegu svæði. Jarðrask á náttúrulegum svæðum getur falið í sér losun umfram manngerð svæði.	Miðlungs
LE 02	2	Óbeint	Hvatning til gróðurs og vistfræði á lóð, getur stuðlað að lífrænni bindingu á lóð.	Miðlungs
LE 04	3	Óbeint	Hvatning til gróðurs og vistfræði á lóð, getur stuðlað að lífrænni bindingu á lóð.	Miðlungs
LE 05	2	Óbeint	Hvatning til gróðurs og vistfræði á lóð, getur stuðlað að lífrænni bindingu á lóð.	Miðlungs
Pol 01	4	Beint	Forðast að nota kælimiðla eða þá velja kælimiðla sem hafa lágmarks áhrif á loftslagið (ODP og GWP).	Miðlungs

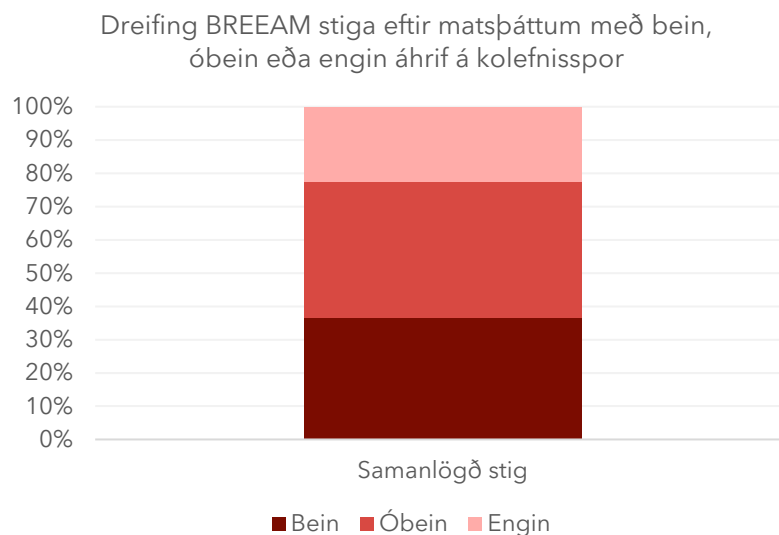


Pol 02	2	Ekki	Á ekki við á Íslandi.	Engin
Pol 03	5	Óbeint	Lágmarka skaða af völdum flóða og úrkomu á byggingu, lágmarkar viðhaldspörf og hættu á skemmdum. Taka þarf tillit til loftslagsbreytinga.	Miðlungs
Pol 04	NA	Óbeint	Lýsing sé lágörkuð á næturnar, gæti dregið úr orkunotkun. Á ekki við u m íbúðarbyggingar nema um dvalarstofnun sé að ræða.	Lítill
Pol 05	1	Ekki	Lágmarka hljóðmengun, á ekki við.	Engin

* Gróft fyrsta mat rýnanda án tölulegrar staðfestingar, byggt á eftirfarandi viðmiði:

Mikil: Kröfur sem gætu dregið úr efnisnotkun, eldsneytisnotkun, urðun úrgangs eða ferðapörf, draga mikið úr orkunotkun eða koma í veg fyrir miklar skemmdir eða ótímabært niðurrif. Miðlungs: Kröfur sem gætu dregið í meðallagi úr orkunotkun, viðhaldspörf eða urðun úrgangs eða auka lífræna bindingu. Lítið: Aðgerðir sem gætu dregið lítillega úr orkunotkun eða hafa lítil áhrif.

Rýni í *BREEAM International New Construction Version 6.0* leiddi í ljós að um 37% stiganna hafa áhrif á kolefnisspor með beinum hætti og 41% stiganna með óbeinum hætti. Því eru 78% stiganna samtals sem hafa ýmist bein eða óbein áhrif á kolefnisspor. Mynd 2 sýnir niðurstöðurnar á dreifingu stiganna.



Mynd 2: Dreifing stiga í BREEAM eftir því hvort þau geti haft bein, óbein eða engin áhrif á kolefnisspor.



Flokkunin á stiginum sem sýnd er á mynd 2 segir ekkert til um hversu mikil áhrifin á kolefnissporið geta verið, einungis hvort stigin geti haft bein, óbein eða engin áhrif á kolefnissporið. Eins og fram hefur komið þá ætti ekki að afskrifa kröfur sem draga óbeint úr losun því þær geta samt sem áður dregið heilmikið úr losun, t.d. kröfur sem er ætlað að breyta ferðavenjum.



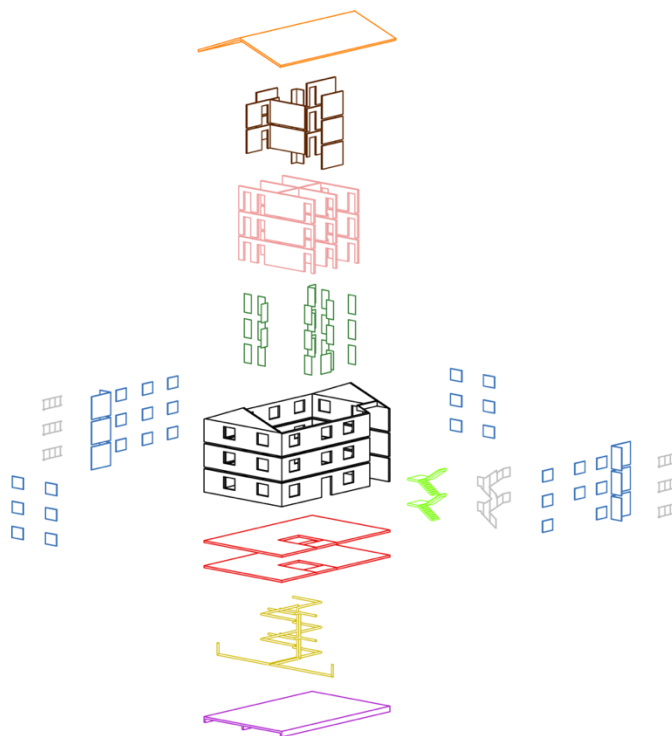
4. Viðmiðunarbyggingar

Almennt um viðmiðunarbyggingu

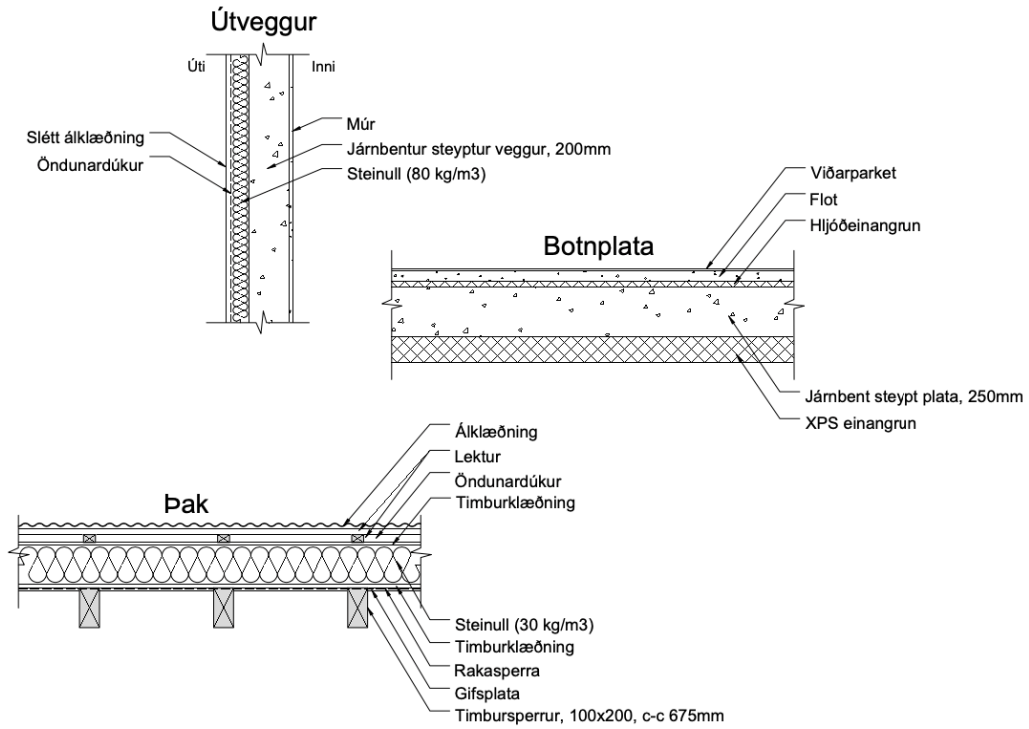
Í þessari greiningu er notast við hönnun á viðmiðunarbyggingu sem er einfalt fjölbýlishús með smáíbúðum. Eins og algengt er í nýbyggingum á Íslandi er viðmiðunarbyggingin staðsteypt. Byggingin er þriggja hæða með 430 m² nettó gólfhlöt sem miðast er við í framsetningu á niðurstöðum greiningarinnar þegar kílógrömm koltvísýrings-ígilda á fermetra eru gefin upp (kgCO₂e/m²). Í viðmiðunarbyggingunni eru fimm 55-65 m² smáíbúðir og sameiginlegt þvotta- og geymslurými.

Stafrænt módel

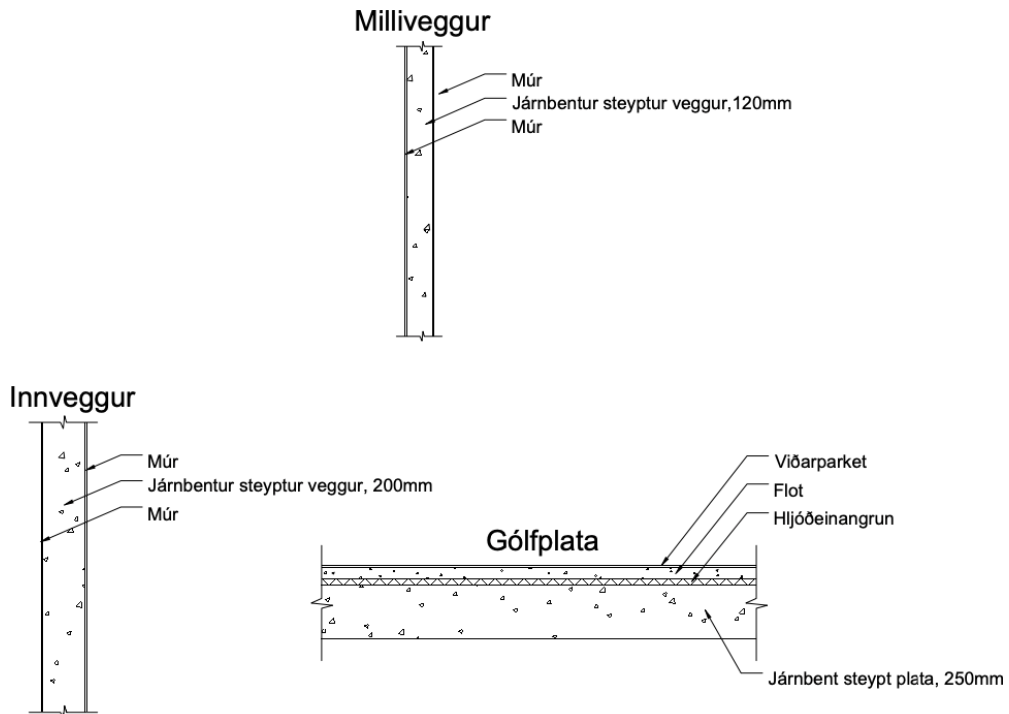
Eins og áður hefur verið nefnt eru tvær útfærslur af viðmiðunarbyggingunni bornar saman í vistferilsgreiningu. Byggingaðferð og mál beggja útfærslna eru eins en breytubættirnir tengjast einangrunarþykktum, orkukerfum og vali á byggingarefnaframleiðendum sem verður nánar útskýrt síðar í þessum aðferðakafla. Viðmiðunarbyggingin var teiknuð upp í þrívíddar teikniforritinu Rhino 7 til þess að auðvelda utanumhald og magntöku á byggingarefnum. Á mynd 3 má sjá viðmiðunarbygginguna og byggingarhlutana sem eru teknir með í greiningunni og á mynd 4a og 4b má sjá gróf deilisnið sem notuð eru í báðum útfærslum með mismunandi þykktum á einangrunarlögum.



Mynd 3: Viðmiðunarbyggingin og byggingarhlutarnir sem metnir eru í greiningunni.



Mynd 4a: Gróf deilisið á helstu byggingathlutum.



Mynd 4b: Gróf deilisið á helstu byggingathlutum



Breytuþættir í samanburði

Eins og hefur komið fram, þá er ekki verið að meta allar kröfur BREEAM heldur var ákveðið að takmarka greininguna við BREEAM kröfur Ene 01 og Mat 01 (skilyrði 5). Ene 01 snýst um varmaorkusparnað í rekstri. Mat 01 krafan er tvískipt, fyrri hlutinn kveður á um að gerð sé vistferilsgreining (skilyrði 1-4), án þess að gerð sé nein sérstök krafa til að draga úr losun. Seinni hlutinn (skilyrði 5) tengist vali á byggingarefnavörum sem hafa umhverfisyfirlýsingu. Til að meta áhrif Mat 01 voru nokkur byggingarefni valin af handahófi frá framleiðendum sem hafa gefið út umhverfisyfirlýsingu fyrir sínar vörur. Grunnlínuútfærslan af viðmiðunarbyggingunni var gerð þannig að hún uppfyllir einangrunarkröfur byggingarreglugerðar fyrir íbúðahúsnæði. Varmaorkunýtna útfærslan er betur einangruð og U-gildi byggingarhluta í veðurhlíf byggingarinnar (útveggjum, þaki og botnplötu) eru 25% lægri en í óvottuðu útfærslunni. Í Ene 01 kröfunni í BREEAM vottunarkerfinu eru stig fyrir orkunýtingu m.a. gefin háð samanburði við byggingarreglugerð á þeim stað sem verið er að byggja (BRE Global, 2021). Í varmaorkunýtnu útfærslunni er vélrænu loftunarkerfi einnig bætt við en í grunnlínuútfærslunni er náttúruleg loftun en einangrunargildi glugga eru eins í báðum útfærslum. Vekja verður athygli á því að BREEAM vottunarkerfið gerir ekki kröfu um vélræna loftræstingu heldur er hægt að fá stig fyrir náttúrulega loftræstingu (Hea 2 skilyrði 18-19) og líka fyrir passívar lausnir (Hea 04). Með passívum lausnum er átt við hönnun sem forðast vélrænar lausnir og hámarkar notkun á náttúrulegum uppsprettum af orku eins og t.d. sólarljósi og jarðvarma á svæðinu. Þetta er gert með því að huga að staðsetningu, afstöðu og formi byggingar, veðurfarsaðstæðna, möguleika á geymslu varma o.s.frv.

BREEAM hvetur því til orkusparnaðar en gerir ekki upp á milli vélrænnar og náttúrulegrar loftræstingar. En hér er horft til krafna BREEAM um varmaorkunýtni til að útbúa orkunýtnu útfærsluna. Í töflu 1 má sjá yfirlit yfir breytuþættina sem notaðir eru í greiningunni.

Tafla 2: Yfirlit yfir breytuþætti í samanburði á grunnlínubyggingu og varmaorkunýttinni byggingu með handahófsvöldum umhverfisyfirlýsingum.

Breytuþáttur	Eiginleikar í grunnlínubyggingu	Eiginleikar í varmaorkunýttinni byggingu með umhverfisyfirlýsingum	Samsvarandi matsþættir í BREEAM
Einangrun (U-gildi, þykkt einangrunarlags)	Þak: 0,2 W/m ² K Útveggir: 0,4 W/m ² K Botnplata: 0,3 W/m ² K Gluggar: 1 W/m ² K	Þak: 0,15 W/m ² K Útveggir: 0,3 W/m ² K Botnplata: 0,225 W/m ² K Gluggar: 1 W/m ² K	Ene 01 (minni orkunotkun vegna upphitunar)
Loftun	Náttúruleg*	Vélræn, stýrt loftflæði inn og út, varmaskiptir með 60% nýtni	Ene 01 (minni orkunotkun vegna upphitunar)
Val á framleiðendum byggingarefna	Engar kröfur, vistferilsgreiningargögn úr almennum gagnagrunni notuð	Vörur með útgefnar umhverfisyfirlýsingar valdar af handahófi og gögn úr þeim notuð í vistferilsgreiningu	Mat 01 skilyrði 5 (umhverfisyfirlýsingar)

* Vakin er athygli á því að einnig er hægt að fá stig í BREEAM fyrir náttúrulega loftræstingu.



Viðmiðunargildi og útreikningar fyrir orkuþörf (loftun, heitt vatn, hitun og rafmagn)

Heildar orkuþörf samsett af húshitun (leiðnitapi byggingarluta og lofskiptatapi), heitavatnsnotkun og rafmagnsnotkun (raftæki og lýsing) var reiknuð fyrir báðar útfærslur af viðmiðunarbyggingunni. Árleg varmaþörf vegna leiðnitaps og lofskiptataps er reiknað með formúlu (1).

Heildarvarmatapsstuðull vegna leiðni í byggingarhlutum í veðurhlíf er reiknaður formúlu (2).

Heildarvarmatapsstuðull vegna lofskiptataps er reiknaður með formúlu (3). Helstu gildi sem miðast er við í orkuútreikningunum eru sýnd í töflu 3. Til þess að gera ráð fyrir þeirri orku sem berst byggingu „gefins“ til húshitunar t.d. með sólargeislun er hönnunargildi fyrir innihita lækkað um 2,5 °C (Björn Marteinnsson, 2019).

Vakin er athygli á því að hægt er að fá stig í BREEAM fyrir að framkvæma loftþéttleikapróf og hitamyndun á byggingu til að lágmarka kuldaþrýr og tryggja loftþéttleika byggingar (Man 03 skilyrði 7-9). Þetta tvennt gæti dregið umtalsvert úr bæði leiðnitapi og lofskiptatapi en erfitt er hins vegar að meta hversu mikið. Því var ekki tekið tillit til þessa í greiningunni.

Einnig er vert að taka fram að margar aðrar kröfur í BREEAM stuðla að minni orkunotkun, m.a. vegna lýsingar, heimilistækja, raftækja, lyftubúnaðar og annars búnaðar. Ekki er tekið tillit til þess í greiningunni.

$$Q = G \cdot (L_D + H_V) \quad (1)$$

þar sem

Q er varmi [kWh]

G er gráðutímafjöldi [Kh]

L_D er heildarvarmatapsstuðull vegna leiðni [W/K]

H_V er heildarvarmatapsstuðull vegna lofskipta [W/K]

$$L_D = \sum_i U_i \cdot A_i \quad (2)$$

þar sem

L_D er heildarvarmatapsstuðull vegna leiðni [W/K]

U_i er U-gildi byggingarluta i (varmatap byggingarluta i í flataeiningu) [W/m²K]

A_i er flatarmál byggingarluta i .

$$H_V = V_a \cdot \rho_a \cdot c_a \cdot \left(1 - \frac{\eta_{hx}}{100}\right) \quad (3)$$

þar sem

H_V er heildarvarmatapsstuðull vegna lofskipta [W/K]

V_a er loftræst magn [m³/h]

ρ_a er eðlisþéttleiki lofts [kg/m³]

c_a er eðlisvarmi lofts [J/kgK]

η_{hx} er nýtni varmaskipta í vélrænu loftunarkerfi [%]



Tafla 3: Viðmiðunargildi fyrir orkuútreikninga.

Innihiti	22 °C
Ársmeðalhiti úti (m.v. Reykjavík 1991 - 2021)	5,4 °C (Veðurstofa Íslands, 2022)
Fjöldi loftskipta	0,5 h ⁻¹
Rafmagnsafþörf vélræns loftunarkerfis	2 kW/m ³ /s
Árleg rafmagnspörf raftækja	14 kWh/m ²
Árleg rafmagnspörf lýsingar	4 kWh/m ²
Árleg varmaþörf heitavatnsnotkunar	19,8 kWh/m ²





5. Vistferilsgreining

5.1 Markmið og umfang vistferilsgreiningar (e. Goal and scope)

Markmið

Markmið þessarar greiningar er að skoða tvær BREEAM kröfur (Ene 01, Mat 01 skilyrði 5) og meta hversu mikið þær geta dregið úr útblæstri gróðurhúsalofttegunda vegna framleiðslu byggingarefna og orkunotkunar byggingarinnar. Markmiðið er að sýna með tölulegum hætti hversu mikils árangurs má vænta af því að hanna varmaorkunýtnar byggingar skv. Ene 01 kröfu BREEAM og velja byggingarefni með umhverfisyfirlýsingu af handahófi.

Taka ber fram að margir aðrir þættir í BREEAM stuðla að minni losun gróðurhúsalofttegunda og þessari greiningu er því ekki ætlað að vera úrskurður um gagnsemi BREEAM vottunarkerfisins til að draga úr losun. Greiningin er hins vegar fyrsta skref í átt að því að magnsetja árangur BREEAM vottunarkerfisins með því að taka fyrir mögulegan ávinning af tveimur tilteknum kröfum í BREEAM.

Ástæðan fyrir því að farið var í þessa greiningu, er aðgerð „5.2.1 Greina ávinning og kostnað umhverfisstæðna: Reynsla hagsmunaaðila á vistvottunarkerfum og samanburður á losun vottaðra og óvottaðra mannvirkja.“ í Vegvísi að vistvænni mannvirkjagerð sem Húsnæðis- og mannvirkjastofnun gaf út árið 2022. Þó þessi greining kortleggi ekki fyllilega losun vottaðs og óvottaðs mannvirkis þá er hún fyrsta skref í þeirri vegferð og auk þess eykur hún þekkingu á kostum og göllum vottunarkerfisins.

Ætlaður markhópur þessarar greiningar og skýrslu eru aðilar Grænni byggðar og aðrir aðilar á byggingarmarkaði. Þessi vistferilsgreining uppfyllir ekki allar þær kröfur sem gerðar eru í staðli ISO 14044 til samanburðarvistferilsgreininga sem ætlað eru almenningi (comparative assertions intended to be disclosed to the public).

Kerfismörk

Kerfismörk þessarar vistferilsgreiningar ná yfir annars vegar innbyggt kolefnisspor vegna framleiðslu byggingarefna og hins vegar kolefnisspor frá orkunotkun í rekstri yfir allan líftíma bygginganna. Kerfismörkin í greiningunni eru afmörkuð við bygginguna sjálfa og því er byggingarlóðin og nærumhverfi utan kerfismarka. Í greiningunni eru eftirfarandi fullkláraðir byggingarhlutar teknir með: Botnplata (með undirstöðum inniföldum), útveggir, gólfplötur, innveggir (burðarveggir), milliveggir, þak, stigi í stigagangi, stigahandrið, svalahandrið, gluggar (gler og gluggakarmar), hurðir og vélrænt loftunarkerfi (aðeins í vottaðri útfærslu). Flutningur byggingarefna á framkvæmdastað og byggingarframkvæmdin sjálf, t.d. orkunotkun vinnuvéla, er ekki tekið með í greiningunni og einnig eru innréttingar og húsgögn ekki með. Jafnframt er niðurri og úrgangsmeðhöndlun að loknum líftíma bygginganna ekki metin. Því er ekki um að ræða fulla vistferilsgreiningu, heldur einfaldaða vistferilsgreiningu. Gert er ráð fyrir viðhaldi yfir líftíma bygginganna þannig að ákveðnir byggingarhlutar eru endurnýjaðir að fullu eða hluta til.

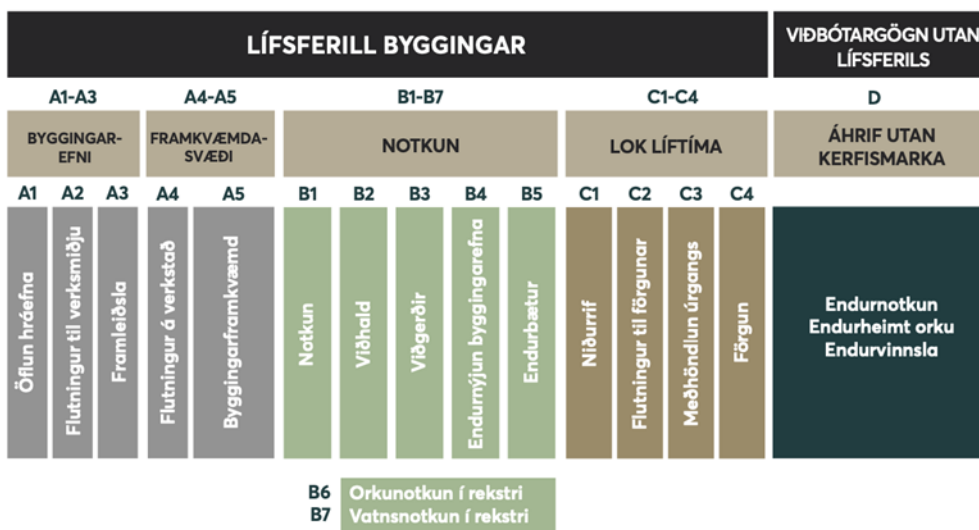
Gert er ráð fyrir 50 ára notkunartíma á byggingunum. Kerfismörk fyrir kolefnisspor orkunotkunar miðast við þá orku sem er notuð innan bygginganna eftir að þær eru teknar í notkun þangað til að



notkunartíma lýkur. Orkuþörf fyrir húshitun, heitt vatn og rafmagn í lýsingu og raftæki / vélrænan búnað er tekin með í greiningunni.

Vistferilsgreiningin er gerð í samræmi við kröfur í EN 15978:2011 staðlinum fyrir vistferilsgreiningar á byggingum (European Standards, 2012). Lífsferilsfasar sem skoðaðir eru í þessari greiningu eru A1, A2 og A3 (öflun hráefna og framleiðsla á byggingarefnum), B4 (endurnýjun byggingarefna) og B6 (orkunotkun í rekstri). Þessir fasar eru valdir vegna þess að þeir hafa að jafnaði mesta kolefnissporið á lífsferli steyptra bygginga og einnig er aðgengi að gögnum til að meta þessa fasa gott (Maierhofer et al., 2022). Í kafla 5 er nánar farið út í takmarkanir tengdar vali á lífsferilsfösum. Mynd 5 sýnir yfirlit yfir lífsferilsfasana í EN 15978:2011 staðlinum.

Taka ber fram að þetta er ekki full vistferilsgreining því hún nær nær ekki yfir flutning byggingarefna á verkstað (A4), efnisnotkun, orkunotkun og úrgang á framkvæmdatíma (A5), né heldur yfir lok líftíma (C1-C4). Vistferilsgreiningin nær ekki heldur yfir samgögur á rekstartíma, sem hafa verið gefið heitið lífsferilsfasi "B8 Operational Transport" í norskum stöðlum (NS 3720). Nokkrar BREEAM kröfur snúast um að lækka losun gróðurhúsalofttegunda á framkvæmdatíma og vegna samgangna notenda byggingarinnar en þær eru ekki metnar í þessari greiningu.



Mynd 5: Lífsferilsfasar í vistferilsgreiningu bygginga í EN 15978:2011 (Byggjum grænni framtíð, 2022).

Aðgerðareining

Aðgerðareining greiningar er 1 m² af gólfleti upphituðu íbúðarýmis. Vakin er athygli á því að sameignarrýmum er sleppt í aðgerðareiningunni og niðurstöður hennar því ekki samanburðarhæfar við niðurstöður vistferilsgreininga fyrir aðrar byggingar nema að þær séu íbúðarbyggingar og styðjist við sömu aðgerðareiningu.

Umhverfisáhrifaþættir

Umhverfisáhrifaþátturinn sem skoðaður er í þessari greiningu er kolefnisspor (hnatthlúnunarmáttur) bygginganna. Reikniaðferðin IPCC 2013 er notuð er til að reikna kolefnissporið sem er síðan metið með vísi fyrir 100 ára hnatthlúnunarmátt (GWP 100a). Einingin sem notuð er í niðurstöðunum er kílógrömm kolefnis-ígilda á fermetra (kgCO₂e/m²).



Uppruni og gæði gagna

Til útreikninga er forritið *OpenLCA* notað með gagnagrunninum *Ecoinvent 3.8 - cut-off* og gögn úr umhverfisyfirlýsingum nokkurra byggingarefna eru einnig notuð (ecoinvent, 2022; GreenDelta, 2022).

Fyrir greiningu á kolefnisspori vegna orkunotkunar í rekstri er miðað við að losun á hverja kílóvattstund (kWh) í orkunotkun sé 0.007 kgCO₂/kWh en þetta gildi er byggt á útgefnum upplýsingum frá Landsvirkjun og Orku náttúrunnar (Landsvirkjun, 2022; Orka náttúrunnar, 2022). Vert er að taka fram að þessi tala byggir ekki á vistferilsgögnum, heldur einungis losun vegna reksturs virkjana. Uppbygging virkjana er ekki með í tölunni.

Áhrif bundins kolefnis í lífgrunduðum byggingarefnum eru ekki skoðuð sérstaklega í greiningunni en þar sem lítið er um lífgrunduð efni í viðmiðunarbyggingunni er lítið kolefni bundið.

Takmarkanir greiningar

Helstu takmarkanir vistferilsgreiningar eru að hún tekur ekki á öllum kröfum BREEAM sem geta dregið úr losun gróðurhúsalofttegunda og greiningin getur því ekki talist vera samanburður á BREEAM vottaðri og óvottaðri byggingu. Vistferilsgreiningin er einnig takmörkuð að því leyti að hún nær ekki yfir allan vistferil byggingar.

5.2 Upplýsingaöflun og úrvinnsla (e. Life Cycle Inventory Analysis)

Framleiðsla byggingarefna (A1-A3)

Magntökuýfirlit af byggingarefnum (A1-A3) má sjá í töflu 4 fyrir grunnlínubyggingu og töflu 5 fyrir orkunýtna byggingu með umhverfisyfirlýsingum. Töflurnar vísa einnig í þau vistferilsgreiningargögn sem notuð eru í greiningunni. Eins og minnst hefur verið á er munur í efnisvali á milli útfærslna. Í grunnlínubyggingunni eru vörur með umhverfisyfirlýsingu einungis valdar fyrir steinullareinangrun. Það er gert vegna þess að steinullin sem framleidd er á Íslandi af Steinull hf. hefur útgefna umhverfisyfirlýsingu og líklega myndi íslensk steinull vera notuð óháð því hvort byggingin færi í vottunarferli eða ekki. Í orkunýtnu útfærslunni hafa umhverfisyfirlýsingar verið valdar af handahófi fyrir 6 efni umfram steinullina.

Tafla 4: LCA inntakslisti af byggingarefnum (A1-A3) grunnlínubyggingu.

Efni	Vistferilsgreiningargögn	Magn	Eining	Kolefnisspor (kgCO ₂ -íg/m ²)
Múrefni	Ecoinvent: "market for base plaster, GLO"	75943	kg	46.5
Steypa	Ecoinvent: "concrete production 25MPa, North America without Quebec"	363800	kg	85.3
	Ecoinvent: "concrete production 35MPa, North America without Quebec"	286896	kg	101.1
Stál	Ecoinvent: "reinforcing steel production, Europe without Austria"	9869	kg	53.6
	Ecoinvent: "steel production, chromium steel 18/8, hot rolled, RER"	1913	kg	25.0



Vélrænt loftunarkerfi	-	0	-	0.0
Gler	Ecoinvent: "flat glass production, coated, RER"	2803	kg	7.5
Álklæðning	Ecoinvent: "aluminium alloy production, AlMg3, RER"	3016	kg	55.2
Einangrun	EPD: Steinull hf.: Stone wool insulation, density group 75-100 kg/m3 (Steinull hf., 2019b)	2008	kg	2.1
	EPD: Steinull hf.: Stone wool insulation, density group 20-75 kg/m3 (Steinull hf., 2019a)	1227	kg	1.3
	Ecoinvent: "polystyrene production, extruded, CO2 blown, RER"	525	kg	5.3
	Ecoinvent: "cork slab production, RER"	290	kg	0.8
Timbur	Ecoinvent: "lath, softwood, raw, kiln drying to u=10%, Europe without Switzerland"	586	kg	0.2
	Ecoinvent: "board, softwood, raw, kiln drying to u=10%, Europe without Switzerland"	3646	kg	1.0
	Ecoinvent: "beam, softwood, raw, kiln drying to u=10%, Europe without Switzerland"	3351	kg	1.0
	Ecoinvent: "glued laminated timber production, PUR-glue, CH"	608	kg	0.3
	Ecoinvent: "board, hardwood, raw, kiln drying to u=10%"	4920	kg	1.1
Gífsplötuklæðning	Ecoinvent: "gypsum plasterboard production, CH"	2069	kg	1.5
Rakavörn	Ecoinvent: "packaging film production, low density polyethylene, RER"	51	kg	0.4
Öndunardúkur	Ecoinvent: "textile production, nonwoven polypropylene, spunbond, IN"	103	kg	1.0

Tafla 5: LCA inntakslisti af byggingarefnum (A1-A3) orkunýttinnar byggingar með umhverfisyfirlýsingum völdum af handahófi.

Efni	Vistferilsgreiningargögn	Magn	Eining	Kolefnisspor (kgCO ₂ -íg/m ²)
Múrefni	EPD: FEICA - Association of the European Adhesive and Sealant Industry: Modified mineral mortars, group 2 (FEICA, 2016)	49520	kg	46.3
Steypa	EPD: BM Vallá: Ready mix concrete 25 ECO indoor (BM Vallá, 2020a)	347188	kg	71.6
	EPD: BM Vallá: Ready mix concrete C30/C37 outdoor (BM Vallá, 2020b)	284913	kg	85.9
Stál	Ecoinvent: "reinforcing steel production, Europe without Austria"	9596	kg	47.3
	Ecoinvent: "steel production, chromium steel 18/8, hot rolled, RER"	1913	kg	22.7
Vélrænt loftunarkerfi	Ecoinvent: "ventilation system production, decentralized, 6 x 120 m ³ /h, steel ducts, RoW"	0.5	stk.	10.4
Gler	Ecoinvent: "flat glass production, coated, RER"	2803	kg	6.8
Álklæðning	Ecoinvent: "aluminium alloy production, AlMg3, RER"	3016	kg	50.1



Einangrun	EPD: Steinull hf.: Stone wool insulation, density group 75-100 kg/m3 (Steinull hf., 2019b)	2757	kg	2.7
	EPD: Steinull hf.: Stone wool insulation, density group 20-75 kg/m3 (Steinull hf., 2019a)	1669	kg	1.6
	EPD: Danosa: Danopren (DANOSA, 2019)	819	kg	4.5
	Ecoinvent: "cork slab production, RER"	290	kg	0.7
Timbur	Ecoinvent: "lath, softwood, raw, kiln drying to u=10%, Europe without Switzerland"	586	kg	0.2
	Ecoinvent: "board, softwood, raw, kiln drying to u=10%, Europe without Switzerland"	3646	kg	1.0
	Ecoinvent: "beam, softwood, raw, kiln drying to u=10%, Europe without Switzerland"	3351	kg	0.9
	Ecoinvent: "glued laminated timber production, PUR-glue, CH"	608	kg	0.3
	Ecoinvent: "board, hardwood, raw, kiln drying to u=10%"	4920	kg	1.1
Gifspötuklæðning	EPD: Knauf A/S: Knauf Danogips Secura Board (Knauf A/S, 2015)	2748	kg	1.9
Rakavörn	Ecoinvent: "packaging film production, low density polyethylene, RER"	51	kg	0.3
Öndunardúkur	EPD: Manifattura Fontana SPA: Drefon ST (MANIFATTURA FONTANA SPA, 2022)	103	kg	0.8

Endurnýjun byggingarluta (B4)

Gert er ráð fyrir viðhaldi yfir líftíma bygginganna þannig að ákveðnir byggingarhlutar eru endurnýjaðir að fullu eða hluta til. Yfirborðsklæðningar á ytra byrði veðurhlífar, gluggar, gólfefni og vélrænt loftunarkerfi er áætlað að þurfi að endurnýja einu sinni á miðjum líftíma bygginganna.

Orkunotkun í rekstri (B6)

Tafla 6: LCA inntakslisti af orkunotkun (B6) grunnlínubyggingu.

Orkuþáttur	Vistferilsgreiningargögn	Magn (árlegt)	Eining	Kolefnisspor (árlegt) [kgCO ₂ -íg/m ²]
Raftæki	(Landsvirkjun, 2022; Orka náttúrunnar, 2022)	5460	kWh	4.4
Lýsing	(Landsvirkjun, 2022; Orka náttúrunnar, 2022)	1560	kWh	1.3
Heitt vatn	(Landsvirkjun, 2022; Orka náttúrunnar, 2022)	7720	kWh	6.3
Loftskiptatap	(Landsvirkjun, 2022; Orka náttúrunnar, 2022)	29400	kWh	23.9
Leiðnitap	(Landsvirkjun, 2022; Orka náttúrunnar, 2022)	42800	kWh	34.8
Vélrænt loftunarkerfi	-	0	-	0.0



Tafla 7: LCA inntakslisti af orkunotkun (B6) grunnlínubyggingu orkunýtinnar byggingar með umhverfisyfirlýsingum völdum af handahófi.

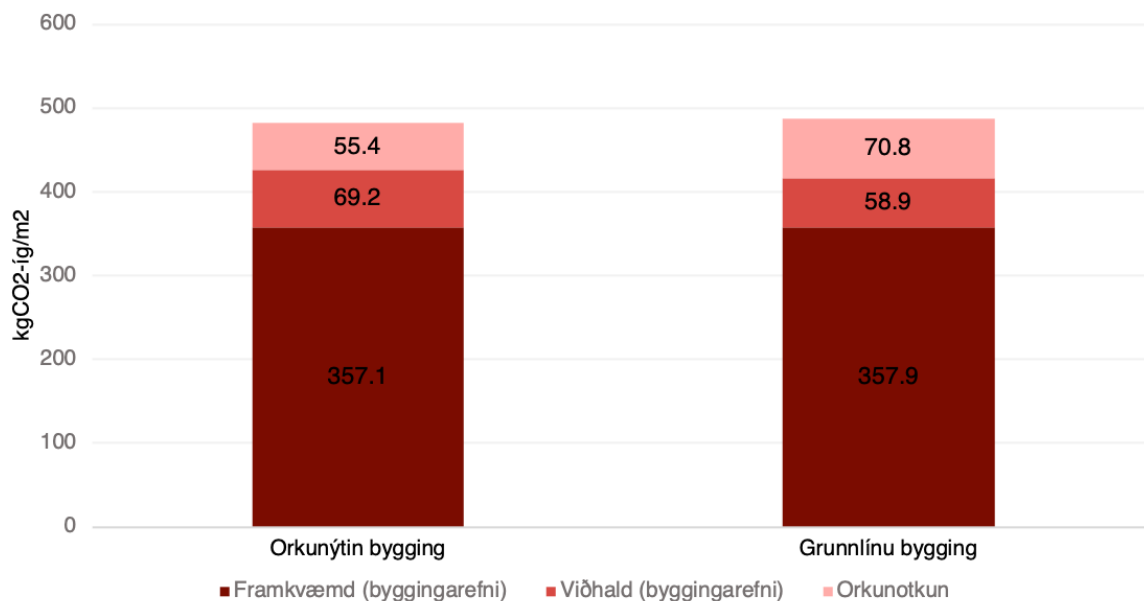
Orkupáttur	Vistferilsgreiningargögn	Magn (árlegt)	Eining	Kolefnisspor (allur líftími) [kgCO ₂ -íg/m ²]
Raftæki	(Landsvirkjun, 2022; Orka náttúrunnar, 2022)	5460	kWh	4.4
Lýsing	(Landsvirkjun, 2022; Orka náttúrunnar, 2022)	1560	kWh	1.3
Heitt vatn	(Landsvirkjun, 2022; Orka náttúrunnar, 2022)	7720	kWh	6.3
Loftskiptatap	(Landsvirkjun, 2022; Orka náttúrunnar, 2022)	15000	kWh	12.2
Leiðnitap	(Landsvirkjun, 2022; Orka náttúrunnar, 2022)	35600	kWh	28.9
Vélrænt loftunarkerfi	(Landsvirkjun, 2022; Orka náttúrunnar, 2022)	2770	kWh	2.3

5.3 Niðurstöður vistferilsgreiningar (e. Life Cycle Impact Assessment)

Niðurstöður vistferilsgreiningarinnar eru teknar saman á mynd 6 þar sem sjá má hvernig kolefnisspor vegna byggingarefna og orkunotkunar er borið saman fyrir grunnlínubyggingu og orkunýtna byggingu með umhverfisyfirlýsingum. Á myndinni er sýnd aðgreining á milli losunar vegna framleiðslu á byggingarefnum fyrir upphaflega framkvæmd (A1-A3), losunar vegna framleiðslu á byggingarefnum fyrir endurnýjun byggingarhluta (B4) og losunar vegna orkunotkunar í rekstri (B6). Niðurstöðurnar eru sýndar í losun á hvern fermetra af hituðu íbúðarými, þ.e. án gólfplatar sameignarrýma. Heildar kolefnisspor er nánast það sama í báðum útfærslum. Nánar tiltekið þá er heildarkolefnisspor byggingarefna og orkunotkunar í grunnlínuútfærslunni 487,6 kgCO₂-íg/m² og í orkunýtnu útfærslunni með umhverfisyfirlýsingum er það aðeins 1,2% lægra eða 481,8 kgCO₂-íg/m². Hverfandi munur er á innbyggðu kolefnisspori vegna framleiðslu byggingarefna við reisingu byggingar (A1-A3). Sé litið til kolefnisspors vegna framleiðslu byggingarefna til viðhalds (B4), þá er það hærra í orkunýtnu útfærslunni með umhverfisyfirlýsingum eða 69,2 kgCO₂-íg/m² samanborið við 58,9 kgCO₂-íg/m² í grunnlínuútfærslunni. Kolefnisspor frá orkunotkun í rekstri er lægra í orkunýtnu útfærslunni, 55,4 kgCO₂-íg/m², samanborið við 70,8 kgCO₂-íg/m² í grunnlínuútfærslunni.



Samanburður á heildar kolefnisspori orkunýttinnar byggingar með handahófsvöldum efnnum með umhverfisyfirlýsingar og grunnlínu byggingar (miðað við 7 gCO₂-íg/kWh)



Mynd 6: Samanburður á kolefnisspori byggingarefna og orkunotkunar fyrir orkunýtna byggingu með handahófsvöldum umhverfisyfirlýsingum og fyrir grunnlínubyggingu.

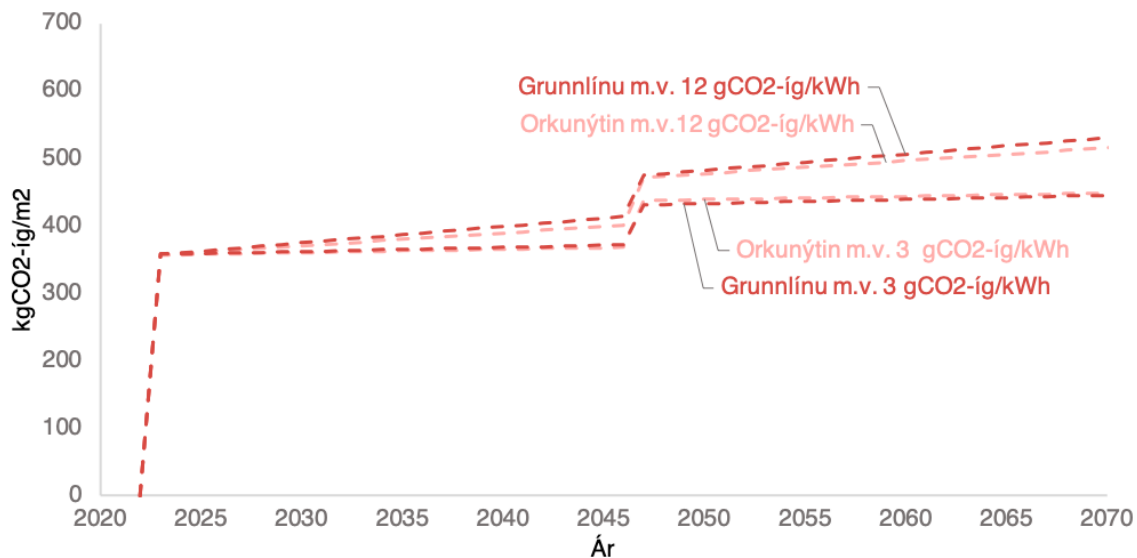
Vörur með umhverfisyfirlýsingu sem valdar voru af handahófi fyrir nokkur af helstu byggingarefnum í orkunýtnu útfærslunni draga lítillega úr losun frá byggingarefnum en sá ávinningur hverfur þegar við bætist vélrænt loftunarkerfi og meira magn af einangrunarefnum sem eykur kolefnisspor frá byggingarefnum. Vélræni loftunarbúnaðurinn og aukin einangrun lækka kolefnisspor vegna orkunotkunar í rekstri en á móti kemur þá eykst kolefnisspor vegna byggingarefna. Reiknað var með 25 ára líftíma á vélrænum loftunarbúnaði og því var gert ráð fyrir að hann væri endurnýjaður einu sinni á líftíma orkunýtnu byggingarinnar. Það skýrir hærra kolefnisspor í viðhaldshlutnum (B4) í orkunýtnu byggingunni.

Orkuþörf orkunýtnu útfærslunnar er 21,7 % lægri en í grunnlínuútfærslunni eða 158,4 kWh/m² árlega samanborið við 202,2 kWh/m² árlega sem leiðir til lægra kolefnisspors vegna orkunotkunar í orkunýtnu byggingunni. Í skýrslu frá BREEAM um árangur BREEAM vottaðra bygginga í Bretlandi sem kom út árið 2015 var orkuþörf í vottuðum byggingum að meðaltali um 22% lægri miðað við venjulegar byggingar og því eru niðurstöðurnar í þessari greiningu í samræmi við það (BRE Global, 2015). Reyndar kom sú skýrsla út áður en sú útgáfa BREEAM sem hér er stuðst við (2016) og því mætti vænta þess að orkunýtni hafi aukist síðan þá. Þess má geta að í skýrslunni frá BREEAM er talað um að prósentulækkun í orkuþörf og prósentulækkun í kolefnisspori byggingar sé sú sama, sem er eflaust rétt víða annars staðar í heiminum. Á Íslandi er losun frá orkuvinnslu lág, og því skilar aukinn orkusparnaður í rekstri bygginga einungis litlum samdrætti í heildar kolefnisspori bygginga. Niðurstöðurnar staðfesta þetta og sýna að Ene 01 krafan í BREEAM vottunarkerfinu, sem á að draga úr kolefnisspori vegna orkunotkunar, skilar takmörkuðum árangri á Íslandi.

Mynd 7 sýnir samanburð á kolefnisspori byggingarefna, viðhalds og orkunotkunar í rekstri fyrir grunnlínubyggingu og orkunýtna byggingu með umhverfisyfirlýsingum yfir líftíma bygginganna (50 ár, miðað við framkvæmd árið 2022). Einnig eru sýnd áhrif þess ef losun orkuvinnslu væri lægri, þ.e. fyrir lægra gildi á kolefnislosun á hverja kílóvattstund sem notuð er í rekstur bygginganna.



Samanburður á kolefnisspori orkunýttinnar byggingar með handahófsvöldum efnum með umhverfisyfirlýsingar og grunnlínu byggingar yfir líftíma þeirra



Mynd 7: Samanburður á kolefnisspori yfir líftíma orkunýttinnar byggingar með handahófsvöldum efnum með umhverfisyfirlýsingar (EPD) og grunnlínubyggingar með breytileg losunargildi á hverja kílóvattstund í orkuþörf.

Því hærra sem gildið á kolefnislosun fyrir hverja kílóvattstund er því betur kemur orkunýtna byggingin út miðað við grunnlínubygginguna. Mynd 7 sýnir einnig skýrt hversu ólík tímasetning er á kolefnisspori byggingarefna og kolefnisspori vegna orkunotkunar í rekstri bygginga þegar losunin er skoðuð yfir tíma. Byggingarefnin valda mikilli kolefnislosun yfir stuttan tíma á meðan framkvæmd eða viðhald stendur yfir en losun frá orkunotkun í rekstri dreifist jafnt yfir langan tíma. Þessi ólíka dreifing skiptir máli í ljósi loftslagsmarkmiða sem eru sett fyrir ákveðnar tímasetningar. Losun frá byggingarefnum í nýbyggingum gengur hraðar á þá losun sem innstæða er fyrir til að ná markmiðunum heldur en kolefnisspor frá orkunotkun í rekstri nýrra bygginga.



6. Samanburður á losun byggingarefna með umhverfisyfirlýsingar

Umhverfisyfirlýsingar (EPD) veita staðfestar upplýsingar um umhverfisáhrif vöru út frá niðurstöðum lífsferilsgreiningar. Aðferðafræðin sem notast er við í greiningunni fylgir reglugerðum, sem eykur gagnsæi og traust um að upplýsingar um vöruna séu réttar. Hvaða vara sem er getur verið með EPD, og því eru umhverfisáhrif vöru með EPD ekki endilega minni en vöru án. Það má hins vegar leiða líkum að því að umhverfivænni framleiðendur séu mögulega fyrri til að láta gera umhverfisyfirlýsingar fyrir sínar vörur og að framleiðendur láti yfirleitt fyrst gera umhverfisyfirlýsingu fyrir umhverfivænni vörurnar sínar. Tölur 8 og 9 sýna kolefnislosun áklæðninga og byggingatimburs með EPD, ásamt ferlum byggingarefna úr Ecoinvent 3.8.

Tafla 8: Samanburður á kolefnisspori (fasa A1-A3) áklæðninga með EPD, ásamt ferli úr Ecoinvent 3.8

Nafn vöru	Meðal þykkt	Upprunasvæði	Tegund	Kolefnisspor A1-A3	
Single sheet aluminium cladding, ép. 1 mm,		Frakkland	Meðaltal upprunasvæðis	83.5	kg CO2-eq./m2
				30.9	kg CO2-eq./kg
Metawell® Decken/Wandpaneel glatt 4,6 kg/m2 (Metawell GmbH)	6 mm	Þýskaland	Einn framleiðandi	27.7	kg CO2-eq/m2
				6.0	kg CO2-eq./kg
Metawall® 5,2 kg/m2 (Metawell GmbH)	10 mm	Þýskaland	Einn framleiðandi	28.8	kg CO2-eq/m2
				5.5	kg CO2-eq./kg
Metawall® A2 6,8 kg/m2 (Metawell GmbH)	15 mm	Þýskaland	Einn framleiðandi	34.3	kg CO2-eq/m2
				5.0	kg CO2-eq./kg
Aluminium cladding wall, 5.6 kg/m2 (Arcelormittal Construction France)		Frakkland	Einn framleiðandi	71.4	kg CO2-eq/m2
				12.8	kg CO2-eq./kg
Metal facade cladding from aluminium, 4 mm, 9 kg/m2, Primo Plana 10 - A2 grade (Ruukki Construction Oy)	4 mm	Finnland/Eistland	Einn framleiðandi	28.5	kg CO2-eq/m2
				3.2	kg CO2-eq./kg
Metal facade cladding from aluminium, untreated, 1.5 mm, 4.9 kg/m2, Liberta Original, Liberta Elegant, Bespoke (Ruukki Construction Oy)	1,5 mm	Finnland/Eistland	Einn framleiðandi	48.8	kg CO2-eq/m2
				10.0	kg CO2-eq./kg
Metal facade cladding from anodized aluminium, 1.5 mm, 4.2 kg/m2, Lamella Groove, Lamella Sharp, Lamella Lap, Lamella, Vertical, Lamella Straight, Bespoke (Ruukki Construction Oy)	1,5 mm	Finnland/Eistland	Einn framleiðandi	68.5	kg CO2-eq/m2
				16.3	kg CO2-eq./kg
Metal facade cladding from colour-coated aluminium, 1.5 mm, 4.9 kg/m2, Liberta Original, Liberta Elegant, Bespoke (Ruukki Construction Oy)	1,5 mm	Finnland/Eistland	Einn framleiðandi	48.6	kg CO2-eq/m2
				9.9	kg CO2-eq./kg
				Meðaltal	48.9 kg CO2-eq/m2
					11.1 kg CO2-eq./kg
				Min	27.7 kg CO2-eq/m2
					3.2 kg CO2-eq./kg
				Max	83.5 kg CO2-eq/m2
					30.9 kg CO2-eq./kg
				Staðalfrávik	21.1 kg CO2-eq/m2
					8.5 kg CO2-eq./kg
Ecoinvent 3.8					
aluminium alloy production, AlMg3, RER		Evrópa	Meðaltal upprunasvæðis	7.2	kg CO2-eq./kg



Tafla 9: Samanburður á kolefnisspori (fasa A1-A3) byggingatimburs með EPD, ásamt ferlum úr Ecoinvent 3.8

Nafn vöru	Upprunasvæði	Tegund	Kolefnisspor A1-A3	
Danish planed construction wood products of coniferous wood.	Danmörk	Meðaltal upprunasvæðis	41.9	kg CO ₂ -eq/m ³
Structural timber of spruce and pine	Noregur	Meðaltal upprunasvæðis	53.0	kg CO ₂ -eq/m ³
Swedish sawn dried timber of spruce or pine	Svíþjóð	Meðaltal upprunasvæðis	31.6	kg CO ₂ -eq/m ³
Classic Sawn (Stora Enso)	Norður-/Austur Evrópa	Einn framleiðandi	34.1	kg CO ₂ -eq/m ³
EGGER Schnittholz gehobelt	Þýskaland	Einn framleiðandi	24.0	kg CO ₂ -eq/m ³
Planed sawn timber (Vudlande SIA)	Lettland	Einn framleiðandi	51.4	kg CO ₂ -eq/m ³
Planed timber made of spruce or pine, u 16% (sandåsa Timber AB)	Svíþjóð	Einn framleiðandi	28.2	kg CO ₂ -eq/m ³
Planed timber made of spruce or pine, u 16% (J G Anderssons Söner AB)	Svíþjóð	Einn framleiðandi	23.8	kg CO ₂ -eq/m ³
Planed timber made of spruce u 16% (Holmen Wood Products AB)	Svíþjóð	Einn framleiðandi	35.1	kg CO ₂ -eq/m ³
Konstruksjonsvirke av gran (Stangeskovene AS)	Noregur	Einn framleiðandi	59.3	kg CO ₂ -eq/m ³
Standard and special sawn timber (UPM Timber)	Finnland	Einn framleiðandi	34.6	kg CO ₂ -eq/m ³
		Meðaltal	37.9	kg CO₂-eq/m³
		Min	23.8	kg CO₂-eq/m³
		Max	59.3	kg CO₂-eq/m³
		Staðalfrávik	12.0	kg CO₂-eq/m³
Ecoinvent 3.8				
lath, softwood, raw, kiln drying to u=10%, Europe without Switzerland	Evrópa	Meðaltal upprunasvæðis	54.2	kg CO ₂ -eq/m ³
board, softwood, raw, kiln drying to u=10%, Europe without Switzerland	Evrópa	Meðaltal upprunasvæðis	54.2	kg CO ₂ -eq/m ³
beam, softwood, raw, kiln drying to u=10%, Europe without Switzerland	Evrópa	Meðaltal upprunasvæðis	56.9	kg CO ₂ -eq/m ³

Töflurnar sýna að mikill munur er á losun frá mismunandi áklæðningum og byggingatimburvörum. Þegar áklæðningar eru skoðaðar út frá því svæði sem þær þekja, gat munað þrefalt á kolefnissporinu. Þegar klæðningar voru skoðaðar út frá þyngd munaði nánast tífalt á þeirri vöru með lægsta kolefnissporið og þeirri með hæsta. Ferillinn úr Ecoinvent var með lægri losunarstuðul en meðaltal losunar frá áklæðningunum með EPD. Þær timburvörur með EPD sem voru skoðaðar voru flestar með lægra kolefnisspor en meðaltals ferlarnir úr Ecoinvent 3.8, þó var ein vara af 11 með EPD með hærri kolefnisspor (Konstruksjonsvirke av gran (Stangeskovene AS)). Ef markmið er sett til að minnka kolefnisspor bygginga, er mikilvægt að skoða þær vörur sem eru í boði og velja þær sem hafa minnst innbyggt kolefni, þar sem byggingarefni eru ábyrg fyrir 45% af árlegri losun bygginga á Íslandi (Byggjum grænni framtíð, 2022).



7. Túlkun, samantekt og lokaorð

BREEAM vistvottunarkerfið fyrir nýbyggingar nær til margra ólíkra þátta sem geta aukið gæði bygginga á ýmsa vegu. Kerfið er rótgróið og hefur góða ímynd og því er eftirsóknarvert fyrir verkkaupa að sækjast eftir vottuninni. Lækkun kolefnisspors er ekki endilega það sem flestir verkkaupar hafa í forgangi þegar þeir sækjast eftir vottun. Það eru margar kröfur í BREEAM sem geta dregið úr kolefnisspori, ýmist beint eða óbent. Í þessari greiningu voru valdar tvær kröfur (Ene 01, Mat 01 skilyrði 5) og skoðað hvaða áhrif þær gætu haft á kolefnisspor vegna byggingarefna og orkunotkunar.

Niðurstöðurnar gefa til kynna að bygging sem hefur orkunýtna upphitun með hliðsjón af BREEAM kröfu Ene 01 dregur einungis lítillega úr kolefnisspori. Það stafar af því að losun vegna orkunotkunar er lág í íslensku samhengi og á mótí kemur kolefnisspor vegna framleiðslu loftræstikerfis og viðhalds á því. Forsendurnar þar á bakvið gera aðeins ráð fyrir hóflegri aukningu orkunýtni (25% lægri U-gildi þaks, veggja og botnplötu, 60% nýtni varmaskiptis). Þær umhverfisfyrirlysingar sem valdar voru af handahófi með hliðsjón af BREEAM kröfu Mat 01 (skilyrði 5) lækkuðu líttilega kolefnisspor vegna byggingarefna. Á heildina litið mætti ætla að auka orkunýtni byggingar og velja umhverfisfyrirlysingar af handahófi hafi ekki marktæk áhrif á kolefnisspor byggingar nema að orkusparnaðurinn sé mikill eða hugað sé sérstaklega að losunarbættinum í efnisvali með hliðsjón af umhverfisfyrirlysingum. Í BREEAM eru einnig mörg töl sem geta auðveldað verkkaupum að taka upplýstar ákvarðanir um hönnun og framkvæmd bygginga til að stuðla að minni losun.

Kolefnisspor byggingarefna og orkunotkunar yfir líftíma orkunýtnu útfærslunnar af viðmiðunarbyggingunni með handahófsvöldum umhverfisfyrirlysingum er nánast það sama og grunnlínubyggingar, eða einungis um 1,2% lægri. Hverfandi munur var á kolefnisspori byggingarefna til reisingar byggingar (A1-A3). Það stafar af því að lægra kolefnisspor vegna handahófsvaldra umhverfisfyrirlysinga var jafnað út með hærri kolefnisspori vegna framleiðslu loftræstikerfis. Endurnýjun á loftræstikerfi veldur því að losun vegna endurnýjunar byggingarhluta (B4) er hærri fyrir orkunýtnu bygginguna. Kolefnisspor vegna orkunotkunar (B6) er lægra í orkunýtnu útfærslunni. Lágt losunargildi orkunnar sem er framleidd og notuð á Íslandi gerir það að verkum að aukin orkunýtni skilar mun minni árangri í lækkun á kolefnisspori bygginga heldur en víðast hvar annarsstaðar í heiminum. Hafa skal í huga að tilgangur þessarar greiningar var að meta losun gróðurhúsalofttegunda, en önnur umhverfisáhrif fylgja einnig orkunotkun, og sem dæmi má nefna tap á líffræðilegum fjölbreytileika og landnotkun.

Taka verður fram að ekki var metinn samdráttur í losun vegna áhrifa BREEAM á orkunotkun á framkvæmdatíma (Man 03), áhrifa aukinnar rafmagnsorkunýtni (Ene 01, Ene 03, Ene 06, Ene 08, Ene 09), aukinna vistvænna samgangna og færri ferða hjá notendum BREEAM bygginga (Hea 06, Tra 01, Tra 02, Tra 03, Tra 04, Tra 05), lágmrörkun á skemmdum og viðhaldsþörf (Mat 05, Wst 05, Pol 03), bestun efnisnotkunar (Mat 06), úrgangsstjórnunar á framkvæmdartíma (Wst 01), notkun endurunninnar steypu (Wst 02), aukinnar flokkunar rekstrarúrgangs (Wst 03), sveigjanleika byggingar til að hindra ótímabært niðurrif (Wst 05), verndun náttúrlegra svæða (LE 01), aukins gróðurs (LE 02, LE 04, LE 05), né heldur áhrif loftslagsvænna kælimiðla (Pol 01).



Einnig ber að taka fram takmarkanir í kerfismörkum vistferilsgreiningarinnar. Ekki voru allir lífsferilsfasar í EN 15978:2011 staðlinum skoðaðir eins og útskýrt er í aðferðakaflanum. Sem dæmi má nefna fasa A4, flutninga byggingarefna á verkstað, og fasa A5, sem snýr að byggingarframkvæmdinni sjálfri. Í BREEAM vottunarkerfinu taka kröfurnar Man 03 og Wst 01 á þessu. Man 03 kveður á um að haldið sé utan um orkunotkun á framkvæmdatíma (eldsneyti, rafmagn, heitt vatn). Þessi krafa gerir þessa losunarþætti sýnilega, og hefur orðið til þess að raungögn séu til um losun á framkvæmdatíma. Aukin skráning og sýnileiki þessarar losunar hvetur til þess að dregið sé úr henni en ekki var reiknað með slíku í þessari greiningu. Í Wst 01 er kveðið á um að sett séu markmið um að draga úr byggingarúrgangi á framkvæmdatíma, sem hefur bein áhrif á losun. Atriði sem tengjast einstaklingshegðun, til dæmis samgöngur notenda til og frá byggingunni, voru ekki skoðuð í þessari greiningu. Þar sem BREEAM vottunin tekur samgöngur sérstaklega fyrir væri viðeigandi að skoða þennan þátt betur í tengslum við greiningu á kolefnisspori BREEAM vottaðra bygginga. Þótt erfitt sé að meta áhrif á losun beint þá skiptir losun frá samgöngum ekki síður máli. Með því að huga að góðum innviðum í byggingu og á lóð fyrir notkun virkra ferðamáta og samgöngutækja sem ganga fyrir rafmagni, tekur byggingin þátt í að hraða orkuskiptum með því að gera notendum kleift að velja sér losunarlausu samgöngumáta. Þessi þáttur getur vegið hátt, en nýleg rannsókn bendir til þess að losun frá samgöngum notenda sé 40% af heildar kolefnisspori hverfis yfir 60 ára líftíma þess (Lausset et al. 2019). Hins vegar, samkvæmt aðgerðaráætlun í loftslagsmálum verður skylt er að gera ráð fyrir hleðslustöðvum fyrir rafbíla við allar nýbyggingar á landinu, og því óljóst hvort munur verði á notkun rafbíla hjá notendum BREEAM vottaðra bygginga og óvottaðra.

Vegna þess hve fáar kröfur voru teknar fyrir í þessari greiningu þá kortleggur hún ekki fyllilega losun vottaðs og óvottaðs mannvirkis og henni er því ekki ætlað að vera úrskurður um gagnsemi BREEAM vottunarkerfisins til að draga úr losun. Greiningin er hins vegar fyrsta skref í átt að því að magnsetja árangur BREEAM vottunarkerfisins. Til að bera saman kolefnisspor BREEAM vottaðra og óvottaðra bygginga í íslensku samhengi þyrfti mun umfangsmeiri greiningu en einnig að bera saman fleiri byggingar og nota gögn byggð á hönnun og mælingum í kláruðum verkefnum. Í þessari greiningu er einungis stuðst við eina fræðilega viðmiðunarbyggingu.

Ef árangur á að nást í að draga úr kolefnisspori byggingariðnaðarins þarf átak í gegnum alla virðiskeðju iðnaðarins og reglugerð sem hvetur til breyttra athafna í framkvæmdum. Vistvottunarkerfi geta stutt þessa vegferð en hafa verður í huga að þau kerfi miða yfirleitt að sjálfbærni í víðara samhengi og hafa því fleiri áherslur en einugis kolefnisspor.

Sýnt hefur verið fram á að hringrásarhagkerfi í byggingariðnaði geti dregið verulega úr losun á gróðurhúsalofttegundum. Í skýrslu Material Economics frá árinu 2018 kemur fram að með innleiðingu hringrásarhagkerfis sé hægt að búast við 34% samdrætti í losun vegna framleiðslu byggingarefna til ársins 2050, þar sem mikilvægustu aðgerðirnar eru endurnotkun á byggingarefnum og betri nýtni á byggingarefnum í hönnun. Einnig kemur fram að með framlengingu á líftíma bygginga er hægt að búast við 19% samdrætti í losun til viðbótar (Material Economics, 2018). Einnig er stórt tækifæri til þess að binda kolefni í byggingum með því að nota lífgrunduð byggingarefni, sérstaklega úr plöntum sem vaxa hratt. Til dæmis burðarefni úr bambusi og einangrunarefni úr stráum eða hampi (Escamilla et al., 2016; Goswein et al., 2021). Timbur sem byggingarefni er einnig góður kostur en vaxtartími trjáa er oft 30 til 60 ár og notkun timburs nær ekki að draga tímabundið úr styrk koltvísýrings í andrúmsloftinu nema að timbrið sé varðveitt lengur í byggingunni en vaxtartími þess.



Það eru lausnir til staðar til að ná fram þeim samdrætti í losun sem nauðsynlegur er í byggingariðnaði til að halda loftslagsbreytingum innan ásættanlegra marka. Innleiðing lausnanna krefst töluverðra breytinga og nú er tíminn til að drífa í þeim breytingum.

Skýrslan er gefin út af Grænni byggð og styrkt af Umhverfis-, orku- og loftslagsráðuneytinu í gegnum Húsnæði- og mannvirkjastofnun.

Höfundur: Páll Hafstað.

EPD samanburður: Björgvin Brynjarsson (EFLA).

Rýni: Anna Kristín Hjartardóttir (EFLA), Áróra Árnadóttir (Grænni byggð), Sigurður Loftur Thorlacius (EFLA).

Forsíðumynd: Áróra Árnadóttir.

Reykjavík, 2023



Heimildir

- Björn Marteinsson. (2019). *BYG 601G HÚSAGERÐ*. Háskóli Íslands.
- BM Vallá. (2020a). *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION - Ready mix concrete 25 ECO indoor*.
- BM Vallá. (2020b). *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION - Ready mix concrete C30/C37 outdoor*.
- BRE Global. (2015). *Assessing carbon emissions in BREEAM*.
- BRE Global. (2021). BREEAM International New Construction version 6.0. In *Technical Manual - SD250*.
- BRE Global. (2023). *Certified BREEAM Assessments*. Sótt 17.03.2023:
<https://www.greenbooklive.com/search/buildingsearch.jsp?id=202§ionid=0&partid=10023&projectType=&certNo=&productName=&companyName=&developer=&buildingRating=&certBody=&assessorAuditor=&addressPostcode=&countryId=352&postcode=&scale=7.5>
- BRE Global. (2023). *Explore BREEAM*. Sótt 14.03.2023:
<https://tools.breeam.com/projects/explore/index.jsp>
- Byggjum grænni framtíð. (2022). *Vegvísir að vistvænni mannvirkjagerð 2030. II hluti: Markmið og aðgerðaáætlun*. Húsnæðis- og mannvirkjastofnun.
- DANOSA. (2019). *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION OF DANOPREN®EXTRUDED POLYSTYRENE (XPS) INSULATION BOARD*.
- ecoinvent. (2022). *For the availability of environmental data worldwide*. Retrieved 25.08.2022 from <https://ecoinvent.org>
- Escamilla, E. Z., Habert, G., & Wohlmuth, E. (2016). When CO2 counts: Sustainability assessment of industrialized bamboo as an alternative for social housing programs in the Philippines. *Building and Environment*, 103, 44-53. <Go to ISI>://WOS:000378366700005
- European Standards. (2012). BS EN 15978:2011. In.
- FEICA. (2016). *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION - Modified mineral mortars, group 2*.
- Goswein, V., Reichmann, J., Habert, G., & Pittau, F. (2021). Land availability in Europe for a radical shift toward bio-based construction. *Sustainable Cities and Society*, 70.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102929>
- Grænni byggð, & BREEAM. (2019). *BREEAM vistvottunarkerfi fyrir byggingar*.
https://www.graennibyggd.is/_files/ugd/54e708_a3c0b5fdd73a451c9b2adef177f3d122.pdf
- GreenDelta. (2022). *The world's leading, high performance, open source Life Cycle Assessment software*. Retrieved 25.08.2022 from <https://www.openlca.org>
- Hafnarfjörður. (2019). *Hafnarfjörður hvetur til vistvænna framkvæmda*. Retrieved 06.07. from <https://www.hafnarfjordur.is/stjornsysla/frettir/hafnarfjordur-tekur-forystu-og-hvetur-til-vistvaenna-framkvaemda>
- Húsnæðis- og mannvirkjastofnun. (e.d.). *BREEAM*. Retrieved 05.07. from <https://hms.is/umhverfismal/vistvaenn-mannvirki/umhverfisivottanir/breeamer-fyrsta-vistvottunarkerfið-sem-er-ætlað-serstaklega>
- Knauf A/S. (2015). *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION - Knauf Danogips Secura Board*.
- Landsvirkjun. (2022). *Unchanged Carbon Footprint and Net Carbon Intensity Never Lower*. Retrieved 18.08.2022 from <https://www.landsvirkjun.com/news/unchanged-carbon-footprint-and-ghg-emissions-never-lower>
- Lausset, C., Borgnes, V., & Brattebø, H.. (2019). LCA modelling for Zero Emission Neighbourhoods in early stage planning. *Building and Environment*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.034>.
- Maierhofer, D., Röck, M., Ruschi Mendes Saade, M., Hoxha, E., & Passer, A. (2022). Critical life cycle assessment of the innovative passive nZEB building concept 'be 2226' in view of net-zero carbon targets. *Building and Environment*, 223. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109476>
- MANIFATTURA FONTANA SPA. (2022). *Environmental Product Declaration - Drefon® ST and Drefon® S*.
- Material Economics. (2018). *The Circular Economy - A Powerful Force for Climate Mitigation*.
- Orka náttúrunnar. (2022). *Minnkum kolefnissporið*. Retrieved 18.08.2022 from <https://www.on.is/kolefnisspor>
- Reykjavíkurborg. (2021). *Loftslagsáætlun 2021-2025*.
- Steinull hf. (2019a). *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION - Steinull hf. stone wool insulation, density group 20-75 kg/m3*.
- Steinull hf. (2019b). *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION - Steinull hf. stone wool insulation, density group 75-100 kg/m3*.
- United Nations Environment Programme. (2021). *2021 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*.
- Veðurstofa Íslands. (2022). *Tíðarfar ársins 2021*. <https://www.vedur.is/um-vi/frettir/tidarfar-arsins-2021>