# DRÖG

# Kolefnishlutlaus bygging

# við íslenskar aðstæður

|  |  |
| --- | --- |
| **Skýrsla – Upplýsingablað** |   |
|  |  **Titill skýrslu** |
|  |  Kolefnishlutlaus bygging við íslenskar aðstæður  |
|  **Skýrslunúmer / síðufjöldi** |  **Verkheiti** |
| XX |  Kolefnishlutlaus bygging |
| **Verkefnisstjóri / Fulltrúi Verkkaupa** |  **Verkkaupi** |
|    |  Askur HMS  |
|  **Verkefnisstjóri**  |  **HÖFUNDAR** |
|   | Elín Þórólfsdóttir, Áróra Árnadóttir, Þórhildur Fjóla Kristjánsdóttir |
| **lYKILORÐ** | **ÚTDRÁTTUR** |
| Kolefnishlutlaus bygging, kolefnisspor, sjálfbær bygging  | Markmið verkefnisins er að stuðla að uppbyggingu þekkingar um Kolefnishlutlausar byggingar á Íslenskum markaði. |
| **STAÐA SKÝRSLU** |
| ☒ Drög☐ Drög til yfirlestrar☐ Lokið |
| **Dreifing** |
| ☒ Opin☐ Dreifing með leyfi verkkaupa☐ Trúnaðarmál |

Samantekt

Efnisyfirlit

## Inngangur

Þessi skýrsla er unnin fyrir styrk úr ASKI - mannvirkjarannsóknarsjóði HMS. Verkefnið sótti um 12 milljónir til að skilgreina kolefnishlutlausa byggingu í íslensku samhengi og þróa leiðbeiningar um hönnun og rekstur slíkra bygginga en hlaut 2 milljónir í styrk. Verkefnastjórnin ákvað því að einblína í þessum fyrsta hluta verkefnisins á stöðu vísindalegrar þekkingar um kolefnishlutlausar byggingar, en sótt hefur verið um framhaldsstyrk í þróa leiðbeiningar um hvernig á að hanna og reka slíka byggingu fyrir íslenskar aðstæður. Þessi fyrsti verkefnahluti byggir að mestu leyti á mastersverkefni Elínar Þórólfsdóttur í Umhverfis- og auðlindafræði við Háskóla Íslands. Leiðbeinendur í verkefninu voru Jukka Heinonen, prófessor og Áróra Árnadóttir, Ph.D, framkvæmdastjóri Grænni byggðar.

Áhrif loftslagsbreytinga eru stöðugt að aukast og hafa alvarleg áhrif á núverandi samfélög víðsvegar um heim. Þess vegna er brýn þörf á að leggja áherslu á að minnka kolefnislosun af mannavöldum. Heimsmarkmið Sameinuðu þjóðanna um sjálfbæra þróun (SDG) leggja áherslu á þörfina fyrir að taka höndum saman um að takmarka hlýnun jarðar samkvæmt markmiðum Parísarsáttmálans við 1.5°C fyrir iðnaðarbyltingu (UNFCCC, 2022) (United Nations, n.d.).

Það er að verða algengara að byggja orkunýtnar og kolefnishlutlausar byggingar, þó aðallega í Norður-Ameríku og Evrópu. Þessi vöxtur er knúinn áfram af hertum reglugerðum um orkunýtni, framförum í tækni, rannsóknum og efnahagshorfum og almennt aukinni áherslu á orkunýtingu og samdrátt í losun (Ohene et al., 2022a; WGBC, n.d.)

Í samræmi við markmið Parisarsáttmálans miðar World Green Building Councils (WorldGBC) að því að allar nýjar byggingar verði kolefnishlutlausar fyrir 2030 og allar byggingar kolefnishlutlausar fyrir 2050. Stefna WGBC leggur einnig áherslu á orkuöryggi, bætt lífskjör og hagkvæmar sjálfbærar byggingar (Ohene et al., 2022a; WGBC, n.d.)

## Umhverfisáhrif bygginga

Byggingariðnaðurinn er ábyrgur fyrir meira en 40% af þeirri orku sem notuð er og 30% af losun gróðurhúsalofttegunda í heiminum. Það er því nauðsynlegt að byggingariðnaðurinn dragi úr kolefnislosun með því að hverfa frá hefðbundnum byggingaraðferðum (Marszal et al., 2011a). Það þarf að ýta af stað breytingum innan byggingargeirans og leggja áherslu á orkunýtnar byggingar með lágt kolefnisspor yfir allan líftímann ￼(Urge-Vorsatz). Í Vegvísi að vistvænni mannvirkjagerð 2030, Byggjum Grænni Framtíð var gert mat á losun frá íslenskum byggingariðnaði í yrsta hluta verkefnisins. Þar kom í ljós að losun frá Íslenskum byggingariðnaði er hátt í 360 þúsund tonn CO2 ígilda, stærsti hluti losunarinnar er frá notkun byggingarefna, en einnig er töluverð losun frá orkunotkun á byggingar- og rekstrartíma íslenskra bygginga. Ísland þarf eins og aðrar þjóðir að standast alþjóðlegar skuldbindingar í loftslagsmálum með markvissum samdrætti í losun á næstu árum, og byggingariðnaðurinn þar ekki undanskilinn. Markmið stjórnvalda eru að ná 55% samdrætti í losun frá notkun byggingarefna fyrir árið 2030 og a.m.k 7% í losun frá orkunotkun á rekstrartíma og 70% frá orkunotkun á byggingartíma. Að skilgreina kolefnishlutlausa byggingu í íslensku samhengi er ein aðgerð í vegvísinum og þessi vinna er fyrsti hluti í þeirri vinnu.

##  Lífsferilsgreiningar - Life cycle assessments

Lífsferilsgreining (LCA) getur metið umhverfisáhrif byggingar á líftíma hennar, með hliðsjón af þáttum eins og hráefnisöflun, efnistöku, framleiðslu, flutningi, notkun, förgun og endurvinnslu (Hossaini o.fl., 2018; Ohene o.fl., 2022a). Hossaini o.fl. (2018) mæla með því að nota LCA, lífsferilsgreiningar, til að ná kolefnishlutlausum byggingum. Í samhengi við kolefnishlutlausar byggingar, beinast LCA rannsóknir oft að tveimur meginsviðum: Life Cycle Energy Assessment (LCEA) og Life Cycle Carbon Emission Assessment (LCCEA). LCCEA skoðar kolefnislosun til að finna lausnir til að draga úr hlýnun jarðar, en LCEA þróar aðferðir til að draga úr (frum)orkunotkun í byggingum (Chau o.fl., 2015). Hins vegar hafa þessar matsaðferðir takmarkanir sem þarf að bregðast við til að auka nothæfi þeirra og þörf er á frekari rannsóknum til að vinna bug á þessum annmörkum og bæta mikilvægi þeirra. Að auki er hagnýt innleiðing þessara aðferðafræði í byggingariðnaði enn krefjandi vegna skorts á gildum gagnagrunnum og viðmiðum fyrir byggingarferli og efni. Frekara átak er nauðsynlegt til að bæta þessa gagnagrunna og nýta þessa aðferðafræði til fulls (Ohene o.fl., 2022b).

Mikilvægt er að gera sér grein fyrir því að mat á umhverfisáhrifum byggingar getur verið mjög mismunandi eftir hönnun hennar, varnarleysi/skjólleysi fyrir staðbundnu loftslagi og jarðfræðilegum einkennum (Too o.fl. 2022). Með hliðsjón af margbreytileika bygginga verður að taka tillit til ýmissa þátta og sviðsmynda í öllum umhverfisgreiningum bygginga.

Mikilvægt er að safna og greina langtímaupplýsingar um losun bygginga vegna lengri líftíma þeirra (Ibn-Mohammed o.fl., 2013). Þess vegna er nauðsynlegt að framkvæma yfirgripsmikla lífsferilsgreiningu til að skilja og koma í veg fyrir tilviljanakenndar afleiðingar á kolefnislosun (Rabani et al., 2021).

Endurnýjun, þar sem lögð er áhersla á að bæta orkunýtni, t.d. með betri einangrum og gluggum, á núverandi byggingum er nauðsynleg þar sem það dregur úr orkunotkun þeirra og umhverfisáhrifum. Til að ná kolefnishlutlausri byggingu geta aðferðir eins og endurbætur á orkunýtni (energy retrofits, decarbonizing the electrical grid), samdráttur í kolefnislosun rafmagnsnetsins og bætt orkuhegðun íbúa hjálpað til við að umbreyta íbúða- og atvinnuhúsnæðisgeiranum. Hins vegar þarf umgjörð og ramma til þess að styðja við ákvarðanatöku til þess að hjálpa byggingarageiranum að taka skynsamlegar ákvarðanir um endurbætur (Hinnells, 2008; Ruparathna o.fl., 2017). Sements-, steinsteypu- og stálframleiðsla verður að vera með mun lægra kolefnisspor til þess að draga úr losun frá byggingarefnum. Að auki er mikilvægt að stuðla að sjálfbærum byggingarefnum og auka rannsóknir á lífsferilsgreiningum.

## Skilgreining Kolefnishlutlaus Bygging

Til þess að ná markmiðum um kolefnishlutleysi bygginga (NZEBs) er mikilvægt að það sé sameiginlegur skilningur á því hvað einkennir slíkar byggingar og hvaða áskoranir geta komið upp þegar verið er að hanna og byggja slíkar byggingar.

Í dag er nokkuð um ósamræmi á skilgreiningum og heitum sem notuð eru yfir kolefnishlutlausar byggingar í stöðlum, fræðilegum heimildum og faglegu samhengi sem veldur skorti á skýrleika og getur hindrað árangursríkan samanburð. Það er þörf á að nota staðlaðar sameiginlegar skilgreiningar til að ná samræmdum niðurstöðum við mat á umhverfisáhrifum kolefnishlutlausra bygginga.

Sænska Green Building Council skilgreinir kolefnishlutlausa byggingu á eftirfarandi hátt:

Kolefnishlutlaus bygging er bygging þar sem gerðar eru kröfur um að losun gróðurhúsalofttegunda byggingarinnar sé kortlögð og dregin saman þannig að losunin sé undir ákveðnum viðmiðunargildum fyrir öll lífsferilsskeið byggingarinnar. Lífsferillinn felur í sér framleiðslu og flutning á byggingarefnum, byggingarferlið, notkun og endanlega stjórnun hússins. Kolefnishlutlaus bygging gerir svo einnig kröfur um að eftirstandandi losun byggingarinnar séu kolefnisjöfnuð þannig að loftslagsáhrifin verði nettó núll. Þróunin í átt að kolefnishlutleysi er drifin áfram í tveimur meginleiðum: 1) að draga verulega úr losun gróðurhúsalofttegunda við framleiðslu byggingarefna og byggingarferla auk þess að lágmarka orkunotkun hússins og 2) að vega upp á móti eftirstöðvum loftslagsáhrifa með loftslagsaðgerðum þar til kolefnishlutleysi er náð.

Markmið kolefnishlutlausra byggingar er m.a. að lágmarka orkunotkun og mæta eftirstandandi orkuþörf með skilvirkum, sjálfbærum og endurnýjanlegum orkugjafa (Steven Winter Associates, 2016) annaðhvort á staðnum eða utan hans (Laski & Burrows, 2017). Hugtakið "nettó" núlllosun gefur möguleika á að fjarlægja koltvísýring eða lausnir á "neikvæðri losun" til að vega upp á móti losuðum gróðurhúsalofttegundum, oft innan ákveðins tímaramma (Allwood et al., 2019).

Mynd 1 Skýringarmynd fyrir Kolefnishlutlausa byggingu

Mynd 1 eitt sýnir myndrænt heildræna nálgun að kolefnishlutlausri byggingu (NZEB). Í miðju skýringarmyndarinnar er Kolefnishlutlaus bygging sem táknar endanlegt markmið. Frá þessum kjarna eru helstu flokkarnir sem leggja áherslu á lykiláfanga og sjónarmið Kolefnishlutlausra bygginga: Hönnun, Framleiðsla, Rekstraraðgerðir, Lífslok og Kolefnisjöfnun. Undir „Hönnun“ koma fram þættir eins og orkusparandi skipulag, val á sjálfbærum efnum með tilliti til minni innbyggðs kolefnis, vottanir um ábyrgan uppruna, möguleikar á endurvinnslu eða endurnotkun, og samstarf við hagsmunaaðila. "Framkvæmdir" leggja áherslu á sjálfbærar byggingaraðferðir, sem metin er einnig fyrir kolefnisspor framleiðslu og flutnings, og lágmark losun úrgangs. Skilvirk notkun á vinnuvélum og búnaði við nám og vinnslu er lykilatriði til að draga úr innbyggðum áhrifum. "Rekstrar" þátturinn leggur áherslu á orkustjórnun, þátttöku notenda og reglulegt viðhald. „Lífslok“ þátturinn er varðandi förgun bygginga, leggur áherslu á endurvinnslu og endurnýtingu efna og gera grein fyrir áhrifum þeirra á líftímanum, auðvelda endurvinnslu og draga úr þörf fyrir viðgerðir eða endurnýjun efnis og draga úr úrgangi. „Kolefnisjöfnun“ eru aðferðir til að vega upp á móti afgangslosun með verkefnum eins og skógrækt eða fjárfestingu í endurnýjanlegum orkuverkefnum. Starfshættir kolefnishlutlausar byggingar eru mótaðir af alhliða þáttum, þar á meðal 'Stefnu og reglugerðum' og 'Fjárhagslegum hvötum og hindrunum'. Staðbundnar og alþjóðlegar stefnur setja byggingarviðmið, á meðan fjárhagslegir hvatar og hindranir, eins og styrkir og stofnkostnaður, hafa áhrif á framkvæmanleika kolefnishlutlausra bygginga. Árangur kolefnishlutlausra bygginga byggist einnig á „meðvitund almennings og fræðslu“, sem stuðlar að skilningi með herferðum og fræðsluáætlunum, sem stuðlar að samfélagslegri viðurkenningu á sjálfbærum byggingaraðferðum.

Það er brýn þörf fyrir alhliða, almennt staðlaða og viðurkennda skilgreiningu sem styður skilvirkari kolefnislosunaraðferðir. Samræming á kolefnishlutlausum byggingum meðal allra hagsmunaaðila er lykilatriði fyrir árangursríka lækkun kolefnis og raunverulega sjálfbærni. Til að meta betur og bera saman umhverfisáhrif þeirra ættum við að meta fjölbreytt mannvirki á skilvirkari hátt og stuðla að samræmdum aðgerðum með nákvæmri og skýrri skilgreiningu.

## Byggingarferli byggingar/lífsferilsstig bygginga

### Hönnun

Skilvirk byggingarhönnun er sérstaklega mikilvægt til þess að draga verulega úr orkuþörf og felur í sér að huga að einangrandi þáttum eins og vali á uppbyggingu á gólfum, þökum, veggjum og gluggum (Shen et al., 2022) ásamt ytra byrði byggingarinnar (Arnold et al., 2016; Hacker et al., 2008; Khan et al., 2017; Sadineni et al., 2011).

Passívar hönnunarlausnir eins og stefna, staðsetning, innra skipulag hlutfall glugga, þykkt og stærð glerja, nýting dagsbirtu og sólarskyggingar geta dregið verulega úr orkuþörf sem og stærð bygginga (Anand et al., 2017; Du et al., 2020; Rodrigues et al., 2014; Sadineni et al., 2011). Hönnun orku- og þjónustukerfa, svo sem byggingarstjórnunarkerfa, vélrænnar loftræstingar, orkukerfa og heit vatnsveita (Bajenaru o.fl., 2016; Grgić o.fl., 2022; Opher o.fl., 2021a), getur haft áhrif á orku frammistöðu (Wei & Skye, 2021). Eftir því sem byggingar verða orkunýtnari eykst oft aukin innbyggð losun sem stafar af fleiri byggingarefnum og tæknikerfum (Röck et al., 2020).Eftir því sem byggingar verða orkunýtnari eykst oft aukin innbyggð losun sem stafar af meiri efnisnotkun til einangrunar og til tæknikerfa(Röck et al., 2020).

Við hönnun kolefnishlutlausra bygginga ætti að hafa í huga/taka tillit til hegðun notanda/íbúa ásamt því að skoða orkunotkun og orkumyndun (Li et al., 2013; Pan et al., 2014). Þessar smærri aðgerðir sem hvetja til breyttrar hegðunar notanda geta krafist stuðnings á hærra stigi, eins og tækniþróunar varðandi grænni orku (Chen et al., 2014) sem hvetur til endurnýjanlegrar orkuframleiðslu á staðnum, rafrænnar endurgjafar, félagslega þátttöku og leikjavæðingar (Paone & Bacher, 2018). Frumkvæði á millistigum geta aðstoðað við innleiðingu kolefnishlutlausra bygginga með því að taka smærri/ stjórnarhætti í notkun (Pan & Pan, 2021).

### Framkvæmdir

Bygging kolefnishlutlausra byggingar krefst vandlegrar skipulagningar og framkvæmdar yfir allan byggingartímann. Til að hægt sé að stefna að því að ná kolefnishlutlausri byggingu er t.d. hægt að setja fram kröfur um efnis- og orkuframmistöðu í samningum og þá einnig við undirverktaka (Papachristos, 2020; Wang et al., 2019), velja reynda verktaka með kunnáttu á þeim úrræðum sem þarf til, velja réttu birgjana með vistvænar og staðbundnar/local vörur og hafa úrgangsstjórnunaráætlun sem miðar að því að draga úr, endurnýta og endurvinna (Braulio-Gonzalo et al., 2022; Kabirifar et al., 2021; Kamali & Hewage, 2016; Yu et al., 2021). Á byggingarstigi geta aðferðirnar og vélarnar sem notaðar eru verulega stuðlað að því að lágmarka losun (Ding et al., 2020; Y. H. Dong et al., 2015; Y. H. Dong & Ng, 2015; Mao et al., 2013; Yan et al., 2010). Verktakar geta notað orkunýtin tæki sem ganga fyrir endurnýjanlegum orkugjöfum til að draga úr vatns- og orkunotkun á staðnum (Lawania & Biswas, 2018; Tian & Spatari, 2022; Wu et al., 2022).

Á meðan á byggingu stendur er vandað skipulag og framkvæmd nauðsynleg, sem felur í sér að nýta vel auðlindirnar, og reyndum verktökum og úrgangsstjórnunaraðferðum til að lágmarka losun.

### Rekstur

Fyrir byggingarrekstur eru margar aðferðir til að spara orkunotkun til hitunar, kælingar og loftræstingar (Elnozahy et al., 2015; Gibbons & Javed, 2022; Khan et al., 2017; Vakalis et al., 2021), ásamt því að viðhald er mikilvægt fyrir orkuafköst, og til að lengja endingartíma (Cellura et al., 2014; Z. Dong et al., 2021; Grigoropoulos et al., 2016; Jiang et al., 2022). Endurbætur á burðarvirkinu geta dregið verulega úr rekstrarorkunotkun (Belussi et al., 2019; Evola et al., 2014; Lin & Chen, 2022; Lizana et al., 2016).

Á rekstrartíma bygginga hjálpar hagræðing við upphitun, kælingu og viðhald að við að spara orku. Endurbætur á ytra byrði byggingarinnar geta dregið verulega úr rekstrarorkunotkun.

### Endurbætur

Þar sem núverandi byggingar eru stærsti hluti byggingarmagnsins er mikilvægt að lækka kolefnisspor þessara mannvirkja (Cornaro et al., 2016) og getur jafnvel talist mikilvægara en að einblína á nýbyggingar (Urge-Vorsatz et al., 2020). Að auki geta endurbætur boðið upp á betri endingu, hagkvæmni, hagnýt gæði og félagsleg gildi en nýbyggingar (Poel et al., 2007). Orkunýtingin getur orðið sambærileg og í nýbyggingum (Urge-Vorsatz et al., 2020).

Endurbætur núverandi bygginga er mikilvæg til þess að draga úr kolefnislosun. Vel endurbættar byggingar geta farið fram úr nýbyggingum hvað varðar orkunýtingu og líftíma.

## Byggingarefni

Byggingarefni með litla innbyggða losun geta dregið úr kolefnisspori byggingar (Hossaini et al., 2018). Þess vegna hafa þó nokkrar aðferðir verið rannsakaðar (Urge-Vorsatz et al., 2020) og þær fela m.a. í sér endurvinnslu, endurnýtingu, minnkun/takmörkun byggingar- og niðurrifsúrgangs (Moncaster o.fl., 2019), betri efnisnýtingu (Allwood o.fl., 2011), betri/lengri endingu, lífræna valkosti eða aðrar efnislausnir með minni losun (D'Amico o.fl. al., 2021), og kolefnisfanga (Urge-Vorsatz o.fl., 2020). Þrátt fyrir að þessar aðferðir geti dregið úr losun útrýma þær henni ekki alveg (Habert et al., 2020a). Eins og er, er þörf á sementi fyrir flestar steyptar undirstöður, en framleiðsla sements veldur mikilli losun vegna orkunnar sem þarf til framleiðslu þessu og þeirra efnaferla sem eiga sér stað (Miller et al., 2016; S. Miller & Myers, 2020; Monteiro et al., 2017). Framfarir hafa orðið í kolefnishlutlausri steinsteypu (Renforth, 2019a; Shi et al., 2019a), en þær eiga erfitt með að mæta þeirri eftirspurn sem er til framtíðar þéttbýlismyndunar (Hajer o.fl., 2018) á þeim hraða sem byggt er og vera innan þolmarka jarðar (Cao et al., 2020).

Til að draga úr útblæstri frá steinsteypu er hægt að minnka, hagræða steypublöndur og lækka magn sementsklinks (Habert et al., 2020b). Við framleiðslu á sementi getur skipting úr jarðefnaeldsneyti yfir í lífeldsneyti eða úrgangseldsneyti dregið úr losun, sem og notkun kolefnisfanga og -geymslu (Kajaste & Hurme, 2016; Lechtenböhmer et al., 2016).

Að skipta úr nýju stáli yfir í brotastál við framleiðslu stáls getur dregið úr innbyggðri losun og aukið hringrás og efnisnýtni (Allwood et al., 2019; Energy Transitions Commission, 2018; Material Economics, 2019). Að auki getur notkun lífræns eldsneytis, biocoke eða viðarkola í stálverksmiðjum dregið úr losun (Suopajärvi et al., 2018). Fyrir frekari minnkun losunar þarf tækni eins og beina vetnisminnkun, háofna til endurvinnslu á toppgasi(top-gas recycling blast furnaces), rafvinnslu og aðrar bræðsluaðferðir (Wyns & Axelson, 2016). Með því að skipta út jarðefnaeldsneyti fyrir lífmassa í raforkuframleiðslu getur það dregið úr kolefnisstyrk raforkublöndunnar sem notuð er til að framleiða stál úr brotastáli (Gunarathne et al., 2016; Norgate et al., 2012).

Notkun lífrænna byggingarefna í mannvirki er raunhæf leið til að geyma kolefni og draga þannig úr losun frá byggingum og nýta þær sem kolefnisbindara (carbon sinks). Þessi efni vinna koltvíoxíð úr andrúmsloftinu á vaxtarstiginu, og hluti þess er síðan geymdur í plöntunni eftir uppskeru (Churkina et al., 2020; Pittau et al., 2018). Viður er frambærilegur valkostur í stað steinsteypu (Karlsson o.fl., 2021) en núverandi auðlindaframboð hindrar umfangsmikla upptöku (Pomponi et al., 2020), sem og hætta á minnkandi kolefnisbindingu í skógi (Ceccherini et al., 2020).

Nýlegar rannsóknir eru bjartsýnar á að hægt sé að skipta kolefnisfrekum byggingarefnum út fyrir lífræn efni eins og t.d. bambus og hálm (Pittau o.fl., 2018). Þar sem bambus vex hraðar en tré, getur það bæði verið skilvirkari kolefnisgeymsla en viður (Pittau o.fl., 2018) og betri valkostur til að draga úr eyðingu hitabeltisskóga í suðurhluta heimsin (Churkina et al., 2020; Nath et al., 2015). Hægt er að nota jurtarík lífræn einangrunarefni til að reisa loftslagshlutlausar byggingar sem uppfylla stranga orkunýtnistaðla (Caercassi et al., 2022).Hægt er að nota jurtarík lífræn einangrunarefni til að reisa loftslagshlutlausar byggingar sem uppfylla stranga orkunýtnistaðla (Caercassi et al., 2022).

# Tæknikerfi

*Kolefnishlutlausar byggingar nota hagkvæma tækni til að draga úr losun og bjóða upp á fjárhagslegan ávinning allan líftíma þeirra, með því að nýta byggingarefni með lágt kolefni, orkunýtnar aðferðir og endurnýjanlega orkugjafa. Þar af leiðandi hafa nokkur lönd og stofnanir, þar á meðal Bandaríkin og ESB, sett sér markmið og innleitt stefnu að kolefnishlutlausum byggingum (Ohene o.fl., 2022b). Orkunýting og rafvæðing hafa verið skilgreind af Alþjóðaorkumálastofnuninni (IEA) sem þættirnir sem gætu skýrt 70% af losunarsamdrætti í umskiptum byggingargeirans yfir í núllorku (NZE) fyrir árið 2050, en eftirstöðvar minnkunar koma frá líforku/bioenergy , sólarhita og hegðunarbreytingum (IEA, 2021). (er þessi texti ekki aðeins almennur? - á hann sérstaklega við Tæknikerfi?)*

### Ráðstafanir til orkunýtingar

Ráðstafanir til að bæta orkunýtni og framleiðsla á endurnýjanlegri orku eru aðaláherslur rannsókna varðandi kolefnishlutlausar byggingar (Ohene et al., 2022b). Til að draga úr orkunotkun og aftur á móti auka orkuhagkvæmni hafa nokkrar ráðstafanir verið notaðar, svo sem varmaendurvinnsla lofthita, aukinni loftþéttleiki, bætt einangrunarkerfi og vel einangraðir gluggar (Alirezaei et al., 2016; Ohene et al., 2022b), hagræðingu byggingarhönnunar með lögun og stefnu, auk þess að nota náttúrulega loftræstingu og dagsljósakerfi (Hughes et al., 2011).

### Tækni fyrir endurnýjanlega orku

Sjálfbærir endurnýjanlegir orkugjafar bjóða upp á raunhæfan valkost samanborið við hefðbundna orkugjafa eins og kol og jarðgas. Þar af leiðandi hafa fjölmargar rannsóknir beinst að því að nýta endurnýjanlega orkutækni til að mæta orkuþörf kolefnishlutlausra bygginga. Hægt er að flokka þessa tækni í tvær megingerðir: kerfi sem veita kælingu, upphitun og heitt vatn (t.d. sólarvarmakerfi, loftvarmadælur og jarðvarmadælur) og tækni sem framleiðir rafmagn (t.d., sólarorkukerfi (PV) og vindorku) (Ohene o.fl., 2022b).

Sólarraforkukerfi (PV) eru notuð til að virkja sólarorku og breyta henni í rafmagn og eru algengustu raforkugjafarnir í kolefnishlutlausum byggingum. Hægt er að festa þessi kerfi eða útbúa sérstakan búnað til að fylgja eftir hreyfingu sólarinnar. Sólarraforkukerfi eru venjulega sett upp á húsþökum eða sem ytri klæðning á veggjum og geta framleitt stöðuga raforku á svæðum þar sem sólarorka er aðgengileg allt árið (Hossaini o.fl., 2018).

Sólarorkukerfi eru algengustu endurnýjanlegu orkugjafakerfin sem eru notuð í þéttbýli og miðað við aðstæður markaðsins, eru þessi kerfi framkvæmanlegust (Panagiotidou o.fl., 2021). Hins vegar er uppsetning þeirra í fjölbýlishúsum takmörkuð vegna takmarkaðs tiltæks rýmis af völdum umfangs svæðis sem kerfin þurfa og skyggðra svæða.

Varmadælur, sérstaklega loftvarmadælur (ASHP) og jarðvarmadælur (GSHPs) eru skilgreindar árangursríkar til að draga úr orkunotkun og losun gróðurhúsalofttegunda (D'Agostino o.fl., 2020). Sólarljósa- og vindorkutækni hefur einnig vakið verulega athygli, sem hefur leitt til víðtækrar notkunar og kostnaðarlækkunar (Jäger-Waldau, 2018).

Fyrir nýtingu vindorkukerfa eru staðsetning hússins og vindhraði tveir mikilvægustu þættirnir varðandi hagkvæmni (Hossaini o.fl., 2018).

### Möguleikar á hugsanlegum endurnýjanlegum orkugjafa

Satola o.fl. (2021) kannaði fjóra valkosti fyrir endurnýjanlega orkuöflun í byggingum;1. Photo voltaic(PV) og sólarvarmakerfi á húsþökum eða framhliðum, 2.endurnýjanleg orkutækni á staðnum eins og PV kerfi á jörðu niðri eða bílastæðum, heitavatnskerfi fyrir sólarorku og vindmyllur, 3. aðfluttir endurnýjanlegir orkugjafar, aðallega lífmassi, og 4. nýtingar endurnýjanlegra orkugjafa sem hægt er að nálgast utan staðarins til að framleiða orku á staðnum. Valkostir 1) og 2) bjóða upp á möguleika á að flytja út umframorku (Satola o.fl., 2021).

Önnur nálgun við endurnýjanlega orku er að kaupa endurnýjanlegri orku frá framleiðslustað utan byggingarsvæðis. Þó að oft sé litið á það sem hagkvæma og einfalda aðferð til að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda sem tengist byggingu, eru áhyggjur vegna skorts á viðleitni til að lágmarka umhverfisáhrif og orkunotkun í byggingum. Þess vegna benda fyrri rannsóknir til að miða við meðaltal frumorku og losunarhluta fyrir varðveitta orku, með hliðsjón af aðstæðum landsins (Satola o.fl., 2021).

### Byggingargeirinn er samtengdur öðrum iðnaði

Samkvæmt meginreglunni um orkunýtni ætti orkuþörf fyrst að minnka áður en fullkomnari tækni til orkunýtingar er tekin upp (Filippidou & Navarro, 2019).

Til að ná fram umtalsverðri minnkun kolefnis í byggðu umhverfi verða aðgerðir til að draga úr kolefnislosun að ná út fyrir byggingariðnaðinn og ná til annarra geira, svo sem stóriðju (Mata o.fl., 2020a). Val á samsetningu rafmagns, hita og kælingar eldsneytis skiptir sköpum til að kolefnislosunnar byggingaiðnaðarins innan EU (Filippidou & Navarro, 2019). Skandinavía notar almennt hitaveitu og GSHP (Reda & Fatima, 2019). Sveigjanlegir valkostir eru nauðsynlegir til að draga úr álagi á raforkukerfið (Mata o.fl., 2020b; Seljom o.fl., 2017). Orkunet í þéttbýli og árstíðabundin geymsla geta gert jákvæða orkubyggingu kleift (Mata o.fl., 2020a).

Reda og Fatima (2019) komust að því að innleiðing á sólarorkutækni á staðnum og innleiðing á orkusparandi byggingarhönnunarreglum eru raunhæfar aðferðir til að framkvæma nZEB í Norður-Evrópu. Í Kína er leiðandi tækni meðal annars varmaendurheimtunarkerfi, einangrun byggingarhjúps og nýtingu endurnýjanlegra orkugjafa (Z. Liu o.fl., 2019). Við hönnun tæknilausna er mikilvægt að huga að loftslagssviðsmyndum og áhrifum þeirra á upptöku og nýtingu tækni (Mata o.fl., 2020a). Ennfremur gegna framfarir í framleiðslu efna mikilvægu hlutverki við að ná fram árangursríkum aðstæðum til að draga úr loftslagsbreytingum (Peñaloza o.fl., 2018).

Byggingarstjórnun

Snjalltækni og gervigreind geta gegnt mikilvægu hlutverki við að aðstoða það að ná kolefnishlutlausum byggingum með því að bæta orkunýtingu, efla greiningu og stjórna orkuframleiðslu og orkunotkun á skynsamlegan hátt. Tæknin getur stuðlað að heildrænni nálgun með því að tengja ýmsa byggingarhluta í samræmt kerfi sem stjórnar orkuþörf og veitir notendum eða viðhaldsteymum innsýn.

Internet of Things (IoT) gerir kleift að tengja þætti sem hafa áhrif á orkuþörf í byggingum, svo sem lýsingu, upphitun og loftgæði. Það aðstoðar við að stjórna orkuþörf á viðeigandi hátt, svo sem að slökkva ljós eða stilla hita þegar enginn er viðstaddur.

Gervigreind og vélanám(Machine Learning) í orkustjórnun: Notkun gervigreindar og vélanáms getur aukið rekstur byggingar og orkuhagræðingu. Þetta getur falið í sér hagræðingu endurnýjanlegra orkugjafa og upphitunar-, loftræstingar- og loftræstikerfa (HVAC) (Lee o.fl., 2022; Yang o.fl., 2020).

Byggingarupplýsingalíkan (BIM) og Digital Twins (DT) hjálpa til við að veita innsýn í það hvernig orka er notuð í byggingu og hvernig hægt er að bæta orkunýtingu. Þetta gerir það kleift að setja hagnýt markmið og meta árangur á áhrifaríkan hátt (Aljundi o.fl., 2016; Shen o.fl., 2022).

## Hindranir/Áskoranir

Framkvæmd kolefnishlutlausra bygginga krefst alhliða nálgunnar til að yfirstíga ýmsar hindranir, sem ná yfir efnahagslega, markaðslega, lagalega, faglega, tæknilega, félags- og menningarlega, og landfræðilega þætti. Skilningur á þessum áskorunum og hvernig skal glíma við þær með áhrifaríkum hætti er lykilatriði til að stuðla að víðtækri viðurkenningu/samþykki og innleiðingu innan byggingageirans og samfélagsins í heild (Ohene o.fl., 2022a).

### Efnahags- og Löggjafahindranir

Mikilvæg áskorun snýst um efnahagslega hagkvæmni kolefnishlutlausra bygginga, sérstaklega varðandi tiltölulega hækkaðan upphafskostnað miðað við hefðbundin byggingarmannvirki, og umtalsverðar fjárfestingar í nýjungum. Ómissandi þáttur þess að yfirstíga þessa hindrun felst í því að framkvæma nákvæma kostnaðargreiningu sem felur í sér bæði stofnfjárútgjöld og væntanleg rekstrarútgjöld (Catto, 2008; Mata o.fl., 2021; Pan & Pan, 2021; Sesana & Salvalai, 2013). Mótun skilvirkra stefnu og byggingarreglugerða tekur mið af því að hvetja markaðseftirspurn eftir kolefnishlutlausum byggingum. Mikilvægir þættir í þessari viðleitni fela í sér að hagræða orkustjórnun, efla orkunýtnistaðla og veita stjórnvöldum stuðning til að flýta fyrir innleiðingu kolefnishlutlausra bygginga (Ozorhon, 2013; Heffernan o.fl., 2015; Pan & Pan, 2021).

### Faglegar og Tæknilegar Hindranir

Áskoranir eru miklar hvað varðar faglega hæfni innan byggingariðnaðarins og þörfina fyrir samstillt samstarf hagsmunaaðila sem krefjast sterkrar verkefnastjórnunar (Stevenson & Kwok, 2020; Ohene o.fl., 2022b). Þrátt fyrir að kostnaður við ýmsa tækni til að bæta ytra byrði bygginga, hita-/kælikerfi og orkuöflun hafi minnkað á undanförnum árum (Jäger-Waldau, 2018), er það enn áskorun að samþætta þær kolefnishlutlausum byggingum (Makvandia et al. al., 2021).

### Félags- , Menningar-, og Markaðshindranir

Skortur á almennri vitund og mótstöðu gegn breytingum eru stórar hindranir við innleiðingu kolefnishlutlausra bygginga. Það krefst alhliða fræðslu- og samskiptaviðleitni að komast nærri því að leysa þessi mál (Godin o.fl., 2021; Heffernan o.fl., 2015; Jones, 2017). Markaðurinn hefur mikil áhrif á innleiðingu kolefnishlutlausra bygginga. En hann einkennist af skorti á eftirspurn og árangurslausum markaðsaðferðum, sem stuðlar að hækkandi markaðsverði kolefnishlutlausra bygginga (Heffernan o.fl., 2015; Persson & Grönkvist, 2015; Zhang & Zhou, 2015).

### Landfræðilegar hindranir

Að reisa kolefnishlutlaus mannvirki felur í sér áskoranir vegna landfræðilegra takmarkana, sérstaklega í þéttbýlum háhýsum borgum með takmarkað tiltækt pláss (Pan & Pan, 2019), ásamt því að staðsetningu og loftslag getur haft áhrif á hagkvæmni. Það hefur reynst flókið verkefni að endurnýta gamlar byggingar til að ná fram kolefnishlutleysi (Attia o.fl., 2017; G. Liu o.fl., 2020; Pan & Pan, 2021) og landfræðilegar hindranir eru meðal annars takmarkanir á notkun endurnýjanlegrar orku eins og t.d. sólar-, jarðvarma- eða vindorku, og hindranir fyrir innlendri orkuframleiðslu (Ohene o.fl., 2022a).

## Aðferðir til að yfirstíga hindranir/áskoranir

Áskoranir í innleiðingu kolefnishlutlausra bygginga eru margþættar og krefjast samhæfðrar nálgunar sem nær yfir stjórnvöld, efnahagslega ávöxtun, hagsmunaaðila þátttöku og tækniþróun.

### Stjórnvöld og Reglugerðir

Skilvirk stefna stjórnvalda, sem nær yfir byggingarreglur og orkunýtnistaðla, skipta miklu máli. Ríkisstjórnir ættu að samræma byggingarmarkmið við landsákvörðuð framlög, efla staðlastofnanir og styrkja eftirlitsstofnanir til að stuðla að lágmarkskröfum um orkuafköst. Enn fremur ættu byggingar að vera samþættar innlendum loftslagsstefnum (Bui o.fl., 2021; Heffernan o.fl., 2015; Ohene o.fl., 2022b).

Stjórnvöld gegna lykilhlutverki í að knýja fram sjálfbært húsnæði með því að setja staðla, leiðbeiningar og stefnur (Bui o.fl., 2021). Hins vegar skortir oft virkan stuðning stjórnvalda og samvinnu við hagsmunaaðila. En til að efla sjálfbæra byggingarhætti er samvinna ómissandi (Laski & Burrows, 2017). Fljótleg og skilvirk innleiðing vel úthugsaðrar áætlunar um alla aðfangakeðjuna er nauðsynleg til að styðja við markmið um sjálfbærar byggingar (Osmani & O'Reilly, 2009). Ríkisstjórnir geta örvað/hvatt iðnaðinn með því að setja fordæmi og hvetja til kolefnishlutlausra bygginga með fjárhagslegum hvötum, orkunýtingarvottorðum, grænum leigusamningum og fjármögnun grænna skuldabréfa (Bui o.fl., 2021).

Efnahagsleg Ávöxtun og Fjármögnun

Upplýsingar um arðsemi fjárfestinga og aðgengi að fjármagni eru forsendur markaðsins fyrir kolefnishlutlausar byggingar. Bjóða þarf upp á nákvæmar kostnaðarleiðbeiningar í samræmi við reglugerðir og skapa fjárhagslega hvata eins og skattaívilnanir og græna fjármögnun til að brúa bilið á milli núverandi markaðsverðs og þess sem er hagstætt fyrir kolefnishlutlausar byggingar. Ennfremur, þegar kostnaður við kolefnishlutlausar byggingar er reiknaður út, er mikilvægt að taka með magngreiningu umhverfisáhrifa til að hvetja notendur til að fjárfesta í því að draga úr kolefnisfótspori bygginga (Ohene o.fl., 2022a). Ríkisstjórnir, í tengslum við húsnæðisfjármögnunaraðila, geta gegnt lykilhlutverki í að auðvelda fjármögnun með skilvirkri úthlutun fjármuna til byggingar með litla kolefnislosun (Ohene o.fl., 2022a; Likhacheva Sokolowski, 2019), og stefnurammi til stuðnings fyrir fjárfestingar og fjármál er mikilvægur til að takast á við þessar áskoranir (Global Alliance for Buildings and Construction, n.d.).

Þátttaka Hagsmunaaðila og Viðnám gegn Breytingum

Það krefst víðtækrar kynningar og þáttöku allra hagsmunaaðila, sérstaklega á hönnunarstiginu að byggja og reka kolefnishlutlausar byggingar (Moore, 2020; Van Der Schoor & Scholtens, 2015). Samstarf innan iðnaðarins og samfélagsins getur á áhrifaríkan hátt tekið á menningar- og þekkingarhindrunum (Pan & Pan, 2021). Viðnám gegn breytingum krefst upplýsingamiðlunar og aðlögunar skipulagsramma sem undirstrikar ávinning sjálfbærar bygginga (Ohene o.fl., 2022a).

Skipulag og ferla ætti að laga til að styðja við sjálfbærar byggingar, stuðla að gagnsæi gagna og fræða eigendur og íbúa fasteigna um hegðunarbreytingar sem geta leitt til orkusparnaðar. Að leggja áherslu á orkusparnað og heilsufarskosti sjálfbærra bygginga er lykilatriði til að efla samfélagslega viðurkenningu.

Tækniþróun

Þróun og innleiðing tækninýjunga, einkum í landfræðilega krefjandi aðstæðum, er mikilvæg fyrir kolefnishlutlausar byggingar. Þjálfun og styrkir frá stjórnvöldum til að styðja við þessar nýjungar geta skipt sköpum fyrir framgang þeirra í byggingariðnaðinum (Ohene o.fl., 2022b).

Það þarf að takast á við margþættar hindranir til að auðvelda framkvæmd kolefnishlutlausra bygginga á sama tíma og stuðla að víðtækari viðurkenningu þeirra og samþættingu innan byggingariðnaðarins og samfélagsins í heild.

## Kolefnisjöfnun

Þótt áætlanir um kolefnisjöfnun séu taldar veita hagkvæma og umhverfislega sjálfbæra leið til að ná kolefnishlutleysi (Shea o.fl., 2020), hefur umhverfisáætlun Sameinuðu þjóðanna vakið áhyggjur af hugsanlegri misnotkun á kolefnisjöfnun sem leiðir til aðgerðaleysis (UNEP, 2019), að kolefnisjöfnun gæti aðeins skapað blekkingu um lausn, vegna skorts á raunverulegum losunarsamdrætti (Kumar o.fl., 2020). Losun utan landsteinanna útilokar ekki að treysta á jarðefnaeldsneyti heldur færir vandamálið til annarra svæða (Turner o.fl., nd). Til að takast á við málið á áhrifaríkan hátt eru lagarammar og ákvarðanastuðningskerfi nauðsynleg til að meta raunverulegan kostnað við losun nákvæmlega (Too o.fl., 2022).

### Tvítalning og kolefnismæling

Þó að endurnýjanlegir orkugjafar utan byggingarsvæðis/lóðar stuðli að kolefnislosun raforkukerfisins og minnki íhlutum í losun gróðurhúsalofttegunda (Satola o.fl., 2021), er það áskorun að gera grein fyrir áhrifum endurnýjanlegrar orkuframleiðslu á staðnum og utan þess á minnkun losunar. Tvítalning getur átt sér stað þegar umfram endurnýjanleg orka er flutt út eða þegar hún er framleidd og keypt af orkugjöfum utan nets. Leiðbeiningar frá Umhverfisverndarstofnun Bandaríkjanna (2018) mæla með því að öðlast endurnýjanlega orkuvottorð (RECs) og taka þau síðan úr gildi í stað þess að selja þau til að forðast tvítalningu og tryggja nákvæmar umhverfiskröfur (Satola o.fl., 2021).

Mæling á rekstrarkolefni er tiltölulega einföld í samanburði við mælingar á innbyggðu kolefni (Dixit, 2017). Innbyggt kolefni er oft gleymt í kolefnisbókhaldi vegna skorts á löggjöf í mörgum löndum (Langston & Langston, 2008). Þó að mæling á rekstrarkolefni sé tiltölulega einfalt er mæling á innbyggðu kolefni flókin vegna skorts á stöðluðum aðferðum og landsviðurkenndum gagnagrunnum fyrir byggingarefni (Dixit, 2017; Giordano o.fl., 2015).

### Jöfnunarvottorð

Kolefnisjöfnunarverkefni, kynnt með Kyoto-bókuninni, bjóða upp á ramma til að leggja mat á og meta kolefnisjöfnunarverkefni sem hægt er að markaðssetja (CDM). Þessi verkefni styðja viðleitni til að draga úr losun í þróunarlöndunum en hafa vakið áhyggjur varðandi skilvirkni þeirra og áreiðanleika mótvægiseininga til bóta (Gillenwater o.fl., 2007).

### Tæknilegar ráðstafanir

Jöfnunaraðferðir sem fela í sér tækni eins og skógrækt, líforku með kolefnistöku og geymslu, eða beina lofttöku og kolefnisgeymslu (Minx o.fl., 2018), geta stuðlað að alþjóðlegu markmiði um að ná hreinni núlllosun og gerir kolefnishlutlausum byggingum kleift að losa gróðurhúsalofttegundir. Hins vegar eru áhyggjur varðandi langtíma sjálfbærni þessara aðferða (Satola o.fl., 2021).

## Núverandi stefnur og reglugerðir

Skilvirk stefna, lög og ferlar eru nauðsynlegir til að ná kolefnishlutlausum byggingum fyrir árið 2050 (Ohene et al., 2022a). Stefnumótendur og hagsmunaaðilar þurfa að fylgja á eftir og viðurkenna byggingar sem lykil lyftistöng til að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda (Carcassi et al., 2022). Það er þörf á yfirgripsmikilli endurskoðun á markmiðum og vegvísum til að bera kennsl á árangursríkar aðferðir til að draga úr kolefnislosun byggingargeirans og innleiða lágorku- og kolefnisstaðla um allan heim (Mata et al., 2020a).

### Alþjóðlegt sjónarhorn

Í Norður-Ameríku eru skýr markmið til að ná kolefnishlutlausum byggingum, oft sem prósentulækkun frá grunngildum. Til dæmis stefnir Kanada að því að innleiða núll-orku-tilbúin byggingarreglustaðal (zero-energy-ready building code) fyrir árið 2030 og héruð í Kanada hafa leyfi til að setja núll orku byggingarmarkmið. Kalifornía sker sig úr með eigin ströngu byggingarreglum, Title 24, sem miðar að því að stuðla að orkunýtni og sjálfbærum byggingaraðferðum, þar á meðal stuðningi við kolefnishlutlaus byggingarmarkmið, í takt við víðtækari sjálfbærnimarkmið ríkisins og þjóna sem fyrirmynd fyrir önnur svæði (Mata et al., 2020a). Í Kína setti ríkisstjórnin fyrsta landsstaðalinn sinn fyrir næstum núllorkubyggingar árið 2019 og hvetur til endurnýjanlegra orkugjafa fyrir nýjar byggingar ásamt því að einhver héruð og bæir hafa innleitt Nettó núll orku byggingar í sveitarstjórnaráætlunum (Mata et al., 2020a). Sérfræðingar spá því að árið 2030 verði 30% bygginga í Kína knúin endurnýjanlegri orku (Z. Liu et al., 2019).

Fleiri lönd taka einnig skref í átt að sjálfbærum byggingum. Ástralía hefur sett sér markmið um aukna orkunýtingu fyrir árið 2030 (Feng et al., 2019; Tozer & Klenk, 2018). Malasía stefnir að því að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda um 45% fyrir árið 2030, Singapúr stefnir að 40-60% bætingu á orkunýtnivísitölunni fyrir árið 2030 (Feng et al., 2019). Indland hefur kynnt byggingarreglur um orkusparnað fyrir nýbyggingar (Kapoor et al., 2011). Chile hefur tekið upp byggingarmarkmið um núlllosun í innlendri orkustefnu sinni (Kapoor et al., 2011) og Suður-Afríka hefur árangurstengd markmið um kolefnishlutleysi nýbygginga undir C40 Suður-Afríku byggingaráætluninni (Feng et al., 2019).

Alþjóðlegt samstarf er nauðsynlegt til að takast á við hindranir eins og skort á rannsóknum í vanþróuðum löndum og samræmi við byggingarreglugerðir, efla samvinnu og svæðisbundin bandalög, samþætta kolefnishlutlausar byggingar í vaxandi hagkerfi og búa til alhliða aðgerðaáætlanir til að ná kolefnishlutlausum byggingum um allan heim.

WGBC World Green Building Councils
Alþjóðlegt frumkvæði að kolefnishlutlausum byggingum

Alþjóðlega loftslagsátakið „Advancing Net Zero,“ sækja fram að kolefnishlutleysi, undir forystu World Green Building Council (WGBC. Þeirra framtíðarsýn er að nýjar byggingar skuli ná kolefnishlutleysi fyrir árið 2030 og að núverandi/nú þegar byggðar byggingar nái kolefnishlutleysi fyrir árið 2050. Green Building Councils (GBCs) Ráð Grænni Byggða um allan heim, sem meðlimir WGBC, efla og stuðla virkt að kolefnisminnkandi áætlunum innan sinna landa. Þeir tala fyrir löggjöf sem styður kolefnisminnkun og samræma innlenda verkferla, leiðbeiningar og menntunaráætlanir sem styður við meginmarkmið WGBC. Eins og er, hafa 31 þjóð sett upp vegvísa til að stefna að því að ná kolefnishlutlausu byggingarmarkmiðunum.

Algengar hindranir
Vegvísarnir milli landa varpa ljósi á algengar hindranir eins og þekkingarskort, fjármögnunarskort, ófullnægjandi stefnur, háan kostnað og þörf fyrir hegðunarbreytingar. Þessar endurteknu áskoranir leggja áherslu á mikilvægi sérsniðinna áætlanna til að efla kolefnislosun á heimsvísu í byggingargeiranum. Aðferðir sem koma fram í þessum vegvísum eru meðal annars orkusparandi byggingaráætlanir, endurnýjanleg orkukerfi, lágkolefnishitun og kæling og meginreglur um hringrásarhagkerfi. Þó að sértækar aðferðir geti verið mismunandi eftir löndum, geta margar af þessum aðferðum nýst á heimsvísu og skipta sköpum fyrir viðleitni til að draga úr kolefnislosun.

### Að sigrast á áskorunum og taka á móti tækifærum

Þrátt fyrir áskoranirnar bjóða vegvísarnir upp á fjölmörg tækifæri til framfara við innleiðingu kolefnishlutlausra bygginga. Það getur skilað efnahagslegum og umhverfislegum ávinningi, þar á meðal kostnaðarsparnaði, atvinnusköpun og heilsufarslegan ávinning. Þar að auki getur það knúið framfarir þegar lönd geta lært hvert af öðru, deila bestu starfsvenjum og stuðlað að alþjóðlegu samstarfi í átt að sameiginlegu markmiði um kolefnislosun.

Að viðurkenna bæði hindranir og tækifæri sem gera ráð fyrir því að þróa sérsniðnar aðferðir sem byggja á og henta einstökum aðstæðum og auðlindum hvers lands.

### Skilvirk samskipti og þátttaka hagsmunaaðila

Vegvísarnir taka það fram að skýr og skilvirk samskipti eru mikilvæg til að ná til hagsmunaaðila og öðlast stuðning almennings. Vegvísarnir sýna ýmsar aðferðir og nota fjölbreyttar samskiptaleiðir, þar á meðal opinberar vefsíður stjórnvalda, fjölmiðla, opinbera viðburði og frumkvæði um þátttöku hagsmunaaðila. Samstarf við samstarfsaðila iðnaðarins, frjáls félagasamtök og sjálfbær byggingarsamtök eru algeng til að auka vitund og efla upptöku kolefnishlutlausra bygginga. Áhersla er lögð á vinnustofur hagsmunaaðila, opinbert samráð, skuldbindingu atvinnulífsins og samfélagsins og fræðslu/menntaáætlanir til að brúa þekkingarbil og knýja fram hegðunarbreytingar.

Þrátt fyrir mismunandi útfærslur vegvísa milli landa, leggja þau öll almennt áherslu á að virkja hagsmunaaðila og almenning í gegnum fjölbreyttar leiðir og tryggja víðtækan skilning á markmiðum og áætlunum kolefnishlutlausra bygginga.

## Íslenskar aðstæður

Ein undirstaðan fyrir framhaldsverkefni um leiðbeiningar til að ná fram kolefnishlutleysi bygginga, er að skilgreina íslenskar aðstæður. Ekki er hægt að yfirfæra erlendar skilgreiningar og vottunarkerfi beint yfir á íslenskan byggingariðnað. Í þessum hluta er farið yfir þá þætti sem huga þarf að við gerð leiðbeininganna.

### Kolefnisstyrkur hita- og rafveitu

Í erlendum skilgreiningum á kolefnishlutlausri byggingu er mikil áhersla lögð á að orkan sem byggingin notar sé frá endurnýjanlegum orkugjafa. Því, samkvæmt sumum skilgreiningum, væru flestar byggingar á Íslandi skilgreindar sem kolefnishlutlausar hvað varðar orkunotkun, án nokkurra breytinga á núverandi byggingaraðferðum.

Framleiðsla á orku innan byggingarlóðarinnar er einnig talin vera góð leið til að ná fram kolefnishlutleysi. Staðbundnir orkugjafar, eins og sólarorka og vindorka, geta umbreytt byggingunni í raforkustöð. Þessa orku er þá bæði hægt að nýta fyrir daglegan rekstur, en jafnframt má selja umfram raforku til nærliggjandi byggðar. Þannig kemur byggingin í veg fyrir mikla losun frá orkunotkun ekki bara hjá sér, heldur hjá öðrum byggingum, og er sú losun sem komið er í veg fyrir dregin af losun framkvæmdafasa byggingarinnar. Hins vegar er losun frá hita- og rafveitu Íslands með svipaða eða minni losun á kílóvattstundina heldur en sólarorka eða vindorka, og því virkar þessi nálgun ekki í þessu samhengi. Finna þarf aðrar leiðir til þess að bæta upp fyrir þá losun sem á sér stað á framkvæmdarfasa (innbyggt kolefni).

### Byggingarmenning

Ein leið til þess að draga verulega úr innbyggðu kolefni er að endurnota gamalt byggingarefni. Í leiðbeiningum HMS um gerð lífsferilsgreininga á Íslandi munu endurnotuð byggingarefni bera með sér 0 losun, og er sú aðferð valin til þess að hvetja til endurnotkunar.

Byggingarmenning okkar felur ekki í sér notkun múrsteina, sem er tilvalið byggingarefni til endurnotkunar, heldur steinsteypu. Erfiðara getur reynst að endurnota steinsteypu, bæði vegna tæknilegra örðuleika við að skera hana niður í nothæfar einingar, en einnig því steypublöndur hafa breyst mikið með árunum og lítið af upplýsingum eru til um eiginleika einstakra veggja. Þar sem steypan er stór hluti af byggingarmenningu Íslendinga þarf að skoða vel hvort hægt sé að nota steinsteypu í kolefnishlutlausar byggingar á Íslandi, og þá hvernig.

Torfkofinn er dæmi kolefnishlutlausa byggingu, og væri því þarf að skoða þennan byggingararf okkar vel við gerð leiðbeininganna.

### Loftslag

Vindálag, rakaskemmdir og mygla, upphitunarþörf, dagsbirta, notkun grænna lifandi byggingarefna (græn þök og veggir), hraði og magn kolefnisbindingar við skógrækt á lóð...

### Jarðhræringar

Burðarþol, sement og stál, losun

### Auðlindir og markaðsaðstæður

Fá byggingarefni eru framleidd hér á landi, og því þarf að hugsa leiða til að minnka losun sem stafar af flutningum, ásamt því að skoða möguleika á innlendri framleiðslu. Með uppbyggingu á úrvinnslu skógarafurða og eflingu nytjaskógræktar á Íslandi verður mun auðveldara að byggja kolefnishlutlausar byggingar. Ræktun á iðnaðarhampi til notkunar á hampsteypu felur einnig í sér tækifæri fyrir innlenda framleiðslu á lágkolefnis byggingarefnum.

### Kolefnisjöfnun

Viðurkenndar einingar... Elín?

## Niðurstöður

Til að takast á við áskoranir loftslagsbreytinga getur byggingageirinn gegnt lykilhlutverki við að hefta kolefnisfótspor byggða umhverfisins. Kolefnishlutlausar byggingar geta dregið verulega úr losun gróðurhúsalofttegunda (GHG) innan byggða umhverfisins. Framgangur kolefnishlutlausra bygginga stafar að hluta af vaxandi þörf á aðgerðum varðandi loftslagsbreytingar og mikilvægi alþjóðlegs orkuöryggis. Margar þjóðir hafa mótað stefnur og reglugerðir til að hvetja til þróunar vistfræðilega sjálfbærari og orkunýtnari bygginga.

Innleiðing kolefnishlutlausra bygginga krefst orkusparandi hönnunar, háþróaðar tækni, endurnýjanlega orkugjafa og sjálfbærra efna til að lágmarka losun gróðurhúsalofttegunda. Til að bæta upp fyrir óhjákvæmilega losun er hægt að kolefnisjafna þá losun sem ekki er komist hjá. Lífsferilsgreiningar skipta höfuðmáli við þetta ferli, þar sem þau meta umhverfisáhrif byggingar á líftíma hennar og hægt er að skoða hvar eru möguleikar á endurbótum og hagræðingu.

Þessi skýrsla undirstrikar mikilvægi þess að sigrast á þeim áskorunum sem hindra innleiðingu kolefnishlutlausra bygginga. Með sameiginlegt markmið, skilning, og samvinnu geta hagsmunaaðilar og stefnumótendur unnið á skilvirkari hátt að því að auka og innleiða árangursríkar aðferðir fyrir kolefnishlutlausar byggingar.

## Áframhaldandi vinna

xxx

Hvað er viðmiðunarbyggingin – í kolefnisspori

Vegvísir að kolefnishlutleysi

Kolefnisjöfnun – Skógræktin – Votlendissjóður

## Heimildaskrá