



MAT Á KOLEFNISSPORI Á SKIPULAGSSTIGI

Fyrsta skref í átt að kolefnishlutleysi

20.01.2020



SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ

SKJALALYKILL

5830-004-SKY-001-V01

TITILL SKÝRSLU

Mat á kolefnisspori á skipulagsstigi – Fyrsta skref í átt að kolefnishlutleysi

SKÝRSLUNÚMÉR / SÍÐUFJÖLDI

01 / 84

VERKHEITI

Mat á kolefnisspori á skipulagsstigi

VERKEFNISSTJÓRI / FULLTRÚI VERKKAUPA

Sigrún Eysteinsdóttir

VERKKAUPI

Skipulagsstofnun

VERKEFNISSTJÓRI EFLA

Helga J. Bjarnadóttir

HÖFUNDUR

Helga J. Bjarnadóttir
Sigurður Thorlacius

LYKILORÐ

skipulag, skipulagsáætlun, landsskipulag, svæðisskipulag, aðalskipulag, deiliskipulag, kolefnisspor, svæðisbundið, virðisdeðja, neysludrifið, kolefnishlutleysi, *GHG Protocol for Cities*, *PAS 2070*, vistferilsgreining, sjálfbærnivottun, losun, binding, loftslagsstefna, aðgerðir, aðgerðaáætlun

ÚTDRÁTTUR

Meginmarkmið þessa verkefnis voru að: 1) Taka saman upplýsingar um leiðir til að meta og setja fram kolefnisspor sveitarfélaga og skipulagsáætlana. 2) Taka saman helstu uppsprettur losunar og bindingar í dæmigerðri skipulagsáætlun. 3) Setja fram hugmyndir að leiðum til að minnka kolefnisspor í skipulagi og áætlunum

Helstu aðferðir til að meta kolefnisspor sveitarfélaga eru: Einfalt kolefnisspor (*GHG Protocol for Cities*); svæðisbundið kolefnisspor (*GHG Protocol for Cities*); svæðisbundið kolefnisspor auk óbeinnar losunar í virðisdeðju (*GHG Protocol for Cities* eða *PAS 2070*); neysludrifið kolefnisspor (*PAS 2070*) og kolefnisspor metið með vistferilsgreiningu.

Ætla má að fyrir sveitarfélög á Íslandi séu losunarþættirnir nokkurn veginn í þessari stærðarröð (stærsti þáttur fyrst): 1) Landnotkun, breytingar á landnotkun og skógrækt; 2) Iðnaðarferlar; 3) Samgöngur; 4) Matvæli (Landbúnaður og sjávarútvegur); 5) Úrgangur; 6) Byggingarefni; 7) Efnanotkun; 8) Orkuvinnsla; 9) Vélar og tæki

Sveitarfélögum er ráðlagt að temja sér eftirfarandi verklag þegar draga á úr losun gróðurhúsalofttegunda: 1) Stefna í loftslagsmálum; 2) Mat á kolefnisspori þar sem losun og binding er metin; 3) Mælanleg markmið ásamt fjármagnaðri og tímasettri aðgerðaáætlun út frá magnsetningu og kostnaðarmati aðgerða; 4) Framfylgd aðgerðaáætlunar ásamt reglulegu endurmati.

STAÐA SKÝRSLU

- Drög
 Drög til yfirlustrar
 Lokið

DREIFING

- Opin
 Dreifing með leyfi verkkaupa
 Trúnaðarmál

SAMANTEKT

Til að sveitarfélag geti náð kolefnishlutleysi þarf fyrst að meta losun og bindingu gróðurhúsa-lofttegunda. Til eru ýmsar aðferðir við mat á kolefnisspor sveitarfélags og þessari skýrslu er ætlað að greiða úr þeirri flækju. Meginmarkmið þessa verkefnis voru að:

1. Taka saman upplýsingar um leiðir til að meta og setja fram kolefnisspor sveitarfélaga og skipulagsáætlana
2. Taka saman helstu uppsprettur losunar og bindingar í dæmigerðri skipulagsáætlun
3. Setja fram hugmyndir að leiðum til að minnka kolefnisspor í skipulagi og áætlunum

Helstu aðferðir til að meta kolefnisspor sveitarfélaga eru eftirfarandi:

Einfalt kolefnisspor: Einfölduð útgáfa af kolefnisspori er BASIC aðferð *GHG Protocol for Cities* staðalsins. Þá er losun vegna landnotkunar og iðnaðar sleppt þannig það nær ekki yfir allt umfang 1. Orkuvinnsla (umfang 2) og úrgangsmeðhöndlun utan sveitarfélags er tekin með.

Svæðisbundið kolefnisspor: Þá er reiknað með allri losun og bindingu sem á sér stað innan sveitarfélagsmarka. Fjallað er um svæðisbundið kolefnisspor (umfang 1) í *GHG Protocol for Cities* staðlinum.

Svæðisbundið kolefnisspor auk óbeinnar losunar í virðiskeðju: Þá er einnig tekið tillit til þess að ýmis starfsemi sem á sér stað innan sveitarfélags hefur áhrif út fyrir sveitarfélagið. Mismunandi er hversu langt er gengið í að ná utan um þessa óbeinu losun sem verður ofar (e. upstream) eða neðar (e. downstream) í virðiskeðju (e. supply chain) sveitarfélagsins. Hér koma tvær aðferðir til greina:

- BASIC+ aðferð *GHG Protocol for Cities* staðalsins: Öll svæðisbundin losun (umfang 1) og orkuvinnsla (umfang 2). Úr umfangi 3 er tekið tillit til urðunar úrgangs utan sveitarfélags, flutningstapa og samgangna á milli sveitarfélaga
- Direct Plus Supply Chain (DPSC) aðferð *PAS 2070* staðalsins: Tekur tillit til sömu þátta og BASIC+ nema tekur til viðbótar inn fleiri þætti í umfangi 3, þ.e. vatnsveitu og framleiðslu byggingar-efna, eldsneytis, matar og drykkjar.

Neysludrifið kolefnisspor: Metin er bein og óbein losun vegna allra vara og þjónustu sem íbúar sveitarfélagsins neyta, óháð því hvar hún á sér stað. Litið er á það sem svo að losunin sé drifin áfram af neyslunni, frekar en að hún tilheyri þeim sem framleiðir vörurnar og þjónustuna. Í neysludrifnu kolefnisspori er sleppt losun vegna framleiðslu vara og þjónustu sem er flutt út úr sveitarfélaginu eða neytt af ferðamönnum því hún tilheyrir ekki íbúum sveitarfélagsins. Aðferðafræðin á bakvið neysludrifið kolefnisspor eru töluvert frábrugðin aðferðum sem byggja á svæðisbundnu kolefnisspori. Líklega skortir gögn til að reikna út neysludrifið kolefnisspor. Hér er hægt að styðjast við neysludrifið kolefnisspor skv. *PAS 2070* staðlinum.

Kolefnisspor metið með vistferilsgreiningu: Vistferilsgreining býður upp á nákvæmari sundurliðun kolefnisspors því þá er rakið upp allar virðiskeðjur og tekið tillit til allra þátta vistferils, þ.e. framleiðslu hráefna, notkunar og förgunar. Á síðustu árum hafa einstaka húsaraðir og hverfi verið greind með vistferilsgreiningu og þá hefur áherslan verið á hið byggða umhverfi (byggingar, veitur vegir og önnur opin svæði) og samgöngur. Sú aðferð myndi henta vel til að meta kolefnisspor deiliskipulags. Aðferðafræðin við að meta kolefnisspor heils sveitarfélags með vistferilsgreiningu er enn í mótun.

Út frá yfirferð skýrslunnar mætti leggja til mismunandi aðferðafræði í eftirfarandi tilvikum:

- **Gögn og tíma skortir:** Kolefnisspor skv. BASIC eða BASIC+ aðferðum *GHG Protocol for Cities*
- **Stefnt á vandaða greiningu:** Kolefnisspor skv. DPSC aðferð *PAS 2070* staðalsins
- **Meta á áhrif neyslu íbúanna:** Neysludrifið kolefnisspor skv. *PAS 2070* staðlinum
- **Nákvæm greining á hinu byggða umhverfi:** Kolefnisspor metið með vistferilsgreiningu

Út frá yfirferð skýrslunnar mætti ætla að fyrir sveitarfélög á Íslandi séu losunarþættirnir að meðaltali í nokkurn veginn þessari stærðarröð (stærsti þáttur fyrst):

1. **Landnotkun, breytingar á landnotkun og skógrækt:** Þessi þáttur er sennilega stærstur hjá sveitarfélögum með hlutfallslega mikið land á móti byggð og þá sérstaklega ef mikið er um framræst votlendi. Mikilvægt er að huga að því hvaða land fer undir þegar byggð er skipulögð.
2. **Iðnaðarferlar:** Ef stóriðja er í sveitarfélaginu er sú losun sennilega einn af stærstu þáttunum.
3. **Samgöngur:** Losun vegna notkunar eldsneytis í samgöngum er sennilega einn af stærstu þáttum í flestum sveitarfélögum. Einkabílar, vörubílar, strætisvagnar, rútur, flugvélar og skip.
4. **Matvæli:** Losun vegna matvæla er líklega einn af stærri losunarþáttum. Mismunandi er eftir aðferðum hvort tekin er fyrir matarneysla íbúa sveitarfélagsins (neysludrifin hugsun) eða matvælaframleiðsla innan sveitarfélagsins (svæðisbundin hugsun).
 - **Landbúnaður:** Losun frá meltingu jörturdýra og frá notkun áburðar.
 - **Sjávarútvegur:** Losun vegna brennslu eldsneytis í fiskiskipum.
5. **Úrgangur:** Losun vegna urðunar lífræns úrgangs, brennslu úrgangs og meðhöndlunar skólps.
6. **Byggingarefni:** Mikilvægur þáttur í kolefnisspori sveitarfélaga sem vill oft gleymast. Á skipulagsstigi eru einmitt mestu tækifærin til að hafa áhrif á losun vegna byggingarefna.
7. **Efnanotkun (F-gös):** Losun vegna notkunar kælimiðla í fiskiskipum eða kælibúnaði.
8. **Orkuvinnsla (jarðvarmi):** Ef jarðvarmavirkjun er staðsett innan sveitarfélags. Losun frá lónum vatnsaflsvirkjana fellur ekki hér undir heldur undir landnotkun og breytingar á landnotkun.
9. **Vélar og tæki:** Losun frá vinnutækjum í byggingarframkvæmdum.

Sveitarfélögum er ráðlagt að temja sér eftirfarandi verklag þegar draga á úr losun gróðurhúsa-lofttegunda:

1. **Stefna:** Sveitarfélög ættu að byrja á því að skilgreina stefnu í loftslagsmálum sem nær bæði til skipulagsáætlana og núverandi reksturs.
2. **Mat á kolefnisspori:** Velja eina af aðferðunum hér að ofan og meta losun og bindingu gróðurhúsalofttegunda samkvæmt henni, auðkenna stærstu losunarþætti.
3. **Mælanleg markmið og aðgerðaáætlun:** Setja sér mælanleg markmið, leggja fram aðgerðir, magnsetja og kostnaðarmeta þær og taka saman í fjármagnaðri og tímasettri aðgerðaáætlun.
4. **Framkvæmd:** Framfylgja aðgerðaáætlun og í samhliða endurmeta kolefnisspor og aðgerða-áætlun með reglulegu millibili.

Í kafla 9.2 má finna hugmyndir að aðgerðum til að draga úr losun en auðvitað ættu slíkar aðgerðir að vera unnar í kjölfar stefnumótunar og útreiknings á kolefnisspori viðkomandi sveitarfélags.

EFNISYFIRLIT

SAMANTEKT	3
1 INNGANGUR	9
1.1 Hvati	9
1.2 Markmið	11
1.3 Hvað er kolefnisspor?	12
1.4 Yfirlit yfir tegundir kolefnisspors	12
2 SVÆÐISBUNDIÐ KOLEFNISSPOR	14
3 SVÆÐISBUNDIÐ KOLEFNISSPOR AUK VIRÐISKEÐJU	16
3.1 Svæðisbundið kolefnisspor auk virðiskeðju skv. <i>GHG Protocol for Cities</i>	16
3.2 Svæðisbundið kolefnisspor auk virðiskeðju skv. <i>PAS 2070 (Direct Plus Supply Chain)</i>	19
4 NEYSLUDRIFIÐ KOLEFNISSPOR	22
4.1 Neysludrifið kolefnisspor skv. <i>PAS 2070</i>	22
4.2 Sýnidæmi: Borgir í C40 hópnum	24
4.3 Sýnidæmi: Noregur	27
5 KOLEFNISSPOR METIÐ MEÐ VISTFERILSGREININGU	29
5.1 Almennt um vistferilsgreiningar	29
5.2 Kostir þess að meta kolefnisspor með vistferilsgreiningu	29
5.3 Vistferilsgreiningar fyrir húsaðir og hverfi (deiliskipulag)	30
5.3.1 Sýnidæmi: Vistferilsgreining fyrir húsaðir í Belgíu	30
5.3.2 Sýnidæmi: Vistferilsgreining fyrir úthverfi í Melbourne í Ástralíu	33
5.3.3 Sýnidæmi: Vistferilsgreining fyrir hverfi í Bergen í Noregi	35
5.3.4 Yfirlit yfir vistferilsgreiningar fyrir húsaðir og hverfi	38
5.4 Vistferilsgreiningar fyrir sveitarfélög og borgir (aðalskipulag)	41
5.4.1 Vistferilsgreining og efnaskipti borgar	41
5.4.2 Samræming á aðferðafræði vistferilsgreininga fyrir borgir	42
6 SJÁLFBÆRNIVOTTUN SKIPULAGS	45
6.1 DGNB	45
6.2 BREEAM Communities	46
7 SAMANBURÐUR Á AÐFERÐUM	47
7.1 Yfirlit yfir aðferðir til að meta kolefnisspor	47
7.2 Sýnidæmi: Lundúnaborg og Madríd	48
7.3 Hvaða aðferðafræði á að velja?	49

8	HELSTU UPPSPRETTUR LOSUNAR OG BINDINGAR Í SKIPULAGSÁÆTLUN	50
8.1	Flokkar losunar og bindingar	50
8.2	Stærstu losunarpættir í kolefnisbókhaldi Íslands	52
8.2.1	Landnotkun, breytingar á landnotkun og skógrækt	53
8.2.2	Iðnaðarferlar og efnanotkun (F-gös)	54
8.2.3	Orka (staðbundin og samgöngur)	55
8.2.4	Landbúnaður	56
8.2.5	Úrgangur	56
8.3	Stærstu þættir í kolefnisspori Lundúnaborgar og Madríd, svæðisbundið kolefnisspor auk virðisikeðju skv. PAS 2070 (Direct Plus Supply Chain, DPSC)	56
8.4	Stærstu þættir í kolefnisspori Reykjavíkurborgar	58
8.5	Samantekt á stærstu losunarpáttum	60
9	LEIÐIR TIL AÐ DRAGA ÚR LOSUN GRÓÐURHÚSALOFTTEGUNDA Í SKIPULAGI	61
9.1	Verklag við að draga úr losun	61
9.2	Aðgerðir til að draga úr stærstu losunarpáttum	62
9.2.1	Landnotkun, breytingar á landnotkun og skógrækt	62
9.2.2	Iðnaðarferlar	63
9.2.3	Samgöngur	63
9.2.4	Landbúnaður	64
9.2.5	Sjávarútvegur	64
9.2.6	Úrgangur	64
9.2.7	Byggingarefni	65
9.2.8	Efnanotkun (kælimiðlar)	65
9.2.9	Orkuvinnsla (jarðvarmi)	66
9.2.10	Vélar og tæki	66
9.3	Kostnaðarmat	67
9.3.1	Kostnaðarmat norræna lausna	67
9.3.2	Kostnaðarmat Hagfræðistofnunar Háskóla Íslands	68
9.4	Lærdómur frá öðrum löndum	70
9.4.1	Gautaborg í Svíþjóð	70
9.4.2	Noregur	70
10	HEIMILDASKRÁ	71
VIÐAUKI A	AÐFERÐIR TIL AÐ META KOLEFNISSPOR FYRIR ÖNNUR VIÐFANGSEFNI	75
VIÐAUKI B	ÍTAREFNI ÚR VISTFERILSGREININGUM	82

MYNDASKRÁ

MYND 1	Mynd sem sýnir hversu mikil hnattræn hlýnun verður miðað við núverandi stefnur	10
MYND 2	Leiðtogar ríkja á loftslagsráðstefnunni í París 2015 þar sem Parísarsamkomulagið var undirritað	11
MYND 3	Stigskipting hins byggða umhverfis eftir stærðargráðu	12
MYND 4	GHG Protocol for Cities staðallinn	14
MYND 5	Svæðisbundið kolefnisspor (umfang 1) samkvæmt GHG Protocol for Cities	15
MYND 6	GHG Protocol for Cities staðallinn	16
MYND 7	Flokkun þátta í umfang 1, 2 og 3 samkvæmt GHG Protocol for Cities	17
MYND 8	Flokkun þátta í umfang 1, 2 og 3 samkvæmt GHG Protocol for Cities	19
MYND 9	PAS 2070 staðallinn	19
MYND 10	Flokkun þátta í umfang 1, 2 og 3 ásamt því hvaða þættir eru í Direct Plus Supply Chain aðferð	20
MYND 11	Losun gróðurhúsalofttegunda í borgum og skipting í umfang 1, 2 og 3 samkvæmt PAS 2070	21
MYND 12	PAS 2070 staðallinn	22
MYND 13	Skýringarmynd sem sýnir hvernig neysludrifið kolefnisspor er hugsað	23
MYND 14	Samanlagt kolefnisspor 79 borga í C40 hópnum	24
MYND 15	Niðurstöður úr greiningu á neysludrifnu kolefnisspori 79 borga sem eru aðilar að C40	25
MYND 16	Niðurstöður úr greiningu á neysludrifnu kolefnisspori 79 borga sem eru aðilar að C40	26
MYND 17	Neysludrifið kolefnisspor Noregs og skipting þess	27
MYND 18	Sundurliðun á neysludrifnu kolefnisspori vegna starfsemi sveitarfélagsins Tromsø í Noregi	27
MYND 19	Sundurliðun á neysludrifnu kolefnisspori vegna starfsemi sveitarfélagsins Tromsø í Noregi	28
MYND 20	Samanburður á neysludrifnu kolefnisspori vegna starfsemi sveitarfélaga í Noregi	28
MYND 21	Stigskipting fyrir vaxandi stærðargráðu hins byggða umhverfis	31
MYND 22	Fjórar sviðsmyndir fyrir uppbyggingu húsaáðar	31
MYND 23	Umhverfisáhrifakostnaður á m ² íbúðarhúsnæðis fyrir mismunandi uppbyggingu húsaáðar	32
MYND 24	Kerfismörk fyrir vistferilsgreiningu Stephan o.fl. á úthverfi í Ástralíu	34
MYND 25	Samanburður á frumorkunotkun sviðsmynda fyrir úthverfi í Melbourne	34
MYND 26	Kolefnisspor byggingar með nettó núll losun gróðurhúsalofttegunda	35
MYND 27	Kolefnisspor hverfis í Bergen sundurliðað eftir fimm yfirflokkum hins byggða umhverfis	36
MYND 28	Þróun kolefnisspors hverfis í Bergen með tíma	37
MYND 29	Flokkun hins byggða umhverfis í fjóra yfirþætti	39
MYND 30	Vistferill hverfis og skipting hans í byggingu, notkun og niðurrif	39
MYND 31	Dreifing á niðurstöðum fyrir kolefnisspor hverfa	40
MYND 32	Einfölduð mynd til að útskýra efnaskipti borgar	41
MYND 33	Kerfismörk vistferilsgreiningar borgar sem styðst við greiningu á „efnaskiptum borgar“	42
MYND 34	Bæklingur um ávinning af sjálfbærnivottun hverfa með DGNB Districts	45
MYND 35	BREEAM Communities handbókin	46
MYND 36	Samanburður á kerfismörkum mismunandi aðferðafræða	48
MYND 37	Samanburður á kolefnisspori Lundúnaborgar og Madrid á hvern íbúa	49
MYND 38	Samanburður á kolefnisspori Lundúnaborgar og Madrid á hvern íbúa	49
MYND 39	Heildarlosun frá Íslandi árið 2017 samkvæmt losunarbókhalda Íslands	52
MYND 40	Lengd grafínna skurða á árabílinu 1924-2014	54
MYND 41	Losun vegna orkunotkunar í kolefnisbókhalda Íslands árið 2017	55

MYND 42 Svæðisbundið kolefnisspor auk virðiskeðju skv. <i>PAS 2070</i> staðlinum (DPSC) _____	57
MYND 43 Svæðisbundið kolefnisspor auk virðiskeðju skv. <i>PAS 2070</i> staðlinum (DPSC) _____	57
MYND 44 Kolefnisspor Reykjavíkurborgar _____	58
MYND 45 Leiðbeiningar Oslo um jarðefnaeldsneytisláusar byggingaframkvæmdir _____	66
MYND 46 Mögulegur árangur af notkun Norrænna lausna á Íslandi _____	67
MYND 47 Mögulegur árangur af notkun Norrænna lausna á Íslandi _____	68
MYND 48 Kostnaður aðgerða í samgöngum og hversu miklum samdrætti í losun þær geta skilað _____	69
MYND 49 Kostnaður aðgerða sem teknar voru fyrir í skýrslu Hagfræðistofnunar Háskóla Íslands _____	69
MYND 50 <i>GHG Protocol Corporate Accounting</i> staðallinn _____	76
MYND 51 Losun gróðurhúsalofttegunda frá fyrirtækjum og skipting þeirra í umfang 1, 2 og 3 _____	77
MYND 52 Leiðbeiningar IPCC um kolefnisbókhalð ríkja _____	77
MYND 53 Einfölduð mynd af vistferil mannvirkis og skiptingu hans í stig _____	79
MYND 54 Opin járnnáma [60] _____	79
MYND 55 Gámaflutningar _____	80
MYND 56 Byggingaframkvæmd _____	80
MYND 57 Heitavatnsnotkun á rekstartíma [60] _____	80
MYND 58 Viðhald og viðgerðir _____	80
MYND 59 Niðurrif byggingar _____	81
MYND 60 Urðunarstaður [60] _____	81
MYND 61 Sundurliðun á orkunotkun og kolefnisspori grunnsviðsmyndar (BC) fyrir úthverfi í Melbourne _____	82
MYND 62 Sundurliðun á innifalinni orkunotkun (e. embodied energy) grunnsviðsmyndar (BC) _____	83
MYND 63 Sundurliðun á orkunotkun og kolefnisspori vegna reksturs bygginga í grunnsviðsmynd (BC) _____	83
MYND 64 Orkunotkun mismunandi húsnæðis í LCA líkani Laussetlet o.fl. _____	84
MYND 65 Framreiknaðar breytingar á losunarstuðlum mismunandi bifreiða í LCA líkan _____	84

TÖFLUSKRÁ

TAFLA 1 Flokkun losunar gróðurhúsalofttegunda í umfang 1, 2 og 3 samkvæmt <i>GHG Protocol</i> _____	16
TAFLA 2 Flokkun samfélags í geira samkvæmt <i>GHG Protocol for Cities</i> staðlinum _____	17
TAFLA 3 Flokkar neyslu í neysludrifnu kolefnisspori samkvæmt <i>PAS 2070</i> staðlinum _____	23
TAFLA 4 Fjórar sviðsmyndir í vistferilsgreiningu fyrir úthverfi í Melbourne í Ástralíu _____	33
TAFLA 5 Flokkun hins byggða umhverfis skv. Lotteu o.fl. _____	38
TAFLA 6 Velmegunarvísir borgar (City Prosperity Index, CPI) þróaður af UN Habitat _____	43
TAFLA 7 Velmegunarvísir borgar (CPI), íbúafjöldi (P) og kolefnisspor (GWP) 18 borga _____	44
TAFLA 8 Röðun borga frá hæsta kolefnisspori (efst) til þess lægsta (neðst) _____	44
TAFLA 9 Flokkar losunar og bindingar í kolefnisspori sveitarfélags, byggðir á DPSC aðferð <i>PAS 2070</i> _____	51
TAFLA 10 Kolefnisspor Reykjavíkurborgar í þúsundum tonna af CO ₂ ígildum _____	59

1 INNGANGUR

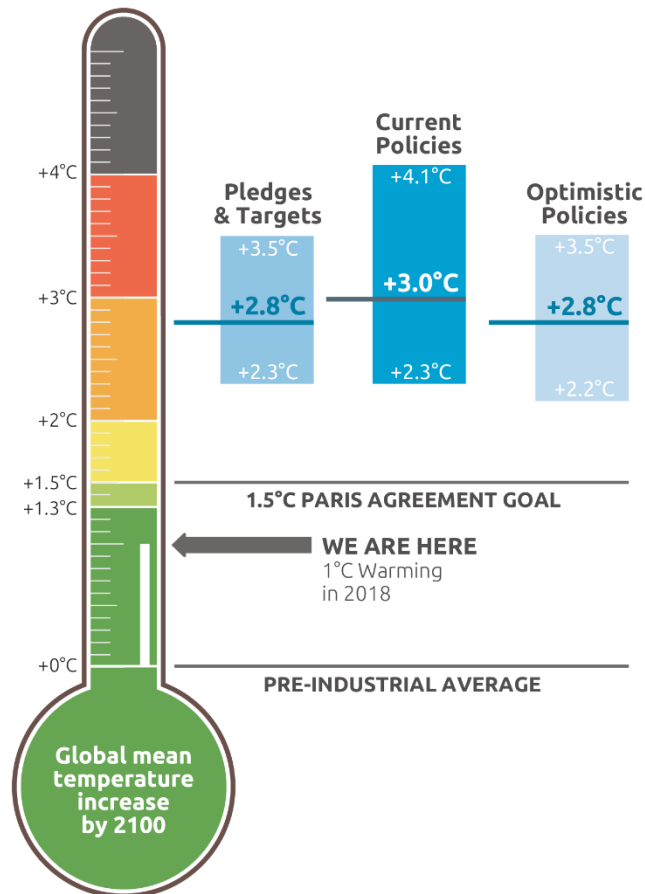
1.1 Hvati

Loftslagsmálin eru meðal stærstu áskoranna sem við stöndum frammi fyrir í dag. Þjóðir heimsins hafa sameinast í Parísarsamkomulaginu svokallaða um að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda á heimsvísu og Ísland tekur þátt í sameiginlegu markmiði Evrópusambandsins (ESB) um að draga úr nettó losun gróðurhúsalofttegunda um 40% fyrir árið 2030 miðað við árið 1990 [1]. Enn fremur hafa íslensk stjórnvöld sett fram markmið um kolefnishlutlaust Ísland fyrir árið 2040 [2] og fjármagnaða aðgerða-áætlun í loftslagsmálum [3].

Fyrsta skrefið sem þarf að taka til þess að geta náð kolefnishlutleysi er að þekkja uppruna losunar og meta magn losunar gróðurhúsalofttegunda í dag. Næsta skrefið væri að meta hvaða binding á sér stað og þá er ljóst hversu langt er í kolefnishlutleysi. Eins og með margt þá er líklegast að árangur náist ef gripið er snemma inn í ferlið. Því eru mikil tækifæri fólgin í því að meta kolefnisspor strax á skipulagsstigi og í kjölfarið setja kröfur í skilmála um að dregið sé úr losun gróðurhúsalofttegunda frá byggð, landnotkun og samgöngum og aukna bindingu í gróðri. Sveitarfélög gætu til dæmis haft mikil áhrif á losun gróðurhúsalofttegunda við gerð aðalskipulags.

Skuldbindingar ríkja í Parísarsamkomulaginu munu þó ekki duga til að ná markmiði samkomulagsins um að takmarka hnattræna hlýnun á öldinni við 1,5°C eða 2,0°C heldur stefnir í u.þ.b. 3°C hlýnun þó staðið verði við allar skuldbindingar [4]. Sjá nánar á mynd 1.

Það voru 197 ríki sem skrifuðu undir Parísarsamkomulagið og flest þeirra hafa fullgilt samkomulagið [5] en því miður hefur ríkisstjórn Bandaríkjanna dregið sig út úr samkomulaginu [6]. Sem mótsvar við því hafa fyrirtæki og borgir í Bandaríkjunum brugðist við með því að lýsa yfir að þau sjálf muni taka þátt í að standa við samkomulagið og draga úr losun gróðurhúsalofttegunda [7]. Undanfarin ár hefur oft komið fram í umræðunni að miklum árangri megi ná ef sveitarfélög og borgir vinna sjálf að því að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda [8]–[10].



CAT warming projections Global temperature increase by 2100

December 2019 Update

MYND 1 Mynd sem sýnir hversu mikil hnattræn hlýnun verður miðað við núverandi stefnur (e. policies) ríkja og setur þær í samhengi við markmið Parísarsamkomulagsins um að halda hnattrænni hlýnun innan við 1,5°C á öldinni [11]. Myndin sýnir sviðsmyndir fyrir hlýnun út frá formlegum stefnum ríkja (e. current policies), út frá almennum markmiðum og loforðum ríkja (e. unconditional pledges & targets) og einnig út frá því að stefnumótun sem er í vinnslu gangi eftir, þ.e. bjartsýnt mat (e. optimistic policies).

Ýmsum aðferðum hefur verið beitt til að meta kolefnisspor, allt eftir því hvert viðfangsefnið er. Aðferðafræðin við mat á kolefnisspori er vel þekkt og skilgreind fyrir vörur, mannvirki og þjónustu. Aðferðafræðin fyrir kolefnisbókhald ríkja er einnig vel skilgreind en hún hefur verið gagnrýnd fyrir að ná ekki utan um innbyggða losun (e. embodied emissions) innfluttra vara vegna framleiðslu og flutninga þeirra [12]. Einnig er til aðferðafræði fyrir kolefnisbókhald fyrirtækja en sú aðferðafræði er sveigjanleg og fyrirtækjum er að miklu leyti í sjálfvald sett hvaða þættir eru teknir með [13].

Við mat á kolefnisspor sveitarfélaga og borga er nauðsynlegt að hafa staðlaða og vel skilgreinda aðferðafræði til að auðvelda samanburð og til að raunverulega ná markmiðinu um að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda á heimsvísu.

Hér verður kannað hvaða aðferðum megi beita til að meta kolefnisspor sveitarfélaga og borga. Sérstaklega verður kannað hvernig kolefnisspor tengist skipulagsáætlunum, sem eru helsta stjórnþæki sveitarfélaga. Svæðisskipulög, aðalskipulög og deiliskipulög hafa á endanum mest áhrif á það hvernig sveitarfélag byggist upp og þar eru líka tækifæri til að koma á framfæri kröfum um aðgerðir sem miða að því að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda.



MYND 2 Leiðtogar ríkja á loftslagsráðstefnunni í París 2015 þar sem Parísarsamkomulagið var undirritað [14].

1.2 Markmið

Tilgangur verkefnisins er að taka saman hvaða leiðir eru í boði til að meta kolefnisspor sveitarfélaga og skipulagsáætlana.

Nánar tiltekið þá eru meginmarkmið þessa verkefnis eru:

1. Taka saman upplýsingar um leiðir til að meta og setja fram kolefnisspor sveitarfélaga og skipulagsáætlana
2. Taka saman helstu uppsprettur losunar og bindingar í dæmigerðri skipulagsáætlun
3. Setja fram hugmyndir að leiðum til að minnka kolefnisspor í skipulagi og áætlunum

Verkefnið fellur vel að þeim markmiðum sem eru sett fram í Landsskipulagsstefnu 2015-2026 og kemur sérstaklega inn á markmið nr. 3.7 [15]:

- 3.7 Náttúruvá og loftslagsbreytingar: „Við skipulag byggðar verði tekið tillit til náttúruvár og loftslagsbreytinga. [...] Jafnframt að við skipulagsgerð sveitarfélaga verði tekið mið af þeim áskorunum sem við blasa með tilliti til loftslagsbreytinga. Í því felst að *draga úr losun gróðurhúsalofttegunda frá byggð, landnotkun og samgöngum* og bregðast við umhverfis breytingum vegna loftslagsbreytinga, eins og hækkandi sjávarborði.“

1.3 Hvað er kolefnisspor?

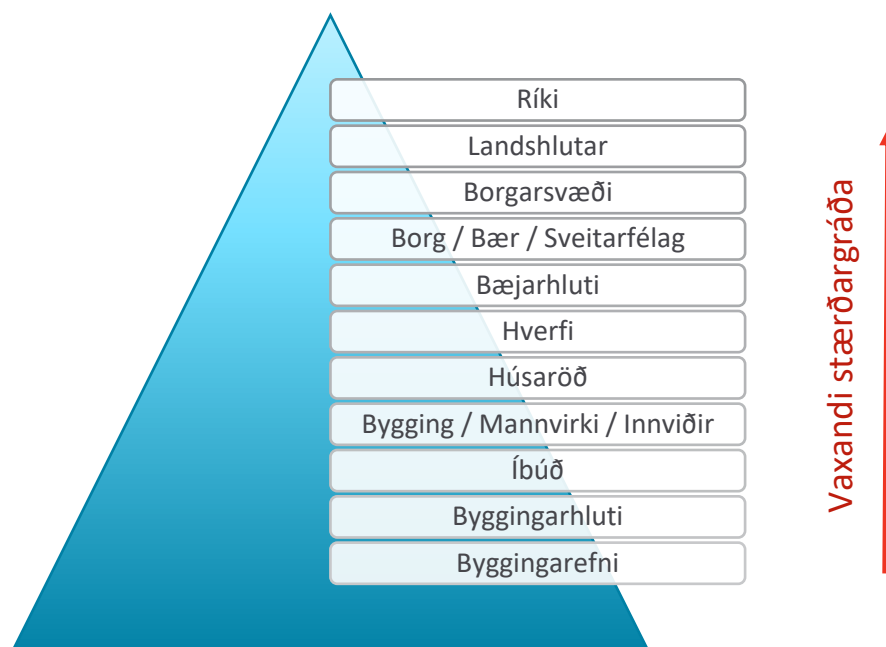
Kolefnisspor (e. carbon footprint) er mælikvarði á það hversu miklum gróðurhúsaáhrifum er valdið (e. greenhouse effect) vegna losunar gróðurhúsalofttegunda (e. greenhouse gases).

Það er samhljóða álit alþjóðasamfélagsins að aukin losun gróðurhúsalofttegunda valdi hnattrænni hlýnun (e. global warming) [16]. Helstu gróðurhúsalofttegundirnar eru koltvísýringur (CO₂), metan (CH₄), hláturgas (N₂O), óson (O₃), vetnisflúorkolefni (HFC), perflúorkolefni (PFC) og brennisteins-hexaflúoríð (SF₆) [17]. Gróðurhúsalofttegundirnar hafa mismunandi hlýnunarstuðull (GWP) í loft-hjúpnun og þannig mismikil áhrif til hækkunar hitastigs og því eru gróðurhúsaáhrif þeirra venjulega reiknuð yfir í ígildi koltvísýrings (CO₂ ígildi).

Gróður bindur koltvísýring við ljóstillífun og dregur því beinlínis úr magni koltvísýrings í andrúmsloftinu. Í sumum tilfellum er kolefnisspor því reiknað út sem losun gróðurhúsalofttegunda mínus lífræn binding koltvísýrings í gróðri.

1.4 Yfirlit yfir tegundir kolefnisspors

Ýmsar aðferðir hafa verið lagðar fram til að meta kolefnisspor og þar skiptir einna helst máli hvers konar viðfangsefni er verið að skoða og hver skalinn sé. Er verið að skoða hlut, fyrirtæki, þjónustu eða einstakling? Er verið að skoða lítinn hlut eins og einstaka vöru eða er verið að horfa á stærri skala eins og fyrir heilt sveitarfélag eða land? Þetta hefur áhrif á það hvernig kolefnissporið er metið. Á mynd 3 má sjá dæmi um það hvernig mætti skipta hinu byggða umhverfi (e. built environment) í mismunandi stig eftir stærð.



MYND 3 Stigskipting hins byggða umhverfis eftir stærðargráðu. Mynd byggð á heimild [18].

Þegar kolefnisspor er reiknað út þarf að ákveða hver kerfismörkin séu, þ.e.a.s. hvað er tekið með í reikninginn og hvað ekki. Eftirfarandi er stutt lýsing á nokkrum tegundum kolefnisspors út frá mismunandi kerfismörkum sem verða síðan útskýrð nánar í köflum 2-5.

Svæðisbundið kolefnisspor: Fyrir stór viðfangsefni eins og sveitarfélög þá væri hægt að setja kerfismörkin sem útlínur sveitarfélags og reikna einungis með losun gróðurhúsalofttegunda og bindingu sem á sér stað innan sveitarfélagsmarka. Þá er talað um svæðisbundið kolefnisspor.

Svæðisbundið kolefnisspor auk óbeinnar losunar í virðiskeðju: Gallinn við svæðisbundið kolefnisspor er sá að ýmis starfsemi sem á sér stað innan sveitarfélags hefur áhrif út fyrir sveitarfélagið, t.d. losun sem verður við urðun úrgangs í öðru sveitarfélagi. Mismunandi er hversu langt er gengið í að ná utan um þessa óbeinu losun sem verður ofar (e. upstream) eða neðar (e. downstream) í virðiskeðju (e. supply chain) sveitarfélagsins. Það eru t.d. ekki allar aðferðir sem taka tillit til losunar vegna framleiðslu byggingarefna sem eru notuð í sveitarfélaginu.

Neysludrifið kolefnisspor: Sumar aðferðir ganga enn lengra og meta alla þá losun sem verður vegna neyslu íbúa sveitarfélagsins, óháð því hvar losunin á sér stað. Þá er talað um neysludrifið kolefnisspor.

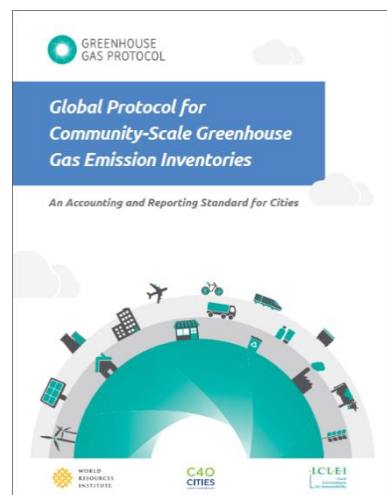
Kolefnisspor metið með vistferilsgreiningu: Vistferilsgreiningar (e. Life Cycle Assessments, LCA) ganga hvað lengst í því að ná utan um virðiskeðju og vistferil (líftíma) viðfangsefnisins og bjóða því upp á meiri nákvæmni og ítarlegri sundurliðun. Hægt væri að reikna kolefnisspor hverfis eða sveitarfélags með vistferilsgreiningu þar sem litið er á allan vistferil (líftíma) allra mannvirkja og innviða hins byggða umhverfis. Þessi nálgun á sennilega best við þegar metið er kolefnisspor stakrar skipulagsáætlunar.

Ofangreindar aðferðir til að meta kolefnisspor sveitarfélaga og skipulagsáætlana eru tiltölulega nýjar og sumar eru enn í þróun. Þær byggja að miklu leyti á fyrirliggjandi aðferðum fyrir önnur viðfangsefni heldur en sveitarfélög og skipulagsáætlanir. Í viðauka er fjallað um aðferðir til að meta kolefnisspor ríkja, fyrirtækja, vara, þjónustu og mannvirkja.

2 SVÆÐISBUNDIÐ KOLEFNISSPOR

Í staðlinum *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories (GHG Protocol for Cities)* er lýst nokkrum aðferðum til að meta kolefnisspor borga, sveitarfélaga og annarra samfélaga [19]. Ein af aðferðunum þar er svæðisbundið kolefnisspor (e. territorial emissions) eða umfang 1 (e. scope 1). Það svipar að miklu leyti til hefðbundins kolefnisbókhalds ríkja sem fjallað er um í viðauka A.2. Helsti munurinn er sá að sveitarfélög eru smærri landfræðilegar einingar heldur en ríki. Vegna þess að sveitarfélög eru landfræðilega smærri þá lendar ýmis starfsemi fyrir utan landfræðileg mörk þeirra sem myndi annars lenda innan marka ef landið væri skoðað í heild [19].

GHG Protocol for Cities staðallinn er þróaður og gefinn út af *World Resources Institute (WRI)*, *International Council for Local Environmental Initiatives (ICLEI)*, *C40 Cities Climate Leadership Group* og *Greenhouse Gas Protocol* [19].



MYND 4 *GHG Protocol for Cities* staðallinn [19]

Staðallinn á jafnt við um borgir sem bæi, sveitarfélög og önnur samfélög af hvaða stærð sem er.

Í *GHG Protocol for Cities* staðlinum er losun gróðurhúsalofttegunda skipt í umfang 1, 2 og 3. Umfang 1 táknar svæðisbundið kolefnisspor sveitarfélagsins og nær yfir þá losun gróðurhúsalofttegunda sem kemur frá uppsprettum sem eru innan sveitarfélagsmarka, sjá mynd 5. Fjallað er nánar um umfang 2 og 3 í kafla 3.

Þessi aðferð er hugsuð þannig að ef öll sveitarfélög lands myndu meta kolefnisspor sitt samkvæmt umfangi 1 þá væri hægt að leggja saman kolefnisspor þeirra allra og fá út svæðisbundið kolefnisspor landsins. Þannig myndi vinna sveitarfélaganna nýtast til að auka nákvæmni í kolefnisbókhaldi landsins.

Losun er flokkuð eftir mismunandi geirum en þeir eru staðbundin orka; flutningar; úrgangur; iðnaðarferlar og efnanotkun; landbúnaður, skógrækt og önnur landnotkun. Fjallað er nánar um geirana í kafla 3.



MYND 5 Svæðisbundið kolefnisspor (umfang 1) samkvæmt *GHG Protocol for Cities* staðlinum [19]. Með umfangi 1 er átt við þá losun gróðurhúsalofttegunda sem kemur frá uppsprettum sem eru innan borgarmarka.

3 SVÆÐISBUNDIÐ KOLEFNISSPOR AUK VIRÐISKEÐJU

Svæðisbundið kolefnisspor eitt og sér hefur þann ókost að ná ekki utan um losun sem verður utan sveitarfélags vegna starfsemi sem á sér stað innan sveitarfélagsins. Þess vegna hafa verið settar fram aðferðir til að ná utan um óbeina losun vegna þátta í virðiskeðju (e. supply chain) sveitarfélagsins en mismunandi er hversu langt er gengið í því að rekja upp eða niður virðiskeðjuna. Hér eru kynntar tvær aðferðir úr *GHG Protocol for Cities* staðlinum og ein aðferð úr *PAS 2070* staðlinum.

3.1 Svæðisbundið kolefnisspor auk virðiskeðju skv. *GHG Protocol for Cities*

Eins og fram hefur komið þá er losun gróðurhúsalofttegunda skipt í umfang 1, 2 og 3 í *GHG Protocol for Cities* staðlinum. Umfang 1 er losun sem á sér stað innan sveitarfélagsmarka á meðan umfang 3 er losun sem á sér stað utan sveitarfélagsmarka en má samt rekja til starfsemi sveitarfélagsins. Umfang 2 heldur síðan sérstaklega utan um rafmagn, hita og aðra orku sem er dreift með einhvers konar veitu- eða dreifikerfi. Sjá nánari lýsingu í töflu 1.

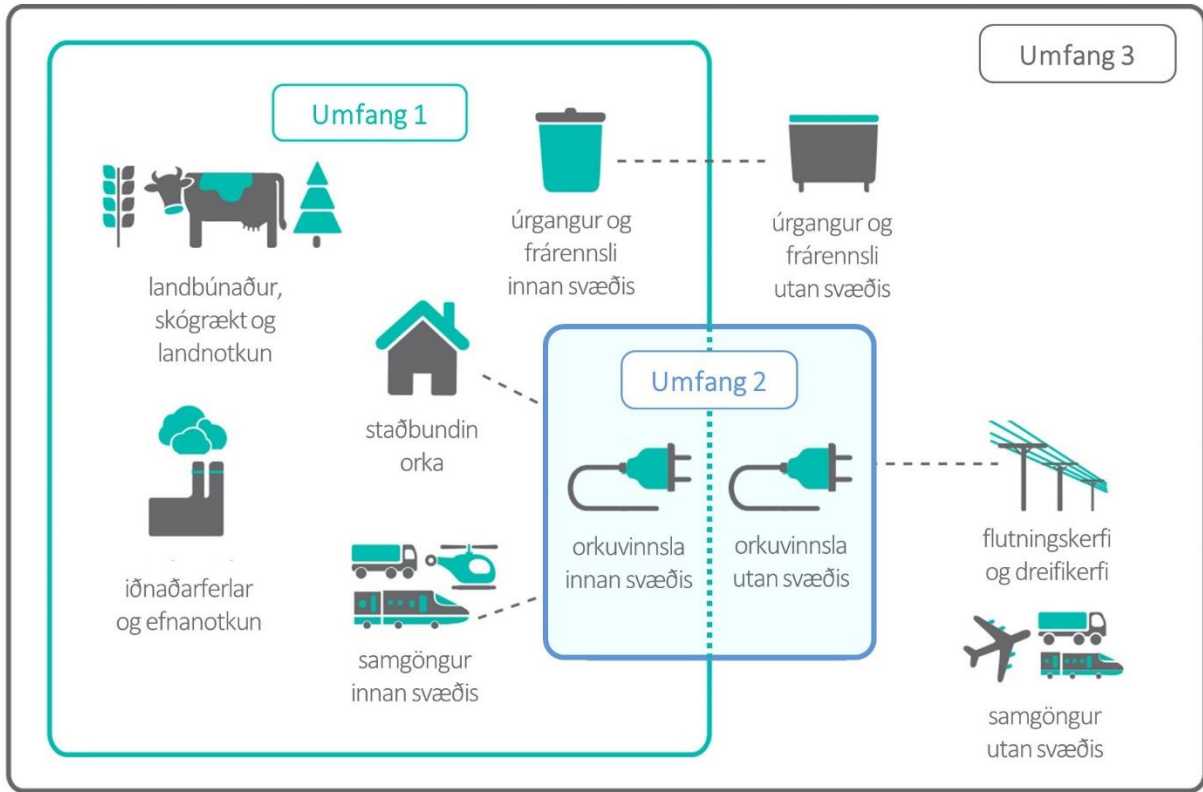
Í umfangi 2 og 3 er teknin fyrir losun sem verður utan sveitarfélagsins en tilheyrir virðiskeðju þess og er þá kölluð óbein losun. Sum losun verður ofar í virðiskeðjunni, t.d. við orkuvinnslu utan sveitarfélagsins en önnur verður neðar í virðiskeðjunni, eins og t.d. við meðhöndlun úrgangs utan sveitarfélags. Sjá nánar á mynd 7.

TAFLA 1 Flokkun losunar gróðurhúsalofttegunda í umfang 1, 2 og 3 samkvæmt *GHG Protocol for Cities* staðlinum [19].

UMFANG (E. SCOPE)	LÝSING
Umfang 1	Losun gróðurhúsalofttegunda frá uppsprettum sem eru innan borgarmarka.
Umfang 2	Losun gróðurhúsalofttegunda sem verður vegna rafmagns, hita, gufu eða kælingar sem notuð er innan borgarmarka og er dreift með veitu- eða dreifikerfi
Umfang 3	Öll önnur losun gróðurhúsalofttegunda utan borgarmarka sem verður vegna starfsemi sem á sér stað innan borgarmarka, þ.e.a.s. óbein losun sem verður ofar eða neðar í virðiskeðjunni.



MYND 6 *GHG Protocol for Cities* staðallinn [19]





MYND 7 Flokkun þátta í umfang 1, 2 og 3 samkvæmt *GHG Protocol for Cities* staðlinum, byggt á mynd í staðlinum [19].

Losun er flokkuð eftir mismunandi geirum og má sjá lýsingu á þeim í töflu 2.

TAFLA 2 Flokkun samfélags í geira samkvæmt *GHG Protocol for Cities* staðlinum [19].

GEIRI	
KYRRSTÆÐ ORKUNOTKUN	
	Kyrrstæðar orkuuppsprettur eru á heimsvísu einn af stærstu þáttum í kolefnisspori borgar. Þá er átt við brennslu eldsneytis í íbúðarhúsnæði, atvinnuhúsnæði, framleiðsluiðnaði og byggingarframkvæmdum ásamt vinnslu orku (t.d. rafmagns eða varma) sem dreift er með veitu- eða dreifikerfi.
FLUTNINGAR (HREYFANLEG BRENNSLA ELDSNEYTIS)	
	Flutningar ná yfir alla ferðir á vegum, jarnbrautarteinum, vatni og í lofti, þar með talið ferðalög á milli borga og landa. Bein losun gróðurhúsalofttegunda verður við brennslu eldsneytis eða óbein við notkun rafmagns. Staðallinn býður upp á nokkrar leiðir til að meta losun frá flutningum.
ÚRGANGUR	
	Förgun og meðhöndlun úrgangs veldur losun gróðurhúsalofttegunda vegna loftháðs eða loftfirrts niðurbrots eða vegna brennslu. Flokka á losun frá úrgangi eftir því hvaða förgunarleið er farin, þ.e.a.s. urðun, lífræn meðhöndlun, brennsla í brennslustöð eða opin brennsla.

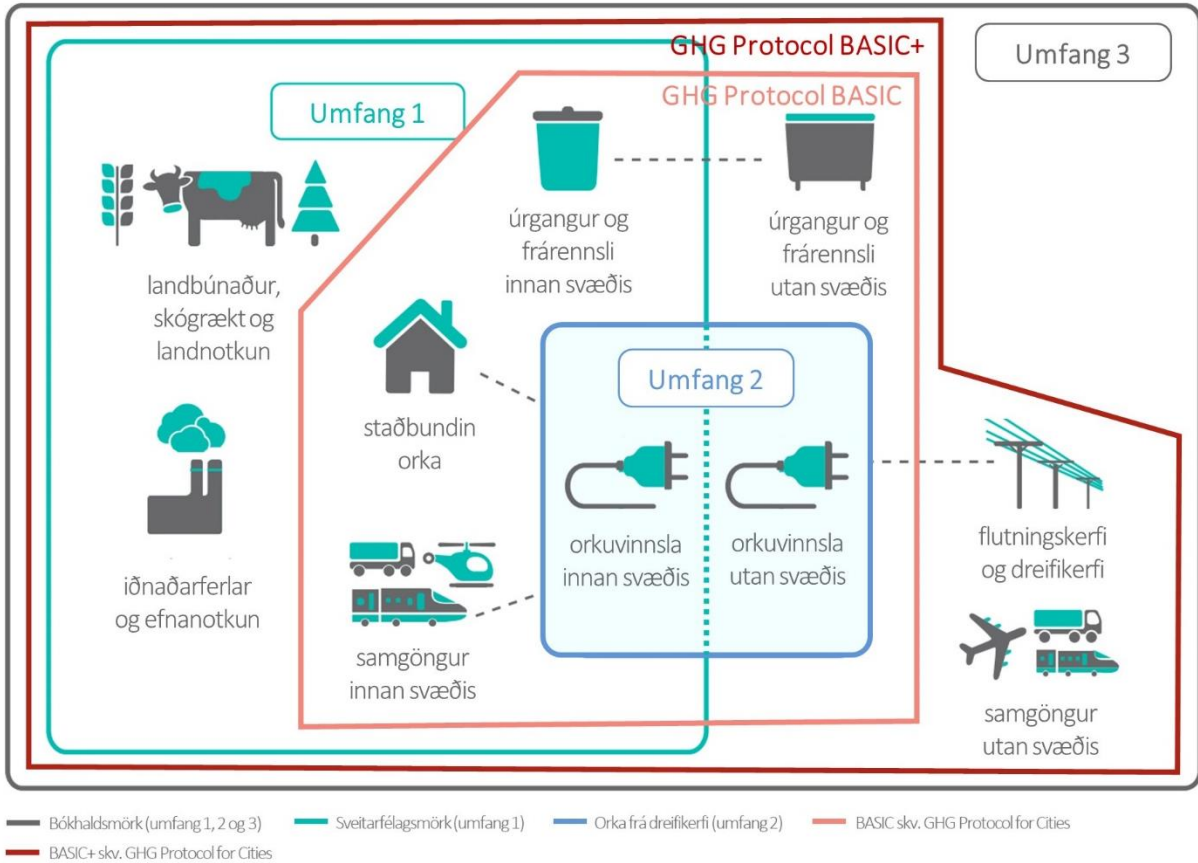
GEIRI	
IÐNAÐARFERLAR OG EFNANOTKUN	
	<p>Losun verður frá ýmsum iðnaðarferlum sem ekki tengjast orkuvinnslu. Helsu uppsprettunnar er útblástur frá iðnaðarferlum sem efnafræðilega umbreyta efnunum (t.d. bræðsla og ummyndun súrals yfir í hreint ál). Þetta geta verið ýmsar tegundir gróðurhúsalofttegunda. Undir þennan flokk fellur einnig losun gróðurhúsalofttegunda sem verður við notkun eða förgun vara (hvort sem það er iðnaður eða neytendur), til dæmis frá kæliendum og spreibrúsum.</p>
LANDBÚNAÐUR, SKÓGRÆKT OG ÖNNUR LANDNOTKUN	
	<p>Losun frá landbúnaði, skógrækt og annari landnotkun verður með ýmsum leiðum, m.a. frá jörturdýrum (t.d. frá gerjun í meltingu og meðhöndlun mykju), landnotkun og breyttri landnotkun (t.d. frá framræsingu votlendis) og frá áburðargjöf.</p>

Í *GHG Protocol for Cities* staðlinum er sveitarfélögum að miklu leyti í sjálfvald sett hversu stóran hluta óbeinna áhrifa (umfang 3) er tekinn með í kolefnisbókhaldið. Staðallinn setur þó fram þrjár staðlaðar aðferðir af kolefnisbókhaldi:

- **Svæðisbundið kolefnisspor (e. territorial):** Sú losun sem á sér stað innan sveitarfélagsmarka. Þetta er umfang 1 sem var lýst í kafla 2, sjá mynd 5.
- **BASIC einfalt kolefnisspor:** Sama og svæðisbundið kolefnisspor, nema að:
 - Bætt er við óbeinni losun vegna vinnslu orku (t.d. rafmagns eða heitavatns) sem dreift er með veitu- eða dreifikerfi (umfang 2).
 - Bætt er við óbeinni losun vegna meðhöndlunar og förgunar úrgangs utan sveitarfélags.
 - Sleppt er geirunum „iðnaðarferlar og efnanotkun“ og „landbúnaður, skógrækt og önnur landnotkun“. BASIC kolefnisspor nær þess vegna ekki utan um alla þættina í svæðisbundna kolefnissporinu.
- **BASIC+ svæðisbundið kolefnisspor auk virðiskeðju:** Sama og BASIC kolefnisspor, nema að:
 - Bætt er við óbeinni losun vegna flutningstapa í veitu- eða dreifikerfi orku.
 - Bætt er við óbeinni losun sem á sér stað utan sveitarfélagsmarka vegna ferðalaga og flutninga sem byrja eða enda í sveitarfélaginu.
 - Bætt er við beinni losun í geirunum „iðnaðarferlar og efnanotkun“ og „landbúnaður, skógrækt og önnur landnotkun“ sem á sér stað innan sveitarfélagsmarka.

Á mynd 8 má sjá hvaða þættir eru teknir með í ofangreindum aðferðum.

GHG Protocol for Cities staðallinn gerir ekki kröfu á að birt sé losun vegna annarrar óbeinnar losunar en kemur fram í lýsingunni á BASIC og BASIC+. Til dæmis þá er ekki tekin með óbein losun vegna framleiðslu eldsneytis á faratæki eða framleiðslu vara sem eru notaðar í sveitarfélaginu. Þetta þýðir að ef sveitarfélag framleiðir ekki sín eigin byggingarefni þá sést hvergi í bókhaldinu losun vegna framleiðslu efnanna sem notuð eru í mannvirkjagerð.



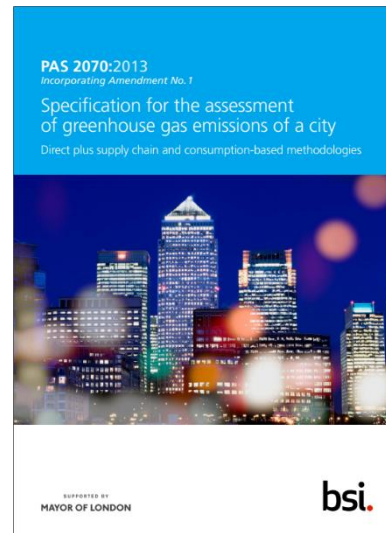
MYND 8 Flokkun þátta í umfang 1, 2 og 3 samkvæmt *GHG Protocol for Cities* staðlinum. Einnig er sýnt hvaða þættir eru teknir með í aðferðunum BASIC og BASIC+ [19].

3.2 Svæðisbundið kolefnisspor auk virðiskeðju skv. PAS 2070 (Direct Plus Supply Chain)

Staðallinn *PAS 2070 Specification for the assessment of greenhouse gas emissions of a city* er alþjóðlegur staðall fyrir kolefnisspor borga sem gefinn er út af bresku stofnuninni *British Standards Institution (BSI)* [20].

PAS 2070 staðallinn kynnir tvær aðferðir til að meta kolefnisspor borga og þéttbýlissvæða. Annars vegar er um að ræða svæðisbundið kolefnisspor borgar auk óbeinnar losunar í virðiskeðju (e. direct plus supply chain). Hins vegar er um að ræða neysludrifið kolefnisspor sveitarfélags þar sem metin er losun vegna neyslu íbúa borgarinnar (sjá kafla 4).

Fyrri aðferðin í *PAS 2070* staðlinum (svæðisbundið kolefnisspor auk virðiskeðju) svipar að miklu leyti til BASIC+ kolefnisbókhalds í *GHG Protocol for Cities* staðalinum sem var kynnt í kafla 3.1.

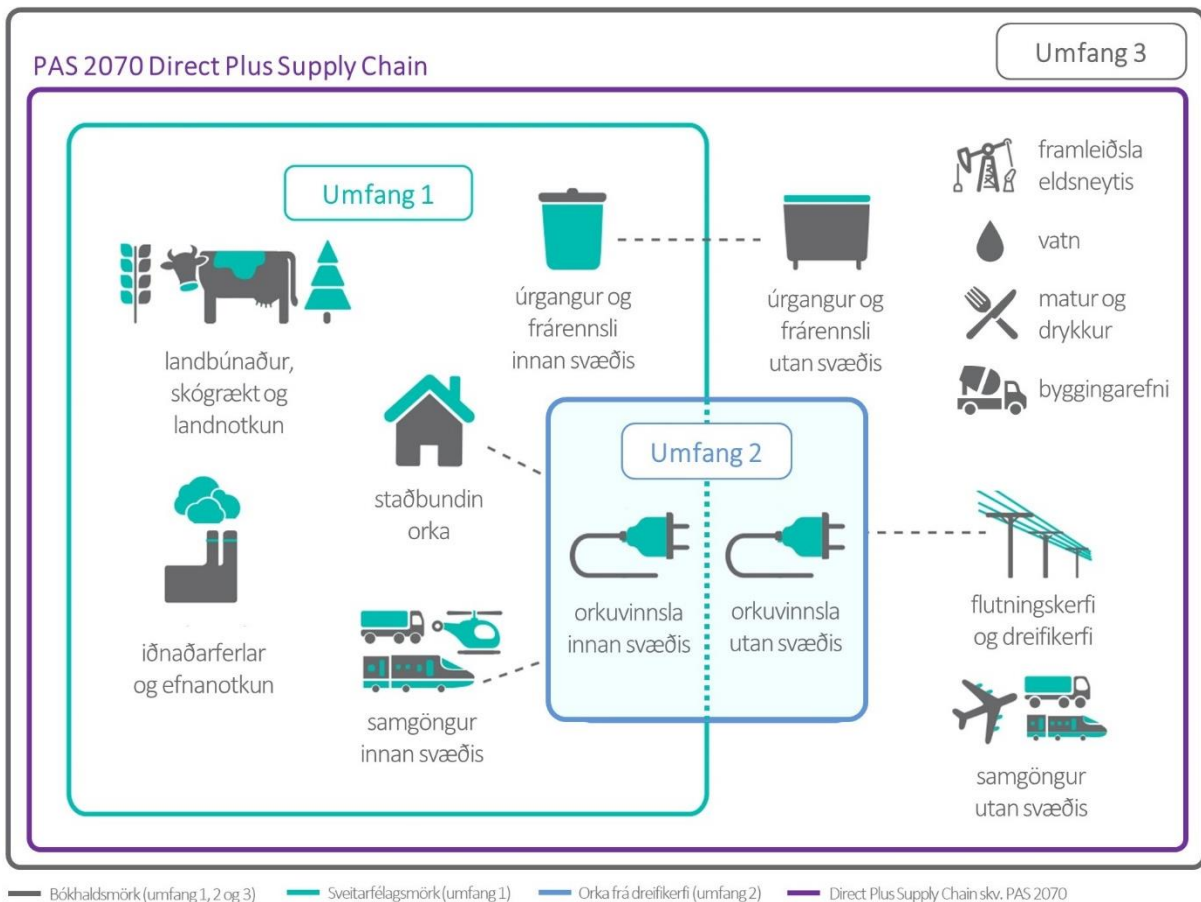


MYND 9 *PAS 2070* staðallinn [20]

Svæðisbundið kolefnisspor auk óbeinnar losunar í virðiskeðju (PAS 2070): Svipað og BASIC+ kolefnisbókhald nema að einnig er tekið tillit til:

- Losunar vegna framleiðslu þess eldsneytis sem er brennt innan borgar
- Losunar vegna veitukerfis vatns
- Losunar vegna framleiðslu matar sem neytt er í borginni (byggt á vistferilsgreiningu)
- Losunar vegna framleiðslu sements og stáls sem notað er í borginni (byggt á vistferilsgreiningu)
- Losunar vegna annarra vara og þjónustu sem talið er að gæti átt $\geq 2\%$ þátt í kolefnissporinu

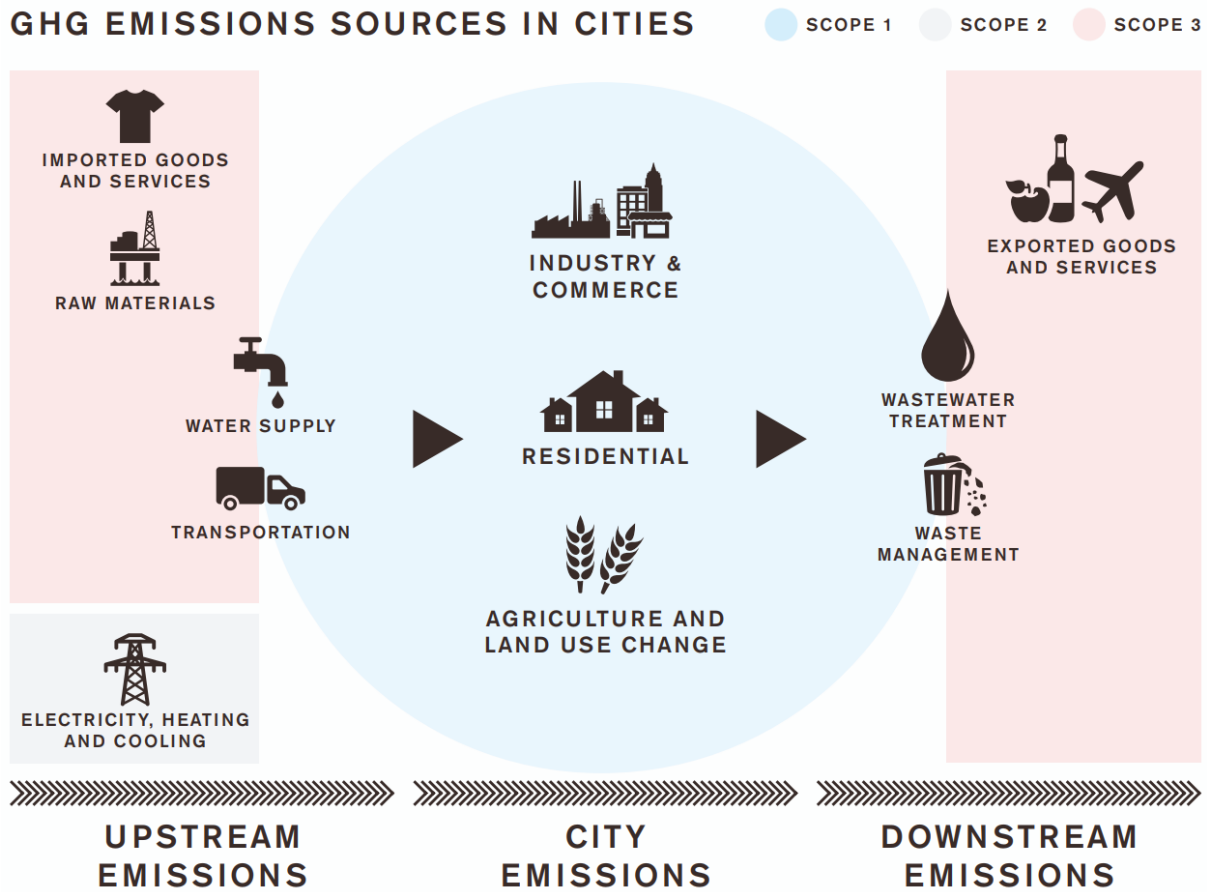
Á mynd 10 má sjá skýringarmynd sem sýnir þá helstu þætti sem tekið er tillit til í kolefnisspori samkvæmt PAS 2070 staðlinum og hvernig þeir eru flokkaðir í umfang 1, 2 og 3.



MYND 10 Flokkun þátta í umfang 1, 2 og 3 ásamt því hvaða þættir eru í Direct Plus Supply Chain aðferð PAS 2070 staðalsins.

Eins og fram hefur komið þá geta þættir í umfangi 3 annað hvort verið ofar eða neðar í virðiskeðju sveitarfélagsins. Á mynd 11 má sjá hvernig þættir flokkast í umfang 1, 2 og 3 ásamt því að sýna hvort þættirnir í umfangi 3 séu ofar eða neðar í virðiskeðjunni.

GHG EMISSIONS SOURCES IN CITIES



MYND 11 Losun gróðurhúsalofttegunda í borgum og skipting í umfang 1, 2 og 3 samkvæmt PAS 2070 staðlinum [20]. Einnig er sýnt hvort þættir séu ofar (e. upstream) eða neðar (e. downstream) í virðiskeðjunni.

4 NEYSLUDRIFIÐ KOLEFNISSPOR

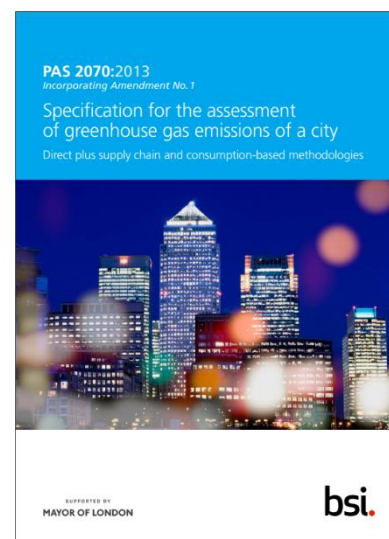
Þrátt fyrir að tekið sé tillit til ákveðinna þátta í virðiskeðju sveitarfélags í framangreindum aðferðum í kafla 3 þá ná þær aðferðir samt aldrei utan um alla þættina í virðiskeðju sveitarfélags. Neysludrifið kolefnisspor er hins vegar aðferð sem nær utan um alla virðiskeðju sveitarfélagsins.

4.1 Neysludrifið kolefnisspor skv. PAS 2070

PAS 2070 staðallinn kynnir tvær aðferðir til að meta kolefnisspor borga. Fyrri aðferðinni var lýst í kafla 3 en seinni aðferðin er neysludrifið kolefnisspor þar sem metin er losun sem verður vegna neyslu íbúa borgarinnar.

Í neysludrifnu kolefnisspori (e. consumption-based carbon footprint) er metin losun gróðurhúsalofttegunda vegna neyslu íbúa sveitarfélagsins. Neysludrifið kolefnisspor nær þá bæði utan um beina og óbeina losun vegna allra vara og þjónustu sem íbúar sveitarfélagsins neyta. Þá er litið á það sem svo að losunin sé drifin áfram af neyslunni, frekar en að hún tilheyri þeim sem framleiðir vörurnar og þjónustuna. Í neysludrifnu kolefnisspori er sleppt losun vegna framleiðslu vara og þjónustu sem er flutt út úr sveitarfélaginu eða neytt af ferðamönnum því hún tilheyrir ekki íbúum sveitarfélagsins. Vert er að benda á að hjá sveitarfélögum með mikinn straum ferðamanna þá myndi þessi aðferð sennilega henta illa því hún horfir fram hjá losun vegna neyslu ferðamanna.

Neysludrifið kolefnisspor er reiknað út frá neyslu heimila (einkaneyslu), neyslu sveitarfélags og ríkis (samneyslu) og vegna fjármunamyndunar hjá fyrirtækjum (e. business capital expenditure). Þá er rakið upp og niður allar virðiskeðjur, þvert á landamæri. Neysludrifið kolefnisspor er reiknað út frá hagfræðilíkani (e. economical input-output model) sem lýsir viðskiptum á milli mismunandi geira samfélagsins og neytenda. Aðferðarfræðin svipar mjög til neysludrifins kolefnisspors ríkja sem er fjallað nánar um í viðauka A.3.

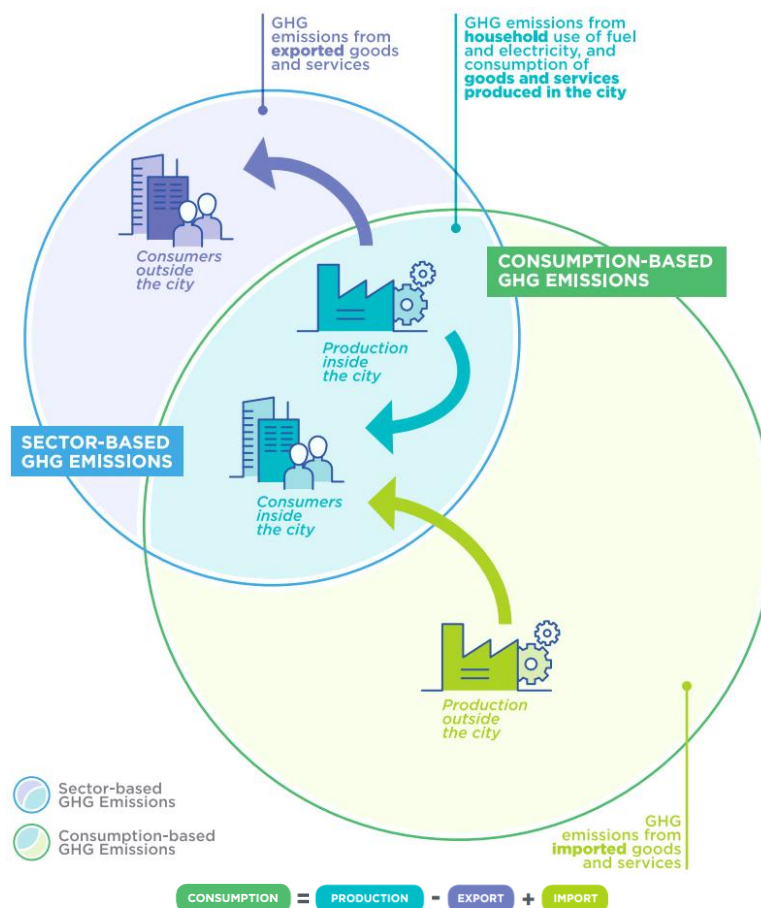


MYND 12 PAS 2070 staðallinn [20]

Í töflu 3 má sjá þá neysluflokka sem eru metnir í neysludrifna kolefnissporinu samkvæmt PAS 2070. Á mynd 13 má sjá skýringarmynd fyrir það hvernig neysludrifið kolefnisspor er hugsað.

TAFLA 3 Flokkar neyslu í neysludrifnu kolefnisspori samkvæmt PAS 2070 staðlinum. Einkaneysla er neysla einstaklinga og samneysla er neysla á vegum ríkis og sveitarfélaganna sjálfra. Fjármunamyndun eru fjárfestingar fyrirtækja í eigin rekstri, t.d. með kaupum á búnaði eða aðstöðu.

LOKANEYSLA (e. final consumption)
EINKANEYSLA (e. households)
Matur og drykkur
Veitur
Húsnæði
Samgöngur
Þjónusta á vegum einkaaðila
Aðrar vörur og þjónusta
SAMNEYSLA (e. municipal and national government)
Sveitarfélag
Ríki
FJÁRMUNAMYNDUN (e. business capital expenditure)

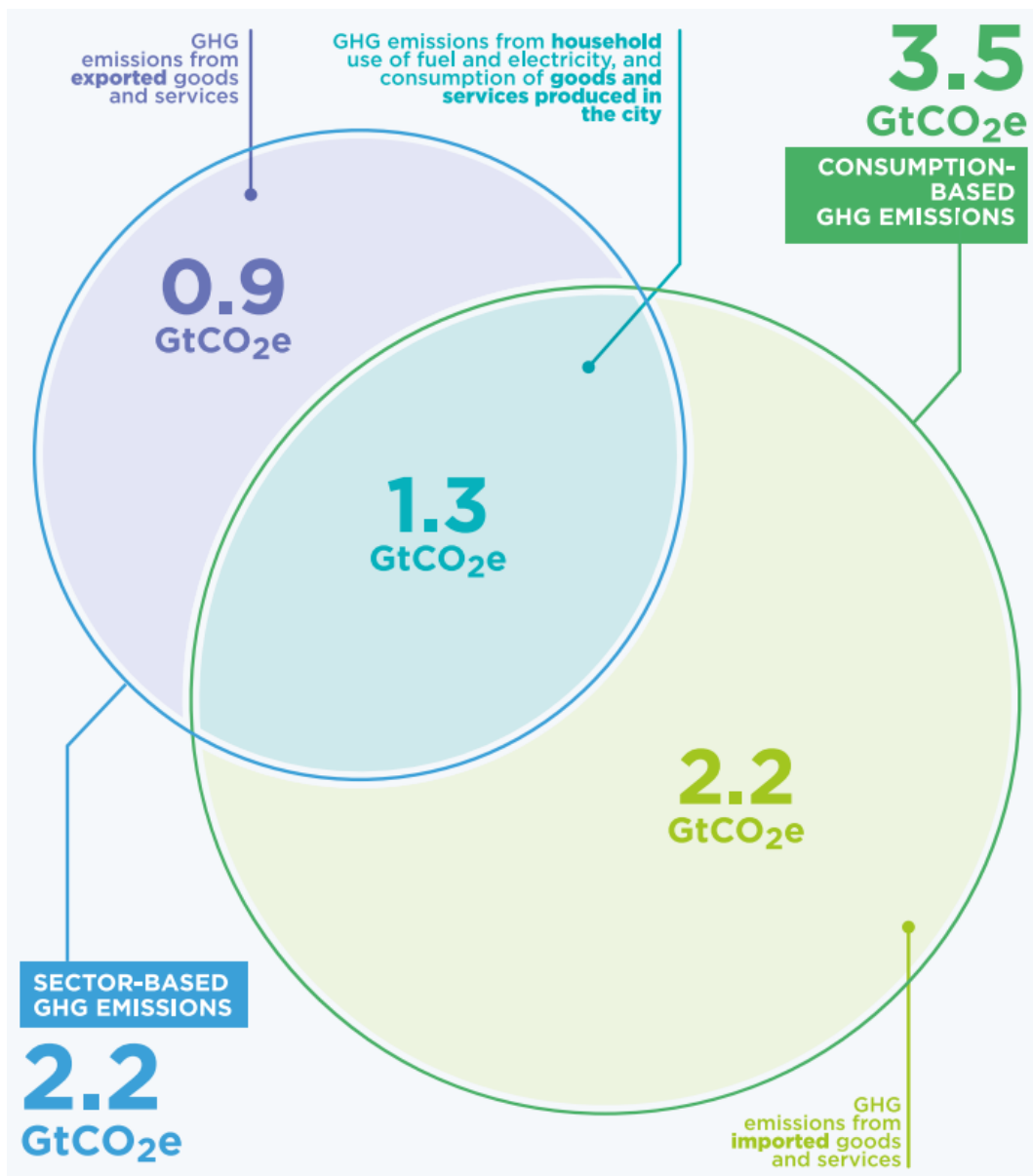


MYND 13 Skýringarmynd sem sýnir hvernig neysludrifið kolefnisspor er hugsað [21]. Grænblátt svæði sýnir losun vegna framleiðslu vara innan borgar sem er neytt í borginni sjálfri. Fjólublátt svæði sýnir losun vegna vara sem eru framleiddar í borginni en eru fluttar út. Ljósgrænt svæði sýnir losun vegna framleiðslu innfluttra vara. Blár hringur sýnir svæðisbundna losun sem á sér stað innan borgarmarka, hvort sem neyslan á sér stað innan (grænblátt) eða utan (fjólublátt) marka. Grænn hringur sýnir losun sem á sér stað vegna neyslu íbúa borgarinnar, óháða borgarmörkum.

4.2 Sýnidæmi: Borgir í C40 hópnum

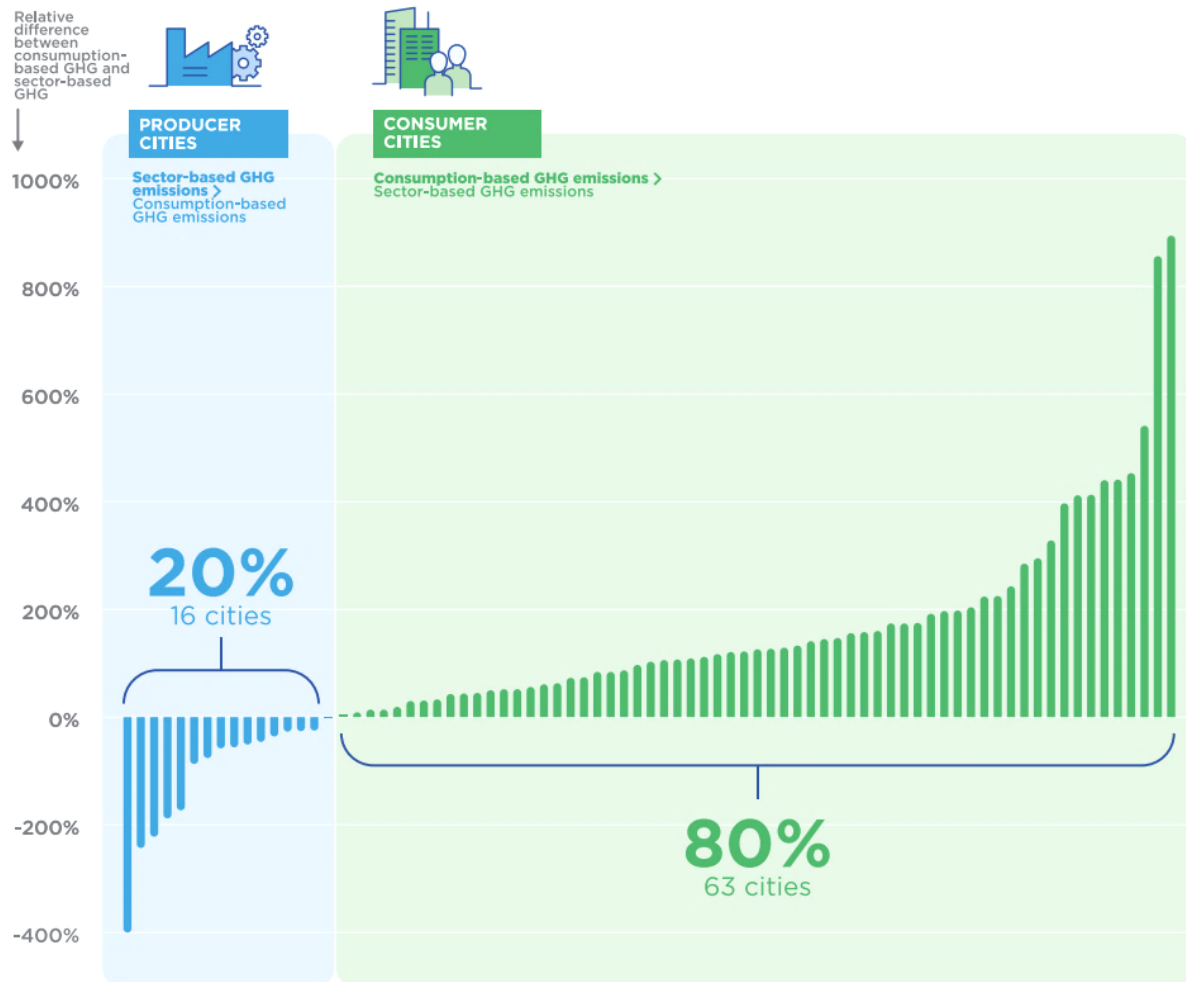
Á myndum 14, 15 og 16 eru sýndar niðurstöður úr greiningu þar sem neysludrifið kolefnisspor 79 borga var metið með PAS 2070 aðferðafræðinni. Áhugavert er að sjá að samanlagt neysludrifið kolefnisspor þessara borga var stærra heldur en svæðisbundna kolefnissporið. Það þýðir að losunin sem er innbyggð í aðfluttar vörur (og þjónustu) er meiri heldur en innbyggð losun í vörum sem eru fluttar út úr borgunum.

Á mynd 14 er samanlagt kolefnisspor allra borganna notað til að útskýra muninn á svæðisbundnu kolefnisspori (e. sector-based / territorial) og neysludrifnu kolefnisspori (e. consumption-based).



MYND 14 Samanlagt kolefnisspor 79 borga í C40 hópnum [21]. Grænblátt svæði sýnir losun vegna framleiðslu vara innan borgar sem er neytt í borginni sjálfri. Fjólublátt svæði sýnir losun vegna vara sem eru framleiddar í borginni en eru fluttar út. Ljósgrænt svæði sýnir losun vegna framleiðslu innfluttra vara. Blár hringur sýnir svæðisbundna losun sem á sér stað innan borgarmarka, hvort sem neyslan á sér stað innan (grænblátt) eða utan (fjólublátt) marka. Grænn hringur sýnir losun sem á sér stað vegna neyslu íbúa borgarinnar, óháða borgarmörkum.

Á mynd 15 eru borgir flokkaðar eftir því hvort þær eru „neysluborgir“ eða „framleiðsluborgir“. Þá er átt við að hjá „neysluborgum“ sé neysludrifna kolefnissporið stærra en svæðisbundna kolefnissporið sem þýðir jafnframt að kolefnisspor innfluttra vara sé stærra en kolefnisspor útfluttra vara. Hjá „framleiðsluborgum“ er þetta öfugt með farið.

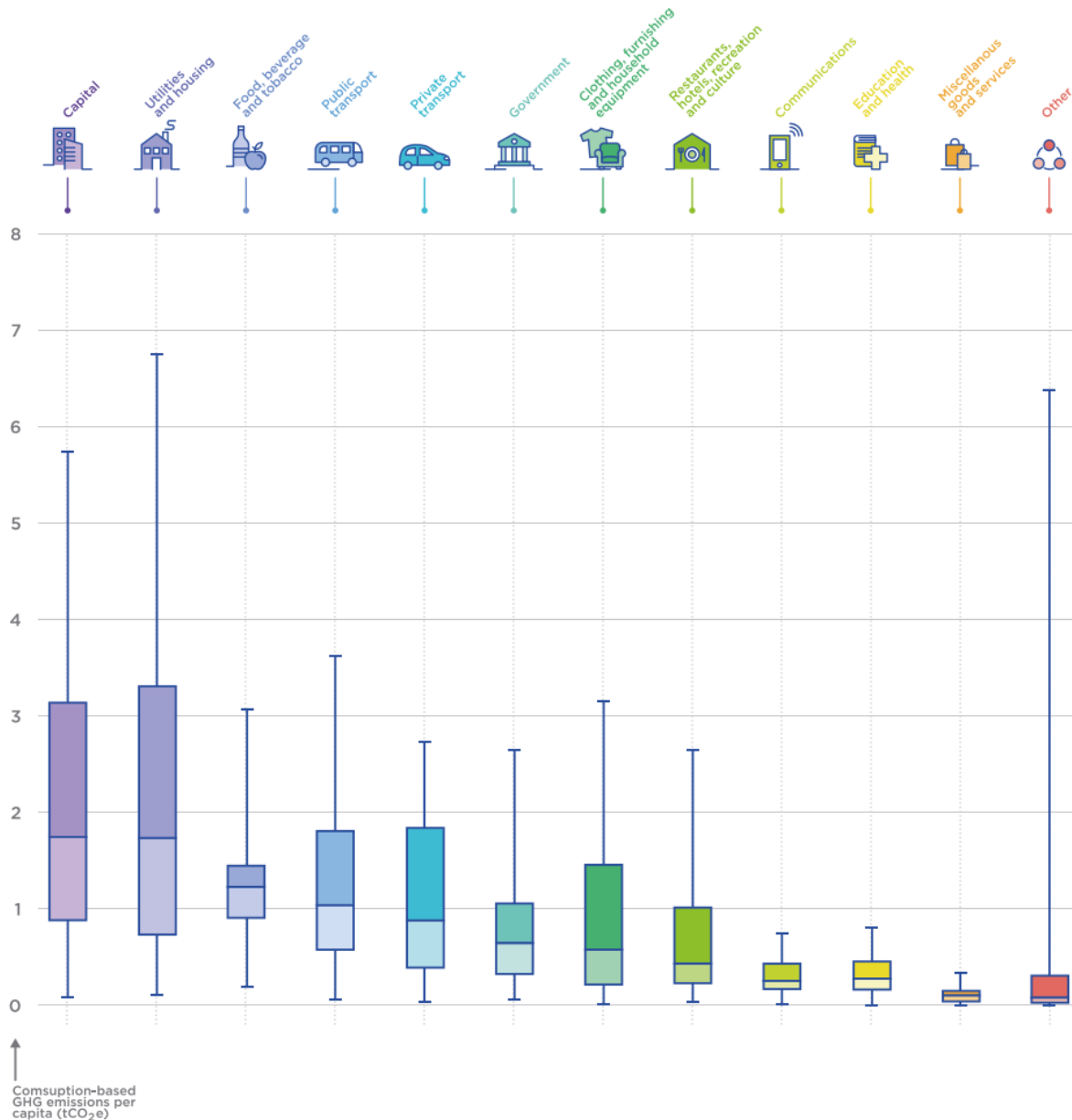


MYND 15 Niðurstöður úr greiningu á neysludrifnu kolefnisspori 79 borga sem eru aðilar að *C40 Cities Climate Leadership Group* [21]. Myndin sýnir hlutfallslegan mismun á neysludrifnu kolefnisspori borgar og svæðisbundnu kolefnisspori hennar. Þær borgir sem eru með stærra neysludrifið kolefnisspor heldur en svæðisbundið kolefnisspor (mismunur stærri en 0% á mynd) eru merktar sem „neysluborgir“ en hinar borgirnar er merktar sem „framleiðsluborgir“.

Á mynd 16 er meðaltal fyrir neysludrifið kolefnisspor þessara 79 borga sýnt sundurliðað eftir vöru- og þjónustuflokkum. Þættir neysludrifna kolefnissporsins eru í stærðarröð (stærsta fyrst):

1. **Fjármunamyndun (e. capital formation):** Fjárfestingar í efnislegum eignum eins og innviðum, framkvæmdum og vélbúnaði.
2. **Húsnæði og veitur:** Leiga, viðhald, viðgerðir, vatn, rafmagn, gas og eldsneyti til upphitunar.
3. **Matur, drykkur og tóbak**
4. **Almenningssamgöngur, flutningar og flug:** Framleiðsla og brennsla eldsneytis við notkun samgöngutækja annara heldur en einkabíls (strætó, lestir, rútur, skipaflutningar, flug)
5. **Einkabílar:** Framleiðsla og brennsla eldsneytis við notkun einkabíla

6. Starfsemi hins opinbera
7. Fatnaður, húsgögn og heimilstæki
8. Veitingahús, hótél, afþreying og menning
9. Fjarskipti
10. Menntun og heilsa
11. Ýmsar vörur og þjónusta
12. Annað

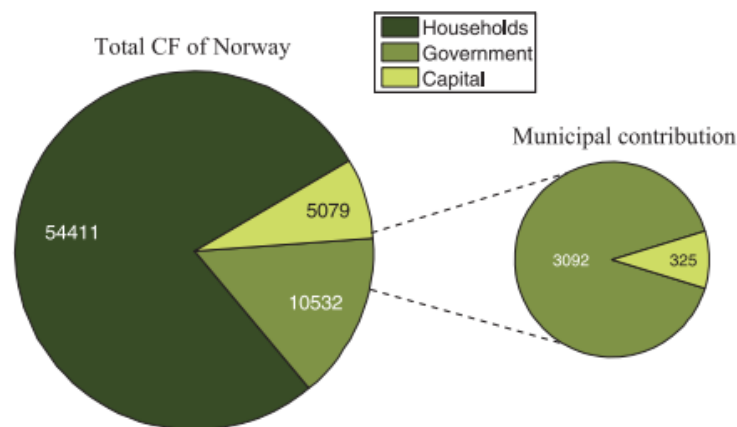


MYND 16 Niðurstöður úr greiningu á neysludrifnu kolefnisspori 79 borga sem eru aðilar að *C40 Cities Climate Leadership Group* [21]. Myndin sýnir hvernig neysludrifið kolefnisspor borganna skiptist á milli vöruflokka. Skyggðu svæðin sýna 25% og 75% hundraðsmörk og línan í miðju hvers svæðis er miðgildið. Hæstu og lægstu gildi eru einnig sýnd.

4.3 Sýnidæmi: Noregur

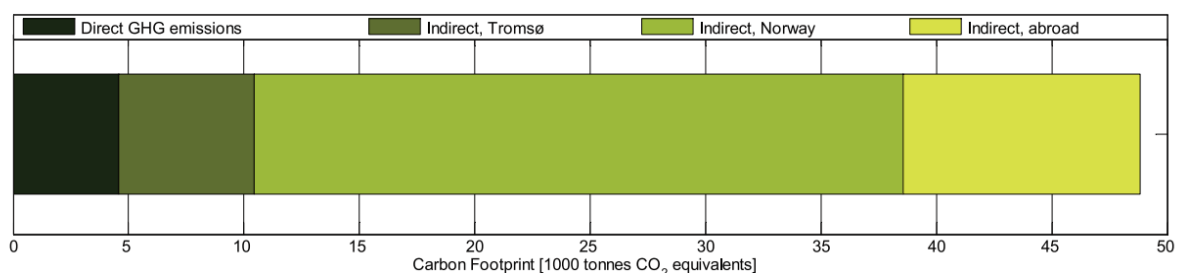
Norðmenn hafa gengið ansi langt í útreikningum á neysludrifnu kolefnisspori fyrir einstök sveitarfélög og nálgast má þær niðurstöður í vísindagrein Hogne Larsen og Edgar Hertwich [22]. Við greininguna var notað hagfræðilíkan með viðbættum umhverfisupplýsingum (e. environmentally extended input-output analysis, EEIOA) líkt og hefur verið lýst í viðauka A.3.

Í grein Larsen og Hertwich var þó einungis metið kolefnisspor vegna starfsemi og fjárfestinga sveitarfélagsins sjálfs en ekki kolefnisspor vegna heimila og fjárfestinga fyrirtækja innan sveitarfélagsins. Nánar tiltekið þá er tekið tillit til leikskóla, grunnskóla og framhaldsskóla, heilbrigðisþjónustu (hjúkrunarheimila og heimahjúkrunar en ekki spítala), vatnsveitu, fráveitu, úrgangssöfnunar, menningar- og íþróttastarfsemi og viðhalds vega og bygginga sveitarfélagsins. Á mynd 17 má sjá hversu stóran þátt sveitarfélög eiga í neysludrifnu kolefnisspori Noregs. Hægri kakan sýnir að starfsemi sveitarfélaga veldur 3.092 kt CO₂ ígilda losun og fjárfestingar á vegum sveitarfélaga valda 325 kt CO₂ ígilda losun. Samtals eru þetta 3.417 kt CO₂ ígildi á ábyrgð sveitarfélaga en það eru 5% af neysludrifnu kolefnisspori Noregs, sem er 70.000 kt CO₂ ígildi.



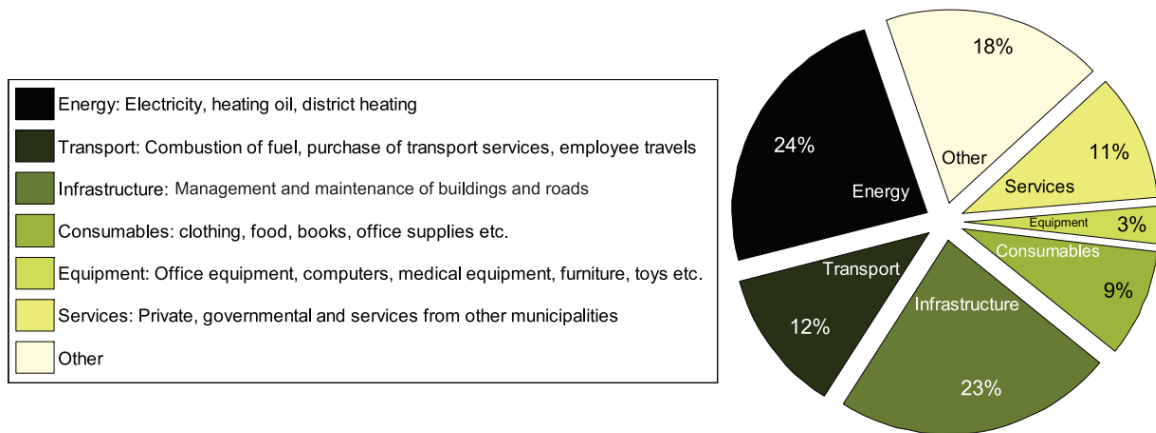
MYND 17 Neysludrifið kolefnisspor Noregs og skipting þess í heimili (e. households), stjórnvöld (e. government) og fjármunamyndun fyrirtækja (e. capital accumulation) [22]. Einnig er sýnt hversu stór þáttur sveitarfélaga er (e. municipal contribution) sem skiptist í starfsemi og fjárfestingar þeirra. Tölurnar eru í 1.000 tonnum CO₂ ígilda.

Einn af kostum neysludrifins kolefnisspors er að auðvelt er að sjá hvar losunin er að eiga sér stað. Kolefnissporið er þá sundurliðað í beina losun vegna starfsemi sveitarfélagsins og óbeina losun sem á sér stað innan sveitarfélagsins, annars staðar í Noregi eða erlendis. Sjá dæmi um kolefnisspor Tromsø á mynd 18. Það kom ráðamönnum í Tromsø á óvart að sjá hvað bein losun var hlutfallslega lítil.



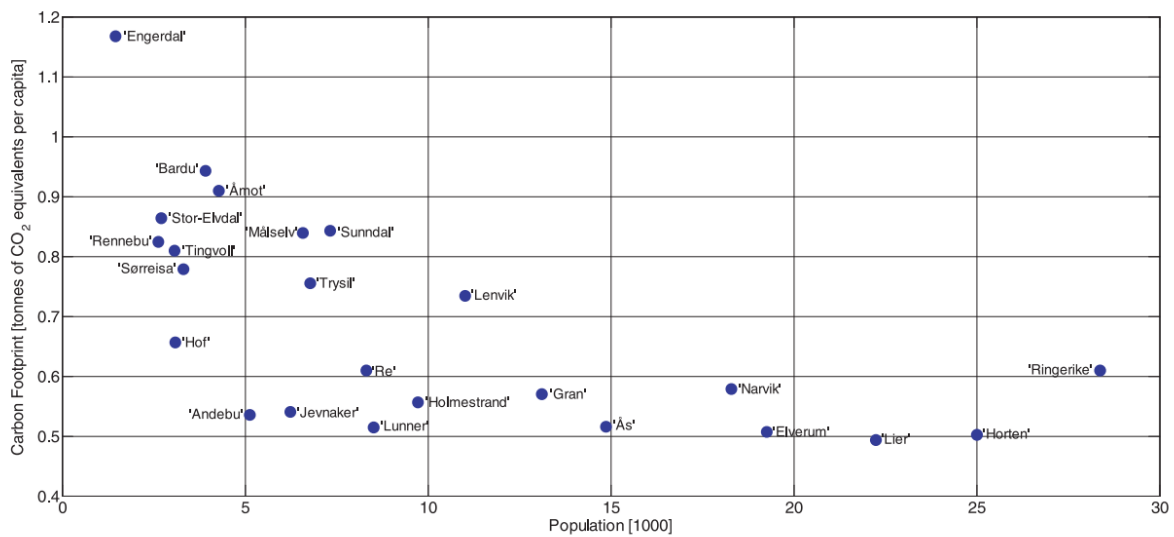
MYND 18 Sundurliðun á neysludrifnu kolefnisspori vegna starfsemi sveitarfélagsins Tromsø í Noregi árið 2007 eftir því hvar losunin á sér stað og hvort um sé að ræða beina eða óbeina losun [22].

Einnig er hægt að sundurliða kolefnisspor eftir geirum samfélagsins, sjá sýnidæmi fyrir Tromsø á mynd 19. Slík greining er hjálpleg til að forgangsraða aðgerðum þegar draga á úr neysludrifnu kolefnisspori sveitarfélags.



MYND 19 Sundurliðun á neysludrifnu kolefnisspori vegna starfsemi sveitarfélagsins Tromsø í Noregi árið 2007 eftir geirum samfélagsins [22].

Á mynd 20 má sjá neysludrifið kolefnisspor 25 sveitarfélaga í Noregi eftir íbúafjölda þeirra. Áhugavert er að sjá að það virðist vera tilhneiging til þess að minni sveitarfélög séu með hærra kolefnisspor á hvern einstakling þó það sé ekki algilt.



MYND 20 Samanburður á neysludrifnu kolefnisspori vegna starfsemi sveitarfélaga í Noregi eftir íbúafjölda þeirra [22].

Í lokaorðum greinarinnar er tekið fram að æskilegt sé að gera slíka greiningu snemma í ferli stefnumótun aðgerðaráætlana vegna loftslagsmála til að auðkenna mikilvægustu þættina. Með slíkri greiningu er einnig hægt að setja viðmið og bera saman árangur mismunandi sveitarfélaga.

5 KOLEFNISSPOR METIÐ MEÐ VISTFERILSGREININGU

5.1 Almennt um vistferilsgreiningar

Vistferilsgreining er stöðluð og vel skilgreind aðferðafræði til að meta umhverfisáhrif viðfangsefnis í víðu samhengi. Greiningin byggir því að skoða allt ílag (efni og orka) og frálag (úrgangur, útblástur og önnur losun) fyrir tiltekið ferli eða viðfangsefni. Í vistferilsgreiningu er tekið tillit til umhverfisáhrifa sem verða á öllum vistferlinum (e. Life Cycle) sem er ferill viðfangsefnis frá vöggju til grafar, þ.e.a.s. frá öflun hráefna, í gegnum flutninga, framleiðslu og notkun á líftíma, allt til förgunar.

Vistferilsgreiningar voru upprunalega þróaðar fyrir vörur og þjónustu en þær hafa verið þróaðar áfram til að taka á stærri viðfangsefnum eins og byggingum. Í viðauka A.4 er umfjöllun um vistferilsgreiningar fyrir mannvirki. Á síðustu árum hafa einstaka húsaraðir og hverfi verið greind með vistferilsgreiningu og aðferðafræðin er talin henta vel til að meta sjálfbærni borga [18].

Í vistferilsgreiningum er niðurstöðum skilað á þannig formi að auðvelt sé að bera saman svipaða hluti með því að setja umhverfisáhrif í samhengi við svokallaða aðgerðareiningu (e. functional unit). Aðgerðareiningin lýsir hlutverki eða virkni viðfangsefnis með tölulegum hætti. Til að bera saman umhverfisáhrif viðfangsefna með svipaða virkni er umhverfisáhrifum deilt með aðgerðareiningunni.

5.2 Kostir þess að meta kolefnisspor með vistferilsgreiningu

Aðferðirnar sem lýst var í köflum 2-4 eiga allar það sameiginlegt að meta kolefnisspor á ársgrundvelli og eru því að vissu leyti skammsýnar í eðli sínu. Þær eru hugsaðar fyrir borgir og sveitarfélög í rekstri sínum en eru ekki beint nothæfar við mat á kolefnisspori tiltekinnar skipulagsáætlunar. Þær ná heldur ekki utan um öll áhrifin sem verða ofar eða neðar í virðiskeðjunni (e. supply chain) en neysludrifna kolefnissporið (í kafla 4) kemst næst því.

Nálgunin í neysludrifna kolefnissporinu er ofansækin (e. top-down approach) að því leyti að byrjað er að skoða samfélagið í heild sinni og síðan horft niður á geira samfélagsins. Vegna þessarar almennu nálgunar þá getur neysludrifna kolefnissporið ekki svarað spurningum eins og „hvaða útfærsla á hverfi hefur minnst kolefnisspor?“ eða „hvaða byggingar ollu stærstum hluta kolefnissporsins?“.

Hefðbundnar vistferilsgreiningar (e. Life Cycle Assessment, LCA) geta hins vegar svarað slíkum spurningum því nálgun þeirra er í eðli sínu neðansækin (e. bottom-up approach). Vistferilsgreiningar rekja vistferil viðfangsefnisins allt frá öflun hráefna og orkuvinnslu, í gegnum flutninga, framleiðslu og notkun, allt til förgunar eða endurvinnslu. Við gerð vistferilsgreininga er stuðst við gagnagrunna þar sem búið er að greina smæstu einingar virðisikeðjunnar. Umhverfisáhrifum eininganna er síðan safnað saman þar til búið er að greina sem stærstan hluta virðisikeðjunnar, bæði fram á við og aftur. Þannig byggir vistferilsgreining steypst mannvirkis á upplýsingum um framleiðslu steypu, sem byggir á upplýsingum um framleiðslu sements og jarðefnis, sem byggja m.a. á upplýsingum um öflun, vinnslu og brennslu jarðefnaeldsneytis.

Vegna þessarar nákvæmni er hægt að sundurgreina mjög ítarlega kolefnisspor sem metið er með vistferilsgreiningu. Vistferilsgreining fyrir húsaröð gæti svarað því hvaða hús olli mestum umhverfisáhrifum og jafnvel líka hvaða þáttur í vistferil (lífsferil) hússins á stærstan hlut í kolefnissporinu, t.d. hvort það var framleiðsla steypunnar eða orkunotkun á líftíma hússins.

5.3 Vistferilsgreiningar fyrir húsaraðir og hverfi (deiliskipulag)

Til eru nokkrar vistferilsgreiningar sem hafa verið gerða fyrir húsaraðir og hverfi. Sjá mætti fyrir sér að greiningar sem þessar myndu henta til að greina kolefnisspor deiliskipulags eða rammaskipulag aðalskipulags. Svo virðist sem að vistferilsgreiningar hafi lagt áherslu á hið byggða umhverfi og engin þeirra hefur gengið svo langt að kanna líka losun vegna iðnaðar og landnotkunar en sú losun gæti verið umtalsverð í sumum sveitarfélögum á Íslandi.

Næst verða sýnd þrjú sýnidæmi um vistferilsgreiningar fyrir húsaraðir og hverfi til að sýna hvernig þær eru hugsaðar og til að gefa hugmynd um hvernig niðurstöður er hægt að fá úr slíkum greiningum.

5.3.1 Sýnidæmi: Vistferilsgreining fyrir húsaröð í Belgíu

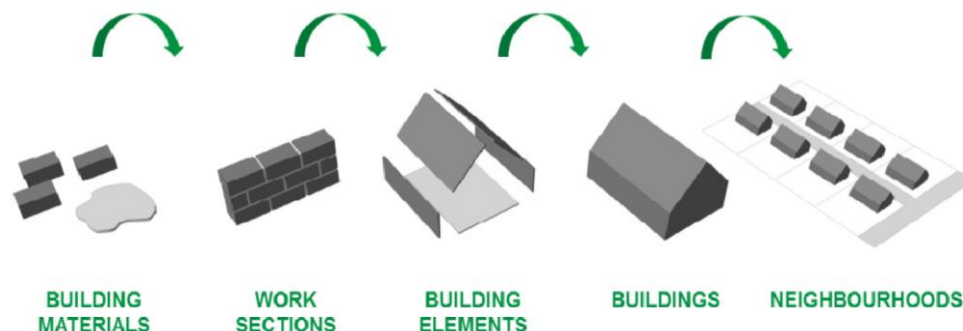
Dæmi um vistferilsgreiningu fyrir húsaröð er greining Trigeux, Allacker & De Troyer á mismunandi uppröðun húsa í húsaröð [23]. Sú greining sýnir vel hvernig hægt er að fá nytsamlegar upplýsingar með vistferilsgreiningu húsaraðar sem má nýta beint inn í skipulag hverfa.

Greiningin þeirra gerir ráð fyrir 60 ára líftíma bygginga og nær yfir vistferil bygginganna frá vöggum til grafar. Í stað þess að reikna einungis kolefnisspor þá eru einnig metin önnur umhverfisáhrif (eyðing ósonlags, súrnun, ofauðgun o.fl.) og þeim síðan steypst saman í einn umhverfisáhrifavísi fyrir kostnað vegna umhverfisáhrifa.

Greiningin byggir á því að vinna sig upp hið byggða umhverfi með eftirfarandi hætti (sjá á mynd 21):

- **Byggingarefni:** Múrsteinar, múr, gifs o.s.frv.
- **Vinnuhlutar (e. work sections):** Hlaðinn múrveggur o.s.frv.
- **Byggingarhlutar:** Veggir, gólf, þak, stigar, gluggar, hurðir o.s.frv. Hér ætti einnig að koma inn tæknilegur búnaður eins og upphitun, loftræsting, vatnsveita o.þ.h. en því var sleppt í greininni
- **Byggingar**
- **Húsaraðir eða hverfi**

Með vaxandi stærðargráðu koma inn innviðir (t.d. vegir og veitur) og opin rými en í greiningunni var einungis tekið tillit til vegainnviða en markmið greiningarinnar var að útbúa líkan til að meta umhverfisáhrif þyrpinga af byggingum ásamt vegainnviðum. Greiningin einskorðast við hið byggða umhverfi og því var ekki tekinn með akstur íbúa eða neitt í þá veru.

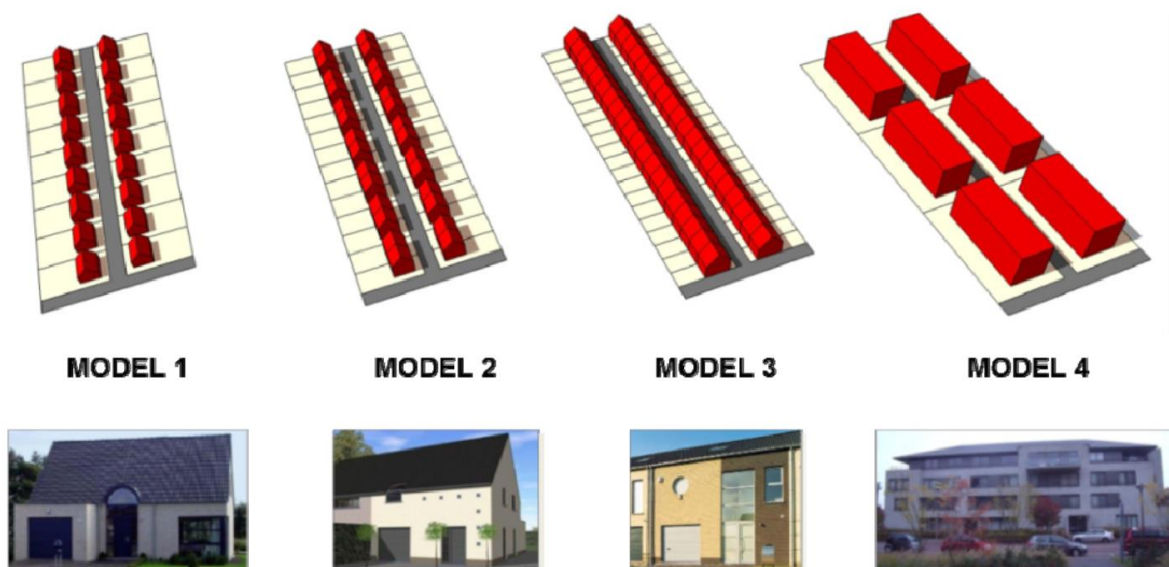


MYND 21 Stigskipting fyrir vaxandi stærðargráðu hins byggða umhverfis í grein Trigeux o.fl. [23].

Í greiningu Trigeux o.fl. eru settar fram fjórar sviðsmyndir fyrir uppbyggingu húsaraðar (sjá mynd 22):

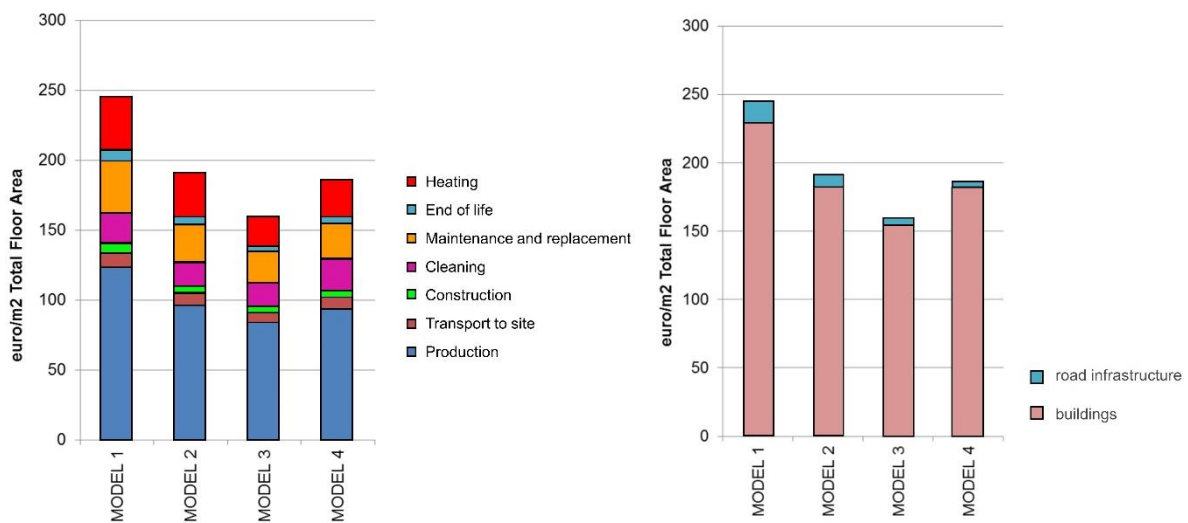
1. Einbýlishús (model 1)
2. Parhús (model 2)
3. Raðhús (model 3)
4. Fjölbýlishús (model 4)

Hver tegund af uppbyggingu hverfis felur í sér mismunandi magn af vegainnviðum á hvern fermetra af íbúðarhúsnæði, mest fyrir einbýlishúsin og minnst fyrir fjölbýlishúsin. Eftir því sem íbúðum er raðað þéttar er yfirleitt minni byggingarhjúpur á hvern m² af gólfleti sem minnkar þörfina á upphitun.



MYND 22 Fjórar sviðsmyndir fyrir uppbyggingu húsaraðar í grein Trigeux o.fl. [23].
Model 1: einbýlishús, model 2: parhús, model 3: raðhús, model 4: fjölbýlishús.

Niðurstöður vistferilsgreiningar Trigeux o.fl. fyrir húsaröð í Belgíu má sjá á mynd 23. Niðurstöðurnar benda til að raðhúsin komi best út en einbýlishúsin verst út hvað varðar umhverfisáhrifakostnað á hvern m² af íbúðarhúsnæði. Ástæðan fyrir því að fjölbýlishúsið kom verr út en raðhúsin eru sameiginlegu rýmin í fjölbýlishúsunum (t.d. stigagangar og tæknirými) sem dreifast á íbúðirnar. Athugið að hér er búið að gefa sér ákveðnar forsendur sem er ekki víst að eigi við á Íslandi og því ber að varast að heimfæra niðurstöðurnar beint yfir á Ísland. Til dæmis eru áhrif upphitunar mun lægri á Íslandi út af jarðvarmanum. Þá er ekki alveg skýrt í greiningunni hvort reiknuð væru áhrif á hvern m² af gólfleti íbúða eða á hvern m² af heildargólfleti bygginganna. Niðurstöðurnar gætu líka verið aðrar ef þær væru reiknaðar út á hvern íbúa. Þrátt fyrir þetta þá sýnir mynd 23 vel hvernig upplýsingar er hægt að fá út úr vistferilsgreiningu húsaraða.



MYND 23 Umhverfisáhrifakostnaður á m² íbúðarhúsnæðis fyrir mismunandi uppbyggingu húsaraðar, aðlöguð mynd úr grein Trigeux o.fl. [23]. Model 1: einbýlishús, model 2: parhús, model 3: raðhús, model 4: fjölbýlishús.

Gatan í hverfinu virðist skipta litlu máli samanborið við húsin en taka ber fram að ýmsa þætti vantar í greiningu Trigeux o.fl. sem þyrfti að kanna líka til að gera samanburðinn sanngjarnari. Þar er nefnt að aðra innviði vanti eins og t.d. hjólastíga, göngustíga, raflagnir, vatnsveitu, fráveitu og hitaveitu. Ekki er heldur reiknað með umhverfisáhrifum af akstri bíla íbúa en þar skiptir þéttleiki byggðar miklu máli. Þá er ekki reiknað með loftræstingu, lýsingu eða örðum rekstrarþáttum bygginga sem geta skipt miklu máli ef rafmagn og hiti kemur ekki frá endurnýjanlegum uppsprettum.

5.3.2 Sýnidæmi: Vistferilsgreining fyrir úthverfi í Melbourne í Ástralíu

Dæmi um vistferilsgreiningu fyrir hverfi er samanburður Stephan, Crawford & Myttenaere á mismunandi uppbyggingu úthverfis í Melbourne, Ástralíu [24]. Um er að ræða hefðbundið úthverfi og var fjórum sviðsmyndum stillt upp í samanburðinum (sjá töflu 4):

TAFLA 4 Fjórar sviðsmyndir í vistferilsgreiningu fyrir úthverfi í Melbourne í Ástralíu [24].

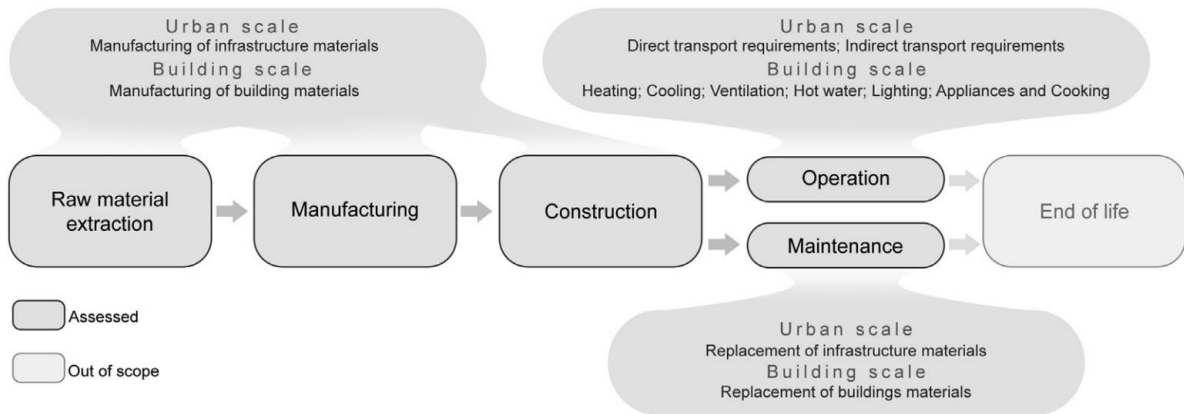
SVIÐSMYND	LÝSING	MYND
Grunnsviðsmynd BC (einbýlishús)	Einbýlishús 180 m ² og 240 m ²	
RH_SDH_1 (einnar hæðar raðhús)	Helmingi húsa í grunnsviðsmynd skipt út fyrir raðhús á einni hæð. Hver íbúð er 168 m ² eða 216 m ² .	
RH_SDH_2 (tveggja hæðar raðhús)	Helmingi húsa í grunnsviðsmynd skipt út fyrir raðhús á tveimur hæðum. Hver íbúð er 168 m ² eða 216 m ² .	
ABP (fjölbýlishús)	Helmingi húsa í grunnsviðsmynd skipt út fyrir fjölbýlishús á fjórum hæðum. Hver íbúð er 120 m ² eða 168 m ² .	

Í greiningunni var metin frumorkunotkun og kolefnisspor hverfisins yfir 100 ár og lagt áherslu á hið byggða umhverfi. Með frumorkunotkun er átt við þá orku sem er á endanum sótt til náttúrunnar, ekki bara við eldsneytisnotkun á rekstartíma heldur einnig orkunotkun við framleiðslu byggingarefna, byggingarframkvæmd og viðhald.

Eitt af því sem er áhugavert við þessa greiningu er hvernig höfundar hennar setja fram vistferil hverfis. Á mynd 24 má sjá vistferil hverfisins og hvernig honum er skipt í tvö stig eftir mismunandi stærðargráðu, byggingastig (e. building scale) og hverfisstig (e. urban scale). Þeir þættir vistferils sem voru teknir með eru eftirfarandi:

- **Innbyggð orka/kolefnisspor vegna byggingarefna (e. initial embodied energy/carbon):** Framleiðsla byggingarefna í byggingar og innviði, t.d. í vegi, raflagnir, vatnsveitu og fráveitu
- **Byggingarframkvæmd**
- **Innbyggð orka/kolefnisspor vegna viðhalds (e. recurrent embodied energy/carbon):** Endurnýjun byggingarefna í byggingum og innviðum
- **Rekstur bygginga:** Hitun, kæling, loftræsting, heitavatnsnotkun, lýsing, raftæki og eldun
- **Rekstur hverfis:** Akstur íbúa, 24.000 – 28.000 km/ári eftir stærð íbúðar

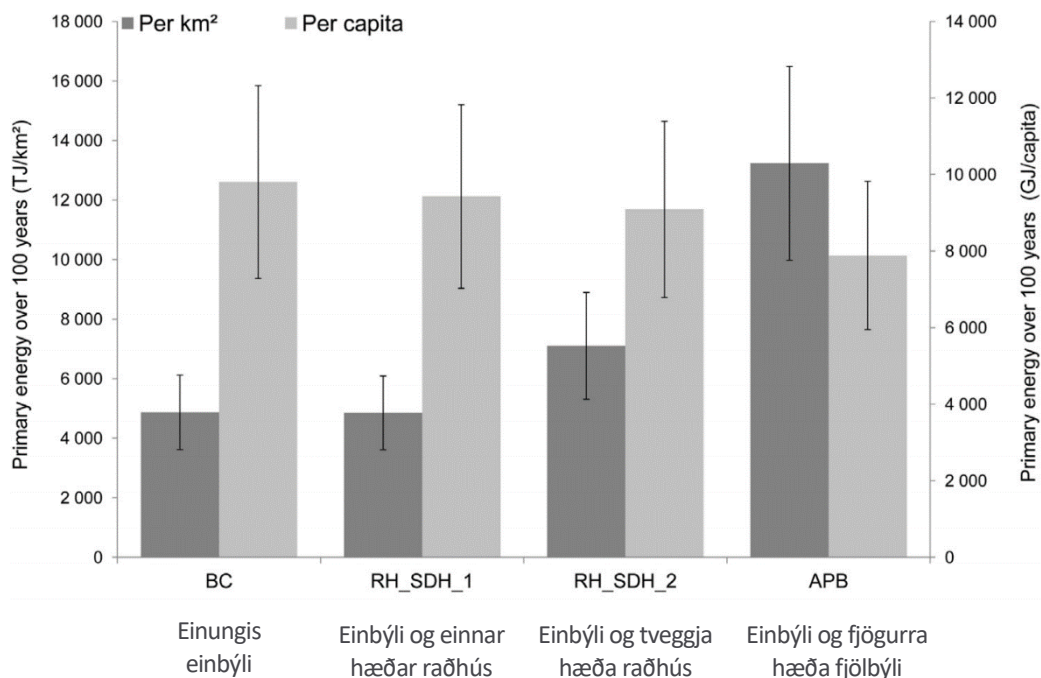
Ekki voru teknir með þættir eins og matur, föt, ferðalög í frítíma og aðrir hlutir. Ekki var heldur tekið með niðurrif og förgun úrgangs.



MYND 24 Kerfismörk fyrir vistferilsgreiningu Stephan o.fl. á úthverfi í Ástralíu [24].

Á mynd 25 má sjá samanburð á sviðsmyndunum fjórum sem var lýst hér að framan í töflu 4. Orkunotkun á hvern ferkílómetra er lægst í grunnsviðsmynd (einbýli) en hæst í sviðsmynd APB (fjölbýli á 4 hæðum), enda er heildarmassi bygginga meiri í sviðsmynd APB. Öfugt með farið fyrir orkunotkun á hvern íbúa, þá er orkunotkun lægst í sviðsmynd APB en hæst í grunnsviðsmyndinni. Það skýrist af því að þrátt fyrir að bygging fjölbýla krefjist meiri orkunotkunar fyrir hverfið í heild, þá skilar hún sér í því að fleiri íbúar geti búið á sama svæði.

Ýmislegt annað var skoðað í vistferilsgreiningunni og það má finna í viðauka B.1.

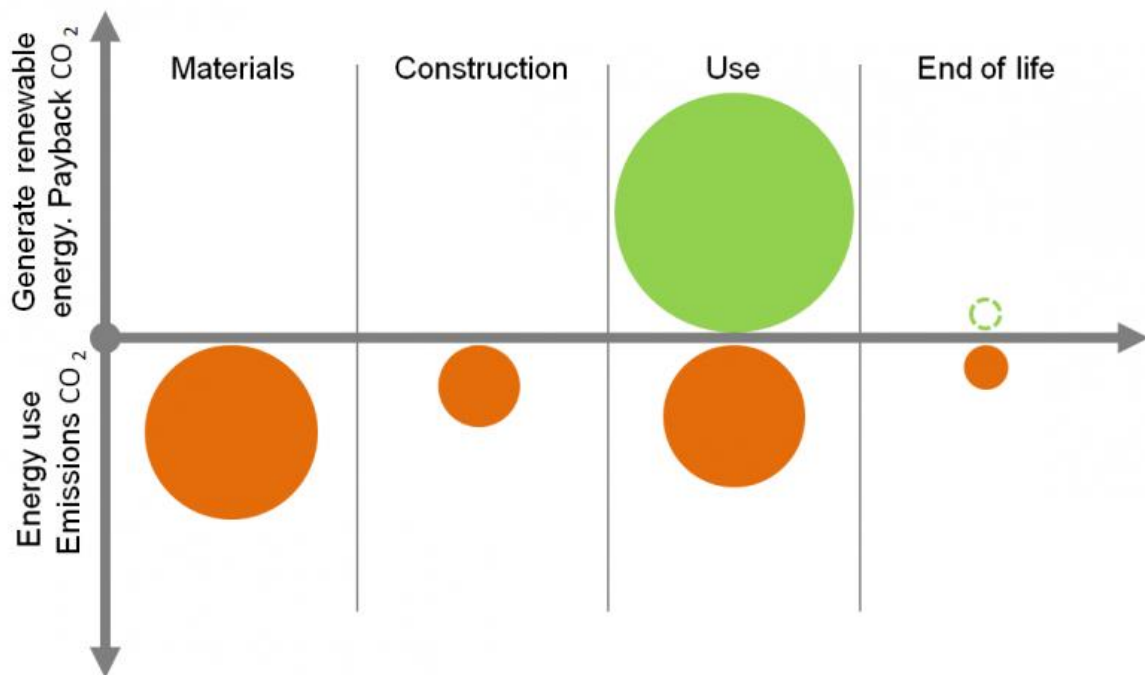


MYND 25 Samanburður á frumorkunotkun sviðsmynda fyrir úthverfi í Melbourne. Dökkgráar súlur og vinstri ás sýna orkunotkun á km² en ljósgráar súlur og hægri ás sýna orkunotkun á hvern íbúa [24].

5.3.3 Sýnidæmi: Vistferilsgreining fyrir hverfi í Bergen í Noregi

Á meðan vinna þessa verkefnis stóð yfir kom út vísindagrein þar sem Lausset o.fl. höfðu útbúið vistferilsgreiningarlíkan fyrir hverfi sem verið er að skipuleggja í útjaðri Bergen í Noregi á vegum Research Centre on Zero Emission Buildings (ZEB) [25]. Sú miðstöð (ZEB) hefur það markmið að þróa samkeppnishæfar vörur og lausnir fyrir núverandi og nýjar byggingar sem leiða til bygginga með nettó núll losun gróðurhúsalofttegunda.

Á mynd 26 má sjá hvernig ZEB setur fram byggingu með nettó núll losun gróðurhúsalofttegunda [26]. Það byggist á því að á byggingunni séu sólarcellur sem framleiða meiri orku en byggingin þarf og að umframorkan sé sett á dreifikerfið fyrir aðrar byggingar. Þá er reiknað með að það sé ávinningur af því að framleiða orku sem kemur í stað óumhverfisvænnar orku sem þegar er á dreifikerfinu. Þetta gengur þó aðeins upp ef hluti af raforkunni á dreifikerfinu er framleiddur með jarðefnaeldsneyti, t.d. orkuvinnsla með bruna kola eða jarðgass. Á Íslandi er raforkan á dreifikerfinu hins vegar með mjög lágt kolefnisspor og því ekki ávinningur af því að framleiða orku á byggingum sem kæmi í stað vatnsafls- og jarðvarmaorkunnar á dreifikerfinu. Það er því ekki víst að hægt sé að byggja byggingar á Íslandi sem ná nettó núll losun með þessum hætti.



MYND 26 Kolefnisspor byggingar með nettó núll losun gróðurhúsalofttegunda samkvæmt skilgreiningu Research Centre on Zero Emissions Buildings (ZEB) í Noregi [26]. Appelsínugulu hringirnir fyrir neðan lárétta ásinn eru losun gróðurhúsalofttegunda. Grænu hringirnir fyrir ofan lárétta ásinn eru ávinningur af því að framleiða endurnýjanlega orku á staðnum, t.d. með sólarcellum, sem kemur í stað óumhverfisvænni raforku frá dreifikerfi. Þetta væri hins vegar ekki hægt á Íslandi því raforkan á dreifikerfinu á Íslandi er með mjög lágu kolefnisspori og því ekki ávinningur af því að framleiða orku á staðnum.

Hverfið sem var tekið fyrir í vistferilsgreiningunni ber heitið „Zero Village Bergen“ sem verður stærsta verkefni Noregs í byggingum með nettó núll losun (e. Zero Emission Buildings) samkvæmt skilgreiningu ZEB.

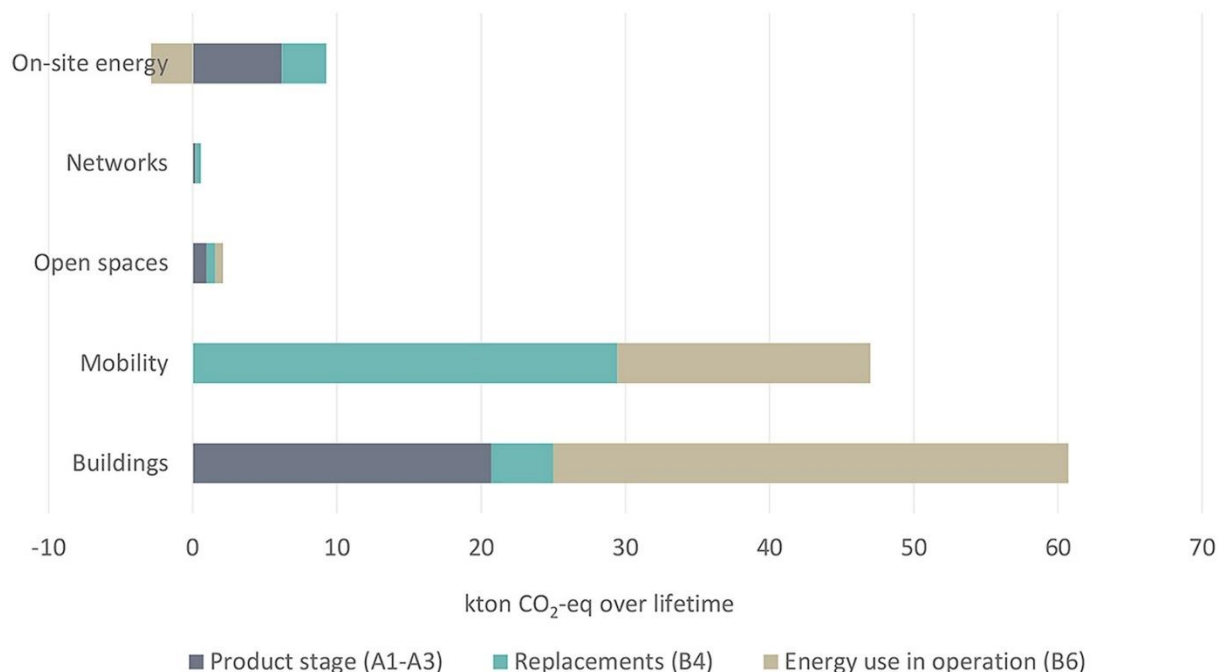
Í verkefninu hefur góð grunnvinna verið unnin sem gæti hjálpað til ef vistferilsgreining yrði gerð fyrir íslensk hverfi. Noregur er líkur Íslandi að því leyti að raforka er að mestu leyti unnin úr endurnýjanlegum orkugjöfum og þá helst vatnsafli. Í viðauka B.2 má finna ítarefni um greininguna.

Í greiningunni er hinu byggða umhverfi skipt í fimm yfirflokk, byggingar, samgöngur, opin svæði, veitur og orkuvinnsla. Nánar er fjallað um fyrstu fjóra yfirflokkana í næsta kafla (5.3.4) en í LCA líkani Lausset o.fl. er einn flokkur til viðbótar, orkuvinnsla á staðnum (e. on-site energy), sem nær yfir sólarcellur á þökum bygginganna.

Í greiningunni var eingöngu tekið tillit til losunar vegna framleiðslu byggingarefna og orkunotkunar á rekstrartíma en ekki vegna byggingarframkvæmdar og niðurrifs. Tekið var bæði tillit til byggingarefna sem þarf í byggingarnar sjálfar og líka í endurnýjun á notkunartíma þeirra. Tímarammi greiningarinnar var 60 ár og reiknað var með sama líftíma bygginga.

Niðurstöður Lausset o.fl. má sjá á mynd 27. Í ljós kom að byggingar ollu megninu af losun gróðurhúsalofttegunda (52%) og þar á eftir koma samgöngur (40%). Ef horft er á stig vistferils þá skipti mestu máli losun vegna framleiðslu byggingarefna og endurnýjun þeirra (56%) og nær öll önnur áhrif eru vegna orkunotkunar á rekstrartíma (44%).

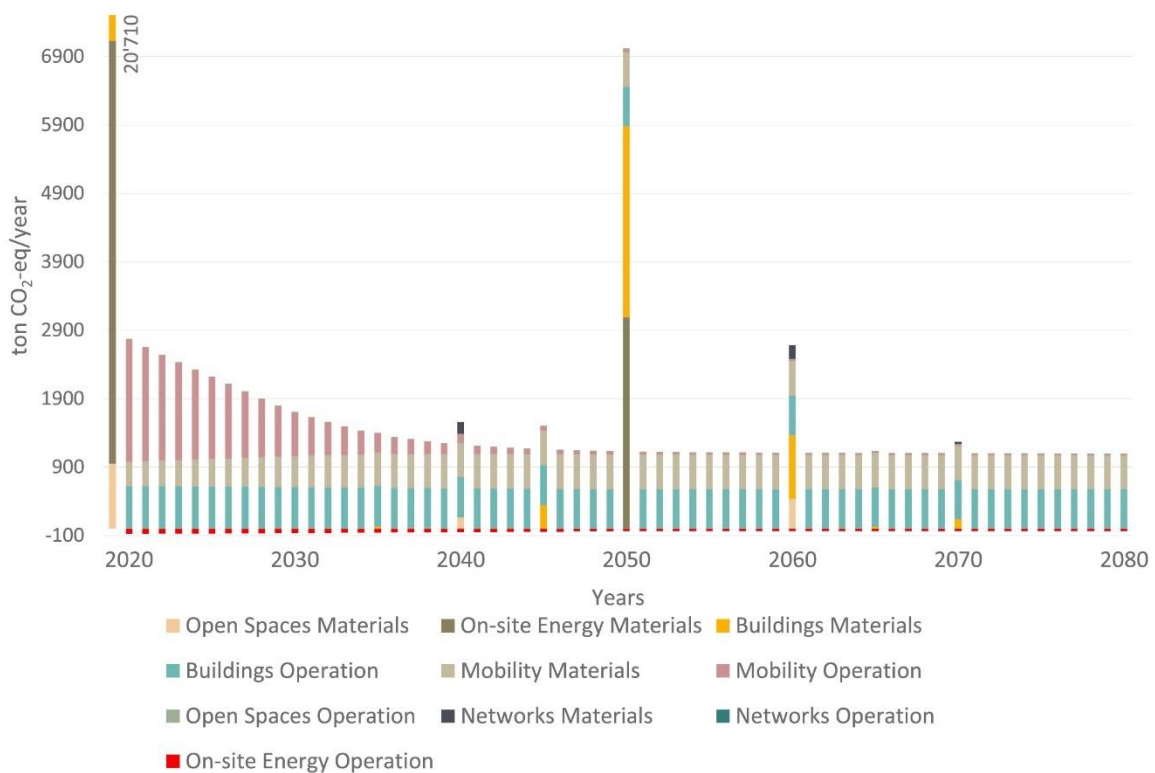
Heildarkolefnisspor þessa hverfis var 117 kt CO₂-ígildi yfir 60 ára líftíma. Þetta samsvarar 1,5 t CO₂-ígildi á einstakling á ári og 21,2 kg CO₂-ígildi á hvern m² gólfplatar á ári.



MYND 27 Kolefnisspor hverfis í Bergen sundurliðað eftir fimm yfirflokkum hins byggða umhverfis og eftir stigum vistferils (A1-A3, B4, B6) skv. Lausset o.fl. [25].

Reiknað var með að allar byggingar hefðu sólarcellur á þökum sem framleiða endurnýjalega orku. Sú orka kemur í staðinn fyrir orku á dreifikerfi í Noregi og sjá má ávinninginn af því sem mínustölu í efsta stöpli á mynd 27. Áhugavert er að sjá að ávinningurinn af framleiðslu rafmagns á staðnum dugir ekki einu sinni til að núlla út losunina af því að framleiða sólarcellurnar (A1-A3 í efsta stöpli á mynd 27), hvað þá að núlla út losun vegna orkunotkunar bygginganna (B6 í neðsta stöpli á mynd 27). Ástæðan fyrir þessu er í grunnin sú að raforkan á dreifikerfi Norðmanna er að mestum hluta frá endurnýjanlegum orkugjöfum eins og á Íslandi. Þessar niðurstöður undirstrika það að ef raforkan á dreifikerfinu hefur lágt kolefnisspor þá gefur það lítinn ávinning af því að framleiða endurnýjanlega orku á þökum bygginga. Þess vegna þarf að leggja áherslu á að velja byggingarefni með lágt kolefnisspor til að draga úr kolefnisspori bygginga.

Á mynd 28 má sjá hvernig kolefnisspor hverfisins í Bergen þróast með tíma. Langmesta staka losunin verður á fyrsta ári þegar hverfið er byggt upp. Einnig kemur stök losun þrjátíu árum síðar því þá er reiknað með að skipta þurfi um klæðningar útveggja og innveggi. Einnig má sjá að losun vegna bruna eldsneytis í samgöngum (mobility operation) minnkar og er orðin mjög lítil 2050 vegna orkuskipa í samgöngum.



MYND 28 Þróun kolefnisspors hverfis í Bergen með tíma og sundurliðað eftir flokkum hins byggða umhverfis og stigum vistferils (byggingarefni og notkun) skv. Lauselet o.fl. [25].

5.3.4 Yfirlit yfir vistferilsgreiningar fyrir húsaraðir og hverfi

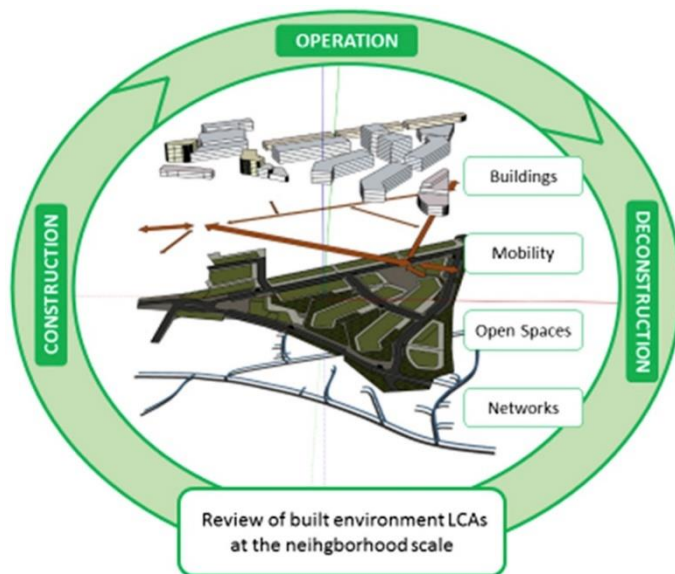
Í yfirlitsgrein Lotteau o.fl. var leitast við að taka saman allar vistferilsgreiningar sem hafa verið gerðar fyrir húsaraðir og hverfi [27]. Samtals var unnið úr 14 vistferilsgreiningum sem náðu yfir 21 hverfi. Stærð hverfanna var á bilinu 0,02 – 4,4 km² og íbúapétteleikinn var á bilinu 370 – 34.000 íbúar á km².

Í greininni er hið byggða umhverfi flokkað í fjóra yfirflokka eins og kemur fram á mynd 29 [27]. Sundurliðun á yfirflokkunum í undirflokkum og helstu þætti þar undir má sjá í töflu 5. Benda mætti þó á að ýmsa undirflokkum vantar undir opin svæði (brýr, jarðgöng, flugvellir, hafnir, stoðveggir, göngu- og hjólastígar) og veitur (fjarskiptabúnaður og upplýsingaveitur).

Vistferilsgreiningarnar í yfirlitsgrein Lotteau o.fl. voru frábrugðnar að ýmsu leyti, t.d. var mjög breytilegt hversu margra yfirflokka var tekið tillit til. Í sumum greiningum var einungis tekið tillit til bygginga en í öðrum var t.d. tekið tillit til bygginga, vega, veitukerfa og samgangna.

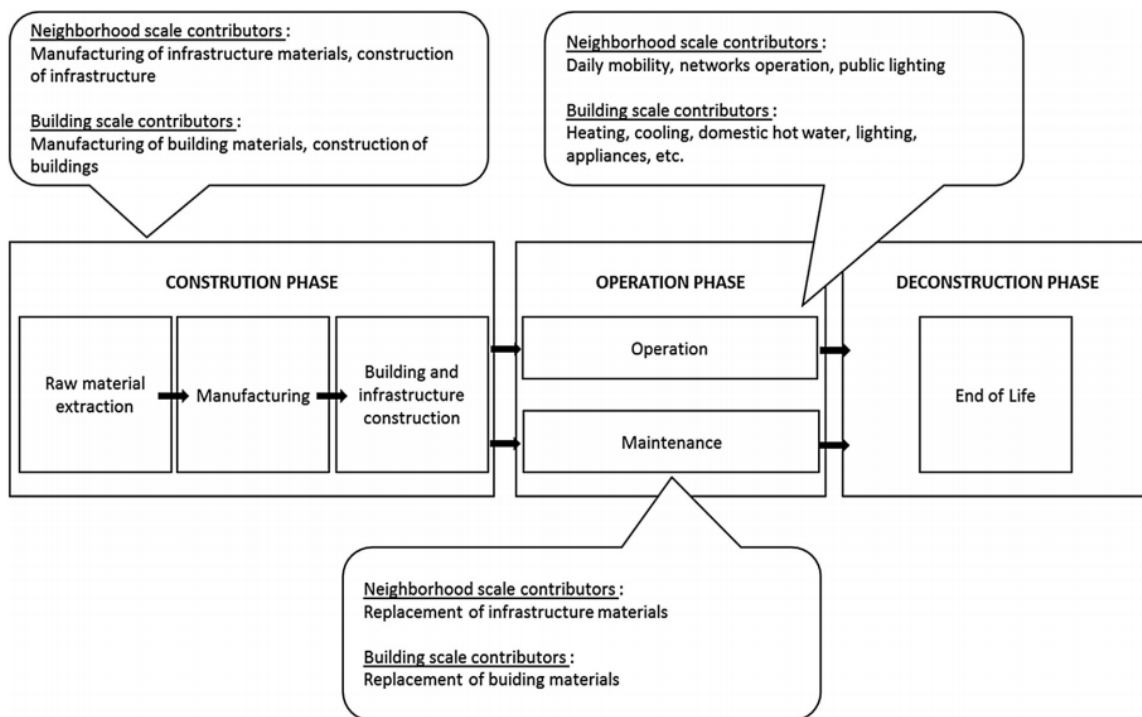
TAFLA 5 Flokkun hins byggða umhverfis skv. Lotteau o.fl. [27].

YFIRFLOKKUR HINS BYGGÐA UMHVERFIS			
Byggingar	Opin svæði	Veitur	Samgöngur
UNDIRFLOKKUR			
Byggingar	Vegir	Rafveita	Einkabílar
	Gangstéttir	Vatnsveita	Lestir
	Bílastæði	Fráveita	Strætisvagnar og rútur
	Græn svæði	Gasveita	
		Hitaveita	
HELSTU ÞÆTTIR			
Byggingarefni	Byggingarefni	Byggingarefni	Framleiðsla farartækja
Byggingarúrgangur	Byggingarúrgangur	Byggingarúrgangur	Daglegur akstur
Byggingarefni í viðhald	Byggingarefni í viðhald	Byggingarefni í viðhald	
Úrgangur frá viðhaldi	Úrgangur frá viðhaldi	Úrgangur frá viðhaldi	
Upphitun	Lýsing	Úrgangur frá niðurrifi	
Kæling	Vatnsnotkun í viðhaldi		
Heitt vatn á krana	Úrgangur frá rekstri		
Loftræsing	Úrgangur frá niðurrifi		
Rafmagnsnotkun			
Eldun			
Neysluvatn			
Heimilisúrgangur			
Skólp			
Úrgangur frá niðurrifi			



MYND 29 Flokkun hins byggða umhverfis í fjóra yfirþætti: Byggingar, samgöngur, opin svæði og veitur [27]. Hafa verður vistferillinn í huga: Bygging, rekstur og niðurrif.

Á mynd 30 má sjá hvernig vistferill hverfis er skilgreindur í grein Lotteau o.fl. [27] sem svipar mjög til vistferils hverfis í greiningu Stephan o.fl. á mynd 24 í kafla 5.3.1. Bygging hins byggða umhverfis skiptist í öflun hráefna, framleiðslu byggingarefna og byggingarframkvæmdir. Notkun hins byggða umhverfis skiptist í rekstur og viðhald. Að lokum kemur niðurrifi hins byggða umhverfis. Vistferilsgreiningarnar sem voru til skoðunar í grein Lotteau o.fl. reiknuðu allar með byggingu og notkun hins byggða umhverfis en ekki reiknuðu allar með niðurrifi.



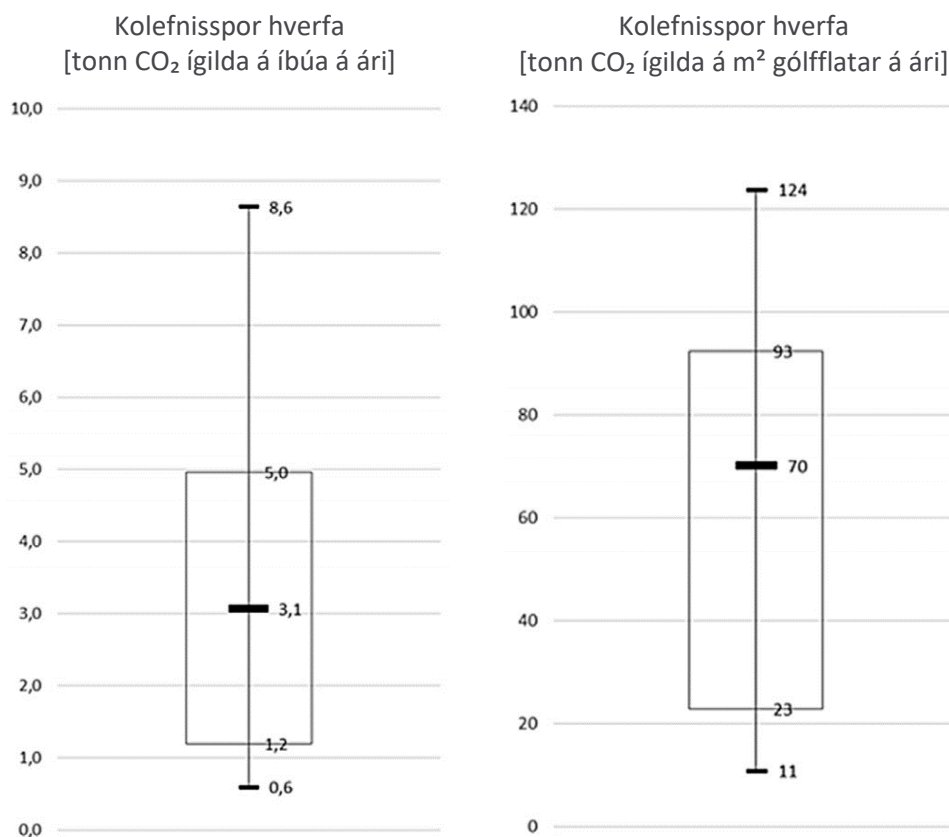
MYND 30 Vistferill hverfis og skipting hans í byggingu, notkun og niðurrif [27]. Einnig eru sýndir þættir sem hafa áhrif á byggingastigi (e. building scale) og á hverfastigi (e. neighbourhood scale).

Eins og kom fram í kafla A.4 þá þarf að skilgreina aðgerðareiningu til að geta borið saman niðurstöður vistferilsgreininga. Aðgerðareiningin lýsir hlutverki eða virkni viðfangsefnis með tölulegum hætti. Umhverfisáhrifin eru síðan deild með aðgerðareiningunni til að gera þau samanburðarhæf.

Í yfirlitsgrein Lotteau o.fl. var töluverður mismunur á aðgerðareiningu á milli vistferilsgreininga [27]. Lotteau o.fl. brugðu á það ráð að umreikna niðurstöðurnar og birta þær út frá tveimur aðgerðareiningum:

- Kolefnisspor á hvern íbúa á ári
- Kolefnisspor á hvern m² gólfplatar á ári

Á mynd 31 má niðurstöður fyrir kolefnisspor hverfa úr þeim vistferilsgreiningum sem Lotteau o.fl. tóku fyrir [27]. Athugið að eins og hefur komið fram þá var mjög mismunandi hvað var tekið tillit til margra þátta. Þar að auki var mismunandi hvað umhverfisáhrif voru metin yfir langt tímabil, allt frá 50 árum til 100 ára.



MYND 31 Dreifing á niðurstöðum fyrir kolefnisspor hverfa í yfirlitsgrein Lotteau o.fl. [27]. Þykk lína sýnir meðaltal en efst er hágildi og lægst er lágildi. Ramminn sýnir hvar 50% niðurstaðna lendir (á milli 25% og 75% hundraðshlutamarka). Hæstu og lægstu gildi eru einnig sýnd. Athugið að greiningarnar voru frábrugðnar að ýmsu leyti.

Þrátt fyrir breytileika á milli kerfismarka vistferilsgreininganna þá gátu Lotteau o.fl. þó dregið nokkrar ályktanir [27]:

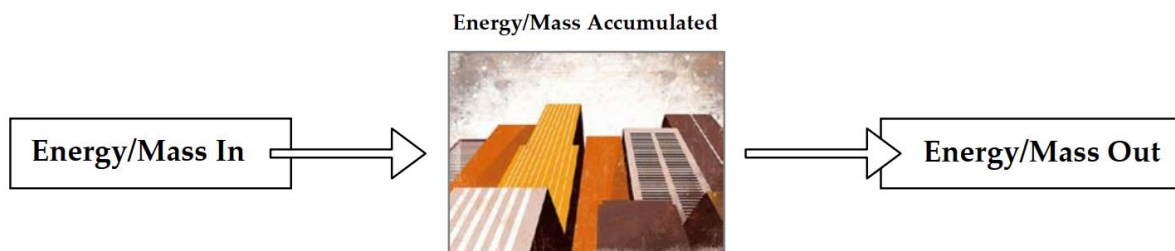
- Byggingar og því næst samgöngur voru þeir yfirflokkar sem valda mestu kolefnisspori í hinu byggða umhverfi
- Af undirþáttum hins byggða umhverfis þá var hlutdeild reksturs bygginga, samgangna og framleiðslu byggingarefna af sömu stærðargráðu í kolefnisspori hverfis.
- Almennt var stærstur hluti kolefnisspors hverfis á notkunartíma nema í hverfum með sérstaklega háa orkunýtni (e. energy efficiency), þá var framleiðsla byggingarefna af sömu stærðargráðu
- Niðurrif skiptir hlutfallslega litlu máli nema sérstaklega sé verið að skoða úrgangsstrauma

5.4 Vistferilsgreiningar fyrir sveitarfélög og borgir (aðalskipulag)

Við upplýsingaöflun verkefnisins fannst engin vistferilsgreining sem tók fyrir heila borg eða heilt sveitarfélag. Þó voru fundnar nokkrar vísindagreinar sem fjölluðu um hvernig slíkt væri hægt eða hvernig sú aðferðafræði gæti litið út. Í framtíðinni mætti sjá fyrir sér að kolefnisspor sveitarfélags metið með vistferilsgreiningu kæmi sér vel við gerð aðalskipulags eða svæðisskipulags.

5.4.1 Vistferilsgreining og efnaskipti borgar

Þó ekki sé vitað til þess að vistferilsgreining hafi verið gerð fyrir heilt sveitarfélag þá hefur verið fjallað um hvernig hægt væri að gera slíkt. Í skýrslu Chester o.fl. [28] er lagt til að sameina vistferilsgreiningu og aðra aðferð sem mætti kalla „efnaskipti borgar“ (e. urban metabolism), sem er í raun greining á flæði efna og orku til og frá borginni (e. material and energy flow analysis), sjá mynd 32. Slíkar greiningar eru notaðar til að meta flæði auðlinda, orku, vatns, úrgangs, næringarefna, annarra efna og loftmengunar. Lögmálið um varðveislu massa og orku er síðan notað til að ákvarða flæði í gegnum borgina og hversu mikið safnast upp í henni.



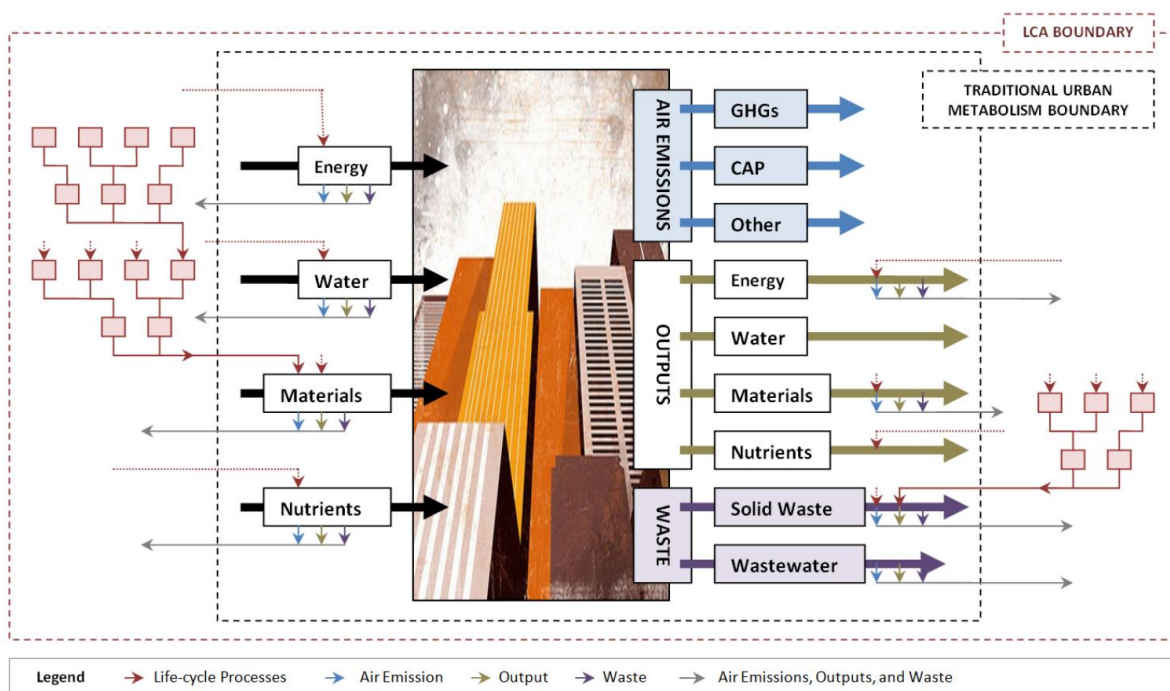
MYND 32 Einfölduð mynd til að útskýra efnaskipti borgar [28].

Með því að bæta vistferilsgreiningu ofan á „efnaskipti borgar“ þá má reikna út hver umhverfisáhrifin eru af notkun efna og orku og losunar úrgangs og loftmengunar. Kerfismörk fyrir slíka greiningu má sjá á mynd 33.

Líta má á borgir sem ósjálfbærar ef þær neyta meiri orku og efna og mynda meiri úrgang en upplönd (e. hinterland) þeirra ráða við. Sett hefur verið fram sú staðhæfing að borgir þurfi að jafnaði einni eða tveimur stærðargráðum meira land heldur þær sjálfar taka til að viðhalda sér [28].

Það er mikilvægt að taka tillit til óbeinna áhrifa og horfa upp virðiskeðjuna því annars er hættu á að rangar ákvarðanir séu teknar og borg gæti átt möguleika á að draga spor sitt með því að taka fyrir ferla ofar í virðiskeðjunni sem gerist utan borgarinnar (t.d. með því að gera kröfu um þjöppun og hagræðingu í aðflutningum til borgarinnar) [28].

Það er þarf að huga að ýmsu sem skiptir máli við ákvörðun kolefnisspors borgar, kolefnisspor á hvern fermetra getur verið hærra í þéttari byggð en fólk býr í minni íbúðum sem leiðir af sér minna kolefnisspor á hvern einstakling. Þá getur röskun á náttúru vegna framkvæmda í jaðar borgar valdið töluverðri losun gróðurhúsalofttegunda en hún er sjaldan tekin með [28].



MYND 33 Kerfismörk vistferilsgreiningar borgar sem styðst við greiningu á „efnaskiptum borgar“, þ.e.a.s. greiningu á flæði efna, orka, úrgangs og mengunar til og frá borginni. Vistferilsgögn eru síðan notuð til að rekja upp og niður virðiskeðjuna.

5.4.2 Samræming á aðferðafræði vistferilsgreininga fyrir borgir

Í nýlegri vísindagrein Albertí o.fl. var tekið saman hvaða aðferðir hafa verið þróaðar til að meta sjálfbærni borga [18]. Niðurstöður samantektarinnar voru þær að vistferilsgreiningar henti vel til að meta sjálfbærni borga en að þær hafi sjaldan verið gerðar fyrir stærri viðfangsefni en byggingar, aðeins nokkrar vistferilsgreiningar hafi verið gerðar fyrir húsaraðir og hverfi en það skortir samræmingu og nægjanlega vel úthugsaða aðgerðareiningu (e. functional unit) [18].

Í framhaldsgrein eftir sömu höfunda er lagt til að horft verði til velmegunar íbúa frekar en fermetra af húsnaði eða fjölda íbúa við ákvörðun aðgerðareiningar [29]. Þá er lagt til að velmegun eða hagsæld sé mæld með velmegunarvísi borgar (e. City Prosperity Index, CPI) sem UN HABITAT hafa þróað [30].

Velmegunarvísir borgar (CPI) er alþjóðlegur vísir sem tekur tillit til þriggja samfélagslegra, efnahagslegra og umhverfislegra þátta með því að steypa saman sex öðrum vísnum, sem hver og einn byggir á undirvísnum. Í töflu 6 má sjá hvernig CPI vísirinn er byggður upp.

TAFLA 6 Velmeðunarvísir borgar (City Prosperity Index, CPI) þróaður af UN Habitat [29].

	DIMENSIONS	DIMENSION INDEX	SUB-INDEXES
City Prosperity Index (CPI)	1. Productivity (Economic)	City Productivity Index (P)	Economic Strength (ES) Economic Agglomeration (EA) Employment Sub Index (E)
	2. Infrastructure (Social)	City Infrastructure Index (ID)	Housing Infrastructure Sub Index (HI) Social Infrastructure (SI) Information and Communication Technology Sub Index (ICT) Urban Mobility Sub Index (UM) Urban Form Sub Index (UF)
	3. Quality of Life (Social)	City Quality of Life Index (QOL)	Health Sub Index (H) Education Sub Index (E) Safety and Security Sub Index (SS) Public Space (PS)
	4. Equity and Social Inclusion (Social)	City Equity and Social Inclusion Index (ESI)	Economic Equity Sub Index (EE) Social Inclusion Sub Index (SI) Gender Inclusion Sub Index (GI) Urban Diversity Sub Index (UD)
	5. Environmental Sustainability (Environmental)	City Environmental Sustainability Index (ES)	Air Quality Sub Index (AQ) Waste Management Sub Index (WM) Sustainable Energy Sub Index (SE)
	6. Governance and Legislation (Social)	City Governance and Legislation Index (UGL)	Participation Sub Index (P) Municipal Finance and Institutional Capacity (MFIC) Governance of Urbanization (GU)

Með því að taka vísi fyrir velmeðun inn í aðgerðareiningu vistferilsgreiningar þá er í raun verið að segja að hlutverk eða virkni borgar sé að veita íbúum hennar velmeðun. Aðgerðareiningin sem er lögð til væri þá: „1 milljón íbúa sem lifa við fulla velmeðun skv. CPI á einu ári.“. Þá væri hægt að bera saman árangur mismunandi borga með því a deila umhverfisáhrifum borgar með fjölda íbúa sem búa við fulla velmeðun skv. CPI.

Með þessu móti þá myndu tvær jafn fjölmennar borgir með sama kolefnisspor en mismikla velmeðun ekki fá sömu einkunn. Sú borg sem hefði hærri velmeðun myndi fá betri einkunn því hún væri að ná að skapa meiri velmeðun án þess að auka losun gróðurhúsalofttegunda. Kolefnissporið væri metið í tonnum af CO₂-ígildum á hverja milljón íbúa með 100% velmeðun skv. CPI.

Í grein Albertí o.fl. er kolefnisspor nokkurra borga sótt úr gagnagrunni Carbon Disclosure Project til að kanna hvernig kolefnisspor borgar út frá þessari aðgerðareiningu kemur út [29]. Þó er tekið fram að kolefnisspori borga í Carbon Disclosure Project var metið með mismunandi hætti og þar var ekki endilega beitt vistferilshugsun. Í töflu 7 má sjá kolefnisspor, íbúafjölda og velmeðunarvísi borga.

Í töflu 8 má sjá hvernig borgirnar úr töflu 7 raðast eftir því hvers konar kolefnisspor er reiknað út. Tillaga höfunda er að miða við dálkinn lengst til hægri, þ.e. að segja að reikna út kolefnisspor á hvern íbúa sem býr við fulla velmeðun. Áhugavert er að sjá að ef kolefnisspor á íbúa (dálkur 2) og kolefnisspor á hvern

íbúa sem býr við fulla velmegun (dálkur 4) eru borin saman þá stekkur Barselóna upp um þrjú sæti vegna hárrar velmegunar þar í borg en Lagos dettur niður um þrjú sæti vegna lágrar velmegunar.

TAFLA 7 Velmegunarvísir borgar (CPI), íbúafjöldi (P) og kolefnisspor (GWP) 18 borga [29].

City	CPI ₁	P [M inhabitants]	GWP [t CO ₂ -eq]
Addis Ababa	0.3672	3.38	3.71E + 06
Athens	0.7079	0.66	4.71E + 06
Barcelona	0.7288	1.62	4.05E + 06
Guayaquil	0.6117	2.35	6.79E + 06
Hong Kong	0.7335	7.31	4.27E + 07
Jakarta	0.5723	10.08	2.78E + 07
Lagos	0.3745	21.00	2.94E + 07
Lima	0.6782	8.76	1.54E + 07
Lisbon	0.761	0.55	1.93E + 06
London	0.7706	8.60	4.02E + 07
Madrid	0.7478	3.16	1.03E + 07
Mexico	0.6807	8.87	2.37E + 07
Montreal	0.7988	1.89	1.37E + 07
New York	0.7443	8.49	4.94E + 07
Quito	0.555	2.24	5.23E + 06
Tokyo	0.7782	13.51	7.01E + 07
Toronto	0.798	2.75	1.83E + 07
Zurich	0.765	0.40	1.82E + 06

TAFLA 8 Röðun borga frá hæsta kolefnisspori (efst) til þess lægsta (neðst). Dálkur GWP sýnir röðun eftir heildar-kolefnisspori borgarinnar. Dálkur GWP/P sýnir kolefnisspor á hvern íbúa. Dálkur GWP/CPI₁ sýnir heildar-kolefnisspor borgar að teknu tillit til velmegunarstígs hennar. Dálkur GWP/(P·GWP₁) sýnir kolefnisspor á hvern íbúa sem býr við fulla velmegun.

Position		GWP	GWP / P	GWP / CPI ₁	GWP / (P · CPI ₁)
1	Lowest Emissions Ratio	Zurich	Addis Ababa	Zurich	Lima
2		Lisbon	Lagos	Lisbon	Addis Ababa
3		Addis Ababa	Lima	Barcelona	Barcelona
4		Barcelona	Quito	Athens	Lagos
5		Athens	Barcelona	Quito	Mexico
6		Quito	Mexico	Addis Ababa	Quito
7		Guayaquil	Jakarta	Guayaquil	Madrid
8		Madrid	Guayaquil	Madrid	Lisbon
9		Montreal	Madrid	Montreal	Guayaquil
10		Lima	Lisbon	Lima	Jakarta
11		Toronto	Zurich	Toronto	Zurich
12		Mexico	London	Mexico	London
13		Jakarta	Tokyo	Jakarta	Tokyo
14		Lagos	New York	London	New York
15		London	Hong Kong	Hong Kong	Hong Kong
16	Highest Emissions Ratio	Hong Kong	Toronto	New York	Toronto
17		New York	Athens	Lagos	Montreal
18		Tokyo	Montreal	Tokyo	Athens

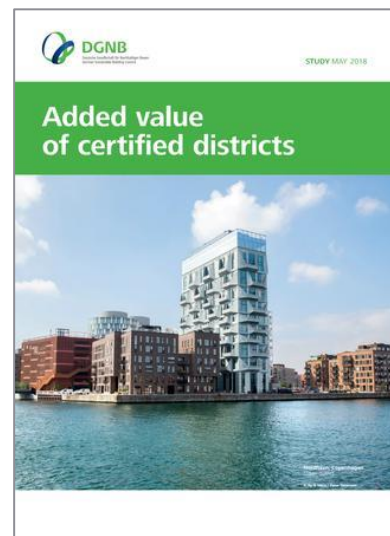
6 SJÁLFBÆRNIVOTTUN SKIPULAGS

Það eru til nokkrar aðferðir til að votta sjálfbærni skipulags og þar ber helst að nefna BREEAM Communities [31] og DGNB Districts [32].

Í báðum þessum aðferðum eru nokkrar kröfur sem taka á kolefnisspori skipulags. Ekki náðist innan tímaramma þessa verkefnis að fara djúpt í þær kröfur eða aðferðafræðina þar á bakvið.

6.1 DGNB

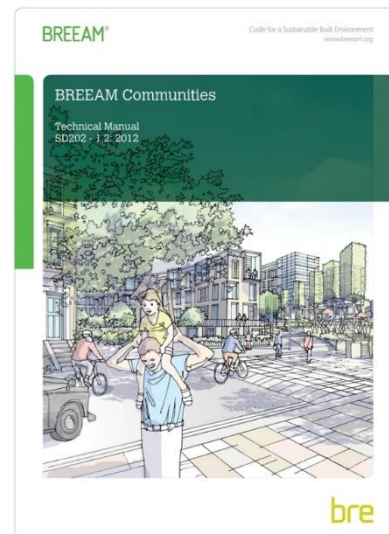
Í DGNB er mikil áhersla á vistferilshugsun og vistferilsgreiningar og þess vegna er í DGNB kolefnisspor skipulags metið með vistferilsgreiningu. Í kröfum DGNB eru settar fram nákvæmar leiðbeiningar um hvernig framkvæma eigi vistferilsgreininguna og þá er reiknað með framleiðslu byggingarefna, orkunotkunar á rekstartíma og viðhalds, þ.e.a.s. öllum þáttum vistferils fyrir utan niðurrif og förgun. Í vistferilsgreiningunni er tekið tillit til bygginga, opinna svæða (e. circulation areas), grænna svæða og innviða. Losun vegna umferðar er ekki tekin með vegna skorts á staðlaðri aðferðafræði.



MYND 34 Bæklingur um ávinning af sjálfbærnivottun hverfa með DGNB Districts [32]

6.2 BREEAM Communities

BREEAM Communities tekur einungis fyrir losun gróðurhúsa-lofttegunda vegna orkunotkunar hverfis (m.a. upphitun, rafmagn, gatnalýsing). BREEAM Communities tekur ekki tillit til innbyggðar losunar vegna framleiðslu byggingarefna en vísar til þess að sú innbyggða losun sé tekin fyrir í BREEAM New Construction staðalinum fyrir byggingar, þ.e.a.s. ef byggingarnar sjálfar eru BREEAM vottaðar. Í BREEAM Communities er þó hvatt til endurbóta á byggingum frekar en að byggja nýjar byggingar því með því að byggja nýtt þarf að framleiða ný byggingarefni með tilheyrandi losun. Þá eru margar kröfur sem stuðla óbeint að minni losun gróðurhúsalofttegunda, t.d. með því að stuðla að minni notkun einkabíls og vistvænum samgöngum, þó sú losun sé ekki reiknuð út.



MYND 35 BREEAM Communities handbókin [27]

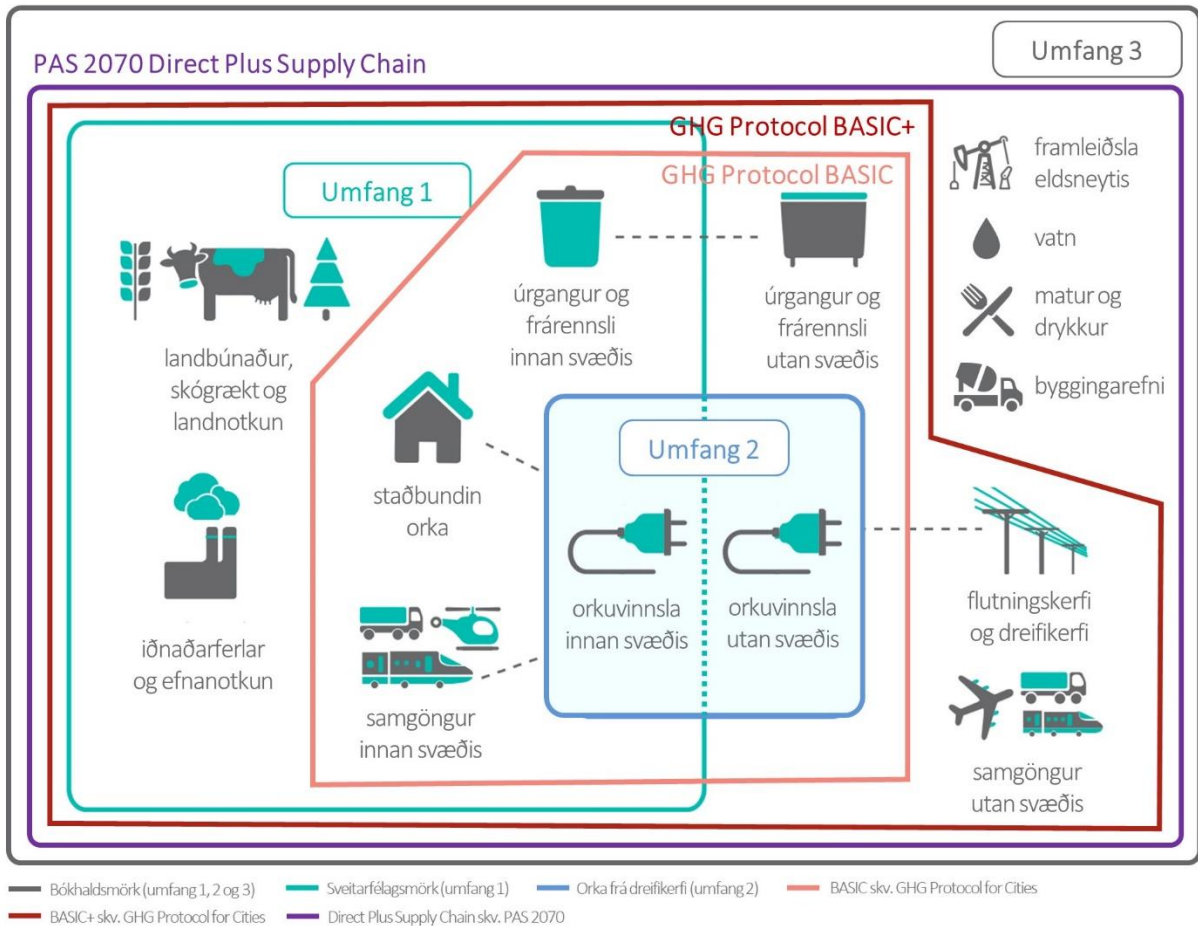
7 SAMANBURÐUR Á AÐFERÐUM

7.1 Yfirlit yfir aðferðir til að meta kolefnisspor

Í köflum 2 til 5 var lýst nokkrum aðferðum til að reikna kolefnisspor en þær taka tillit til mismargra þátta. Í *GHG Protocol for Cities* staðlinum er sett fram skipting í umfang 1, 2 og 3 og síðan tvær aðferðir, BASIC og BASIC+, til að stilla upp kolefnisspori sveitarfélags. Í *PAS 2070* staðlinum eru settar fram tvær leiðir í viðbót, Direct Plus Supply Chain (DPSC) og neysludrifið kolefnisspor (Consumption-based, CB), sem ganga enn lengra. Þá kæmi einnig til greina að meta kolefnisspor borgar með vistferilsgreiningu. Í grófum dráttum mætti raða aðferðunum upp á eftirfarandi hátt eftir stigvaxandi víðfeðmi bókhaldsins (einfaldasta efst):

1. **Einfalt kolefnisspor skv. *GHG Protocol for Cities* (BASIC):** Einfaldasta bókhaldið, landnotkun og iðnaði er sleppt en orkuvinnsla og úrgangsméðhöndlun utan sveitarfélags er þó tekin með (kafli 3.1).
2. **Svæðisbundið (umfang 1) skv. *GHG Protocol for Cities*:** Svæðisbundið kolefnisspor, einungis er tekið tillit til losunar innan sveitarfélags (kafli 2).
3. **Svæðisbundið kolefnisspor auk virðiskeðju skv. *GHG Protocol for Cities* (BASIC+):** Tekur tillit til allrar svæðisbundnar losunar (umfang 1), orkuvinnslu (umfang 2) og líka til hluta af óbeinni losun (umfang 3), þ.e. vegna úrgangs, flutningstapa og samgangna á milli sveitarfélaga (kafli 3.1).
4. **Svæðisbundið kolefnisspor auk virðiskeðju skv. *PAS 2070* (Direct Plus Supply Chain, DPSC):** Tekur tillit til sömu þátta og BASIC+ og auk þess er tekið tillit til virðiskeðju fyrir framleiðslu eldsneytis, vatns, byggingarefna, matar og drykkjar (kafli 3.2).
5. **Neysludrifið skv. *PAS 2070*:** Neysludrifið kolefnisspor er sennilega víðfeðmasta aðferðin í notkun fyrir sveitarfélög (kafli 4).
6. **Vistferilsgreining:** Aðferðafræðin til að meta kolefnisspor sveitarfélags með vistferilsgreiningu er enn í mótun (kafli 5.4) en gæti þegar hentað fyrir einstakar skipulagsáætlanir eða til að gera nákvæma greiningu á hinu byggða umhverfi (kafli 5.3).

Á mynd 36 má sjá samanburð á kerfismörkum þessara mismunandi aðferða til að meta kolefnisspor sveitarfélaga. Neysludrifið kolefnisspor byggir á töluvert frábrugðinni aðferðafræði heldur en hinar aðferðirnar og er þess vegna ekki sýnt á myndinni. Sem fyrr segir þá eru aðferðafræðin við að meta kolefnisspor sveitarfélaga með vistferilsgreiningu enn í mótun og því er sú aðferð ekki heldur sýnd.

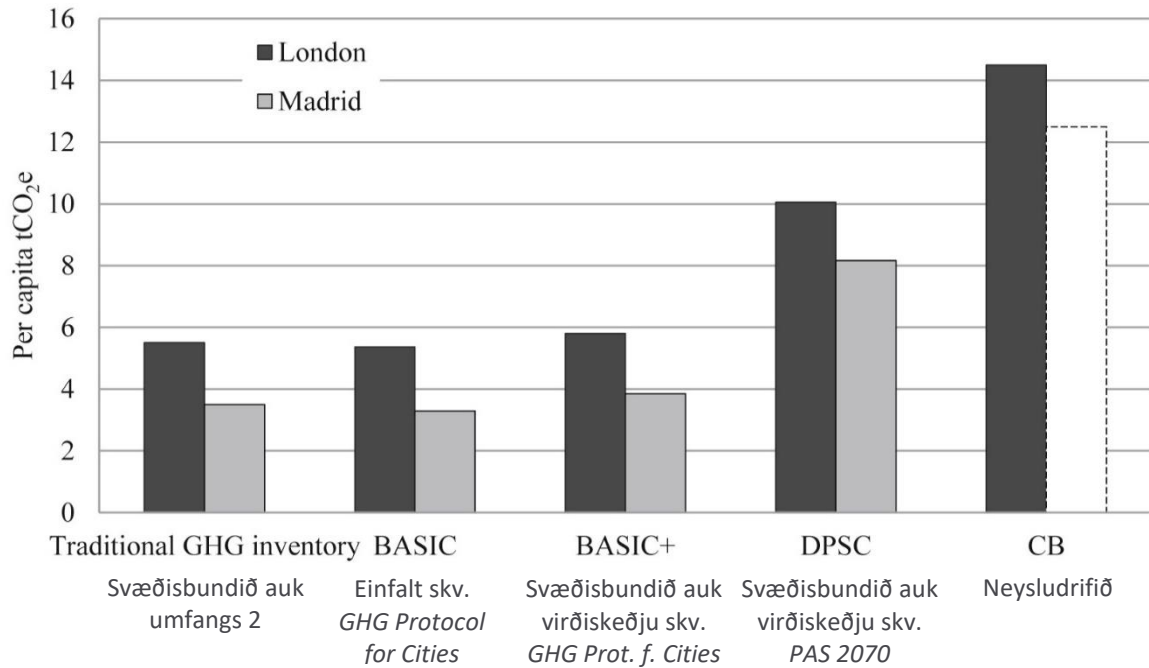


MYND 36 Samanburður á kerfismörkum mismunandi aðferðafræða. Í *GHG Protocol for Cities* staðlinum eru settar fram tvær aðferðir, BASIC og BASIC+ til að stilla upp kolefnisspori borgar. Í *PAS 2070* staðlinum eru settar fram tvær aðferðir í viðbót, sú fyrri heitir Direct Plus Supply Chain (DPSC) og er sýnd á myndinni. Sú seinni er neysludrifið kolefnisspor sem byggir á annari aðferðafræði og tekur ekki fyrir sömu flokka og eru á myndinni..

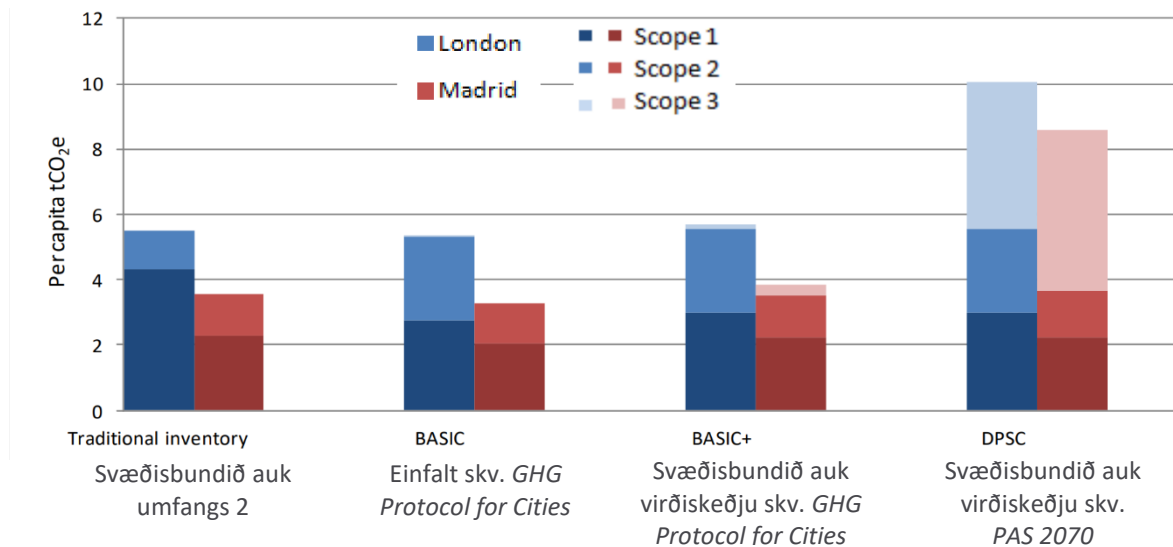
7.2 Sýnidæmi: Lundúnaborg og Madrid

Þegar *PAS 2070* staðallinn var gefinn út þá fylgdi með greining á kolefnisspori Lundúnaborgar með þeim tveimur aðferðum sem eru settar fram, annars vegar svæðisbundið kolefnisspor auk virðisæðju (DPSC) og hins vegar neysludrifið kolefnisspor [33]. Svæðisbundið kolefnisspor auk virðisæðju (DPSC) hefur líka verið metið fyrir Madrid en þar voru ekki til nægar upplýsingar um viðskipti á milli sveitarfélaga til að geta reiknað neysludrifið kolefnisspor [34].

Samanburð á niðurstöðum þessara tveggja borga má sjá á myndum 37 og 38. Á mynd 37 sést að kolefnisspor borgar er verulega vanmetið ef einungis er horft til umfangs 1 og 2 eða þeirra aðferða sem eru settar fram í *GHG Protocol for Cities* staðlinum, BASIC og BASIC+. Á mynd 38 er sýnd sundurliðun eftir umfangi og sést að BASIC+ aðferðinni tekst ekki að ná utan um mikilvægustu þættina í umfangi 3.



MYND 37 Samanburður á kolefnisspori Lundúnaborgar og Madrid á hvern íbúa, metið með mismunandi aðferðum.



MYND 38 Samanburður á kolefnisspori Lundúnaborgar og Madrid á hvern íbúa, metið með mismunandi aðferðum og sundurliðað eftir umfangi 1, 2 og 3.

7.3 Hvaða aðferðafræði á að velja?

Út frá yfirferð skýrslunnar mætti leggja til mismunandi aðferðafræði í eftirfarandi tilvikum:

- **Gögn og tíma skortir:** Kolefnisspor skv. BASIC eða BASIC+ aðferðum *GHG Protocol for Cities*
- **Stefnt á vandaða greiningu:** Kolefnisspor skv. DPSC aðferð *PAS 2070* staðalsins
- **Meta á áhrif neyslu íbúanna:** Neysludrifið kolefnisspor skv. *PAS 2070* staðlinum (krefst sennilega umtalsverðrar gagnaöflunar)
- **Nákvæm greining á hinu byggða umhverfi:** Kolefnisspor metið með vistferilsgreiningu

8 HELSTU UPPSPRETTUR LOSUNAR OG BINDINGAR Í SKIPULAGSÁÆTLUN

8.1 Flokkar losunar og bindingar

Eins og kom fram í kafla 7 þá býður kolefnisspor sem er metið með vistferilsgreiningu sennilega upp á mesta nákvæmni en notkun vistferilsgreininga fyrir sveitarfélög er enn í þróun. Neysludrifið kolefnisspor er einnig mjög yfirgripsmikil aðferð en ekki er vitað til þess að í dag sé safnað þeim gögnum sem þarf til að reikna út neysludrifið kolefnisspor fyrir sveitarfélög. Nákvæmasta aðferðin sem kemur til greina er þess vegna kolefnisspor skv. Direct Plus Supply Chain (DPSC) aðferð PAS 2070 staðalsins, þ.e.a.s. kolefnisspor auk óbeinnar losunar í virðiskeðju. Hún verður höfð til grundvallar við að meta helstu uppsprettur losunar og bindingar í skipulagsáætlunum.

Í töflu 9 má sjá flokka losunar og bindingar í kolefnisspori sveitarfélags samkvæmt DPSC aðferð PAS 2070 staðalsins. Einnig má sjá hvernig losun er flokkuð í umfang 1, 2 og 3. Losun á sér stað í öllum flokkum en binding á sér einungis stað undir flokknum landnotkun (skógrækt, landgræðsla).

Við gerð skipulagsáætlana er hægt að hafa áhrif á nær alla flokka losunar. Í skipulagsáætlunum er ákveðið hvernig fyrirkomulag samgangna, byggðar, landnotkunar og orkuvinnslu verður. Meðhöndlun úrgangs þarf að taka fyrir í skipulagsáætlunum og einnig eru tækifæri til að setja kvaðir þegar svæði fyrir iðnað og landbúnað eru skilgreind. Hægt er að hafa áhrif á notkun byggingarefna með kvöðum á byggingar innan skipulagsáætlunar. Það eru því mikil tækifæri til að hafa áhrif á kolefnisspor sveitarfélags í gegnum skipulagsáætlanir.

TAFLA 9 Flokkar losunar og bindingar í kolefnisspori sveitarfélags, byggðir á DPSC aðferð PAS 2070 staðalsins, sundurliðaðir eftir umfangi 1, 2 og 3. Hvítir reitir tákna losun sem er tekin með en gráir reitir tákna reiti sem eiga ekki við eða innihalda enga losun. Með hliðsjón af svæðisbundnu kolefnisbókhaldi Íslands var sjávarútvegi, vélum og tækjum bætt við til að ná betur yfir íslenskar aðstæður.

ÞÁTTUR	NÁNARI LÝSING	UMFANG 1	UMFANG 2	UMFANG 3
STAÐBUNDIN ORKUNOTKUN				
Orkunotkun	Heimili; fyrirtæki, iðnaður og stofnanir	Brennsla eldsneytis	Notkun orku frá dreifikerfi ¹	Framleiðsla eldsneytis og flutningstöp
Vélar og tæki	Í framkvæmdum, landbúnaði og skógrækt			
Sjávarútvegur	Fiskiskip	Birt til hliðar í bókhaldi ²		
SAMGÖNGUR				
Vegasamgöngur	Farþegar og vörur	Brennsla eldsneytis í ferðum innan sveitarf.	Notkun rafmagns	Brennsla eldsneytis í ferðum á milli sveitarfélaga og framleiðsla eldsneytis
Siglingar	Farþegar og vörur			
Flug	Farþegar og vörur			
IÐNAÐARFERLAR OG EFNANOTKUN				
Iðnaðarferlar	Framleiðsla málma, efna og steinefna	Losun frá efnahvörfum í framleiðsluferlum		
Efnanotkun	Kælimiðlar, úðunarefni, rafbúnaður, leysiefni, SF6 o.fl	Losun frá efnum og vörum sem innihalda gróðurhúsaloft.		
LANDBÚNAÐUR, SKÓGRÆKT OG LANDNOTKUN				
Landbúnaður	Landb. innan sveitarf.	Birt til hliðar í bókhaldi ²		
Landnotkun	T.d. framræst votlendi eða skógrækt	Stöðug losun eða binding vegna landnotkunar		
Breytingar á landnotkun	Breytingar á milli skóglendis, ræktarlands, graslendis, votlendis, byggðar og annars lands	Stök losun þegar breytt er um landnotkun		
ÚRGANGUR OG FRÁRENNSLISHREINSUN				
Úrgangur	Heimili; fyrirtæki og iðnaður; framkvæmdir	Úrgangur frá sveitarfélagi fargað innan þess		Úrgangur frá sveitarf. fargað utan þess
Frárennslishreinsun	Heimili; fyrirtæki og iðnaður	Frárennslir frá sveitarfélagi meðhöndlað innan þess	Notkun orku frá dreifikerfi ¹	Frárennslir frá sveitarf. meðhöndlað utan þess
VÖRUR OG ÞJÓNUSTA				
Vatnsveita	Heimili; fyrirtæki, iðnaður og stofnanir	Vatnsöflun innan sveitarfélags	Notkun orku frá dreifikerfi ¹	Vatnsöflun utan sveitarfélags
Matur og drykkur	Matur og drykkur sem íbúar sveitarf. kaupa	Framleiðsla matvæla í gördum til einknota		Framleiðsla allra keyþra matvæla og drykkja
Byggingarefni	Sement og stál			Framleiðsla sements og stáls
Aðrar vörur og þjónusta	Vörur og þjónusta sem valda >2% af kolefnisspori	Framleiðsla innan sveitarfélags	Notkun orku frá dreifikerfi ¹	Framleiðsla utan sveitarfélags

¹ Orkuvinnsla, innan eða utan sveitarfélags, vegna orkunotkunar innan sveitarfélags (rafmagn og heitt vatn).

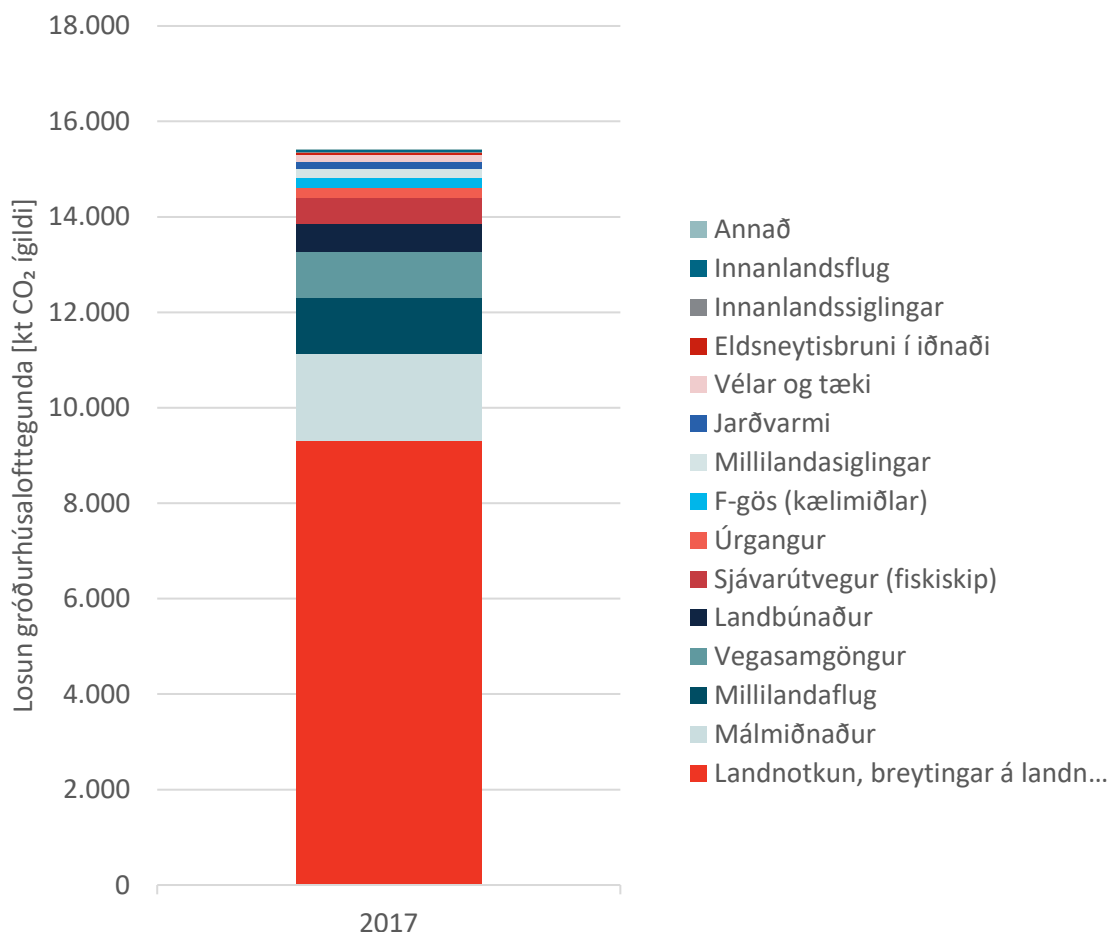
² Birt til hliðar í bókhaldi til að forðast tvítalningu því matur er í flokknum „Matur og drykkur“ undir „Vörur og þjónusta“.

8.2 Stærstu losunarpættir í kolefnisbókhaldi Íslands

Til að draga úr heildarlosun á skipulagsstigi er skynsamlegt að leggja áherslu á þá þætti þar sem mest losun verður, að því gefnu að hægt sé að draga úr þeirri losun. En hvaða þáttur í kolefnisspori skipulagsáætlana og sveitarfélaga veldur mestri losun? Sveitarfélög eru mjög mismunandi að stærð og uppbyggingu, landnotkun er mismunandi og starfsemi einnig þannig ætla megi að losun þeirra sé mismunandi.

Við leit af stærstu losunarpáttum hjá íslenskum sveitarfélögum liggur beinast við að skoða fyrst kolefnisbókhald Íslands. Þó ber að taka fram að bókhaldið er svæðisbundið og einskorðast við þá losun sem verður innanlands, sjá nánar í viðauka A.2. Bókhaldið nær ekki yfir kolefnisspor vegna framleiðslu innfluttra vara sem þó verður vegna neyslu Íslendinga.

Heildarlosun samkvæmt kolefnisbókhaldi Íslands að viðbættu millilandaflugi og -siglingum má sjá á mynd 39. Þar sést að langmest losun kemur frá „landnotkun, breytingar á landnotkun og skógrækt“ (e. Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF). Næst mest losun kemur frá iðnaðarferlum og þar á eftir er losun vegna millilandaflugs og vegasamgangna. Þessir þættir verða ræddir í næstu köflum.



MYND 39 Heildarlosun frá Íslandi árið 2017 samkvæmt losunarbókhaldi Íslands [35]. Um er að ræða svæðisbundna losun að viðbættri losun vegna millilandaflugs og -siglinga.

8.2.1 Landnotkun, breytingar á landnotkun og skógrækt

Undir flokkinn landnotkun, breytingar á landnotkun og skógrækt (LULUCF) fellur binding og losun frá skóglendi, ræktunarlandi, graslendi, votlendi, byggð og öðru landi. Losun getur átt sér stað þegar breytt er um landnotkun, t.d. frá ræktunarlandi yfir í byggð. Losunin getur einnig verið stöðug.

Ástæðan fyrir því að LULUCF er langstærsti losunarpátturinn í kolefnisbókhaldi Íslands er gríðarmikil losun frá votlendum sem hafa verið ræst fram (þurrkuð) með skurðum.

Í votlendum er jarðvegurinn mettaður af vatni sem skapar súrefnisþurrð og lífrænt efni brotnar þess vegna hægt niður. Þar að auki er hitastig lágt á norðlægum slóðum sem einnig tefur niðurbrotið. Þetta tvennt gerir það að verkum að mikið kolefni safnast upp í jarðvegi votlenda. Þegar þau eru framræst minnkar vatnsstaðan og súrefni kemst að lífræna efninu sem fer þá að brotna hratt niður og losa koltvísýring (CO_2) [36]. Ósnortin votlendi gefa frá sér dálítið af metani (CH_4) vegna loftfirtra niðurbrotsins sem er öflug gróðurhúsalofttegund en magnið er miklu minna en magn CO_2 frá framræstu votlendi. Fyrir vikið eru áhrif ósnortins votlendis á loftslagið u.þ.b. stærðargráðu minni heldur en áhrif framræst votlendis.

Losun frá ósnortnu votlendi er um 3 t CO_2 ígildi á hektara á ári á meðan losun frá framræstu votlendi er á bilinu 23 – 34 t CO_2 ígildi á hektara á ári [37]. Nettó losun vegna framræsingar votlendis og mýrlendis á lífrænum jarðvegi er því 20 – 31 t CO_2 ígildi á hektara. Til samanburðar þá bindur birki-skógur um 2,7 t CO_2 ígilda á hektara [37]. Fyrir sveitarfélög með stórar lendur af framræstu landi er líklegt að losun vegna landnotkunar verði einn af stærstu þáttunum, jafnvel afgerandi stærsti losunarpátturinn.

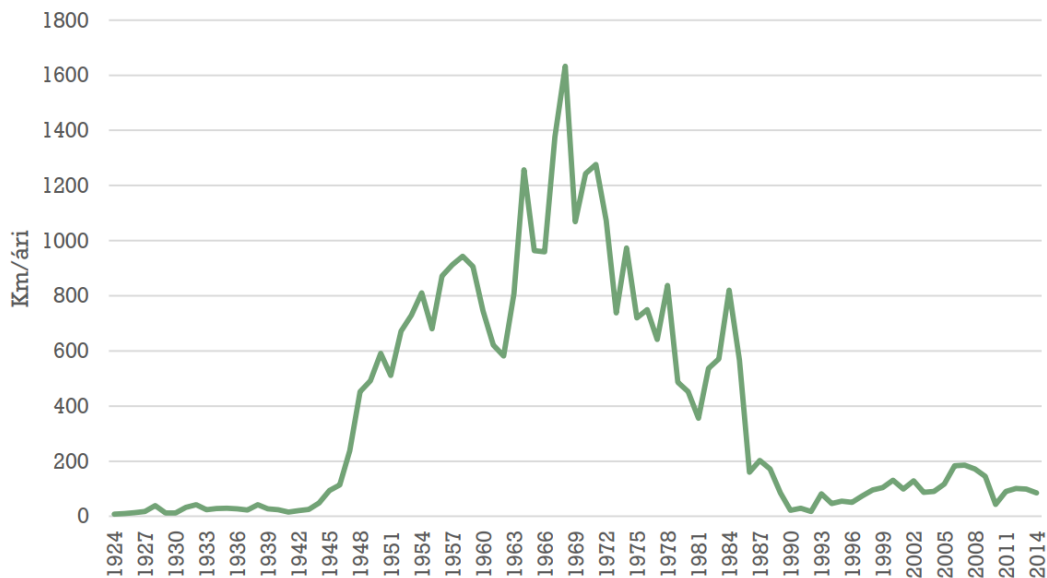
Votlendi og mýrlendi á Íslandi hafa mörg hver safnað upp 1-3 m lagi af lífrænum jarðvegi frá lokum síðustu ísaldar og kolefnisforði þeirra er frá 330 til >1000 tonn kolefnis á hektara [38]. Íslenskar rannsóknir sýna að það tapast 4,1 – 8,3 tonn kolefnis á hektara frá framræstu landi [39], [40]. Fyrir þriggja metra djúpan lífrænan jarðveg með jafn djúpum skurði getur það því tekið 120-240 ár fyrir kolefnið að tapast úr jarðveginum. Á mynd 40 má sjá að framræsing votlenda hófst fyrir u.þ.b. 75 árum og náði hámarki fyrir 50 árum þannig flest framræst votlendi eru enn að losa koltvísýring og munu gera það í langan tíma, ef skurðurinn er djúpur. Þó gætu verið einhver dæmi um að framræst votlendi sé búið að klára kolefnisforðann í jarðveginum.

Að sama skapi getur uppgröftur lífræns jarðvegs valdið mikilli losun því þá loftar um jarðveginn og fyrir vikið brotnar hann hratt niður með tilheyrandi losun. Ætla mætti að sú losun sé að minnsta kosti jafn mikil og við framræsinguna [41]. Því ber að varast að skipuleggja byggð eða aðra starfsemi í mýrlendi.

Frá landnámi hefur tapast gríðarlega mikið af lífrænum kolefnisforða í jarðvegi vegna ofnýtingar á landi og enn er kolefni að tapast vegna rýrnunar mólendis. Ekki er enn tekið tillit til þessarar losunar í kolefnisbókhaldi Íslands. Tap á kolefni í jarðvegi vegna rýrnunar mólendis hefur verið gróflega áætluð í kringum 500 milljón tonn C sem samsvarar losun á 1850 milljón tonnum CO_2 og árleg losun í dag vegna rýrnunar mólendis hefur verið gróflega metin sem 2-20 milljón tonn CO_2 á ári [42]. Til að setja það í samhengi þá er árleg losun vegna annarrar landnotkunar er 9,3 milljón tonn CO_2 og losun frá mannlegri starfsemi á Íslandi 4,8 milljón tonn CO_2 eins og sést á mynd 39. Losun vegna rýrnunar mólendis er því veigamikill þáttur í losun Íslands og þyrfti að meta með nákvæmari hætti. Þar mætti nefna verkefnið

GróLind sem er nýlega farið af stað og hefur það markmið að skila með reglubundnum hætti heildarmati á ástandi gróður- og jarðvegsauðlinda landsins ásamt því að þróa sjálfbærnivísa fyrir nýtingu gróður- og jarðvegsauðlinda landsins [43].

Út frá þessu er ljóst að í öllu skipulagi nægir ekki að flokka land einungis eftir notkun heldur þarf að flokka það líka eftir land- og jarðvegsgerð. Hafa þarf í huga hvar eru votlendi með kolefnisríkan jarðveg og hvernig ástand gróðurs og jarðvegs er.

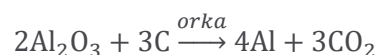


MYND 40 Lengd grafínna skurða á árabílinu 1924-2014 [36].

8.2.2 Iðnaðarferlar og efnanotkun (F-gös)

Í svæðisbundnu kolefnisspori Íslands er næst mest losun frá iðnaðarferlum og efnanotkun, þar af um 90% vegna málmiðnaðar og 10% vegna flúoraðra gróðurhúsalofttegunda (F-gasa) [35].

Ef málmiðnaður er staðsettur í sveitarfélagi þá er það að öllum líkindum einn af stærstu losunarpáttum í kolefnisspori sveitarfélagsins. Losunin verður við efnahvörf í framleiðslunni. Til dæmis er einfölduð útgáfa af efnahvarfi fyrir framleiðslu áls úr súráli eftir Hall-Héroutt ferli eftirfarandi [44]:



Framleiðslan þarf sum sé kolarafskaut eða annan kolefnisgjafa (C) sem hvarfast við súrefnið í súrálínu við það verður til koltvísýringur (CO₂). Efnahvarfið er mjög orkufrekt en á Íslandi er notuð raforka sem er fengin með endurnýjanlegum orkugjöfum. Efnahvörf fyrir framleiðslu annarra málma eru svipuð að því leyti að þau krefjast kolefnisgjafa og valda losun koltvísýrings.

F-gös eru flúoraðar gróðurhúsalofttegundir eins og vetnisflúorkolefni (HFC), perflúorkolefni (PFC) og brennisteinshexaflúoríð (SF₆). Mörg þeirra eru kælimiðlar sem komu til sögunnar til að leysa önnur gös af hólmi sem öllu eyðingu ósonlagsins. Megnið af losun F-gasa kemur frá kælikerfum fiskiskipa en einnig frá kælingu í iðnaði, í verslunum og hjá öðrum fyrirtækjum. Við álframleiðslu verður einnig losun á F-gös sum [35].

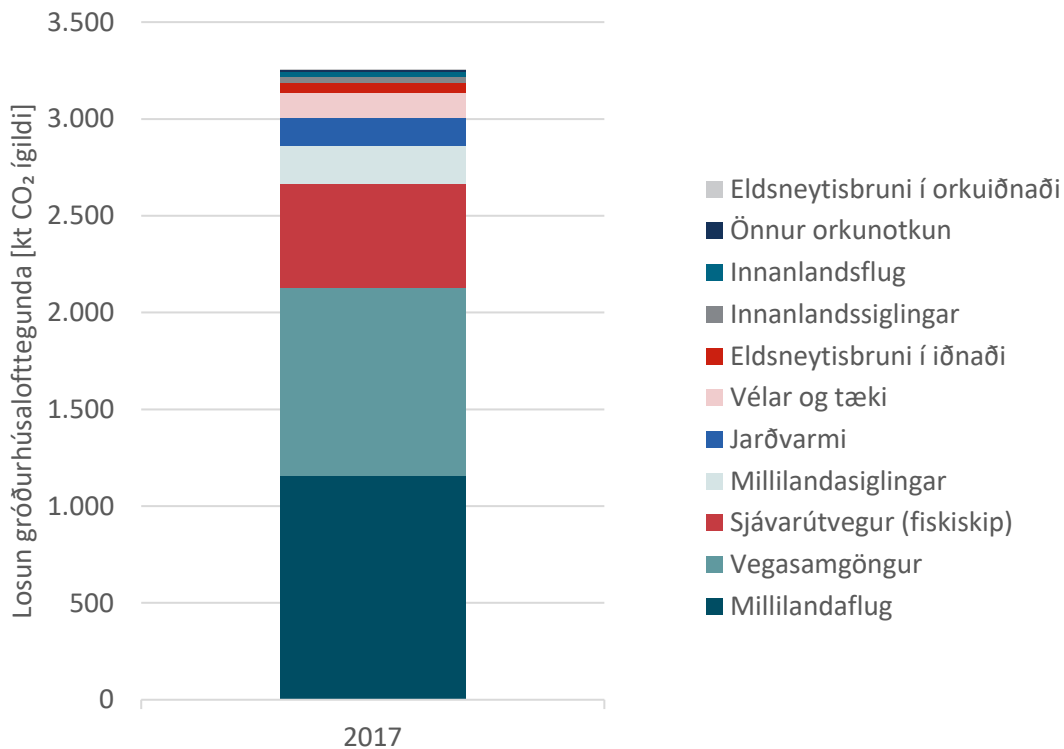
8.2.3 Orka (staðbundin og samgöngur)

Í kolefnisbókhaldi ríkja er einn flokkur fyrir losun gróðurhúsalofttegunda vegna orkunotkunar en í *GHG Protocol for Cities* og *PAS 2070* er þeim flokki skipt í tvennt, staðbundna orkunotkun og orkunotkun í samgöngum.

Í *GHG Protocol for Cities* og *PAS 2070* er mikil áhersla lögð á staðbundna orkunotkun og þá helst brennslu eldsneytis til framleiðslu rafmagns og varma fyrir heimili, fyrirtæki, iðnað og stofnanir. Þessi áhersla á hins vegar ekki við á Íslandi því einungis 0,01% af rafmagni á Íslandi er framleitt með brennslu eldsneytis og færri en 5% bygginga á Íslandi eru hitaðar upp með brennslu [35].

Á mynd 41 má sjá sundurliðun á losun vegna orkunotkunar í kolefnisbókhaldi Íslands. Þar sést að millilandaflug og vegasamgöngur skipta mestu máli, því næst fiskiskip, millilandasiglingar, jarðvarmavirkjanir og síðan vélar og tæki [35]. Vegasamgöngur skiptast síðan niður í bíla (68%); þunga vörubíla, rútur og strætisvagna (21%); léttu vörubíla (10%) og mótörhjól (1%) [35]. Losun vegna millilandaflugs og -siglinga er ekki hluti af svæðisbundnu kolefnisbókhaldi Íslands en er birt til hliðar í bókhaldinu.

Af þessu mætti álykta að vegasamgöngur munu í flestum tilvikum skipta miklu máli í kolefnisspori sveitarfélags og þá helst vegna losunar frá einkabílum. Ef alþjóðlegur flugvöllur er innan sveitarfélagsins þá mun sú losun líka skipta miklu máli. Losun frá fiskiskipum mun væntanlega skipta máli ef útgerð er staðsett í sveitarfélaginu. Losun vegna brennslu eldsneytis í fiskiskipum fellur undir staðbundna orku í *GHG Protocol for Cities* þrátt fyrir að sú brennsla sé ekki beint staðbundin.



MYND 41 Losun vegna orkunotkunar í kolefnisbókhaldi Íslands árið 2017 [35]. Um er að ræða svæðisbundna losun að viðbættri losun vegna millilandaflugs og -siglinga.

8.2.4 Landbúnaður

Losun í landbúnaði (578 kt CO₂) stafar af iðragerjun í meltingarvegi húsdýra (302 kt CO₂, 52%), losun frá nytjajarðvegi (196 kt CO₂, 34%) og frá meðhöndlun húsdýraáburðar (75 kt CO₂, 13%). Losun frá nytjajarðvegi er aðallega hláturgas (N₂O) sem verður vegna áburðargjafar með köfnunarefni (N) [35].

8.2.5 Úrgangur

Losun frá úrgangi (230 kt CO₂) stafar nær eingöngu af losunar metans (CH₄) vegna urðunar lífræns úrgangs (205 kt CO₂). Aðrir losunarþættir eru meðhöndlun skólps (13 kt CO₂) og brennsla úrgangs (8 kt CO₂) [35].

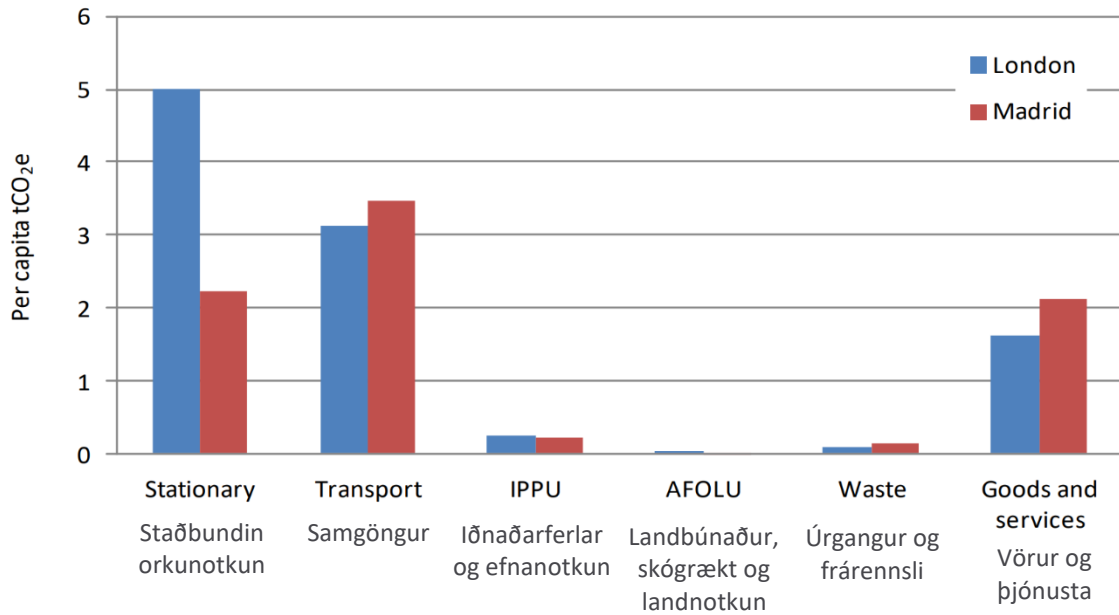
8.3 Stærstu þættir í kolefnisspori Lundúnaborgar og Madríd, svæðisbundið kolefnisspor auk virðiskeðju skv. PAS 2070 (Direct Plus Supply Chain, DPSC)

Þegar leitað er að stærsta losunarþætti í kolefnisspori skipulags þá er mikilvægt að sleppa engum þáttum sem gætu verið mikilvægir. Ef einungis er horft á svæðisbundið kolefnisspor getur gleymst óbein losun sem verður vegna starfsemi innan svæðis en á sér stað utan svæðisins. Svæðisbundið kolefnisspor auk virðiskeðju skv. PAS 2070 staðalinum (Direct Plus Supply Chain, DPSC) er ein af þeim aðferðum sem ganga hvað lengst í að ná utan um þessa óbeinu losun í virðiskeðjunni.

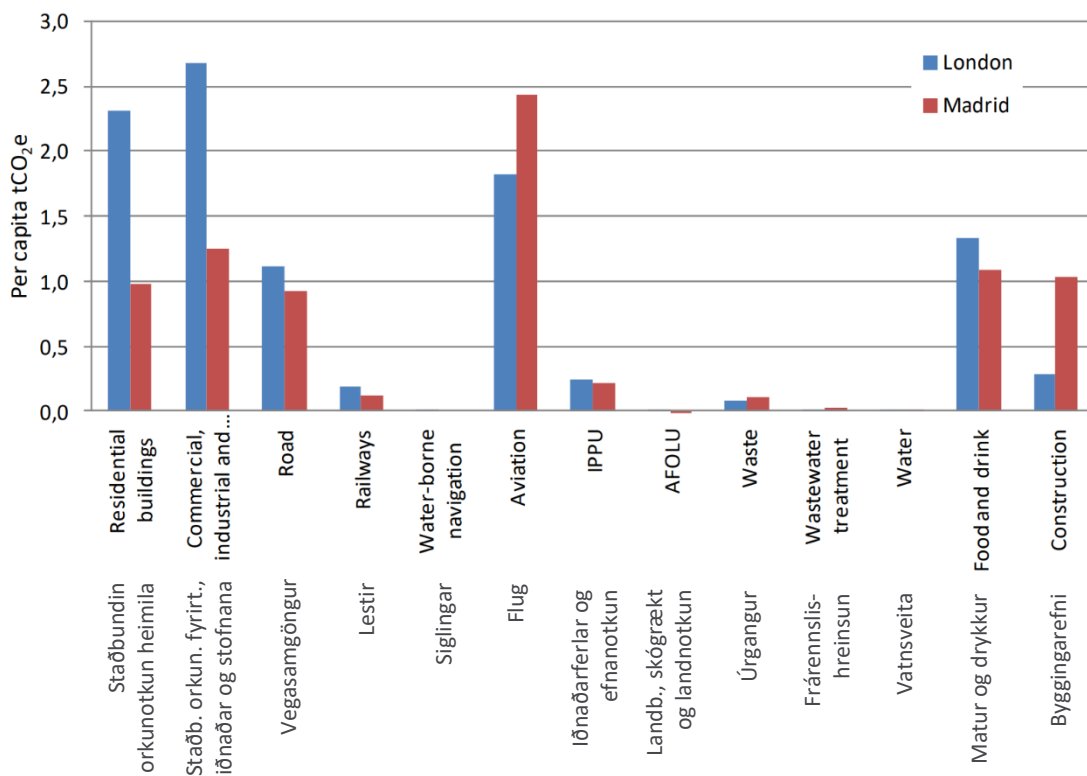
Á myndum 42 og 43 má sjá sundurliðun á kolefnisspori Lundúnaborgar og Madríd, metið með DPSC aðferð PAS 2070 staðalsins [45]. Um er að ræða sömu rannsókn og var kynnt í kafla 7.2. Út frá þeim sést að orkunotkun bygginga og samgöngur eru stærstu þættir losunar í borgunum tveim. Eins og rætt var hér að framan þá er losun frá staðbundinni orkunotkun bygginga mun minni á Íslandi en annars staðar því hér á landi er hitað upp með jarðhitavatni en ekki jarðefnaeldsneyti. Þetta hefur verið staðfest í vistferilsgreiningu fyrir íslenska byggingu þó upphitun með jarðhitavatni sé ekki laus við losun [46]. Losun vegna samgangna er að öllum líkindum einn af stærstu þáttunum hjá íslenskum sveitarfélögum líkt og hjá Lundúnaborg og Madríd.

Athyglisvert er að sjá losun vegna framleiðslu matar, drykkja og byggingarefna er á meðal stærstu þátta losunar og því mikilvægt að horfa ekki fram hjá þeim þáttum. Þetta eru þættir sem koma ekki fram í svæðisbundnu kolefnisspori eins og kolefnisbókhaldi Íslands.

Fyrir flokkinn landbúnaður, skógrækt og landnotkun er losun nálægt núlli hjá Lundúnum og Madríd en þessu er öfugt með farið í kolefnisbókhaldi Íslands þar sem það er stærsti flokkurinn. Hjá íslenskum sveitarfélögum er það væntanlega einn af stærstu þáttunum, sérstaklega þar sem byggð er einungis lítill hluti af sveitarfélaginu og landnotkun skiptir meira máli.



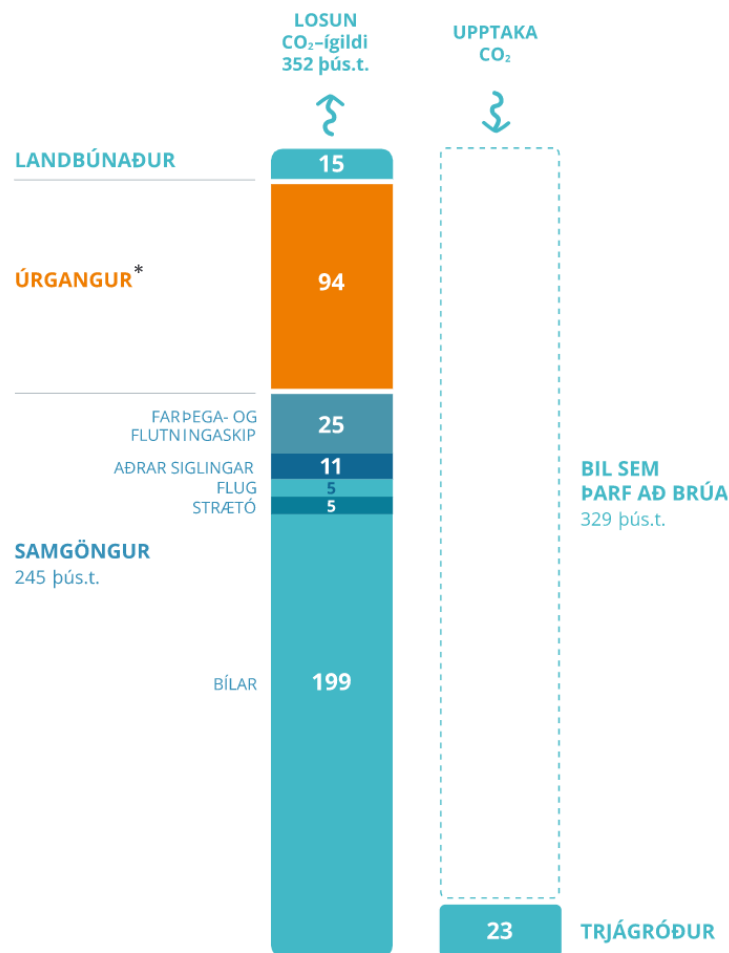
MYND 42 Svæðisbundið kolefnisspor auk virðisdeðu skv. PAS 2070 staðlinum (DPSC) fyrir Lundúnaborg og Madrid, sundurliðað eftir yfirflokkum [45].



MYND 43 Svæðisbundið kolefnisspor auk virðisdeðu skv. PAS 2070 staðlinum (DPSC) fyrir Lundúnaborg og Madrid, sundurliðað í undirflokkum [45].

8.4 Stærstu þættir í kolefnisspori Reykjavíkurborgar

Reykjavíkurborg hefur metið sitt kolefnisspor frá árinu 2007 og sett sér markmið um samdrátt í losun og kolefnishlutleysi 2040 [47]. Á mynd 44 má sjá kolefnisspor Reykjavíkurborgar 2017 og þar sést að bílar valda mestri losun, því næst úrgangur og síðan farþega- og flutningaskip. Í matinu var reiknað með heildarlosun urðunarstaðarins í Álfsnesi en hluti þeirrar losunar ætti að tilheyrja öðrum sveitarfélögum sem urða þar.



MYND 44 Kolefnisspor Reykjavíkurborgar [47]. Losun vegna orkunotkunar vantar á myndina (16 þús. tonn). *Reiknað var með heildarlosun urðunarstaðarins í Álfsnesi en í raun tilheyrir aðeins hluti þeirrar losunar Reykjavíkurborg.

Í kolefnisspori Reykjavíkurborgar eru flestir þættir teknir með úr umfangi 1 og svo einnig umfang 2, í töflu 10 má sjá hvaða þættir eru teknir með og hvernig þeir raðast niður á flokkana úr töflu 9 og umfang 1, 2 og 3.

TAFLA 10 Kolefnisspor Reykjavíkurborgar í þúsundum tonna af CO₂ ígildum, sundurliðað niður á umfang 1, 2 og 3 og þá flokka sem var stillt upp í töflu 9 í kafla 8.1. Flokkarnir byggja að mestu leyti á svæðisbundnu kolefnisspori auk virðisikeðju skv. PAS 2070 staðalinum (Direct Plus Supply Chain, DPSC). Hvítir reitir tákna losun sem er tekin með en grár reitir tákna reiti sem eiga ekki við eða innihalda enga losun.

ÞÁTTUR	UMFANG 1	UMFANG 2	UMFANG 3
STAÐBUNDIN ORKUNOTKUN			
Orkunotkun	hverfandi	Raforka: 7,8 Upphitun: 8,6	hverfandi
Vélar og tæki	ekki metið		ekki metið
Sjávarútvegur	7,9		
SAMGÖNGUR			
Vegasamgöngur	204,4	sennilega innifalið í orkunotkun bygginga	ekki metið
Siglingar	28,0		ekki metið
Flug	5,1		ekki metið
IÐNAÐARFERLAR OG EFNANOTKUN			
Iðnaðarferlar	ekki metið		
Efnanotkun	ekki metið		
LANDBÚNAÐUR, SKÓGRÆKT OG LANDNOTKUN			
Landbúnaður	13,4		
Landnotkun	-22,8*		
Breytingar á landnotkun	ekki metið		
ÚRGANGUR OG FRÁRENNSLISHREINSUN			
Úrgangur	93,9**		ekki metið
Frárennslishreinsun	0,1	ekki metið	ekki metið
VÖRUR OG ÞJÓNUSTA			
Vatnsveita	ekki metið	ekki metið	ekki metið
Matur og drykkur	ekki metið		ekki metið
Byggingarefni			ekki metið
Aðrar vörur og þjónusta	ekki metið	ekki metið	ekki metið
SAMTALS (ÁN BINDINGAR)	352	16	

* Binding í trjágróðri, losun vegna landnotkunar hefur ekki verið metin.

** Ofmetið því hluti úrgangs tilheyrir öðrum sveitarfélögum.

8.5 Samantekt á stærstu losunarpáttum

Út frá skoðun á svæðisbundnu kolefnisbókhaldi Íslands, DPSC kolefnisspori Lundúnaborgar og Madrid og kolefnisspori Reykjavíkur má ætla að fyrir sveitarfélög á Íslandi séu losunarpáttirnir að meðaltali í nokkurn veginn þessari stærðarröð (stærsti þáttur fyrst):

- 1. Landnotkun, breytingar á landnotkun og skógrækt:** Þessi þáttur er sennilega stærstur hjá sveitarfélögum með hlutfallslega mikið land á móti byggð og þá sérstaklega ef mikið er um framræst votlendi. Mikilvægt er að huga að því hvaða land fer undir þegar byggð er skipulögð.
- 2. Iðnaðarferlar:** Ef stóriðja er í sveitarfélaginu er sú losun sennilega einn af stærstu þáttunum.
- 3. Samgöngur:** Losun vegna notkunar eldsneytis í samgöngum er sennilega einn af stærstu þáttum í flestum sveitarfélögum. Einkabílar, vörubílar, strætisvagnar, rútur, flugvélar og skip.
- 4. Matvæli:** Losun vegna matvæla er líklega einn af stærri losunarpáttum. Mismunandi er eftir aðferðum hvort tekin fyrir matarneysla íbúa sveitarfélagsins (neysludrifin hugsun) eða matvælaframleiðsla innan sveitarfélagsins (svæðisbundin hugsun).
 - **Landbúnaður:** Losun frá meltingu jörturdýra og frá notkun áburðar.
 - **Sjávarútvegur:** Losun vegna brennslu eldsneytis í fiskiskipum.
- 5. Úrgangur:** Losun aðallega vegna urðunar lífræns úrgangs en einnig vegna brennslu úrgangs og meðhöndlunar skólps.
- 6. Byggingarefni:** Mikilvægur þáttur í kolefnisspori sveitarfélaga sem vill oft gleymast. Á skipulagsstigi eru einmitt mestu tækifærin til að hafa áhrif á losun vegna byggingarefna.
- 7. Efnanotkun (F-gös):** Losun vegna notkunar kælimiðla í fiskiskipum eða kælibúnaði.
- 8. Orkuvinnsla (jarðvarmi):** Ef jarðvarmavirkjun er staðsett innan sveitarfélags. Losun frá lónum vatnsaflsvirkjana fellur ekki hér undir heldur undir landnotkun og breytingar á landnotkun.
- 9. Vélar og tæki:** Losun frá vinnutækjum í byggingarframkvæmdum.

9 LEIÐIR TIL AÐ DRAGA ÚR LOSUN GRÓÐURHÚSALOFTTEGUNDA Í SKIPULAGI

9.1 Verklag við að draga úr losun

Sveitarfélög ættu að skilgreina stefnu í loftslagsmálum sem nær bæði til skipulagsáætlana sem og núverandi reksturs. Þannig er fyrir hvern af megin flokkunum, þ.e. landnotkun, samgöngur, iðnað, o.s.frv. metin staðan hvað varðar kolefnislosun og bindingu þegar slíkt á við. Því næst eru mögulegar aðgerðir taldar til og þær metnar bæði út frá mögulegri minnkun losunar og kostnaði. Í framhaldi af því eru skilgreind mælanleg markmið og aðgerðir inn í skipulagsáætlanir og aðrar viðeigandi áætlanir sveitarfélagsins.

Þegar draga á úr losun gróðurhúsalofttegunda er skynsamlegt að fylgja eftirfarandi verklagi:

<p>1. Stefna</p> <ul style="list-style-type: none"> •Setja fram stefnu í loftslagsmálum
<p>2. Mat á kolefnisspori</p> <ul style="list-style-type: none"> •Velja aðferð við mat á kolefnisspori •Meta losun gróðurhúsalofttegunda •Finna stærstu losunarþætti •Meta lífræna bindingu
<p>3. Mælanleg markmið og aðgerðaáætlun</p> <ul style="list-style-type: none"> •Setja sér mælanleg markmið •Leggja fram aðgerðir með áherslu á stærstu þætti •Meta hversu miklum árangri aðgerðirnar skila •Kostnaðarmeta aðgerðirnar •Setja fram fjármagnaða og tímasetta aðgerðaáætlun sem skilar settu markmiði
<p>4. Framkvæmd</p> <ul style="list-style-type: none"> •Ráðast í aðgerðir samkvæmt aðgerðaáætlun •Endurmeta kolefnisspor og aðgerðaáætlun með reglulegu millibili

Þetta verklag getur átt jafnt við um ríki, sveitarfélög og fyrirtæki.

Aðgerðir til að draga úr kolefnisspori á skipulagsstigi geta falist í ýmsu og þar hafa sveitarfélög ýmis verkfæri. Til dæmis geta sveitarfélög framfylgt aðgerðum í loftslagsmálum með því að setja kvaðir og kröfur í skipulagsáætlanir. Þá geta sveitarfélög einnig beitt fjárhagslegum hvötum eins og að veita afslátt af lóðagjöldum ef dregið er úr losun.

Mismunandi aðgerðir geta hentað eftir því hvaða skipulagsáætlun er verið að vinna. Aðgerðir í landsskipulagi eða svæðisskipulagi þurfa að vera mun almennari eðlis heldur en í aðalskipulagi, rammaskipulagi eða deiliskipulagi.

9.2 Aðgerðir til að draga úr stærstu losunarpáttum

Hér á eftir verða sett fram dæmi um mögulegar aðgerðir til að draga úr losun í skipulagi. Við vinnslu þessa kafla var haldin vinnustofa með fagfólki á sviði skipulagsmála og samgangna, þeim Evu Dís Þórðardóttur, Jóhönnu Helgadóttur og Ragnari Gauta Hauksyni. Athugið að þetta eru eingöngu hugmyndir og þær hafa hvorki verið magnsettar né þeim verið raðað í forgangsröð. Eins og kom fram fyrr í kaflanum þá þarf slíkt að vinnast í kjölfar stefnumótunar og útreikningi á kolefnisspori viðkomandi sveitarfélags.

9.2.1 Landnotkun, breytingar á landnotkun og skógrækt

Dæmi um aðgerðir í landsskipulagi/svæðisskipulagi:

- Samráð á milli sveitarfélaga til að ákveða svæði til bindingar í samvinnu vegna þess að sumum sveitarfélögum skortir land til að auka bindingu.
- Kortlagning á framræsingu og annarri röskun votlendis ásamt mati á losun
- Kortlagning á uppblæstri og jarðvegsrofi ásamt mati á losun
- Setja stefnu um endurheimt votlenda, skógrækt og endurheimt fyrri vistgæða
- Taka til skoðunar nýtingu þjóðlenda (svæði ríkisins) sem bindingarsvæði
- Taka tillit til losunar vegna breytinga á landnotkun í umhverfismati áætlana (UMÁ) með markvissari hætti

Dæmi um aðgerðir í aðalskipulagi/rammaskipulagi/deiliskipulagi:

- Reikna út og hafa í huga losun vegna breytinga á landnotkun í allri skipulagsvinnu, t.d. þegar skóglendi er tekið undir byggð
- Hert eftirlit með röskun votlenda sem njóta nú þegar sérstakrar verndar skv. lögum um náttúruvernd nr. 2013/60
- Skýrt að óheimilt sé að byggja á eða raska votlendum, mýrum og öðrum svæðum með kolefnisríkan jarðveg
- Skipuleggja endurheimt votlenda í úthaga
- Skipuleggja svæði til skógræktar á svæðum með kolefnissnauðan jarðveg
- Skipuleggja landgræðslusvæði til endurheimtar á fyrri vistgæðum (birki- og víðikjarr)
- Opin svæði og minni græn svæði nýtt til bindingar - innan þéttbýlis og utan
- Skilmálar um að landmótun sé óheimil í frístundabyggð til að forðast rask á gróðri og jarðvegi
- Votlendi verði friðuð sérstaklega og tekin frá sem lífbreytileika- og kolefnisgeymslusvæði

9.2.2 Iðnaðarferlar

Dæmi um aðgerðir í landsskipulagi/svæðisskipulagi:

- Stefna um kolefnishlutleysi í stóriðju

Dæmi um aðgerðir í aðalskipulagi/rammaskipulagi/deiliskipulagi:

- Kvaðir um hámarkslosun frá stóriðju og að stóriðja skuli orðin kolefnishlutlaus fyrir ákveðinn tíma sem gæti falist í að:
 - Fanga losun og binda í bergi með CarbFix tækninni (gas í grjót)
 - Nota viðarkol í stað kola sem kolefnisgjafa í framleiðslunni
- Sérskilmálar, kvaðir eða kröfur um hámarkslosun frá starfsemi á iðnaðarsvæði, sérstaklega ef vitað er hvaða starfsemi verður á iðnaðarsvæðinu
- Nýta samlegðaráhrif og hringrásarhagkerfi
- Að svæði undir atvinnu séu hugsuð með samlegðaráhrif í huga og þá hringrásarhagkerfis til að nýta úrgang eins reksturs sem auðlind fyrir annan
- Kvaðir og kröfur í skipulagsáætlanir um notkun BAT (Best Available Technology) og að notaðar séu loftslagsvænar aðferðir

9.2.3 Samgöngur

Dæmi um aðgerðir í landsskipulagi/svæðisskipulagi:

- Stofnhjólastígakerfi
- Dreifing stofnana þannig dregið sé úr heildarakstri og flugi
- Dreifing starfa þannig dregið sé úr heildarakstri
- Stefnumið um öflugar almenningssamgöngur
- Stefnumið um aðgengi að raforku m.t.t. orkuskipta bílaflotans, þ.m.t. á hálendinu
- Stefnumið um orkuskipti í innanlandsflugi
- Stefnumið um orkuskipti í þungaflutningum
- Stefnumið um orkuskipti í strandsiglingum

Dæmi um aðgerðir í aðalskipulagi:

- Umferðarflæðigreining og umferðarstefna
- Umferðarmiðstöð sem hvetur til fjölbreyttra ferðamáta
- Stefna grunnskóla um göngu og hjóleiðar
- Innviðir fyrir hjól, hjólageymslur, tryggja að hægt sé að komast á hjóli
- Heildarsýn/stefna fyrir almenningssamgöngur
- Stofnhjólastígakerfi
- Takmarka gegnumakstur einkabíla. Til dæmis þarf í miðborg Utrecht í Hollandi að fara sömu leið út eins og maður kemur inn þannig ekki sé hægt að hringsóla

- Að markvissar sé metið í umhverfismati áætlana (UMÁ) hvaða áhrif umferð innan sveitarfélags, inn í sveitarfélag og út úr því hafi á losun. Ná þarf utan um akstur á milli sveitarfélaga, til dæmis er mikil umferð frá Árborg vegna fjölda fólks sem ekur til vinnu á höfuðborgarsvæði.
- Setja stefnu um hámarksfjölda bílastæða
- Skilgreind svæði án losunar frá umferð, þ.e.a.s. að þar verði einungis leyfðir einkabílar og almenningssamgöngur sem ganga fyrir rafmagni, vetni eða metan, sem og virkir ferðamátar.

Dæmi um aðgerðir í rammaskipulagi/deiliskipulagi:

- Draga úr lokunum til að forðast aukna umferð
- Setja kröfur um beinar, greiðar og öruggar gönguleiðir, göngupveranir og gangbrautir
- Setja kröfu um hjólastíga ef umferðarhraði er meiri en 40 km/klst
- Á framkvæmdastigi:
 - Draga úr óþarfa lokunum til að lágmarka (óþarfa) hjáleiðir með tilheyrandi losun
 - Forgangsráða gangandi, hjólandi, almenningssamgöngum og takmarka einkabíl
- Kröfur um öruggar hjólageymslur innandyra við heimili, vinnustaði og þjónustu
- Gera ráð fyrir biðstöðvum fyrir almenningssamgöngur og hugsa út í göngu- og hjólatengingar við biðstöðvarnar

9.2.4 Landbúnaður

Dæmi um aðgerðir í aðalskipulagi:

- Tilgreina land fyrir matvælaframleiðslu fyrir tiltekinn fjölda manns innan sveitarfélagsins.
- Matvælaframleiðsla sem ætlað er til sölu innanlands, til dæmis fiskeldi og gróðurhús
- Tilgreind svæði fyrir loftslagsvæna matvælaframleiðslu (matjurtarækt)
- Ívilnanir, styrkir eða afslættir fyrir loftslagsvæna matvælaframleiðslu (matjurtarækt)
- Gasgerð fyrir húsdýraáburð
- Ívilnanir eða afsláttur af gjöldum fyrir bændur sem forðast ofnotkun tilbúins áburðar til að draga úr N₂O losun

9.2.5 Sjávarútvegur

Dæmi um aðgerðir í aðalskipulagi:

- Afsláttur af hafnargjöldum eða öðrum gjöldum fyrir skip sem ganga að hluta til eða alveg fyrir rafmagni, vetni, lífeldsneyti eða öðru vistvænu eldsneyti

9.2.6 Úrgangur

Dæmi um aðgerðir í landsskipulagi/svæðisskipulagi:

- Samræming endurvinnsluflokka og litakóða á landsvísu
- Stefnumið um byggingarúrgang
- Stefnumið um söfnun og flokkun lífræns úrgangs

Dæmi um aðgerðir í aðalskipulagi:

- Stefna um gott aðgengi íbúa að flokkun
- Stefna um nýtingu mannvirkja og innviða á svæðum sem á að endurnýta (e. brown field) til að draga úr förgun og til að draga úr röskun á ósnortnu landi
- Söfnun og flokkun lífræns úrgangs skipulögð
- Moltugerð og gasgerð úr lífrænum úrgangi
- Söfnun metans frá urðunarstöðum
- Gasgerð fyrir seyru eða frárennsli

Dæmi um aðgerðir í rammaskipulagi/deiliskipulagi:

- Niðurrif bygginga sé ekki að óþörfu heldur leitast við að finna þeim önnur hlutverk eða nýta efnid í annað innan svæðis
- Markmið um að byggingarvinnustaðir setji markið um að lágmarka byggingarúrgang til urðunar

9.2.7 Byggingarefni

Dæmi um aðgerðir í aðalskipulagi:

- Reiknað út kolefnisspor af byggingarefnum
- Markmið að byggingar séu ekki með meira kolefnisspor en ákveðið viðmið
- Kröfur um loftslagsvænt efnisval byggingarefna
- Kvaðir um að ákveðið hlutfall nýbygginga skuli nota loftslagsvæn byggingarefni
- Afsláttur af lóðagjöldum fyrir BREEAM vottaðar byggingar (þar er kolefnisspor tekið fyrir)

Dæmi um aðgerðir í rammaskipulagi/deiliskipulagi:

- Skilmálar, leiðbeiningar eða hvatakerfi fyrir notkun loftslagsvænna byggingarefna
- Ef kolefnisspor er lágt þá er gefinn afsláttur af gatnagerðargjöldum
- Stífar kröfur um efnisval
- Nokkrum loftslagsvænum valkostum stillt upp fyrir efnisval bygginga með mismunandi losun
- Vistferilsgreining fyrir hið byggða umhverfi í deiliskipulagi

9.2.8 Efnanotkun (kælimiðlar)

Dæmi um aðgerðir í aðalskipulagi:

- Kvaðir um notkun loftslagsvænna kælimiðla
- Afsláttur af gjöldum ef notuð eru loftslagsvænir kælimiðlar

9.2.9 Orkuvinnsla (jarðvarmi)

Dæmi um aðgerðir í landsskipulagi/svæðisskipulagi:

- Stefna um kolefnishlutleysi í orkuvinnslu

Dæmi um aðgerðir í aðalskipulagi/rammaskipulagi/deiliskipulagi:

- Kvaðir um hámarkslosun frá orkuvinnslu og að orkuvinnsla skuli orðin kolefnishlutlaus fyrir ákveðinn tíma sem gæti falist í að fanga losun og binda í bergi með CarbFix tækninni (gas í grjót)

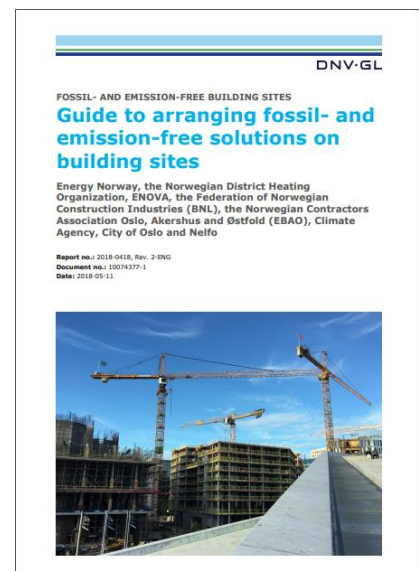
9.2.10 Vélar og tæki

Dæmi um aðgerðir í aðalskipulagi:

- Stefnumið um tækni og flutning á jarðefnum
- Markmið um að allar opinberar byggingarframkvæmdir verði jarðefnaeldsneytislausar, þ.e.a.s. að vinnutæki gangi fyrir rafmagni eða lífheldsneyti, hafa mætti leiðbeiningar Oslo borgar til hliðsjónar [48]
- Kvaðir um að ákveðið hlutfall vinnutækja á framkvæmda-svæðum þurfi að ganga fyrir vistvænum orkugjöfum.
- Kvaðir um notkun sparneytinna véla og tækja, t.d. með kröfum um að uppfylla ákveðinn EURO losunarstaðal.
- Afsláttur af gjöldum eða ívilnanir fyrir jarðefnaeldsneytis-laugar byggingarframkvæmdir einkaaðila

Dæmi um aðgerðir í rammaskipulagi/deiliskipulagi:

- Setja kröfur, bæði á tækin og flutning á jarðefnum
- Kröfur um jarðefnaeldsneytislausar byggingarframkvæmdir, hafa mætti leiðbeiningar Oslo borgar til hliðsjónar [48]



MYND 45 Leiðbeiningar Oslo um jarðefnaeldsneytislausar byggingarframkvæmdir [48]

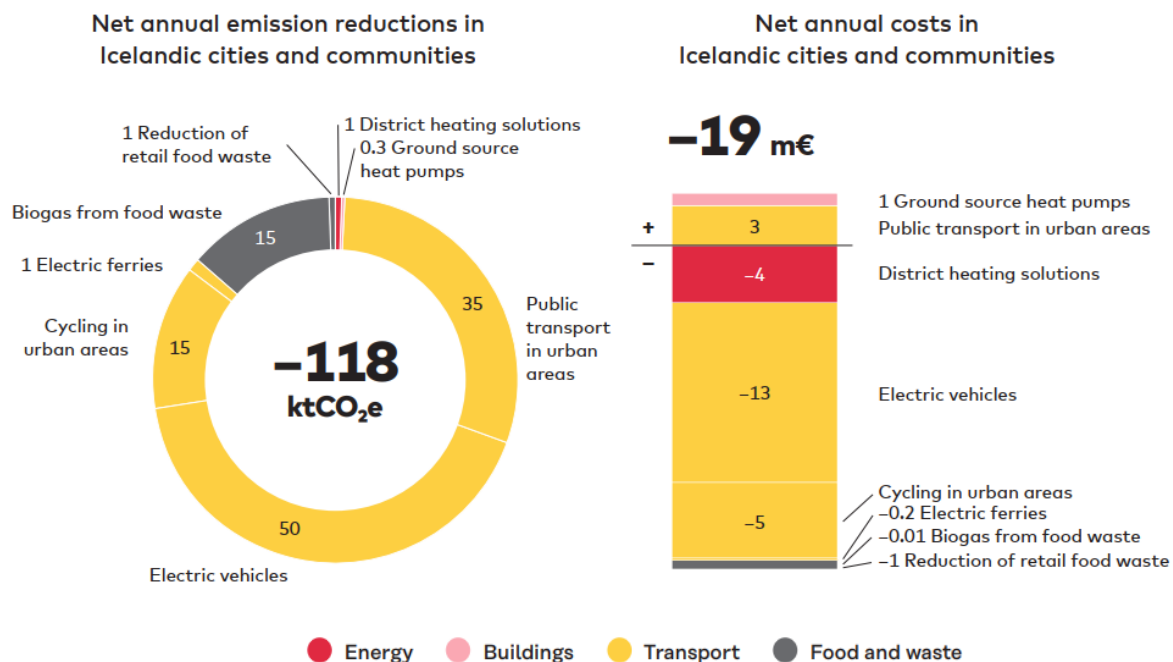
9.3 Kostnaðarmat

Þegar aðgerðir hafa verið auðkenndar og magnsettar ætti að leggja mat á kostnað þeirra til að hægt sé að forgangsraða aðgerðum og áætla hversu mikið fjármagn þurfi til að framkvæma þær. Þá er fyrir hverja aðgerð reiknaður út fjárhagslegur kostnaður eða sparnaður á hvert tonn af CO₂ ígildum sem dregið er úr með aðgerðinni. Hér á eftir verða birt dæmi um tvær greiningar á kostnaði sem hafa verið gerð fyrir aðgerðir í loftslagsmálum.

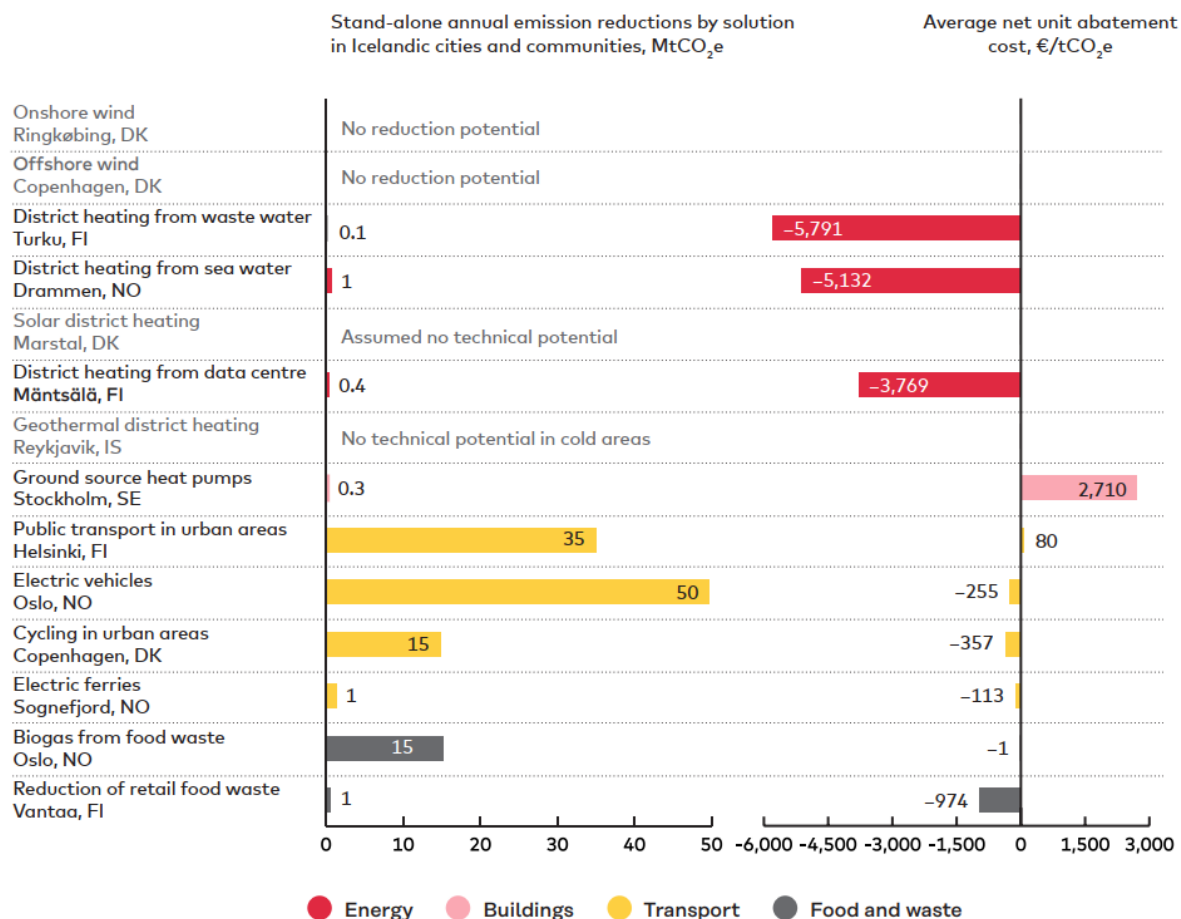
9.3.1 Kostnaðarmat norrænna lausna

Í skýrslu gefinni út af Norrænu ráðherranefndinni voru teknar fyrir 14 lausnir í borgum á Norðurlöndunum sem draga úr losun gróðurhúsalofttegunda [49]. Sú lausn sem var sótt frá Íslandi var upphitun með jarðhita í Reykjavík. Síðan voru lausnirnar teknar og mátaðar að hverju Norðurlandi til að kanna hversu miklum samdrætti í losun þær gætu skilað og hvað þær myndu kosta eða spara. Þá var reiknað með að lausnirnar væru útfærðar í þeim sveitarfélögum þar sem það er möguleiki og að lausnirnar myndu ná sama árangri og þegar hefur náðst annars staðar á Norðurlöndunum.

Á myndum 46 og 47 má sjá þær lausnir sem voru mátaðar að Íslandi og hverju þær gætu skilað í minnkun losunar og fjárhagslegum sparnaði. Helst er um að ræða lausnir sem taka á losun frá samgöngum og matarsóun.



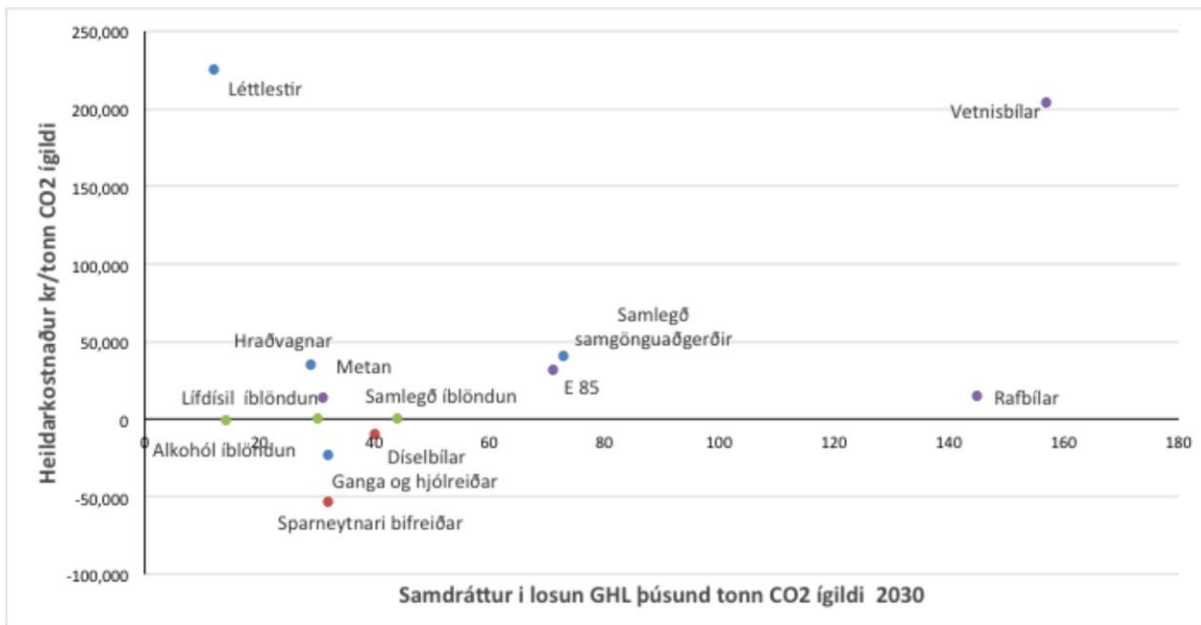
MYND 46 Mögulegur árangur af notkun Norrænna lausna á Íslandi m.v. að þær væru útfærðar í þeim sveitarfélögum þar sem það er möguleiki. Til vinstri má sjá hversu mikið væri dregið úr losun og til hægri má sjá hversu mikið sparast fjárhagslega með lausnunum [49].



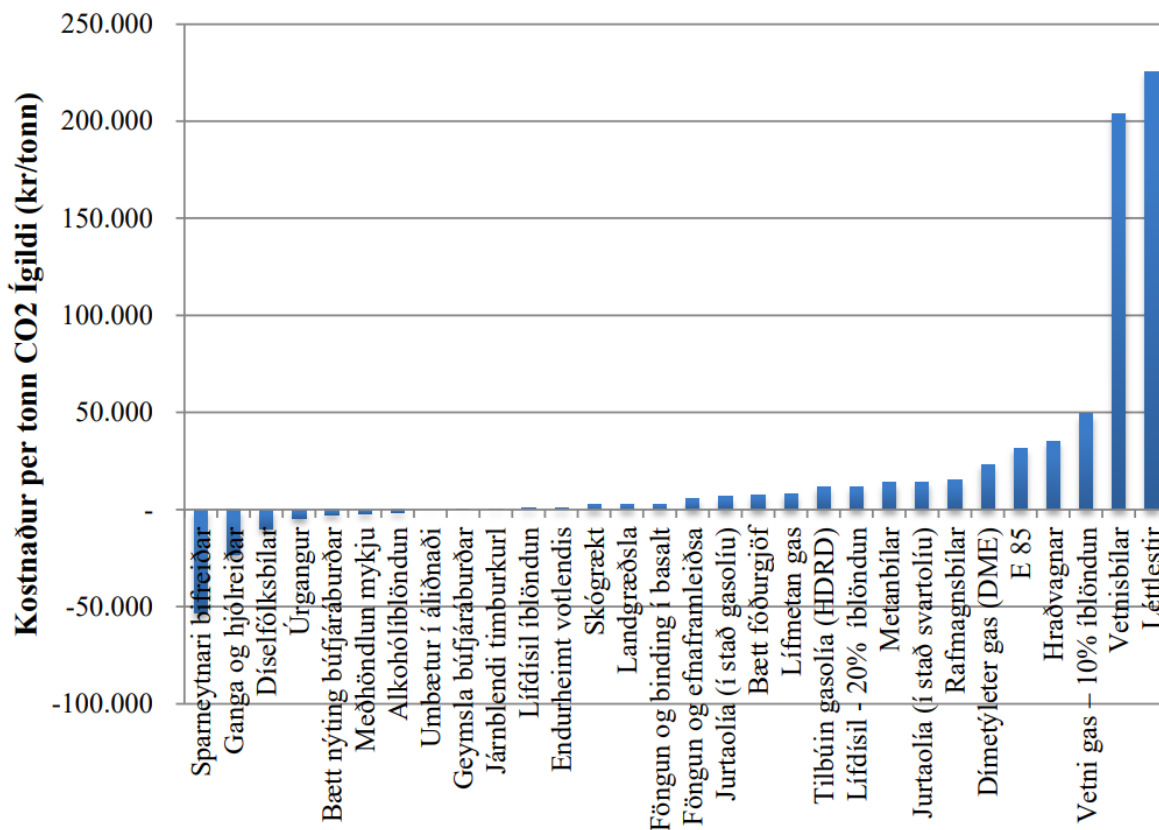
MYND 47 Mögulegur árangur af notkun Norrænna lausna á Íslandi m.v. að þær væru útfærðar í þeim sveitarfélögum þar sem það er möguleiki. Lengst til vinstri eru lausnirnar taldar upp ásamt því í hvaða borg lausnin hefur verið útfærð. Í miðjudálki má sjá hversu mikið lausnirnar gætu dregið úr losun og til hægri má sjá hversu mikið sparast fjárhagslega á hvert tonn of CO₂ ígildum [49].

9.3.2 Kostnaðarmat Hagfræðistofnunar Háskóla Íslands

Hagfræðistofnun Háskóla Íslands gerði ítarlega greiningu á aðgerðum í loftslagsmálum og lagði mat á hverju þær gætu skilað í samdrætti á losun gróðurhúsalofttegunda og hvað þær myndu kosta [50]. Með þessu móti má sjá hvaða aðgerðir geta skilað mestu með sem minnstum tilkostnaði á hvert tonn af CO₂ losun sem dregið er úr. Á mynd 48 má sjá aðgerðir í samgöngum og á mynd 49 má sjá þær aðgerðir sem teknar voru fyrir í skýrslunni.



MYND 48 Kostnaður aðgerða í samgöngum og hversu miklum samdrætti í losun þær geta skilað, úr skýrslu Hagfræðistofnunar Háskóla Íslands [50].



MYND 49 Kostnaður aðgerða sem teknar voru fyrir í skýrslu Hagfræðistofnunar Háskóla Íslands [50]. Athugið að það er mismunandi hversu miklu hver og ein aðgerð getur skilað í minnkun losunar.

9.4 Lærdómur frá öðrum löndum

9.4.1 Gautaborg í Svíþjóð

Í Gautaborg hafa menn sett sér það markmið að ná fyrir árið 2050 neysludrifnu kolefnisspori sveitarfélagsins niður í 1,9 tonn CO₂ ígildi á íbúa á ári. Það er kolefnissporið sem við þyrftum að fara niður í til að halda hnattrænni hlýnun innan við 2,0°C fyrir 2100. Gautaborg er ein af fáu borgunum sem hefur stigið skrefið og sett sér markmið í neysludrifnu kolefnisspori en ekki svæðisbundnu kolefnisspori sem þýðir að þá er einnig inn losun vegna framleiðslu vara utan sveitarfélagsins.

Til að ná þessu markmiði hefur Gautaborg sett sér ýmis undirmarkmið:

- 80% minni losun frá vegumferð árið 2030 m.v. 2010
- 35% ferða fótgangandi eða á hjóli árið 2035
- 55% ferða séu með almenningssamgöngum árið 2035

Dæmi um aðgerðir sem unnið er að:

- Hvetja til orkuskipta með því að fjölga hleðslumöguleikum
- Rafvæðing almenningssamgangna, vöruflutninga og vinnuvéla
- Draga úr fjölda bílastæða
- Allar bifreiðar borgarinnar noti aðra orkugjafa en jarðefnaeldsneyti fyrir árið 2023
- Stækka hjóla- og göngustíga
- Veita almenningssamgöngum forgang í umferð
- Í útboðum er farið fram á 20% lífoldsneyti í vinnuvélum og bifreiðum
- Afsláttur fyrir vinnuvélar og bifreiðar sem ganga fyrir rafmagni eða hauggasi (metani)
- Kröfur gagnvart stáli og steypu

Nánari upplýsingar má finna í heimildum [51] og [52].

9.4.2 Noregur

Undir lok þessa verkefnis komu út leiðbeiningar frá Miljöldirektoratet í Noregi um hvernig taka eigi tillit til loftslagsmála í skipulagi, bæði hvað varðar aðlögun að loftslagsbreytingum og að draga úr losun. Ekki tókst að vinna úr þeim innan tímaramma verkefnisins en þær má finna í heimild [53].

10 HEIMILDASKRÁ

- [1] UNFCCC, „Submission by Iceland to the ADP - Iceland’s Intended Nationally Determined Contribution (NDC)“, 21-sep-2016. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: <http://www4.unfccc.int/ndcregistry/PublishedDocuments/Iceland%20First/INDC-ICELAND.pdf>. [Sótt: 26-jún-2018].
- [2] Stjórnarráð Íslands, „Sáttmáli Framsóknarflokks, Sjálfstæðisflokks og Vinstrihreyfingarinnar – græns framboðs um ríkisstjórnarsamstarf og eflingu Alþingis“, 2017. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: <https://www.stjornarradid.is/rikisstjorn/stefnuyfirlising/>. [Sótt: 07-jún-2018].
- [3] Stjórnarráð Íslands, „Aðgerðaáætlun í loftslagsmálum“, 2018. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: <https://www.stjornarradid.is/verkefni/umhverfi-og-natturuvernd/loftslagsmal/adgerdaaetlun/>. [Sótt: 07-jún-2018].
- [4] Climate Action Tracker, „Temperatures | Climate Action Tracker“, 2020. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: <https://climateactiontracker.org/global/temperatures/>. [Sótt: 06-jan-2020].
- [5] United Nations Framework Convention on Climate Change, „Paris Agreement - Status of Ratification | UNFCCC“, 2020. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/status-of-ratification>. [Sótt: 06-jan-2020].
- [6] Michael R. Pompeo, „On the U.S. Withdrawal from the Paris Agreement“, 11-apr-2019.
- [7] We Are Still In, „Home | We Are Still In“, 2020. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: <https://www.wearestillin.com/>. [Sótt: 06-jan-2020].
- [8] Cities & Regions in the UNFCCC Process, „Cities & Regions Pavilion – LGMA“, 2020. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: <https://www.cities-and-regions.org/>. [Sótt: 06-jan-2020].
- [9] European Committee of the Regions, „COP24: cities and regions call for a formal role in the Paris Agreement“, 2018. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: <https://cor.europa.eu/en/news/Pages/COP24-cities-and-regions-call-for-a-formal-role-in-the-Paris-Agreement.aspx>. [Sótt: 06-jan-2020].
- [10] Global Taskforce of Local and Regional Governments, „At COP24, Global Networks of cities urge to step up climate action“, *Global Taskforce*, 2018. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: <https://www.global-taskforce.org/>. [Sótt: 06-jan-2020].

- [11] Climate Action Tracker, „The CAT Thermometer | Climate Action Tracker“. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: <https://climateactiontracker.org/global/cat-thermometer/>. [Sótt: 06-jan-2020].
- [12] J. Clarke, J. Heinenon, og J. Ottelin, „Emissions in a decarbonised economy? Global lessons from a carbon footprint analysis of Iceland“, *J. Clean. Prod.*, b. 166, bls. 1175–1186, nóv. 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.08.108.
- [13] World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), World Resources Institute (WRI), „The Greenhouse Gas Protocol - A Corporate Accounting and Reporting Standard“, 2001.
- [14] P. de la R. Mexicana, *English: Heads of delegations at the 2015 United Nations Climate Change Conference (COP21), which led to the signing of the Paris Agreement*. 2015.
- [15] Skipulagsstofnun, „Landsskipulagsstefna 2015-2026 ásamt greinargerð“, 2016.
- [16] „AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014 — IPCC“. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>. [Sótt: 20-des-2018].
- [17] „Gróðurhúsalofttegundir“, *Umhverfisstofnun*. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: <http://www.ust.is/einstaklingar/loftslagsbreytingar/grodurhusalofttegundir/>. [Sótt: 20-des-2018].
- [18] J. Albertí, A. Balaguera, C. Brodhag, og P. Fullana-I-Palmer, „Towards life cycle sustainability assessment of cities. A review of background knowledge“, *Sci. Total Environ.*, b. 609, bls. 1049–1063, des. 2017, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.07.179.
- [19] World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), World Resources Institute (WRI), „Greenhouse Gas Protocol - Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories - An Accounting and Reporting Standard for Cities“, 2014.
- [20] PAS 2070, „PAS 2070: Specification for the assessment of greenhouse gas emissions of a city: Direct plus supply chain and consumption-based methodologies“, British Standards Institution, 2013.
- [21] C40 Cities Climate Leadership Group, „Consumption-based GHG emission of C40 cities.“, mar. 2018.
- [22] H. Larsen og E. Hertwich, „Implementing Carbon-Footprint-Based Calculation Tools in Municipal Greenhouse Gas Inventories: The Case of Norway“, *J. Ind. Ecol.*, b. 14, nóv. 2010, doi: 10.1111/j.1530-9290.2010.00295.x.
- [23] D. Trigaux, K. Allacker, og F. Troyer, „Model for the environmental impact assessment of neighbourhoods“, flutt á WIT Transactions on Ecology and the Environment, 2014, b. 181, doi: 10.2495/EID140091.
- [24] A. Stephan, R. H. Crawford, og K. de Myttenaere, „Multi-scale life cycle energy analysis of a low-density suburban neighbourhood in Melbourne, Australia“, *Build. Environ.*, b. 68, bls. 35–49, okt. 2013, doi: 10.1016/j.buildenv.2013.06.003.
- [25] C. Lousselet, V. Borgnes, og H. Brattebø, „LCA modelling for Zero Emission Neighbourhoods in early stage planning“, *Build. Environ.*, b. 149, bls. 379–389, feb. 2019, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.12.034.
- [26] The Research Centre on Zero Emission Buildings, „ZEB Definitions“, 2020. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: <https://www.zeb.no/index.php/en/about-zeb/zeb-definitions>. [Sótt: 10-jan-2020].

- [27] M. Lotteau, P. Loubet, M. Pousse, E. Dufrasnes, og G. Sonnemann, „Critical review of life cycle assessment (LCA) for the built environment at the neighborhood scale“, *Build. Environ.*, b. 93, bls. 165–178, nóv. 2015, doi: 10.1016/j.buildenv.2015.06.029.
- [28] Mikhail Chester, Stephanie Pincetl, Paul Bunje, og Laura Zahn, „Life-Cycle Assessment and Urban Sustainability“, University of California, Berkeley and University of California, Los Angeles, Institute of the Environment. California Energy Commission, 2010.
- [29] J. Albertí, C. Brodhag, og P. Fullana-i-Palmer, „First steps in life cycle assessments of cities with a sustainability perspective: A proposal for goal, function, functional unit, and reference flow“, *Sci. Total Environ.*, b. 646, bls. 1516–1527, jan. 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.377.
- [30] UN Habitat, „Measurement of City Prosperity: Methodology and Metadata.“, UN Habitat, 2016.
- [31] BRE, „BREEAM Communities technical manual“, BRE, 2012.
- [32] DGNB, „Sustainable Districts Scheme“. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: <https://www.dgnb-system.de/en/schemes/scheme-overview/districts.php>. [Sótt: 17-des-2019].
- [33] The British Standards Institution, „Application of PAS 2070 – London, United Kingdom: An assessment of greenhouse gas emissions of a city“, 2014.
- [34] J. C. S. Andrade, A. Dameno, J. Pérez, J. M. de Andrés Almeida, og J. Lumbreras, „Implementing city-level carbon accounting: A comparison between Madrid and London“, *J. Clean. Prod.*, b. 172, bls. 795–804, jan. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.10.163.
- [35] Nicole Keller o.fl., „National Inventory Report: Emissions of Greenhouse Gases in Iceland from 1990 to 2017: Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol.“, Umhverfisstofnun, apr. 2019.
- [36] B. H. Barkarson o.fl., „Endurheimt votlendis: Aðgerðaáætlun“, Umhverfis- og auðlindaráðuneytið, mar. 2016.
- [37] V. Ú. L. Hellsing o.fl., „National Inventory Report: Emissions of Greenhouse Gases in Iceland from 1990 to 2016“, The Environmental Agency of Iceland, 2018.
- [38] O. Arnalds, J. Gudmundsson, H. Oskarsson, S. H. Brink, og F. O. Gísladóttir, „Icelandic Inland Wetlands: Characteristics and Extent of Draining“, *Wetlands*, b. 36, tbl. 4, bls. 759–769, ágú. 2016, doi: 10.1007/s13157-016-0784-1.
- [39] R. Ólafsdóttir 1984-, „Carbon budget of a drained peatland in Western Iceland and initial effects of rewetting“, Thesis, 2015.
- [40] J. Gudmundsson og H. Óskarsson, „Carbon dioxide emission from drained organic soils in West-Iceland“, 2014.
- [41] Jón Guðmundsson, „Byggð á framræstu votlendi [munnleg heimild, tölvupóstur]“, 11-jan-2018.
- [42] Ólafur Arnalds, „Kolefnið, úthaginn og moldin“, flutt á Úthaginn, kolefnið og loftslagsbókhaldið, Veröld, hús Vigdísar, Háskóla Íslands, 12-maí-2019.
- [43] „Markmið | GróLind“. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: <https://grolind.land.is/verkefni/markmid/>. [Sótt: 13-des-2019].
- [44] „Hall–Hérault process“, *Wikipedia*. 10-okt-2019.

- [45] A. Dameno, J. Andrade, og J. Perez, *City-Level Carbon Accounting from Urban Supply Chains and Final Consumers: challenges faced by the GHG emission inventory of Madrid-Spain*. 2016.
- [46] EFLA, „Vistferilsgreining fyrir viðbyggingu við Sundhöll Reykjavíkur“, 2018.
- [47] Reykjavíkurborg, „Kolefnishlutlaus borg“, *Reykjavíkurborg*, 09-sep-2016. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: <https://reykjavik.is/loftslagsmal>. [Sótt: 16-des-2019].
- [48] Energy Norway o.fl., „Guide to arranging fossil- and emission-free solutions on building sites“, 2018.
- [49] Mariko Landström, Oras Tynkkynen, Tatu Leinonen, og Janne Peljo, „Nordic Green to Scale for Cities and Communities: How far could we go simply by scaling up already proven climate solutions?“, Nordic Council of Ministers, 2019.
- [50] Hagfræðistofnun Háskóla Íslands, „Ísland og loftslagsmál“, Hagfræðistofnun Háskóla Íslands, Skýrsla nr. C17:01, 2017.
- [51] Stadsutveckling Göteborg, „Hållbart resande och transporter“, 2019. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: <https://stadsutveckling.goteborg.se/hallbart-resande-och-transporter/>. [Sótt: 20-jan-2020].
- [52] Malmö stad, Göteborgs stad, Stockholms stad, og Trafikverket, „Gemensamma miljökrav för entreprenader“, 2018.
- [53] Miljødirektoratet, „Ta hensyn til klimaendringene i kommuneplanleggingen“, *Miljødirektoratet/Norwegian Environment Agency*. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: <https://www.miljodirektoratet.no/aktuelt/nyheter/2019/desember-2019/ta-hensyn-til-klimaendringene-i-kommuneplanleggingen/>. [Sótt: 20-jan-2020].
- [54] GHG Protocol, „About Us | Greenhouse Gas Protocol“. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: <https://ghgprotocol.org/about-us>. [Sótt: 04-jan-2019].
- [55] „Corporate Standard | Greenhouse Gas Protocol“. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: <https://ghgprotocol.org/corporate-standard>. [Sótt: 04-jan-2019].
- [56] Festa, miðstöð um samfélagsábyrgð, „Loftslagsmarkmið“, 2015. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: <https://festasamfelagsabyrgd.is/loftslagsmarkmid/>. [Sótt: 07-jún-2018].
- [57] Jim Penman (UK), Michael Gytarsky (Russia), Taka Hiraishi (Japan), William Irving (USA), Thelma Krug (Brazil), „2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Overview“, IPCC, 2006.
- [58] „Input–output model“, *Wikipedia*. 14-des-2018.
- [59] „EIO LCA“, *Wikipedia*. 24-ágú-2018.
- [60] *Shutterstock (skv. leyfi)*.
- [61] S. Ingi, „Raforka“, *Orkusetur*. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: <http://orkusetur.is/raforka/>. [Sótt: 11-apr-2018].
- [62] S. Ingi, „Húshitun“, *Orkusetur*. [Rafrænt]. Aðgengilegt á: <http://orkusetur.is/hushitun/>. [Sótt: 11-apr-2018].

VIÐAUKI A AÐFERÐIR TIL AÐ META KOLEFNISSPOR FYRIR ÖNNUR VIÐFANGSEFNI

Aðferðir til að meta kolefnisspor sveitarfélaga og skipulagsáætlana eru tiltölulega nýjar og sumar eru enn í þróun. Þær byggja að miklu leyti á fyrirliggjandi aðferðum fyrir önnur viðfangsefni heldur en sveitarfélög og skipulagsáætlanir. Til að setja þær í samhengi verður fjallað um eftirfarandi aðferðir í þessum viðauka:

- Kolefnisspor fyrirtækja
- Kolefnisspor ríkja
 - Svæðisbundið kolefnisspor (sem alþjóðasamningar byggja á)
 - Neysludrifið kolefnisspor
- Kolefnisspor metið með vistferilsgreiningu
 - Kolefnisspor vöru eða þjónustu
 - Kolefnisspor mannvirkis

A.1 Kolefnisspor fyrirtækja

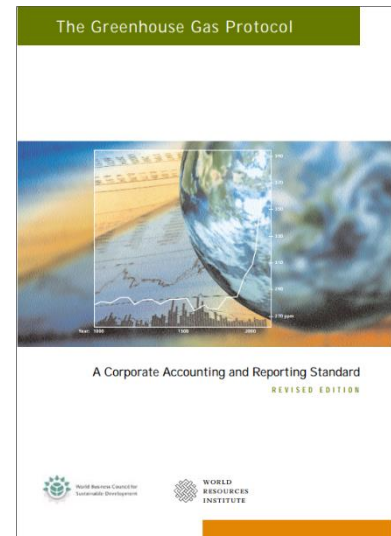
Þegar umræðan um loftslagsmál fór fyrst af stað á tíunda áratugnum var mest áhersla lögð á samvinnu ríkja um að meta og draga úr losun en fljótlega vaknaði einnig áhugi hjá fyrirtækjum á að meta sína losun. Undir lok tíunda áratugarins gerðu *World Resources Institute (WRI)* og *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)* með sér samkomulag að útbúa staðal fyrir kolefnisbókhald fyrirtækja í samvinnu við frjáls félagasamtök og fyrirtæki um allan heim [54]. Afrakstur þessa samstarfs var staðallinn *Greenhouse Gas Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard (GHG Protocol Corporate Accounting)* sem kom fyrst út árið 2001 og var endurútgefinn árið 2004 [13].

GHG Protocol Corporate Accounting staðallinn hefur síðan þá verið notaður af fjölmörgum fyrirtækjum víða um heim og margir aðrir staðlar um kolefnisbókhald byggja á honum að einhverju leyti. Í úttekt *Fortune* árið 2016 kom fram að 92% af 500 stærstu fyrirtækjum Bandaríkjanna nota *GHG Protocol Corporate Accounting* staðallinn eða staðla sem byggja á honum [55].

GHG Protocol Corporate Accounting staðallinn kynnti fyrst til sögunnar flokkun á losun gróðurhúsa-lofttegunda í umfang 1, 2 og 3. Sú flokkun snýst um að aðgreina bein áhrif fyrirtækis (umfang 1) frá óbeinum áhrifum sem verða vegna notkunar rafmagns og heitavatns til upphitunar (umfang 2) og öðrum óbeinum áhrifum sem verða framar eða aftar í virðiskeðjunni (umfang 3) [13]. Sjá nánar á mynd 51.

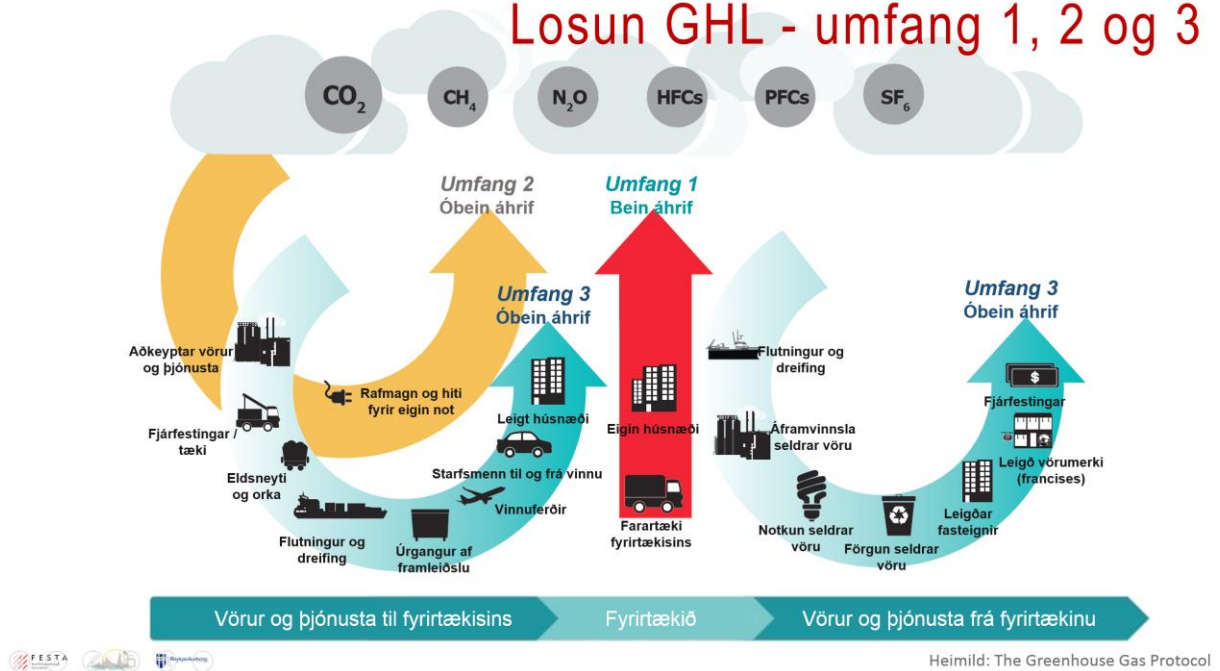
Í kjölfar *GHG Protocol Corporate Accounting* staðalsins hefur *GHG Protocol* gefið út svipaða staðla fyrir loftslagsverkefni, stefnumótun og markmiðasetningu í loftslagsmálum, mat á uppsprettum í virðiskeðjunni og kolefnisbókhald borga. Fjallað er um síðastnefnda staðallinn fyrir kolefnisbókhald eða kolefnisspor borga í köflum 2 og 3.1.

Athugið að fyrirtæki eiga sér ekki endilega landfræðileg mörk því starfsemi þeirra getur verið staðsett í mörgum sveitarfélögum og löndum. Þess vegna eru mörkin á milli beinna og óbeinna áhrifa í tilvikum fyrirtækja skilgreind út frá því hvaða starfsemi fyrirtækið hefur stjórn eða eignarhald á. Fyrir sveitarfélög er hins vegar til staðar raunveruleg landfræðileg afmörkun og því eru mörkin á milli beinna og óbeinna áhrifa í tilvikum sveitarfélaga skilgreind út frá því hvort starfsemin sé staðsett innan eða utan sveitarfélagsmarka.



MYND 50 *GHG Protocol Corporate Accounting* staðallinn [13]

Losun GHG - umfang 1, 2 og 3



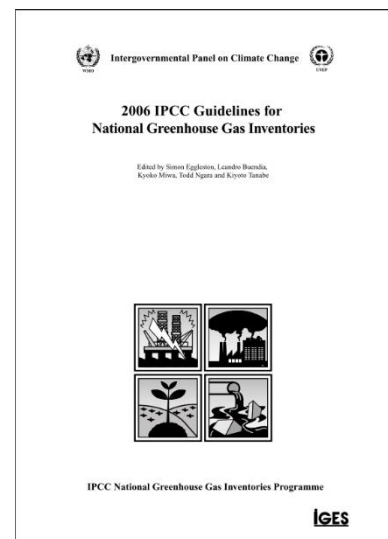
MYND 51 Losun gróðurhúsalofttegunda frá fyrirtækjum og skipting þeirra í umfang 1, 2 og 3 samkvæmt *GHG Protocol Corporate Accounting* staðlinum. Myndin var sótt úr verkfærakistu Festu, miðstöðvar um samfélagsábyrgð [56].

A.2 Svæðisbundið kolefnisspor ríkja

Rammasamningur Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar var samþykktur í Ríó árið 1992 og samkvæmt honum hittast ríki heims árlega á Loftslagsráðstefnu Sameinuðu þjóðanna þar sem þau semja um viðbrögð í loftslagsmálum. Á þessari árlegu loftslagsráðstefnu var Kyoto bókunin samþykkt árið 1997 og Parísarsamkomulagið árið 2015. Á ráðstefnunum hafa ríki heims skuldbundið sig til að meta og draga úr losun gróðurhúsalofttegunda.

Samkvæmt þessum alþjóðasamningum á losun hvers ríkis að vera alfarið metin út frá þeirri árlegu losun gróðurhúsalofttegunda sem á sér stað innan landfræðilegra marka viðkomandi ríkis. Kolefnisbókhaldið sem hvert ríki skilar inn er því í raun árlegt svæðisbundið kolefnisspor landsins. Í þeirri aðferð er ekki tekið tillit til áhrifa af innflutningi vara frá öðrum löndum. Aðferðin hefur verið gagnrýnd fyrir þetta því efnuð ríki flytja gjarnan inn mikið magn vara og oft frá fátækari löndum [12]. Aðferðin býður upp á það að ríki dragi úr sinni losun í bókhaldinu einfaldlega með því að útvista eða flytja mengandi starfsemi til annarra landa.

Vísindanefnd Sameinuðu þjóðanna um loftslagsbreytingar (e. Intergovernmental Panel for Climate Change, IPCC) hefur séð um að gefa út leiðbeiningar hvernig ríki skuli útfæra kolefnisbókhald sitt í samræmi við ofangreinda alþjóðasamninga [57].



MYND 52 Leiðbeiningar IPCC um kolefnisbókhald ríkja [54]

A.3 Neysludrifið kolefnisspor ríkja

Eins og fram hefur komið þá hefur hefðbundið, svæðisbundið kolefnisbókhald ríkja samkvæmt alþjóðasamningum verið gagnrýnt fyrir það að ríkari lönd geta dregið úr losun sinni með því að flytja mengandi starfsemi sína til fátækari landa þar sem eftirlit er minna [12]. Mótsvar við þessu er svokallað neysludrifið kolefnisspor (e. consumption-based carbon footprint) þar sem metin er losun gróðurhúsa-lofttegunda vegna neyslu íbúa viðkomandi lands, óháð því í hvaða landi vörurnar eru framleiddar.

Neysludrifið kolefnisspor er metið út frá hagfræðilíkani (e. economical input-output model) sem lýsir viðskiptum á milli mismunandi geira samfélagsins og neytenda. Líkanið heldur líka utan um innflutning og útflutning til annarra landa. Það sem er hægt að fá út úr slíku hagfræðilíkani er hversu miklum peningum neytendur í tilteknu landi eyddu í hvern geira í hverju landi [58].

Til að reikna út neysludrifna kolefnissporið er umhverfisupplýsingum bætt við hagfræðilíkanið, þ.e. hversu mikil gróðurhúsaáhrif verða við að eyða 1000 kr. í ákveðinn geira í ákveðnu landi [59]. Þegar búið er að sameina umhverfisupplýsingar við hagfræðilíkanið er til dæmis hægt að sjá hversu mikið íslenskir neytendur eyddu í drykkja- og matvælageirann í Ekvador og hversu miklum gróðurhúsaáhrifum það olli (300.000-350.000 tonn CO₂ ígildi árið 2012) [12].

Þessum útreikningum fylgir töluverð óvissa og þá sérstaklega varðandi umhverfisupplýsingarnar, þ.e. hversu miklum gróðurhúsaáhrifum það veldur að eyða peningum í ákveðinn geira í ákveðnu landi [59]. Hægt er að minnka óvissuna með því að aðgreina samfélagið í fleiri flokka í hagfræðilíkaninu í stað þess að skoða aðeins helstu geira samfélagsins.

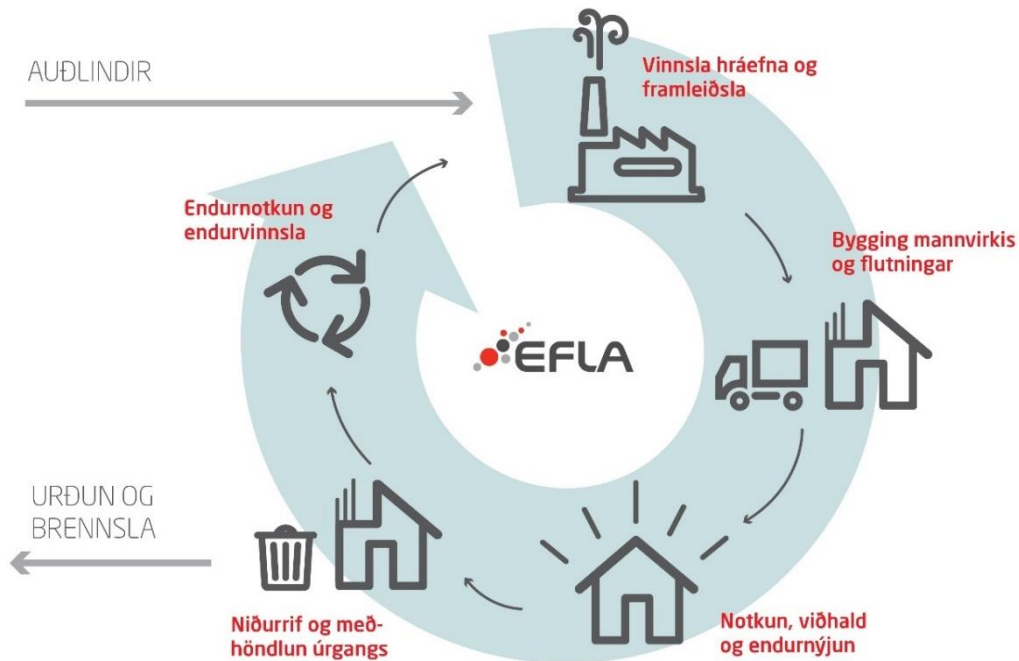
Sumarið 2017 kom út vísindagrein þar sem neysludrifið kolefnisspor Íslendinga var metið [12]. Þar kom fram að neysludrifið kolefnisspor einstaklinga á Íslandi (íslensk heimili) væri 10,4 tonn CO₂ ígildi á hvern mann sem er á pari við önnur lönd Evrópu þrátt fyrir endurnýjanlegu orkuna á Íslandi [12]. Ofan á það leggst kolefnisspor vegna neyslu ríkis og sveitarfélaga (samneysla) og losun vegna fjármunamyndunar hjá fyrirtækjum þannig í heild er kolefnisspor íslensk samfélags 22,5 tonn CO₂ ígildi á mann. Áhugavert var að sjá að sú losun er 55% hærrí en hefðbundna, svæðisbundna kolefnisbókhaldið gefur til kynna (14,5 tonn CO₂ ígildi á mann) [12]. Einnig kom fram að 71% af losun íslenskra heimila væri vegna innfluttra vara og að sú losun verður að mestu í þróunarlöndum, sérstaklega í Ekvador, Dóminíska lýðveldinu, Mið-Afríkulýðveldinu, Suður-Súdan og Kína [12].

Þrátt fyrir að neysludrifið kolefnisspor ríkja hafi verið metið fyrir ýmis lönd þá er samt ekki vitað um neinn staðal sem lýsir því hvernig framkvæma eigi slíka útreikninga fyrir ríki. Það er hins vegar til staðallinn PAS 2070 sem lýsir því hvernig neysludrifið kolefnisspor borga skuli reiknað.

Vert er að taka fram að ef reikna ætti út neysludrifið kolefnisspor fyrir sveitarfélög á Íslandi þyrfti að vera til gagnagrunnur um viðskipti á milli allra helstu geira hvers sveitarfélags en talið er fullvíst að gagnagrunnur með slíkri sundurliðun sé ekki til.

A.4 Vistferilsgreiningar fyrir vörur, þjónustu og mannvirki

Í vistferilsgreiningu er tekið tillit til umhverfisáhrifa sem verða á öllum vistferlinum (e. Life Cycle) sem er ferill viðfangsefnis frá vöggju til grafar, þ.e.a.s. frá öflun hráefna, í gegnum flutninga, framleiðslu og notkun á líftíma, allt til förgunar. Á mynd 53 er sýnt dæmi um vistferil mannvirkis.



MYND 53 Einfölduð mynd af vistferil mannvirkis og skiptingu hans í stig.

Vinnsla hráefna og framleiðsla byggingarefna: Hér er átt við námuvinnslu (mynd 54) og öflun auðlinda, flutning þeirra til verksmiðju og notkun sem hráefni í framleiðslu byggingarefna ásamt tilheyrandi orkunotkun, úrgangi og útblæstri. Þessi ferli fara að miklu leyti fram erlendis og það er þá helst steinullin sem er framleidd á Íslandi. Þó að steypa sé blönduð á Íslandi þá er sementið í steypuna framleitt erlendis sem er það hráefni steypunnar sem veldur yfirleitt mestum umhverfisáhrifum.



MYND 54 Opin járnáma [60]

Flutningar og bygging mannvirkis: Eftir að byggingarefni hafa verið framleidd þarf að flytja þau á verkstað. Í því felast sjóflutningar (mynd 55) og landflutningar innanlands og erlendis sem geta verið með vörubíl, lest, flugi eða skipi. Þegar byggingarefnin eru komin á verkstað þá er komið að reisingu byggingarinnar (mynd 56) sem krefst orku og efnanotkunar með tilheyrandi byggingarúrgangi.



MYND 55 Gámaflutningar



MYND 56 Byggingarframkvæmd

Notkun: Rekstartími byggingarinnar er það stig vistferils sem hefur oft gleymst í gegnum tíðina en á heildina litið getur hann oft skipt miklu máli. Yfirleitt verður mest af orkunotkuninni (mynd 57) á þessu stigi vistferilsins sem gerir rekstartímann sérstaklega mikilvægan ef ekki eru notaðir endurnýjanlegir orkugjafar. Áætlað er að raforkunotkun heimila sé í kringum 5000 kWh á meðalheimili á ári og að meðalorkuþörf til húshitunar á íbúðarhúsnæði sé í kringum 60-80 kWh á hvern m³ húsnæðis [61], [62]. Mikilvægt er að gleyma þessu stigi vistferils ekki við val á byggingarefnum því hér er hægt að draga úr áhrifum með því að velja viðhaldslítill byggingarefni með langan endingartíma til að lágmarka viðhald og viðgerðir (mynd 58). Einnig er mikilvægt að velja heilnæm byggingarefni sem gefa sem minnst frá sér af óæskilegum rokgjörnum lífrænum efnum (e. Volatile Organic Compounds, VOC).



MYND 57 Heitavatsnotkun á rekstartíma [60]



MYND 58 Viðhald og viðgerðir

Lok líftíma: Hér er átt við niðurrif byggingarinnar (mynd 59) við lok líftíma hennar ásamt flutningi, meðhöndlun og förgun úrgangangsins (mynd 60) sem verður til við niðurrifið. Hægt er að draga úr áhrifum hér með því að velja efni sem eru endurvinnanleg og haga niðurrifinu þannig að öll efni séu flokkuð svo hægt sé að endurvinna þau.



MYND 59 Niðurrif byggingar



MYND 60 Urðunarstaður [60]

Endurnotkun og endurvinnsla: Draga má úr áhrifum byggingar með því að nota endurunnin byggingarefni eða efni sem er auðvelt að endurvinna. Best væri ef hægt væri að endurnota eða endurvinna sem flest efni í byggingunni og þannig stuðla að því að hringrásarhagkerfi framtíðar.

Í vistferilsgreiningum er niðurstöðum skilað á þannig formi að auðvelt sé að bera saman svipaða hluti með því að setja umhverfisáhrif í samhengi við svokallaða aðgerðareiningu (e. functional unit). Aðgerðareiningin lýsir hlutverki eða virkni viðfangsefnis með tölulegum hætti. Til að bera saman umhverfisáhrif viðfangsefna með svipaða virkni er umhverfisáhrifum deilt með aðgerðareiningunni. Dæmi um aðgerðareiningu væri 1 m² af gluggakerfi og þá væri kolefnisspor álguggakerfis gefið sem kg af CO₂ ígildum á hvern m² af gluggakerfi. Þær niðurstöður væri auðveldlega hægt að bera saman við niðurstöður fyrir aðrar tegundir af gluggakerfum sem hafa sömu virkni.

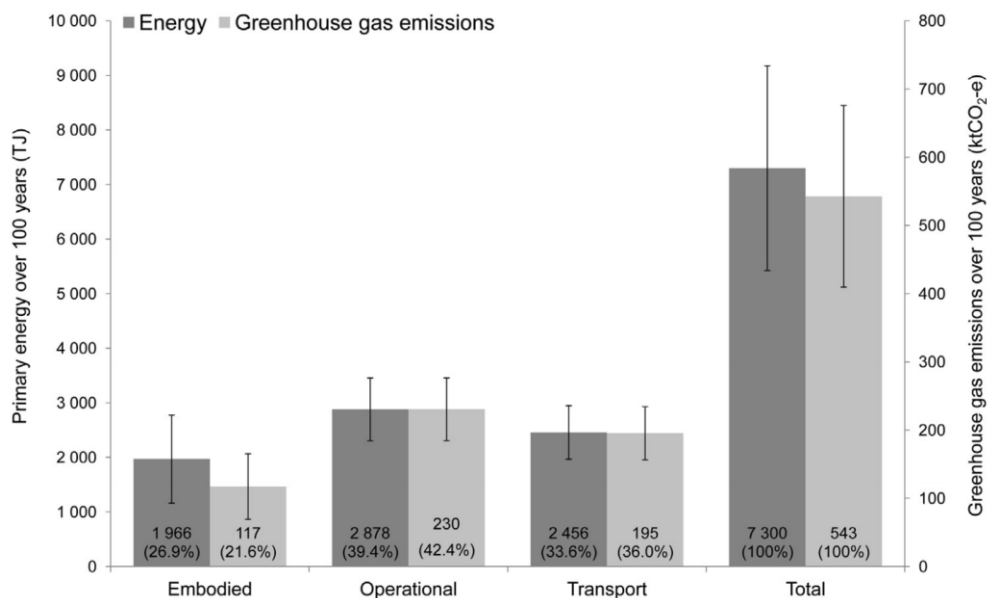
Þessi framsetning gerir það að verkum að auðvelt er að nýta niðurstöður vistferilsgreiningar áfram í aðrar vistferilsgreiningar. Til dæmis væri hægt að nota niðurstöður úr vistferilsgreiningu fyrir ál inn í aðra vistferilsgreiningu fyrir álguggakerfi. Niðurstöður úr greiningunni fyrir álguggakerfið væri síðan hægt að nota í vistferilsgreiningu fyrir byggingu með slíku álguggakerfi, o.s.frv.

VIÐAUKI B ÍTAREFNI ÚR VISTFERILSGREININGUM

B.1 Vistferilsgreining fyrir úthverfi í Melbourne í Ástralíu

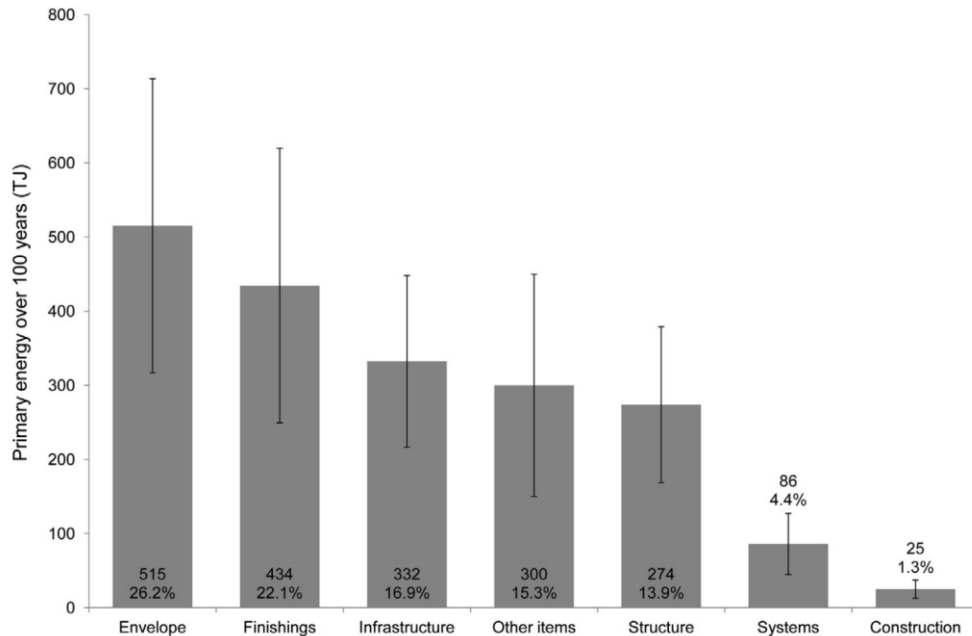
Hér má finna ítarefni úr vistferilsgreiningu fyrir úthverfi í Melbourne sem fjallað var um í kafla 5.3.2.

Á mynd 61 má sjá að í tilviki úthverfis í Melbourne er stærstur hluti kolefnisspors hverfisins vegna reksturs bygginga, því næst vegna aksturs íbúa og síðast vegna innifaldar losunar við framleiðslu byggingarefna og byggingarframkvæmd. Á Íslandi yrði þó kolefnisspor vegna reksturs bygginga lægra vegna endurnýjanlegs rafmagns og hita.



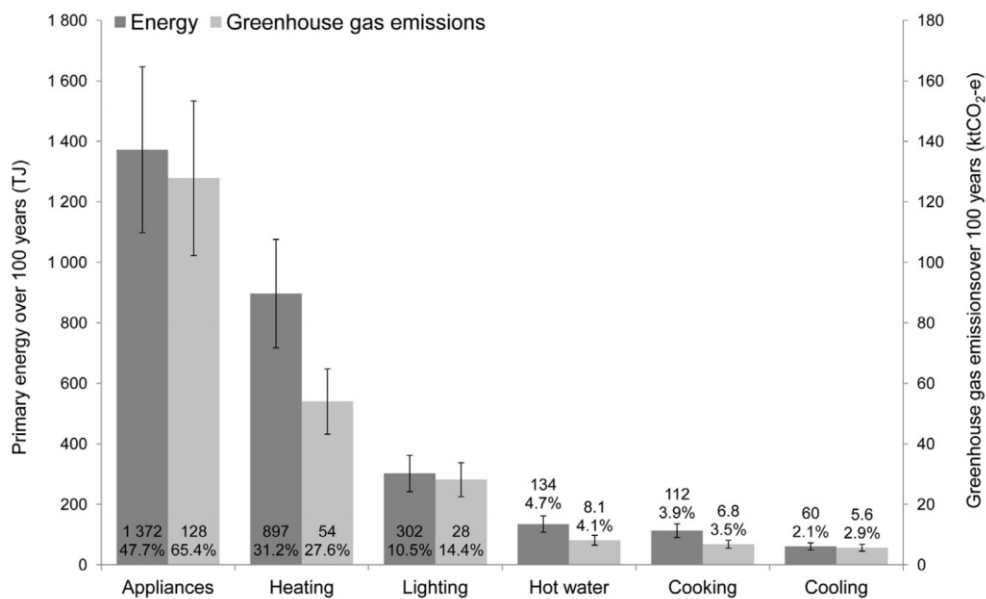
MYND 61 Sundurliðun á orkunotkun og kolefnisspori grunnviðsmyndar (BC) fyrir úthverfi í Melbourne eftir þáttum vistferils. Dökkgráar súlur og vinstri ás sýna orkunotkun en ljósgráar súlur og hægri ás sýna kolefnisspor [24].

Nánari sundurliðun á innifalinni orkunotkun (e. embodied energy) má sjá á mynd 62, þ.e.a.s. sú losun sem er innifalin í framleiðslu byggingarefna og byggingarframkvæmd. Þar sést að hjúpur bygginga (útveggir, botnplata, þak og gluggar) skiptir þar mestu máli, því næst frágangur og síðan innviðir. Byggingarframkvæmdirnar sjálfar virðast skipta litlu máli samanborið við aðra innifalda orkunotkun.



MYND 62 Sundurliðun á innifalinni orkunotkun (e. embodied energy) grunnviðsmyndar (BC) fyrir úthverfi í Melbourne [24].

Nánari sundurliðun á orkunotkun og kolefnisspori vegna reksturs bygginga má sjá á mynd 63. Þar sést að raftæki skipta mestu máli, því næst hitun og síðan lýsing. Á Íslandi er endurnýjanlegt rafmagn og heitt vatn og því yrði kolefnissporið mun lægra fyrir alla þættina þó orkunotkunin væri sú sama.

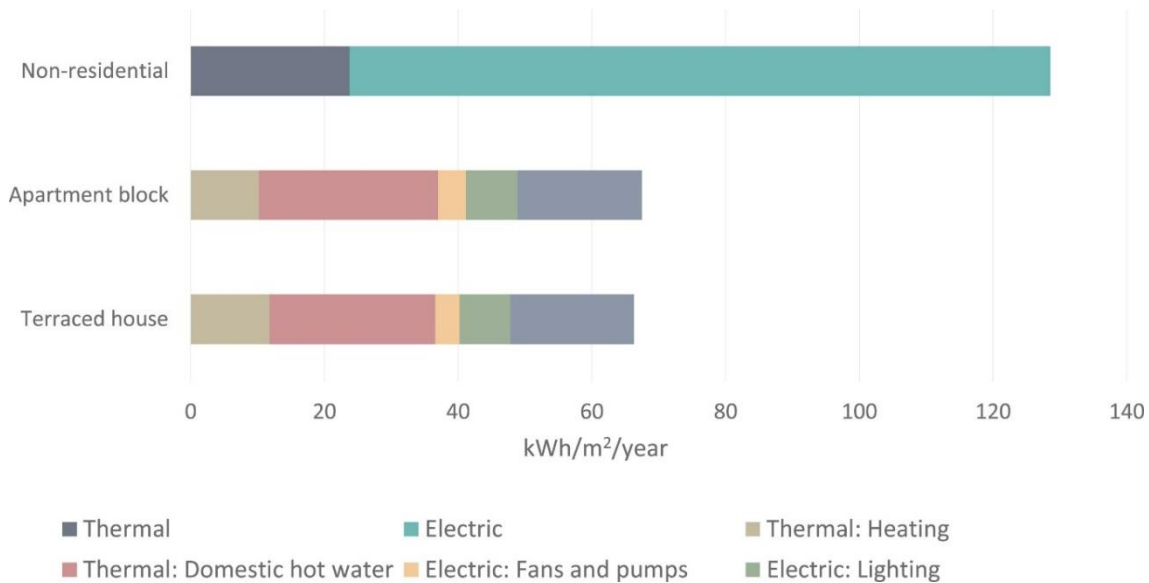


MYND 63 Sundurliðun á orkunotkun og kolefnisspori vegna reksturs bygginga í grunnviðsmynd (BC) fyrir úthverfi í Melbourne. Dökkgráar súlur og vinstri ás sýna orkunotkun en ljósgráar súlur og hægri ás sýna kolefnisspor [24].

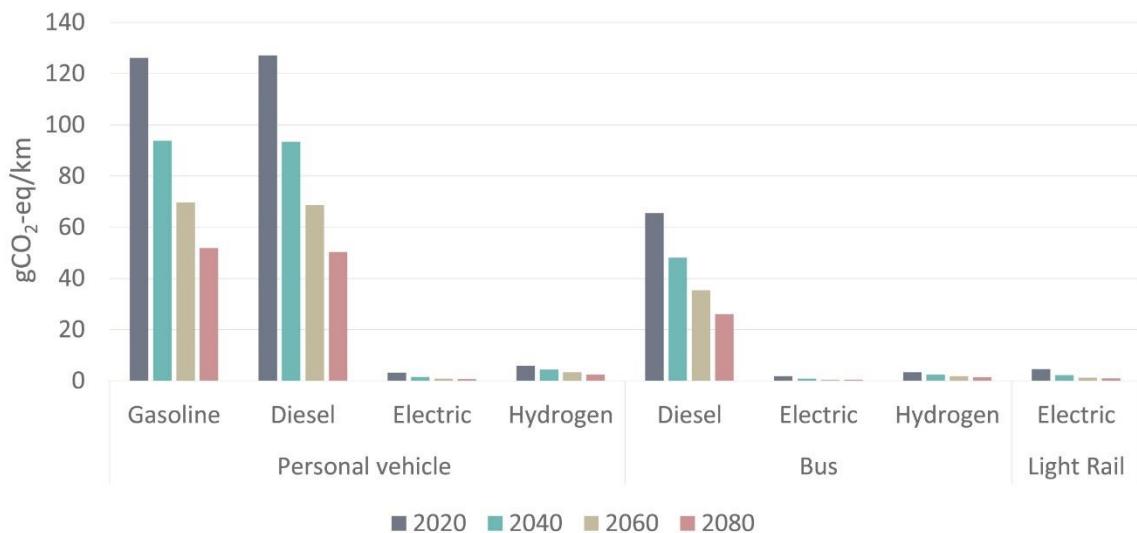
B.2 Vistferilsgreining fyrir hverfi í Bergen í Noregi

Hér er ítarefni úr vistferilsgreiningu fyrir hverfi í Bergen í Noregi sem fjallað var um í kafla 5.3.3,

Á mynd 64 má sjá hvaða orkunotkun var reiknað með fyrir mismunandi byggingar í LCA líkani Lausset o.fl. og á mynd 65 má sjá hvernig reiknað er með að losunarstuðlar mismunandi bifreiða minnka í framtíðinni.



MYND 64 Orkunotkun mismunandi húsnæðis í LCA líkani Lausset o.fl. [25].



MYND 65 Framreiknaðar breytingar á losunarstuðlum mismunandi bifreiða í LCA líkani Lausset o.fl. [25].