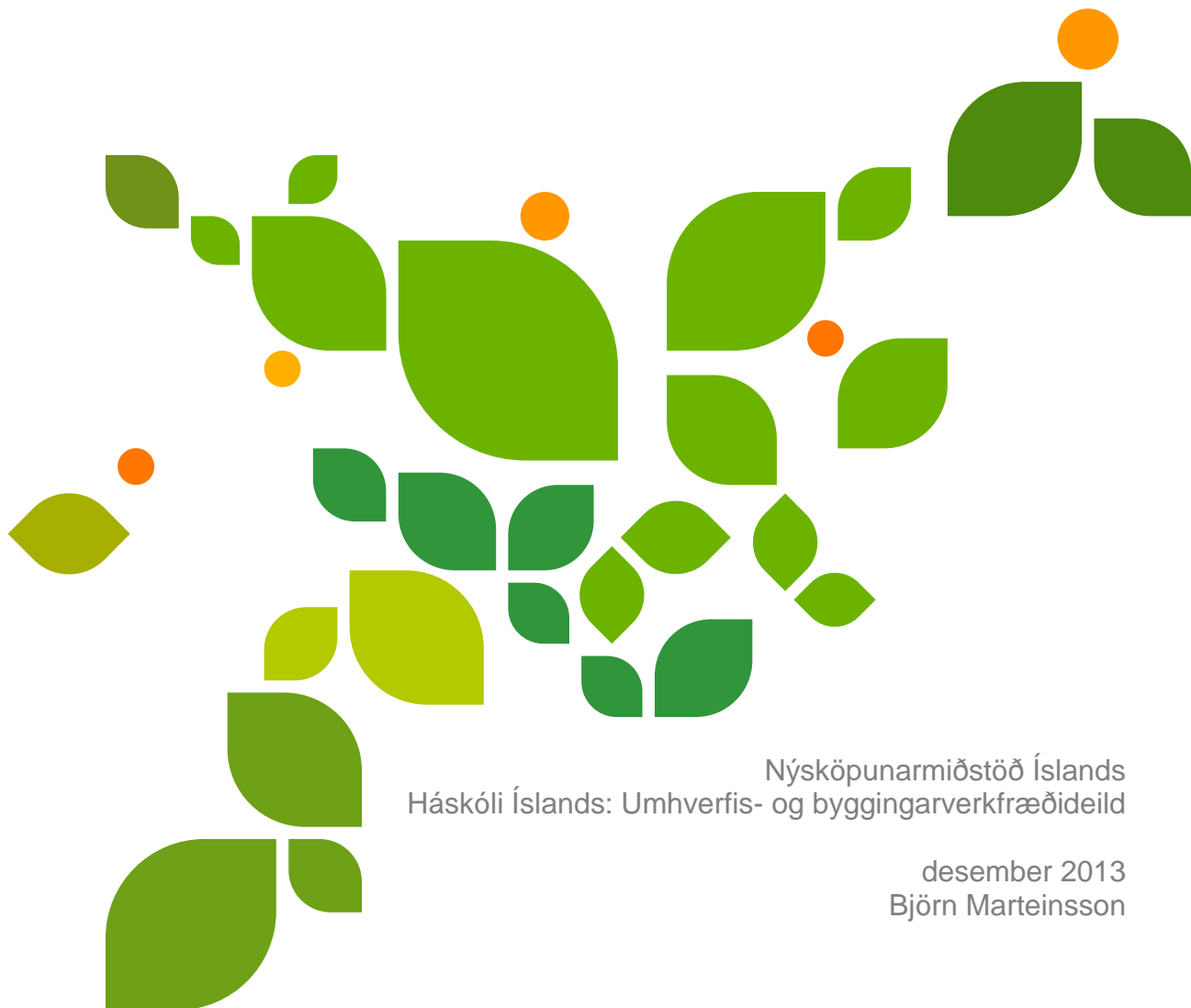


Lífsgæði og sjálfbærari byggingar



Nýsköpunarmiðstöð Íslands
Háskóli Íslands: Umhverfis- og byggingarverkfræðideild

desember 2013
Björn Marteinnsson

Lífsgæði og sjálfbærari byggingar

Björn Marteinson

Nýsköpunarmiðstöð Íslands - Mannvirkjasvið
Háskóli Íslands, Umhverfis- og byggingarverkfræðideild

Unnið með styrk frá
Tækniþróunarsjóði RANNÍS

Titill	Lífsgæði og sjálfbærari byggingar
Undirtitill	
Skýrslunúmer	
Útgáfa	
Útgáfuár	2013 (frumútgáfa í maí, endurskoðað í desember)
Höfundur	Björn Marteinson
Tungumál	Íslenska
Blaðsíðufjöldi	115
Tilvísanir	
Lykilorð	byggingar, lífsgæði, grunnkröfur, gæði, nýtanleiki, innivist, sjálfbærni, orka, umhverfisáhrif, aldursdreifing, þarfir notenda
Keywords	buildings, quality of life, basic requirements, quality, usability, indoor air quality, sustainability, energy, environmental effects, age distribution, user needs
ISBN	978-9979-9799-9-9
Ljósmyndir	
Teikningar	
Forsíða	Sverrir Ásgeirsson
Útgefandi	Betri borgarbragur og Nýsköpunarmiðstöð Íslands ICI- Innovation Center Iceland Keldnaholt, 112 Reykjavík E-mail nmi@nmi.is www.nmi.is

Heimilt er að gera úrdrátt sé heimildar getið: *Björn Marteinson. (2013). Lífsgæði og sjálfbærari byggingar. Reykjavík: Betri borgarbragur, Nýsköpunarmiðstöð Íslands og Háskóli Íslands*

Efnisyfirlit

Lífsgæði og sjálfbærari byggingar.....	1
Úrdráttur	5
Summary	7
Betri borgarbragur- rannsóknaverkefni	9
1. Lífsgæði og byggt umhverfi	11
2. Sjálfbær þróun.....	17
3. Kröfur til bygginga og sjálfbær þróun.....	21
4. Byggingariðnaður-viðfangsefni og gæði.....	27
5. Gæði, notagildi, efnisnotkun, ending og viðhaldspörf	31
6. Aldursdreifing, fjölskyldustærð, íbúðarþörf og búsetukostnaður	43
7. Hollusta og gæði innilofts.....	53
8. Umhverfisáhrif og vistferilsgreiningar	65
9. Orkunotkun bygginga og upphitunarþörf.....	75
10. Gátlistar og árangursvísar	87
Heimildir	93
VIÐAUKAR.....	97
V1. Efnagjöf og þekkt óþægindi tengd byggingarefnum	99
V2. CO ₂ losun vegna orkunotkunar	102
V3. Orkunotkun og kolefnisfótspor vegna flutninga	103
V4. Orkuinnihald og CO ₂ ígildi efna	104
V5. Framleiðsla nokkurra efna og innflutningur til Íslands.....	110
V6. Kolefnisfótspor byggingarhluta	111
V7. Útreikningar á hagkvæmri einangrunarþykkt - aðferðarfræði og forsendur	112
V8. Ending og áætluð viðhaldstíðni efna í Reykjavík	115

Úrdráttur

Ritið skiptist í tíu kafla og að auki eru töflur og umfjöllun í átta viðaukum;

Lífsgæði og byggt umhverfi

Umfjöllun um helstu þætti sem hafa áhrif á lífsgæði og svo tengsl lífsgæða og hins byggða umhverfis.

Sjálfbær þróun

Stutt umfjöllun um sjálfbærni almennt og hagræn verðmæti í hinu byggða umhverfi. Bent á nauðsyn þess að nýta þegar byggð mannvirki til að draga úr umhverfisáraun og ná fram sjálfbærari þróun heldur en annars yrði.

Kröfur til bygginga og sjálfbær þróun

Raktar grunnkröfur til bygginga eins og þær eru skilgreindar í Reglugerð um byggingarvörur, og bent á að þær ná alls ekki til allra byggingartengdra atriða sem hafa áhrif á lífsgæði notandans. Skilgreint er hvaða felst í hugtakinu sjálfbær(ari) bygging;

„ Uppfylli kröfur til hagkvæmni, notagildis og frágangs háð notkunarviði og hafi sveigjanleika og aðlögunarhæfni til að mæta breyttum þörfum síðar í hagkvæman endingartíma, að teknu tilliti til viðhalds og með lágmarks neikvæðum áhrifum á umhverfi.“

Rakið hvaða áherslur eru algengastar í erlendri umfjöllun, m.a. í viljayfirlýsingu NordicBuilt.

Byggingariðnaður- viðfangsefni og gæði

Fjallað um einkenni byggingariðnaðar; fjöldi smárra aðila, ólíkar þarfir, fjölbreyttar ytri aðstæður, lítil fjöldaframleiðsla og lítið um staðlaðar leiðbeiningar.

Mjög ólíkir aðilar sem koma að verkinu og alls ekki tryggt að allir hafi sama skilning á væntingum, gæðalýsingar erfiðar í framkvæmd og þarfagreiningar oft vanburðugar. Umfang staðbyggðra húsa mikið, oft við erfið veðurfarsskilyrði sem gerir gæðaeftirlit og gæðastýringu flókna.

Gæði, notagildi, efnisnotkun, ending og viðhaldsþörf

Heppilegt er að hönnun taki mið af því hversu lengi bygging eigi að vera hagkvæm í rekstri; fjallað um hönnunarendingu, helstu þætti sem hafa áhrif á raunendingu efna og byggingarhluta, viðhalds- og endurnýjunarþörf.

Úrelding, ef bygging telst óheppileg til rekstrar, gæti stýtt endingartíma verulega; bent á nauðsyn þess að huga að sveigjanleika og aðlögunarhæfni á hönnunarstigi og greint frá úttekt varðandi hversu ánægðir húseigendur eru með innra fyrirkomulag og ytri aðstæður við eignir sínar.

Talsvert er um að eignum hafi verið breytt, eigendur almennt ánægðir svo eignir hefur mátt aðlaga að breyttum þörfum.

Fjallað um aldursdreifingu húsnæðis, byggingarmagn, árlegt brottfall eigna og nauðsynlegt umfang nýbygginga. Áætlað er að af byggingum sem nú standa (árið 2010) muni 88-93% enn vera í notkun árið 2040 og nemi þá 92-94 % allra bygginga sem þá verða í notkun.

Fjallað um verðmæti, viðhald og afskriftir; sýnt fram á að byggingar geta haldið verðgildi sínu, óháð aldri.

Aldursdreifing, fjölskyldustærð, íbúðabörf og búsetukostnaður

Í Reykjavík einkennist íbúðaframboð af 3-5 herbergja íbúðareiningum, sem örugglega hefur verið þörf fyrir meðan fjölskyldustærð var meiri heldur en þróun nú ber með sér. Barnsfæðingar, metið sem hlutfall lifandi fæddra barna á hverja konu, eru nú verulega færri heldur en var fyrir 50 árum síðan, lífslíkur aukast og af einstökum aldurshópum þá mun langmesta fjölgunin á næstu áratugum vera í hópnum 65 ára og eldri. Meðalstærð heimila hefur verið að minnka alla síðastliðna öld og fjöldi þeirra sem kjósa að búa einir vex hlutfallslega, á sama tíma þá hefur meðalstærð íbúða farið stöðugt vaxandi og er nú meiri heldur en þekkist í löndum Evrópu sem við viljum bera okkur saman við. Jafnframt er meðalstærð íbúða sem byggðar hafa verið síðastliðin 40 ár umtalsvert stærri heldur en meðaltal allra íbúða, sem er andstætt við þróun erlendis - það er áleitin spurning hvaða verði við greiðum þennan lúxus.

Það er sýnt fram á að raunkostnaður af hverjum aukafermetra sem er bætt við gólfplöt íbúðarrýmis nemur á bilinu 950-1600 kr/m², mánuð (háð byggingarkostnaði), og er þá ekki innreiknaður kostnaður vegna afborgana lána.

Hollusta og gæði innilofts

Fjallað um hvaða þættir hafa helst áhrif á gæði innilofts og góða innivist; m.a. hvað sé heppilegur loftraki eftir árstíðum í íbúðarhúsum. Sýndar eru niðurstöður könnunar á tíðni rakavandamála sem einhvern tíma hefur orðið vart, eða eru viðvarandi í íbúðarhúsum í Reykjavík og á Akureyri. Rakavandamál hafa einhvern tíma komið upp í 12-70% húsa, lægra hlutfallið í nýlegum húsum á Akureyri, hærra hlutfallið í eldri byggingum í báðum bæjunum.

Gerð er grein fyrir hættumörkum varðandi sveppavöxt og rætt um hvaða óþægindi geta skapast með hækkandi efnisraka í byggingarefnum.

Umhverfisáhrif og vistferilsgreiningar

Stutt umfjöllun um áraun á umhverfi, einkum að því er varðar gróðurhúsalofttegundir (hættu á hnattrænni hlýnun). Samantekt á niðurstöðum varðandi kolefnisfótspor nokkurra algengra byggingarhluta og sýnt hver áhrif flutninga efna til landsins eru í heildaráhrifum. Þegar gerður er samanburður á kolefnisfótspori vegna mismunandi þátta þá kemur í ljós að áhrif vegna nýbyggingar húss, sem er ætlað að endast í 80 ár og reiknað á einstakling, vega lítið í samanburði við t.d. kolefnisfótspor vegna notkunar einkabíls og árleg áhrif vegna hússins eru svipuð og fást ef flogið er aðra leiðina til Kaupmannahafnar.

Orkunotkun bygginga og upphitunarþörf

Orkunotkun til hitunar og lýsingar húsnaðis er skýrð og rætt hvaða áhrif hertar kröfur byggingareglugerðar gætu haft til að draga úr óhóflegu orkubruðli; ef byggt er í samræmi við Byggingareglugerð 112/2012 (ekki tekið mið af undanþágureglunni) þá verður varmatap vegna loftræsingar íbúðarhúss í fyrsta skipti hærra heldur en leiðnitap út um hjúpleti, og leiðnitap um glugga og hurðir í fjölbýli er um helmingur alls leiðnitaps slíkrar byggingar. Kolefnisfótspor þessarar orkunotkunar er héraðslendis þó mjög lágt og raunar óverulegt í samanburði við aðra þætti eða erlendar aðstæður.

Hagkvæmni veggeinangrunar er ákvörðuð útfrá efnisverðum og orkuverði í Reykjavík, fyrir mismunandi forsendur, þá kemur í ljós að einangrunin er hagkvæm upp í um 10 sm þykkt.

Gátlistar og árangursvísar

Gátlisti fyrir ferlið; undirbúning, hönnun og rekstur byggingar. Nokkrir erlendir gát- og matslistar bornir saman og sést að umfang og áherslur er mjög misjafnt og mótast að einhverju leyti af uppruna (umhverfi).

Sýndar eru árangurstölur fyrir ýmsa byggingartengda notkun héraðs, og samanburður við erlendar tölur – orkunotkun; hitun, almenn raforkunotkun og heitt vatn, kalt vatn, frárennsli og sorp.

Samanburðurinn sýnir að notkun Íslendinga er iðulega mikil á flestum sviðum, en þó ekki alltaf mest.

Summary

The content is divided up in 10 chapters;

Quality of life and built environment

Discussion on what qualities are of interest for the user, and what should be expected of the built environment, and the need to use what is already existing of buildings and infrastructures.

Sustainable development

Discussion on sustainability and the economic value of the existing built environment. The importance of more sustainable development is emphasized.

Building requirements and sustainable development

The requirements made on buildings in building regulation are compared to the quality aspects listed in chapter 1. The term „sustainable building“ is defined and compared to the emphasis found in international discussion, especially the NordicBuilt Charter.

Construction industry; main topics and quality of work

The characteristic of the construction industry is clarified; usually small firms, great variety in projects and environment. Many different actors and responsibility of each and one often not clarified, and not at all clear if there is a general understanding between parties as the definition or description of quality is not an easy task.

Quality, performance, material use, durability and maintenance needs

Design service life, durability and maintenance needs; The risk of a building getting obsolete at some time and the importance of flexibility and adaptability to ensure long lasting usability of structures. Age distribution of houses in Reykjavik, rate of obsolesces of buildings the last 10 years, the needs for new buildings the next decade of years. It is estimated that about 90 % of existing buildings will still be in use in year 2040, and will then be about 92 % of all buildings.

Age distribution, family size, spatial needs and cost of living

The age distribution in Reykjavik is fast changing, and family size decreasing. The most frequent size of flats is 3-5 rooms (and kitchen + bathroom), the size of flats is big in comparison with other nations, and this results in high living costs per person. The size distribution of living units is not the most appropriate for increasing number of single person households and elderly people, and is not adequately adapted for access or use of disabled persons.

Health and indoor air quality

General discussion on what is of importance, and then discussion of frequent instances of moisture problems and lately complaints of mould problems.

Environmental load and LCA studies

The carbon footprint of building components and buildings is explained, and the part of transport in these is clarified. Due to use of environmentally friendly energy in buildings the carbon-footprint is to the greatest part due to the building phase and then maintenance, and results in a rather low yearly impact when calculated over the expected service life of a building; other factors weigh far higher such as using the family car or flights abroad.

Energy use of buildings and heating

Energy use in buildings in Iceland very high in comparison with other Nordic countries, and better energy efficiency is of interest. The energy price though is low and the economical insulation thickness is therefore also low compared to regions with higher energy price.

Check lists and performance indicators

Checklist of important factors that describe quality and sustainable development, and comparison with different building rating systems such as; Ökoprifil, The Swan, LEED and SURE.

Comparison between Iceland and other countries regarding following factors; spatial needs, energy use in buildings, cold tap water, sewage amount and waste.

Betri borgarbragur- rannsóknaverkefni

Menn hafa byggt sér skýli í einhverri mynd í einhverja tugi árpúsunda, og á norðlægum slóðum hefur húsaskjól verið ein af grunnþörfum manna. Allan þennan tíma hafa byggingarmenn þurft að finna lausn á því hvernig heppilegast og hagkvæmast væri að ná góðum árangri með þeim efnum sem buðust hverju sinni. Með vaxandi þéttbýlismyndun hefur flækjustig aukist og nú þarf ekki einungis að hugsa fyrir húsaskjóli einu saman heldur hefur náþýli og feikihróð þörf fyrir aukin samskipti og flutninga sett nýjar kröfur á hið byggða umhverfi. Kröfur til umhverfisins hafa stöðugt aukist og nú er í vaxandi mæli gerð krafa um að stefnt skuli í átt að sjálfbærari þróun í byggingariðnaði sem öðrum starfssviðum í þjóðfélaginu. Verðmæti sem liggja í hinu byggða umhverfi eru feikimikil, byggt er til langs tíma og því nauðsynlegt að fjárfestingin nýtist ókomnum kynslóðum með lágmarksálagi á umhverfi.

Vorið 2009 tóku fulltrúar sjö aðila höndum saman um að skilgreina rannsóknaverkefni sem fjalla skyldi um hið byggða umhverfi, með áherslu á hvernig gera mætti þéttbýli umhverfisvænna og sjálfbærara heldur en verið hefur. Þar sem verkefnasviðið mjög umfangsmikið og snertir mjög ólík starfssvið og hagsmuni þá var ákveðið að verkefnisstjórn skyldi vera skipuð einum aðila frá hverjum þátttakanda, en með öflugtu tengslaneti yrðu aðrir áhugaaðilar tengdir verkefninu. Verkefnið hlaut þriggja ára Öndvegissstyrk Tæknipróunarsjóðs Rannís árin 2009-2012 og árin 2009-2010 styrk frá Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar.

Verkefnisstjórn skipuðu eftirtaldir aðilar;

- Björn Marteinsonn, arkitekt og verkfræðingur, Nýsköpunarmiðstöð Íslands og dósent við Háskóla Íslands-Umhverfis- og byggingarverkfræðideild, verkefnisstjóri
- Hans-Olav Andersen, arkitekt, Teiknistofan Tröð
- Harpa Stefánsdóttir, arkitekt, Akitektúra
- Hildigunnur Haraldsdóttir, arkitekt, Hús og skipulag
- Helgi B. Thóroddsen,arkitekt, Kanon arkitektar
- Páll Gunnlaugsson, arkitekt, ASK arkitektar
- Sigbjörn Kjartansson, arkitekt, Gláma-Kím arkitektar

Að verkefninu hefur, auk verkefnisstjórnar, komið fjöldi aðila og skulu þeir helstu nafngreindir:

- Anna Sóley Þorsteinsdóttir, arkitekt, Kanon arkitektar
- Bjarni Reynarsson,skipulagsfræðingur , Land-ráð
- Gunnar Örn Sigurðsson, arkitekt, ASK arkitektar
- Ólafur Tr. Mathiesen, arkitekt, Gláma-Kím arkitektar
- Ragnhildur Kristjánsdóttir, arkitekt, Teiknistofan Tröð
- Sverrir Ásgeirsson,hönnuður , Hús og skipulag
- Þorsteinn Helgason, arkitekt, ASK arkitektar
- Þorsteinn Hermannsson,verkfræðingur, Mannvit
- Brynhildur Davíðsdóttir, dósent við Háskóla Íslands, Umhverfis- og auðlindasvið
- Sigurður Jóhannesson, Háskóli Íslands, Félagsvísindasvið-Hagfræðistofnun
- Helgi Þór Ingason, dósent við Háskólann í Reykjavík

Í verkefninu var talað við fjölda aðila; hönnuði, stjórnámamenn, embættismenn hjá ríki og sveitarfélögum auk háskólafélags, sem ekki verða nafngreindir fjöldans vegna.

Verkefnisstjórn kann þátttakendum í verkefninu og viðmælendum bestu þakkir fyrir þeirra liðsinni, og rannsóknasjóðunum báðum fyrir fjármögnunina- án ykkar þátttöku hefði þessi úttekt ekki orðið að veruleika.

Verkefnið hefur verið kynnt fjölda aðila á fundum og ráðstefnum, og einnig skrifaður fjöldi erinda sem birst hafa innanlands og erlendis.

Árangur verkefnisins er birtur í yfirlitsskýrslunni „**Betri borgarbragur**“ og að auki í alls 17 skýrslum um ólíka málaflokka sem snerta verkefnissviðið;

- Lífsgæði og sjálfbærari byggingar
- Reykjavík-skipulag; saga og sjálfbærni
- Geta góð lög stuðlað að sjálfbærni í skipulagi
- Vistvænar samgöngur og borgarskipulag. I. hluti - Áhrifaþættir og mælikvarðar
- Skipulag og vistvænar samgöngur, samantektarskýrsla.
- Skipulag á höfuðborgarsvæðinu, sjálfbær þróun í samgöngum- áfangaskýrslur sem voru áður gefnar út í mars og október 2010
- Gæðamat í byggðu umhverfi
- Borgarmening
- Þéttleiki borga, samanburður
- Sjálfbærni á Höfuðborgarsvæðinu
- Framtíð höfuðborgarsvæðisins: Á að þetta byggðina?
- Miklabraut - Þjóðvegur í þéttbýli
- Hverfisgreining - Austurbær, Háaleiti, Skeifan, Breiðholt og samanburður fjögurra hverfa
- Suðurlandsbraut – Vesturgata
- Upp sprettur borg
- Lífsgæði og borgarumhverfi.
- Könnun á húsnæðis- og búsetuóskum borgarbúa 2013
- Könnun unnin fyrir verkefnið Betri borgar bragur og Umhverfis- og skipulagssvið Reykjavíkurborgar

1. Lífsgæði og byggt umhverfi

Lífsgæði

Það ætti að vera eftirsóknarvert markmið hvers þjóðfélags að stuðla að auknum lífsgæðum þegnanna; þannig má ætla að einstaklingar verði hamingjusamir, viljugir til að takast á við skyldur þjóðfélagsins auk þess sem betri árangur næst í leik og starfi.

Til þess að einstaklingur njóti sín og verði sér og umhverfi sínu; fjölskyldu, atvinnulífi og þjóðfélagi sem nýtastur, þá þarf að bjóða honum gott atlæti eða a.m.k. umhverfi sem hann nýtur sín í. Það er því ekki að ástæðulausu sem hugtakið lífsgæði (*e. quality of life*) hefur orðið til og fær stöðugt vaxandi athygli. Hugtakið spannar mjög marga þætti s.s. heilsu, fjármál og stjórnámál, og má ekki rugla saman við hugtakið lífskjör (*e. standard of living*) sem einkum er tengt afkomu, þ.e. fjármálum¹.

Hugtakið lífsgæði er stundum notað í þröngri skilgreiningu yfir hversu lífsvænar borgir eru, þ.e. hversu auðvelt er að komast af í þeim. Ýmsir aðilar reyna að mæla þessi gæði og byggja upp lífsgæðastuðul út frá mælanlegum stærðum; þannig má meta hvort þjóðfélagi eða þjóðfélagshóp fleygir fram á við í þessum efnunum eða ei. Dæmi um slíkar kannanir eru t.d. „Economist Intelligence Units, quality of life index“ og „Mercer’s Quality of Living Reports“. Í þessum könnunum, sem byggja á aðgengilegum tölfræðigögnum, er reynt að gera samanburð á hversu lífsvæn lönd og borgir víðsvegar í heiminum eru. Jafnframt er lagt mat á heildina en ekki einstaklinginn². Í könnun Economist þá lenti Ísland í 7 sæti árið 2005.

Í umfjöllun um ofanskráðar kannanir má sjá hvaða atriði eru notuð í matinu; Economist notar t.d. níu eftirfarandi árangursvísa;

1. Heilbrigði (*e. Healthiness*); lífslíkur við fæðingu
2. Fjölskyldulíf (*e. Family life*); fjöldi skilnaða á 1000 íbúa umreiknað í gildi á skalanum 1 til 5
3. Samfélag (*e. Community life*); breyta sem fær gildi 1 ef annaðhvort kirkjusókn eða þátttaka í verkalýðsfélögum er algeng, annars 0
4. Efnisleg afkoma (*e. Material well being*); verg landsframleiðsla á mann
5. Stjórn málastöðugleiki og öryggi (*e. Political stability and security*); mat Economist
6. Loftslag og lega (*e. climate and geography*); breiddargráða til að aðskilja hlýtt veðurfar frá svölu
7. Atvinnuöryggi (*e. job security*); atvinnuleysi (%)
8. Stjórn mála frelsi (*e. political freedom*); meðalgildi stjórnmálafrelsis og skoðanafrelsis eins og það er skilgreint af „Freedom House“
9. Launajafnræði (*e. gender equality*); launajafnrétti kynja, reiknað hlutfall meðallauna í hvorum flokki

¹ Sjá t.d. http://en.wikipedia.org/wiki/Quality_of_life

² http://en.wikipedia.org/wiki/Quality-of-life_Index

Á lista Economist (og svipuðum matslistum) eru margir áhugaverðir vísar, en nýtast ekki einir sér í umfjöllun sem hér er stefnt að þar sem þeir byggja alfarið á þjóðfélagslegum þáttum og svo vantar ýmsa þætti sem hljóta að vera áhugaverðir.

Á vegum OECD eru reglulega gerðar skoðanakannanir sem er ætlað að bera saman lífsgæði í mismunandi löndum og er áhugavert að skoða hvaða vísa þeir hafa valið í þessum tilgangi. Á heimasíðu þeirra er könnun þar sem spurt er hvernig lesandinn meti mikilvægi eftirfarandi þátta³;

- Búseta (*e. housing*)
- Tekjur (*e. income*)
- Vinna (*e. jobs*)
- Samfélag (*e. community*)
- Menntun (*e. education*)
- Umhverfi (*e. Environment*)
- Virkni einstaklings í þjóðfélagi (*e. civic engagement*)
- Heilsa (*e. health*)
- Lífsfylling (*e. life satisfaction*)
- Öryggi (*e. safety*)
- Vinnu-einkalíf (*e. work-life balance*)

OECD birtir einnig upplýsingar sem tengjast búsetu, og þeir nota sem gæðavísu⁴

- Fjöldi herbergja á íbúa; Talin öll herbergi nema eldhús og snyrtingar. Það er vitað að þröngbýli eykur hættu á búsetutengdum heilsufars vandræðum. Í umfjöllun er bent á að þessi stuðull einn og sér sé ekki gott viðmið þar sem hann taki t.d. ekki á staðsetningu íbúðar né herbergjastærð
- Búsetukostnaður; Hlutfall heimila sem þurfa að kosta til meiru en 40% af ráðstöfunartekjum til leigukostnaðar (eða búsetukostnaðar)
- Snyrtiaðstaða; Hlutfall heimila sem ekki hafa aðgang að vatnssalerni innan íbúðar
- Ánægja íbúa með búsetukostinn

Það eru ýmsir aðilar sem freista þess að leggja mat á lífsgæði útfrá mismunandi þáttum, en aðferðunum er sammerkt að þær ná til mjög afmarkaðs hluta af þeim þáttum sem má ætla að skipti máli. Hér verður því gerð tilraun til að auka við listann í þeirri von að þannig náist betra yfirlit yfir hvaða þættir kunni að vera áhrifsvaldar í lífsgæðum einstakling. Þegar leitað er að skrifum um þessi mál þá finnst lítið efni, nema helst um heilsutengd lífsgæði. Það er því tímabært að skrifa um lífsgæði og tengsl þeirra við byggt umhverfi.

Lífsgæði er persónuháð hugtak, en þó má ætla að eftirtaldir tíu aðalflokkar skipti flesta miklu, og er reynt að velja þeim nöfn sem endurspeglu innihaldið. Aðalflokkarnir eru sýndir í töflu 1.1.

³ OECD: Better life index

⁴ OECD: How's life? Housing conditions

Tafla 1.1 Lífsgæði, tíu aðalflokkar

Lífsnauðsynjar
Fjárhagslegt öryggi og hagkvæmni
Hollusta
Heilsa; líkamleg og andleg
Fjölskyldulíf og félagsleg tengsl
Menntun og menning
Aðgengi að þjónustu
Frelsi, sjálfstæði og jafnrétti
Öryggi
Vellíðan og örvun

Eins og sjá má á töflu 1.1 þá hefur verið aukið við lista Economist atriðum er varða búsetugæði, hollustu, vellíðan, örvun og aðgengi að menningu og þjónustu. Auk þess hefur skilgreiningum á ýmsum atriðum verið breytt eins og sést af undirflokkum og lykilorðum í töflu 1.2.

Í fyrsta flokknum eru talin upp atriði sem ætla má að séu grundvallaratriði afkomu yfirleitt, a.m.k. í svölu umhverfi, þessi flokkur ber því nafnið „Lífsnauðsynjar“ með sönnu. Varðandi önnur atriði sem eru talin upp þá er alls ekki ljóst hvernig áherslueggi er innbyrðis milli þessara atriða. Engin víska er fyrir því hvort öll gildin þurfa að vera uppfyllt né í hversu miklum mæli hvert um sig. Það fer vafalaust eftir einstaklingum og ræðst þá að einhverju leyti af hverju þeir eru vanir; það er t.d. þjálfunatriði að njóta lista. Þess má því vænta að allir hvorki vilji né þurfi að fá öll gildin uppfyllt, en heildin þ.e. þjóðfélagið getur samt þurft á þeim að halda. Það er jafnframt nokkuð ljóst að erfitt er að bera saman gæði milli flokkanna, og jafnvel innan flokka, og að einkunnargjöf mun byggjast á mjög mismunandi forsendum.

Augljóslega hafa byggingar og skipulag áhrif á lífsgæði á mörgum sviðum, og því mikilvægt að greina þessi tengsl nánar. Á seinni tímum er vaxandi áhersla á sjálfbærni þjóðfélagsins, og þar skipta byggingar og skipulag miklu máli.

Tafla 1.2 Lífsgæði-undirflokkar og lykilorð

Lífsmuðsynjar

Grundvallarnuðsynjar uppfylltar;

- matur
- hússaskjól
- grundvallar heilbrigðisþjónusta

Hollusta

- Hollur matur (næringargildi, eituráhrif,..)
- Holtt andrúmsloft (mengun,..)

Fjölskyldulíf og félagsleg tengsl

- Tími fyrir fjölskyldu, samvera
- Umgengni við aðra, félagastarf
- Hverfatengsl, grannatengsl

Aðgengi að þjónustu

- Framboð; heilbrigðisþjónusta, daggæsla, skólar, verslanir, ... upplýsingar,.. nettenging
- Fjarlægð; hvernig og hvert þarf að sækja þjónustu: kostnaður og tími

Öryggi

Öryggi í notkun

- styrkur og stífleiki mannvirkis
- slyshætta

Umhverfislegt öryggi gagnvart

- árásum og ofbeldi
- umferðarógnun
- innbrotshættu
- bruna
- óheppilegri innsýn

Félagslegt öryggi

- stjórnmalastöðugleiki
- varnir gegn innsýn

Fjárhagslegt öryggi og hagkvæmni

- Framboð atvinnutækifæra og atvinnuöryggi
- Laun
- Kostnaður;
 - matur
 - húsnæði (búseta)
 - ferðir
 - frístundir

Heilsa

- Tækifæri til útivistar (græn svæði, aðgangur að náttúru)
- Nærumhverfi, lóð
- Hreyfing
- Afslöppun

Menntun og menning

- Aðgangur að og fjölbreytni framboðs; skólar, bókmenntir, listir

Frelsi, sjálfstæði og jafnrétti

- Málfrelsi
- Athafnafrelsi
- Stjórn á eigin lífi; lýðræði...
- Jafnrétti kynja, aldurshópa og kynþátta

Velliðan

Líkamleg þægindi:

- birta
- hávaði
- hiti
- raki
- lofthreyfing

Örvun:

- litur
- áferð
- birta/skuggi
- rými
- hlutföll
- umhverfishljóð
- tækifæri til útivistar
- mannleg samskipti

Lífsgæði og byggt umhverfi

Allt hið byggða umhverfi hefur áhrif á okkur sem einstaklinga og möguleika okkar til að njóta lífsins og tryggja afkomu okkar. Byggt umhverfi nær yfir öll mannanna verk; byggingar stofnkerfi (vegir, lagnir,..), flugvellir, hafnir o.s.fr. en einnig landmótun tengt skipulagi. Í þéttbýli má skipta byggðu

umhverfi upp í tvo megin hluta, annarsvegar byggingar sem einstök fyrirbæri og hinsvegar skipulag þar sem landnotkun og niðurröðun bygginga myndar heildir. Í hvoru tilviki um sig þá hefur byggt umhverfi veruleg áhrif á okkur sem einstaklinga og þjóðfélagið allt; kostnaður sem er bundinn í byggðu umhverfi er gríðarlegur og íbúðarhús iðulega stærsta einstök fjárfesting einstaklings. Þarna ræðst að hluta hver lífsafkoma okkar verður, en einnig aðrir þættir s.s. hvaða öryggistilfinningu og örvun við fáum. Byggt umhverfi hefur alls ekki áhrif á öll atriðin sem nefnd eru í töflu 1.2, en mikilvægt er að greina hvaða atriði er þar um að ræða því þau er nauðsynlegt að hafa í huga við reglugerðarsmið, í skipulagi byggðar og loks hönnun og framkvæmdum í byggingariðnaði. Í töflu 1.3 eru sýnt hvaða tengsl eru talin vera milli einstakra áðurnefndra aðalflokka og hins byggða umhverfis. Af töflunni sést að tengslin eru umfangsmikil, vissulega þó meiri er varðar skipulag byggðar heldur en tengsl lífsgæða og byggingar, sem eru þó einnig mjög sterk.

*Tafla 1.3 Tengsl lífsgæða og byggðs umhverfis.
Veik tengsl, eða talin óbein, eru þau sýnd innan sviga.*

Aðalflokkur	Skipulag	Byggingar
Lífsnauðsynjar		Húsaskjól
Fjárhagslegt öryggi og hagkvæmni	Ferðapörf, ferðakostnaður (Framboð atvinnutækifæra)	Búsetukostnaður Hagkvæmni Notagildi
Hollusta Heilsa; líkamleg og andleg	Mengun utanhúss, gæði útilofts Aðstaða fyrir útivist, tækifæri til að hittast Ferðamöguleikar gangandi eða hjólandi	Mengun innanhúss, gæði innilofts Aflöppun (einkarými, friður og næði), tengsl úti-inni, lóð
Fjölskylda og félagsleg tengsl Menntun og menning Aðgengi að þjónustu Frelsi, sjálfstæði og jafnrétti Öryggi	Hverfatengsl, grannatengsl Framboð og fjarlægð Framboð og fjarlægð Útivistarsvæði, samgöngumál Umhverfislegt öryggi, sjá töflu 2 Varnir gegn innsýn	Öryggi í notkun: <i>sjá töflu 1.2</i> Innbrotsvarnir Brunavarnir Varnir gegn innsýn
Vellíðan og örvun	Skjólmyndun og nýting birtu Örvun: sjá töflu 1.2	Vellíðan: <i>sjá töflu 1.2.</i> Örvun: <i>sjá töflu 1.2</i>

Í þessu riti verður umfjöllun að mestu einskorðuð við byggingar sem einstök fyrirbrigði, og þá áhugavert að skoða hvaða þættir í byggingum hafa áhrif á lífsgæði eins og þau hafa verið skilgreind hér. Í töflu 1.4 er frumflokkun á því hvaða kröfur lífsgæðahugtakið gerir til byggingar eða einstakra hluta hennar, en fjallað verður nánar um hluta af þessum þörfum síðar í ritinu.

Hér hafa verið ræddar kröfur sem gera má til mannvirkis með lífsgæði notanda eða eiganda í huga, en í vaxandi mæli eru gerðar kröfur um að þegar skipulagt og byggt er skuli einnig hugsað til framtíðar. Mannvirki er þá jafnframt ætlað að hafa takmörkuð neikvæð áhrif á umhverfi og sjálfbærni hugtakið vegur þar þungt.

Tafla 1.4 Lífsgæði og kröfur til byggingarluta og byggingar í heild

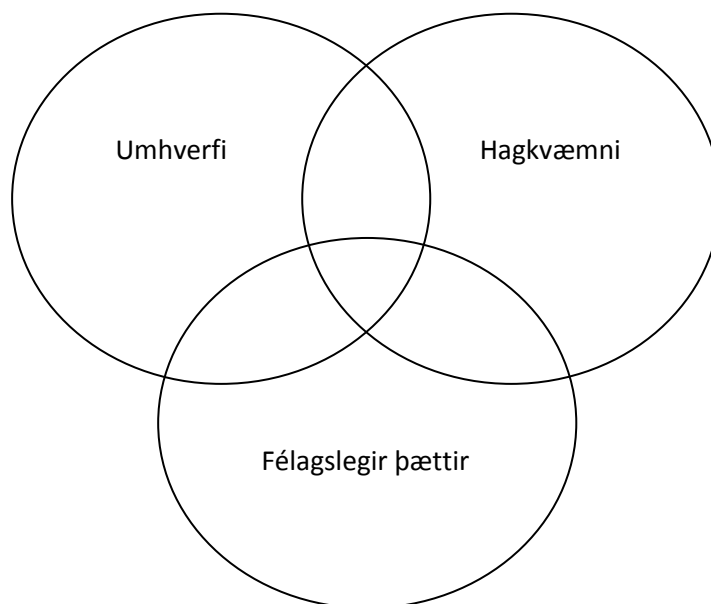
Aðal-flokkur	Undirflokkur	Skýring og krafa til byggingarluta eða byggingar
Lífsmuðsynjar	Húsaskjól	Húsið veiti vörn gegn veðri og vindum; regnþétt, hæfilega loftþétt og hægt að stýra innihita, loftræsingu og lofthreyfingu innandyrna. Þetta gerir kröfur til byggingarluta og byggingarhjúps, hita- og loftræsikerfa og tilheyrandi stýringa
Fjárhagslegt öryggi	Búsetukostnaður	Ræðst að miklu af stærð búsetueiningar (m ²); Góð rýmisnýting - fara vel með pláss, hagkvæmni og notagildi Heppileg fjárfesting; byggingin geti haldið verðgildi með hóflegu viðhaldi (krefst sveigjanleika í planlausn og góðrar hönnunar og framkvæmdar) Hagkvæmur heildarkostnaður; bygging-rekstur. Þetta ræðst af stærð húsnæðis, byggingaraðferð, þörf fyrir hitun, lýsingu og viðhald. Tryggja að óheppilegt rakaástand stytti ekki endingu eða hafi áhrif á hollustu. Húsið þarf að vera þannig úr garði gert að hægt sé að tryggja óskainniaðstæður án of mikils kostnaðar Staðsetning Lóðarstærð
Hollusta	Hollt andrúmsloft	Gæði innilofts ráðast af gæðum útilofts, efnagjöf til innilofts (efnisval og rakaástand), rakaástandi, yfirborðshita flata Tryggja að byggingarraki sé hóflegur og að grunnvatn, yfirborðsvatn eða regnvatn hafi ekki óheppileg áhrif á efnisraka
Heilsa		Húsið þarf að tryggja einkarými, þar sem hægt er að njót afriðar ef vill; afmörkun rýmis, hljóðdeyfing frá útiaðstæðum Tryggja góð tengsl inni og nærumhverfis úti (garður, svalir..)
Öryggi	Öryggi í notkun	Hönnun og ending; Styrk- og stífleikaeiginleikar burðarkerfis og byggingarluta
	Umhverfislegt öryggi	Hálkuvörn (val gólfefna), og hætta á falli (stigir, handrið)
	Félagslegt öryggi	Innbrotsvörn; styrkur byggingahluta og læsibúnaður Takmarka innsýn í skipulagi húss og með skermun
Vellíðan og örvin	Líkamleg þægindi	Birta; nýta dagsbirtu vel Hávaði; hugsa fyrir hljóðdeyfingu og hljóðburði Hiti; tryggja að hæfilegur skynjunarhiti náist (fer eftir lofthita, yfirborðshita flata, rakastigi og lofthreyfingu)
	Örvun	Loftraki; tryggja að loftraki valdi ekki hollustuvandamálum (ekki of rakt né þurrt) Lofthreyfing; tryggja að lofthreyfing sé innan hæfilegra marka (ekki of dautt loft, ekki dragsúg..) Tryggja í hönnun og viðhaldi að bygging sé áhugaverð og bæti umhverfi sitt Nýta aðstæður sem umhverfi bíður upp á og helst bæta um betur; birta, skjól, tækifæri til útivistar, masnleg samskipti

2. Sjálfbær þróun

Hugtakið sjálfbærni er talið hafa verið fyrst skilgreint af Lester R. Brown⁵ árið 1981 (C. J. Kibert, 2008) þegar hann skilgreinir sjálfbært þjóðfélag sem „...er fær um að uppfylla þarfir sínar án þess að draga úr möguleikum kynslóða framtíðar.“ Þessi skilgreining var síðan tekin upp af Brundtland nefndinni sem orðar hana þannig „...uppfyllir þarfir nútímans án þess að ógna möguleikum kynslóða framtíðar til að uppfylla sínar þarfir“. ⁶

Sjálfbær þróun útilokar því ekki að kynslóð hafi áhrif á umhverfi sitt, enda væri slíkt nánast ógerlegt, heldur aðeins að það megi ekki vera svo umfangsmikil spor að þau eyðileggi möguleika annarra síðar-grunntónninn virðist vera að í ákvarðanatöku skuli horft til framtíðar.

Sjálfbærni er almennt skilgreind sem samspil þriggja þátta; Umhverfis, hagkvæmni og félagslegra þátta, sjá mynd 2.1, og þá iðulega talað um grunnstoðirnar þrjár. Í hugtakinu er í sjálfu sér ekkert sagt um hvort vægi þessara þriggja skuli vera jafnt heldur aðeins að sjálfbærni standi á þessum stoðum. Á síðari árum hefur orðið umræða um hvort myndin gefi rétta hugmynd af hugtakinu, hvort ekki sé nauðsynlegt að taka að fullu tillit til allra grunnþáttanna og sjálfbærni sé þá og því aðeins til staðar að allir þrjú þættirnir séu uppfylltir (sniðmengið á mynd 2.1).



Mynd 2.1 Sjálfbærni - Hefðbundin skilgreining sjálfbærni er sýnd sem mengi þriggja þátta; umhverfi, félagslegir þætti og hagkvæmni

Sjálfbær þróun í íslensku þjóðfélagi

Árið 2002 samþykkti ríkisstjórnin stefnumörkun um sjálfbæra þróun í íslensku samfélagi

⁵ Stofnandi Worldwatch Institute

⁶ "meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.", (UN, 1987).

undir heitinu „Velferð til framtíðar“. Stefnumörkunin var sett til 2020. Í ritinu *Velferð til framtíðar* er fjallað um þessar áherslur, og þeim skipt í fjóra aðalflokka :

Heilbrigt og öruggt umhverfi

Andrúmsloft, ferskvatn, matvæli, hættuleg efni, útvist í sátt við náttúruna, varnir gegn náttúruvá
Vernd náttúru Íslands

Lífriki Íslands, sérstæðar jarðmyndanir, víðerni

Sjálfbær nýting auðlinda

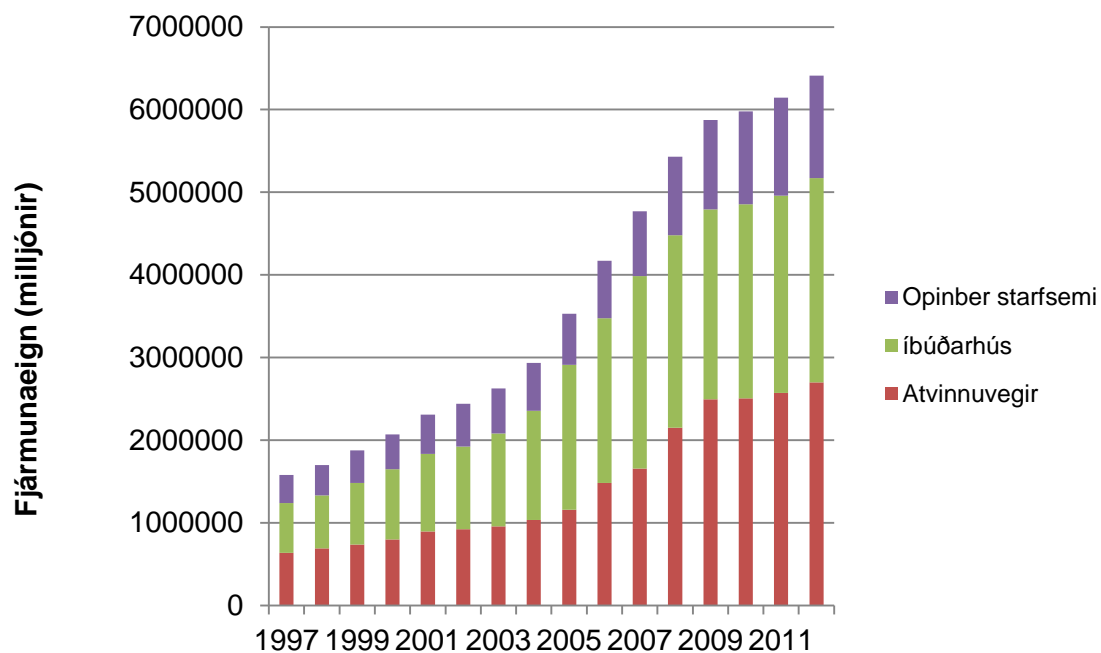
Auðlindir hafsins, gróðurnýting og endurheimt landgæða, endurnýjanlegir orkugjafar, meðhöndlun úrgangs

Hnattræn viðfangsefni

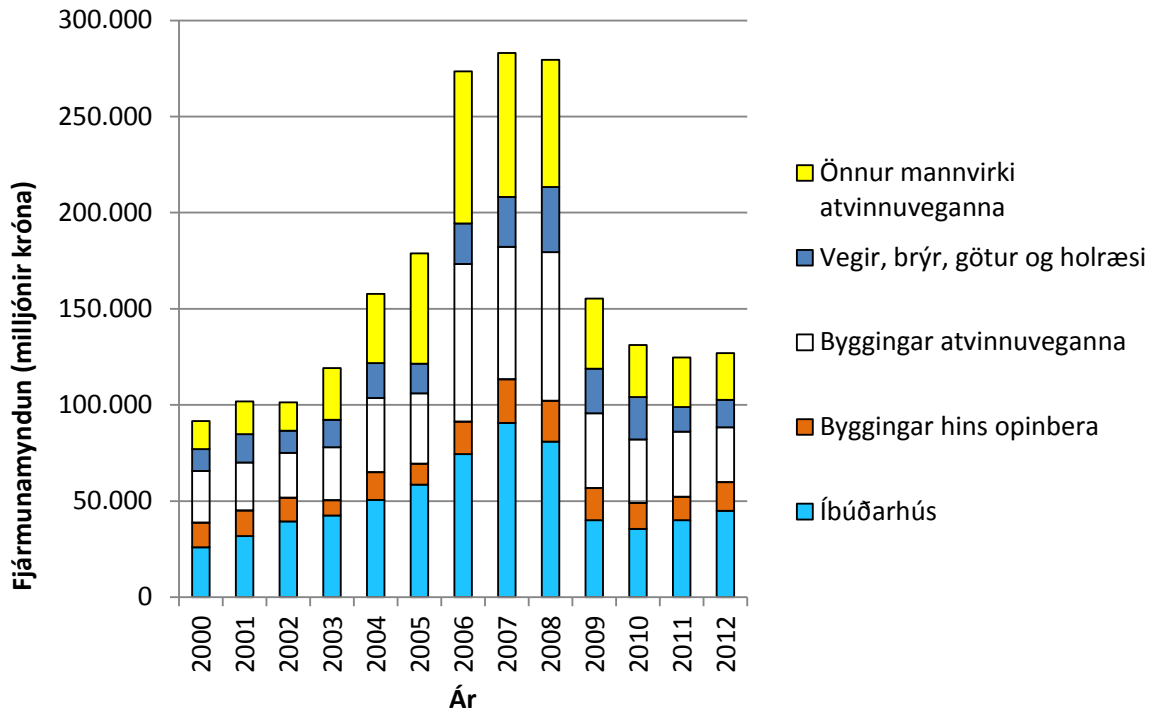
Hreint haf, takmörkun loftslagsbreytinga af mannavöldum, vernd ósonlagsins, líffræðileg fjölbreytni

Byggingariðnaður er öflug atvinnugrein, og efnisflutningar áberandi hluti í framkvæmdum og umtalsverður úrgangur fellur til tengt byggingarstarfsemi. Stór hluti þjóðarauðsins er bundinn í byggðu umhverfi (mynd 2.2) og stór hluti orkunotkunar fer til húshitunar, kælingar og lýsingar. Athuga ber að upphæðir sýndar á mynd 2.2 taka tillit til afskrifta og gefa þess vegna ekki endilega rétta hugmynd um markaðsvirði eigna (sjá einnig kafla 5).

Jafnvel á samdráttartímabilinu 2009-2012 var fjármunamyndun í byggðu umhverfi héraendis umtalsverð, mynd 2. 3.



Mynd 2.2 Fjármunaeign á verðlagi hvers árs (heimild: Hagstofan)



Mynd 2.3 Árleg fjármunamyndun í byggðu umhverfi, á verðlagi hvers árs (heimild: Hagstofan)

Byggingar eru almennt hannaðar til að standa í áratugi hið minnsta; venjulegar íbúðarbyggingar í minnst 50 ár og vandaðri byggingar 100 ár. Mikið efnismagn fer í byggingar og iðulega talið að byggingariðnaður noti um 40% allrar hráefnisnotkunar í iðnvæddum ríkjum. Það má því vera ljóst að umhverfisáráun vegna bygginga verður hlutfallslega minni því lengur sem tekst að nýta þær. Hönnun með tilliti til endingar og síðar viðhald bygginga er því mikilvægur þáttur í að tryggja góða endingu, ennfremur gilda almennar kröfur til mannvirkja eins og fjallað er um í kafla 3.

Það er því ljóst að ef vilji er til þess að þoka þjóðfélaginu í átt að sjálfbærari framtíð þá verður byggingariðnaðurinn að taka þátt í því. Það er raunar athyglisvert að í ritinu um velferð til framtíðar þá er ekki minnst einu orði á gæði innilofts í kaflanum um „heilbriggt og öruggt umhverfi“ en útiaðstæðum gefinn því meiri gaumur. Í riti Norðurlandaráðs (1998), *Sjálfbær þróun- ný stefna fyrir Norðurlönd*, er aðeins minnst á byggingariðnað þegar sagt er frá starfsemi í Noregi. Samt er ljóst að Norðurlandþjóðirnar bera hag fólks fyrir brjosti því fyrsta krafan af alls 11 hljóðar þannig „Tryggja skal núlifandi og komandi kynslóðum öruggt og heilbriggt líf“.

Í nýrri skýrslu um loftgæði og heilsu (Stefán Einarsson et al, 2013) er fjallað um lýðheilsu, loftgæði og mengunarvalda. Höfuðáhersla er lögð á umfjöllun um mengunarvalda og vöktun á magni þeirra í útilofti, en einnig bent á byggingartengd atriði sem athuga þarf sérstaklega varðandi gæði innilofts. Í tillögum til úrbóta er varða húsbyggingar sérstaklega er bent á nauðsyn þess að bæta loftgæði í skólum og leikskólum, umræða um raka- og myglusvepp og formaldehyð.

3. Kröfur til bygginga og sjálfbær þróun

Bygging er aðeins skel utanum notkunarsvið, og verður að ætlast til að hún uppfylli þær kröfur sem til hennar eru gerðar. Alltaf er æskilegt að byggingin auki lífsgæði notandans en hún þarf einnig að uppfylla kvaðir vegna notkunar s.s. henta til búsetu, kennslu eða framleiðslu svo eitthvað sé nefnt. Byggingu er almennt ætlað að standa í lengri tíma, yfirleitt einhverja áratugi, og þarf þá að uppfylla væntingar allan þann tíma.

Evrópusambandið hefur í „Construction Products Regulation“⁷ frá 9. mars 2011 lýst kröfum til mannvirkja, og í aðfararorðum varðandi gildi reglugerðarinnar er lýst í nokkrum tölusettum greinum forsendum og tengslum CPR við þjóðarákvæði í hverju ríki. Þar kemur m.a. fram (í 4 lið) að gert er ráð fyrir því að hvert land um sig setji reglur um (í þýðingu höfundar) „ákvæði sem ekki einvörðungu taka mið af öryggi bygginga og annarra mannvirkja heldur einnig heilsu, endingu, orku hagkvæmni, varðveislu umhverfis, hagrænum þáttum og öðrum mikilvægum þáttum fyrir almanna hagsmuni“.

Í reglugerðinni eru síðan sjö grunnkröfur nánar skilgreindar í viðauka (Annex 1) við skjalið.

Grunnkröfur til mannvirkja í Evrópusambandinu (EU; Construction Products Regulation)

Eftirfarandi texti (skáletraður) er þýðing höfundar á grunnkröfunum ;

Mannvirki í heild og einstakir hlutar þeirra skulu henta þeirri notkun sem þeim er ætluð, að teknu sérstöku tilliti til hollustu og öryggis þess fólks sem að þeim kemur allan notkunartíma mannvirkjanna. Að uppfylltu eðlilegu viðhaldi skulu mannvirki uppfylla þessar grunnkröfur til mannvirkja í hagkvæman notkunartíma.

1. Afþræðileg mótstaða og stöðugleiki

Mannvirki skulu þannig hönnuð að komið sé í veg fyrir að álag, sem líklegt er að mannvirki verði fyrir, valdi;

- a) *hruni*
- b) *verulegum formbreytingum*
- c) *skemmdum á öðrum hlutum vegna formbreytinga á burðarvirki*

2. Öryggi í eldsvoða

3. Hreinlæti, heilsa og umhverfi

Mannvirki skal þannig hannað og byggt að það muni ekki allan framkvæmdar- og notkunartíma þess ógna hreinlæti eða heilsu framkvæmdaraðila, notenda eða nágranna né hafa óeðlilega mikið álag í för með sér á gæði umhverfis eða loftslags, sérstaklega að því er varðar eftirfarandi;

- a) *mengandi lofttegundir*
- b) *efnagjöf hættulegra efna, rok gjarnra efna, gróðurhúsagasa eða hættulegra einda til inni- eða útilofts*
- c) *hættuleg geislun*
- d) *efnagjöf hættulegra efna til grunnvatns, sjávar, yfirborðsvatns eða jarðvegs*
- e) *efnagjöf hættulegra efna í drykkjarvatn eða efnagjöf sem hefur önnur óheppileg áhrif á drykkjarvatn*

⁷ Tekur við af eldri kröfum í „Construction Products Directive“ frá 1989, en breyting í grunnkröfum ekki áberandi

- f) gölluð förgun frárennslis vatns, brunaloftegunda (e. flue gas), fasts eða fljótandi sorps
- g) raki í hluta mannvirkis eða á yfirborðum mannvirkja.

4. Öryggi og aðgengi í notkun

Mannvirki skal þannig hannað og byggt að það bjóði ekki upp á óásættanlega hættu á slysum eða skemmdum í þjónustu eða notkun s.s. renna til, detta, brenna, raflost, sprengihættu eða ránum. Sérstaklega skal mannvirki hannað og byggt þannig að aðgengi og notkun sé möguleg fyrir fatlaða.

5. Varnir gegn hávaða

Mannvirki skal þannig hannað og byggt að hávaðastig sem notandi eða fólk í grennd upplifir sé haldið innan þeirra marka að það ógni ekki heilsu þeirra og geri þeim mögulegt að sofa, hvílast og vinna við ásættanlegar aðstæður.

6. Orkuhagkvæmni og orkunýting

Bygging mannvirkja og upphitun, kæling, lýsing og loftræsing skal þannig hannað og byggt að orkunotkun sé lítil þegar tekið er tillit til notenda og umhverfisaðstæðna. Mannvirki skulu jafnframt vera orkunýtin og krefjast eins lítillar orku og mögulegt er í byggingu og förgun.

7. Sjálfbær notkun náttúrulegra auðlinda

Mannvirki skulu hönnuð, byggð og fargað með það að leiðarljósi að notkun náttúrulegra auðlinda sé sjálfbær og sérstaklega skal hafa í huga;

- a) að endurnýta eða endurvinna mannvirki, efni og byggingarhluta eftir rif
- b) endingu mannvirkja
- c) notkun umhverfisvænna hráefna í mannvirkjagerð

Grunnkröfurnar varða ýmis öryggismál og heilsutengd mál að því er varðar efnagjöf og raka, aðgengi allra, varnir gegn hávaða, orkuhagkvæmni og sjálfbæra notkun náttúrulegra auðlinda. Í grunnkröfunum er hinsvegar ekki tekið á notagildi eða hagkvæmni mannvirkja, né röð af gildum sem beint varða lífsgæði eins og þau eru skilgreind í kafla hér að framan. Á slíkum málum þarf þá að taka í lögum og reglugerðum hvers lands, enda ljóst að hugmyndir manna um þessi mál geta verið mjög mismunandi og jafnvel farið eftir landsvæðum og menningu.

Í fyrstu setningu um grunnkröfurnar er sagt „skulu mannvirki uppfylla þessar grunnkröfur til mannvirkja í hagkvæman notkunartíma“, fjallað er um hagkvæman notkunartíma hér aftar í kafla 5.

Sjálfbærni bygginga

Það er óhjákvæmilegt að bygging og byggingaframkvæmd skilji eftir sig einhver spor sem erfitt verður að má út. Það er því ekki eðlilegt að tala um sjálfbærar byggingar, heldur fremur að stefna skuli að sjálfbærari byggingum og framkvæmdum. Samantekið má segja að grundvallar kvaðir til bygginga og mannvirkja almennt séu að þau uppfylli þær kröfur sem til þeirra eru gerðar með lágmarks neikvæðum áhrifum á umhverfi.

Fyrir byggingar má orða þetta þannig⁸;

⁸ Grunntóinninn í skilgreiningunni er afrakstur samtals við Svein Björberg verkfræðing hjá Multiconsult, Noregi árið 2011

Sjálfbær(ari) bygging:

Uppfylli kröfur til hagkvæmni, notagildis og frágangs háð notkunarviði og hafi sveigjanleika og aðlögunarhæfni til að mæta breyttum þörfum síðar í hagkvæman endingartíma, að teknu tilliti til viðhalds og með lágmarks neikvæðum áhrifum á umhverfi.

Tenging milli annarsvegar sjálfbærni skilgreininga; hagkvæmni, umhverfis og félagslegra þátta og hinsvegar árangurskrafna til byggingar yfir allan hagkvæman notkunartíma, gerir að verkum að skoða þarf fjölda áhrifspátta – og iðulega sem skilgreining þeirra og innbyrðis tengsl eru langt í frá augljós. Þegar skoðað er hvað er helst til umfjöllunar erlendis varðandi sjálfbærar byggingar þá sést að iðulega skiptist umfjöllun í eftirfarandi hluta (og dæmi úr tveim ritum), tafla 3.1.

Tafla 3.1 Áhersluþættir sjálfbærni tveggja höfunda fræðibóka

	Halliday, 2008	Kibert, 2008
Hvatar til sjálfbærrar þróunar	Hvatar til sjálfbærrar þróunar	
Kostnaður og hagkvæmni	Kostnaður	Hagkvæmni og kostnaður
Matskerfi og aðferðarfræði	Matskerfi og aðferðarfræði	Matskerfi (t.d. LEED, BREEAM)
Efni og efnisval	Efni og efnisval	Efnisval
Umhverfisvænar lausnir, lágmörkun kolefnisfótspors og efnagjafar til umhverfis	Umhverfisvænar lausnir – lágmörkun efnagjafar og kolefnisfótspors	Hönnun umhverfisvænna bygginga Orka og loftslag
Hönnun		
Umhverfisþættir	Umhverfisþættir	Sjálfbærni og landmótun
Sjálfbærni og landmótun		
Upphitun, hitakerfi og stýringar	Upphitun	
	Raforka og rafkerfi	
Gæði innilofts; efnagjöf og mengun, dagsbirta og lýsing	Lýsing og dagsbirta	Gæði innilofts (loftgæði, sjúkdómar, birta, lýsing, efnagjöf..)
Loftræsing og kæling	Loftræsing og kæling	
Nýting sjálfbærrar orku	Endurnýjanleg orka	
Yfirborðsvatn, úrkoma – meðferð og nýting	Vatn og frárennsli	
Frárennsli og hreinsun	Vatn og frárennsli	
		Vatnskerfi bygginga
	Uppbygging og byggingin sjálf sem ferli	Umhverfisvæn bygging Byggingarferli Verksamningar og gæðaeftirlit

Það vekur athygli að í þessari upptalningu þá er ekki með fjöldi atriða sem varða almennar og æskilegar kröfur til byggingar eins og þær eru tíundaðar í umfjöllun hér að framan.

Vottunarkerfi til að bera saman byggingar og sýna fram á hversu sjálfbærar þær teljast vera njóta vaxandi vinsælda. Hérlendis hafa verið reynd kerfin LEED (USA) og BREEAM (UK) þar sem það síðarnefnda mun vera upprunalegra. Í báðum tilvikum reynist áherslan vera að mestu leyti á umhverfisþætti og lítil eða engin áhersla á önnur mikilvæg atriði s.s. notagildi, almenna hagkvæmni, efnisnotkun eða endingu. Matskerfin eru svo þröng að þessu leyti að það er vafamál hvort hægt sé að segja byggingu vera umhverfisvæna eða sjálfbæra þrátt fyrir góða frammistöðu samkvæmt þessum kerfum.

Ýmis önnur kerfi eru til s.s. Miljöbyggnad (Svíþjóð), *Økoprofil for boliger* (Noregi) auk kerfa í Kanada, Ástralíu, Nýja-Sjálandi, Japan og Þýskalandi. DGNB⁹ kerfið frá Þýskalandi virðist standa á breiðari grundvelli, heldur en t.d. BREEAM og LEED kerfin, það tekur m.a. sterklega á atriðum eins og vistferilskostnaði og vistferilsmati sem hin skauta léttilega yfir. Jafnframt er í þessu kerfi skoðuð gildi á plássnýtni, byggingargæðum og sveigjanleika þó svo ekki verði ljóst hvernig það metur byggingar fyrir en búið er að reyna það við íslenskar aðstæður.

Í Evrópu eru tvær umhverfismerkingar fyrir vörur og þjónustu einna mest áberandi; Svanen og Ecolabel.

Svanen¹⁰ er rúmlega tuttugu ára gamalt umhverfismerki fyrir vörur og þjónustu sem skiptist í 63 flokka; alls um 6500 vörur og þar af allnokkur hús sem hafa fengið merkið. Svanurinn er langalgengasta umhverfismerkið á Norðurlöndunum¹¹.



EU-Ecolabel¹² er nýrra merki heldur en Svanurinn, og með um 17000 vörur á skrá sem skiptast á flokka, þó er aðeins hluti þeirra tengdur byggingum eða rekstri þeirra.



Framkvæmdasýsla ríkisins hefur sýnt vistvæni bygginga áhuga og gefið út ágætt rit um þau mál (Framkvæmdasýsla ríkisins, 2009). Stofnunin hefur ennfremur krafist þess undanfarin ár að í hönnun og framkvæmdum við nýbyggingar á hennar vegum sé stuðst við einhverskonar vistvottunarkerfi, og hefur BREEAM kerfið til þessa orðið fyrir valinu.

NordicBuilt - viljayfirlýsing um sjálfbæra þróun í byggðu umhverfi¹³

Norðurlöndin hafa, vegna hnattrænnar legu, náinna tengsla og félagslegrar gerðar, í flestu svipaðar grunnhugmyndir er varða velferð og ýmsar félagslegar- og tæknilegar lausnir. Þau eru jafnframt hvert

⁹ Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V., www.dgnb.de

¹⁰ <http://www.svanen.se>

¹¹ SKOÐA: Hversvegna var Svanen ekki valið sem matskerfi fyrir hús á Norðurlöndunum?

¹² <http://eu.europa.eu/environment/ecolabel>, skoðað í desember 2013

¹³ Byggt á grein í Arkitektúr (Björn Marteinson, 2012),

sjá einnig NordicBuilt; <http://www.nordicinnovation.org/nordicbuilt/>

um sig smá í samanburði við önnur þjóðríki og hafa séð sér hag í því um áratuga skeið að hafa náið samstarf í ýmsum málefnum. Menntunarstig er gott og áhersla á öruggt, gott og heilbriggt umhverfi hefur lengi vegið þungt, þetta hefur vissulega sett svip sinn á norræna byggð. Snemma á tuttugustu öldinni varð norræn byggingarlist og ýmis listhönnun eftirsóknarverð víða um heim og talin sérstakt gæðamerki. Sérstaka athygli vakti nýting birtu, tengsl við náttúru, góðar lausnir og efnisval.

Byggt umhverfi er mjög veigamikill hluti í fjárfestingum þjóðar hverju sinni og stærstur hluti þjóðarauðs vestrænna ríkja er bundinn í þessu umhverfi. Vegna framkvæmda og rekstrar þessa umhverfis fara um 40% hráefnis- og orkunotkunar í iðnríkjum og er byggingarstarfsemi því mjög mikilvæg atvinnustarfsemi. Óhjákvæmilega fylgja þessari starfsemi áhrif á umhverfi og þarf að tryggja að neikvæð áhrif séu lágmarkuð, en jafnframt að gæðin verði eftirsóknarverð fyrir ókomnar kynslóðir. Í þessu samhengi þarf sérstaklega að hafa í huga að afraksturinn, hið byggða umhverfi, hefur endingartíma sem er talinn í áratugum eða jafnvel árhundruðum.

Vegna mikilvægis hins byggða umhverfis, og þess hve vöxtur þess er hraður, þá þarf ekki að koma á óvænt að umræða um nauðsyn þess að hugsa til framtíðar hafi vaxið síðustu ár. Í byggingarstarfsemi hefur verið brugðist við þörf fyrir aukna umræðu og upplýsingagjöf með því m.a. að stofna víða frjáls samtök; Vistbyggðarráð (*e. Green Building Council*) og eru slík samtök í mörgum ríkjum bæði austan og vestan hafs og þeirra á meðal á Íslandi. Vegna öflugrar umræðu um hættu á hnattrænni hlýnun þá hefur megin áhersla í umræðunni snúist um bættu orkunýtingu, þar sem víða er orkuframleiðsla að verulegu leyti fengin með bruna ýmiskonar jarðeldsneytis með tilheyrandi kolefnismengun. Norðurlöndin lögðu snemma áherslu á vandaða einangrun bygginga og bættu orkunýtingu, og var iðulega til þess tekið á alþjóðlegum vettvangi. Á síðari árum hafa þau svo dregist afturúr þegar ofuráhersla á orkunýtingu m.a. í Þýskalandi hefur verið meira í umræðunni (s.k. „passiv hause“ umræða). Norræna ráðherranefndin taldi óheppilegt hve Norðurlöndin voru lítt áberandi að þessu leyti og að hætta væri á að gott orðspor væri að glatast, auk þess sem samkeppnisstaða norræns byggingariðnaðar væri í hættu. Nefndin ákvað því síðla árs 2010 að setja á fót átaksverkefni sem ætlað er að ýta undir orðspor norræns byggingariðnaðar á sviði sjálfbærrar þróunar, verkefni þetta hefur fengið nafnið NordicBuilt.

Snemma árs 2012 var haldinn fundur með fulltrúum ýmissa hagsmunaaðila; hönnuðum, byggingarfyrirtækjum, framleiðendum og opinberum aðilum, og í kjölfarið sett saman ritnefnd til að vinna úr þeim hugmyndum sem fram komu á fundinum. Niðurstaðan liggur fyrir sem viljayfirlýsing um sjálfbæra þróun í byggingariðnaði.

Viljayfirlýsingin samanstendur af tíu tölusettum liðum, og meðfylgjandi skýringartexta, sem er ætlað að marka stefnu fyrir norrænan byggingariðnað. Áhersluatriðin, með stuttum skýringum, eru eftirfarandi (í þýðingu höfundar):

1. Fyrir fólk og stuðlar að lífsgæðum (hollusta, öryggi og umhverfi sem stuðlar að heilbrigðum lífsháttum)
2. Eykur árangur í sjálfbærri viðleitni, byggt á nýsköpun og mikilli þekkingu (áhersla á menntun og fræðslu)
3. Tengir borgarlíf og náttúrugæði (sjónræn tengsl, dagsbirta og fjölbreytni)

4. Markmið um núlllosun reiknað yfir allan vistferilinn (mengun, kolefnisfótspor og bætt orkunýting)
5. Árangursmiðað og fagurfræðilega áhugavert, byggir á því besta í norrænni hönnunarhefð.
6. Traust, endingargott, sveigjanlegt í notkun og sígilt – byggt til að endast
7. Nýtir staðbundnar auðlindir og aðlagað að staðbundnum aðstæðum (mikilvægi þess að taka tillit til aðstæðna hverju sinni)
8. Framleitt og viðhaldið í góðri samvinnu yfir landfræðileg mörk og hópa (mikilvægi samvinnu og yfirfærslu á lausnum milli hópa og landa)
9. Skilgreiningar sem gilda óháð umfangi og eru vel þekktar (lausnir sem treysta markaðsstöðu og útflutning)
10. Til hagsbóta fyrir fólk, fyrirtæki og umhverfi

Viljayfirlýsingin sýnir þá breidd og áherslur sem vænta má að séu nauðsynlegar svo raunverulegur árangur náist í sjálfbærri þróun í byggðu umhverfi, og er að því best er vitað heilstæðasti listi yfir áherslusvið fyrir sjálfbærni í byggðu umhverfi sem hefur verið settur fram. Listinn nær samt ekki yfir alla þá þætti sem voru listaðir í kafla 1. hér að framan.

Tenging milli annarsvegar sjálfbærni skilgreininga; hagkvæmni, umhverfi og félagslegra átta og hinsvegar árangurskrafna til byggingar yfir allan hagkvæman notkunartíma, gerir að verkum að skoða þarf fjölda áhrifspátta – og iðulega sem skilgreining þeirra og innbyrðis tengsl eru langt í frá augljós. Aukin áhersla á sjálfbærni eykur kröfur á hönnuði og byggingariðnaðinn. Þessar nýju áherslur mega samt ekki verða til þess að draga úr áherslum á þær grunnþarfir sem hús þarf að uppfylla. Það er nefnilega langt í frá sjálfsagt að þeim kröfum hafi verið gerð nægjanlega góð skil í mörgum þeirra bygginga sem þegar standa.

4. Byggingariðnaður-viðfangsefni og gæði

Húsbygging; einstakt, nokkuð flókið verkefni þar sem margir koma að verki

Hús eru samsett og talsvert flókin fyrirbæri; þau eru samsett úr vörum þar sem framboðið er talið í tugum þúsunda tegunda (hérlandis að langmestu innfluttar), algengast er að hvert hús sé sérhannað og byggt. Hús hafa því sín sérkenni, einstaka staðsetningu og notendur sem einnig geta verið mjög mismunandi frá einu húsi til annars.

Að byggingu húss koma hönnuðir á mismunandi fagsviðum; s.s. útlitshönnun og fyrirkomulag, þolhönnun, lagnir og byggingartækni. Hvert hönnunarsviðanna er iðulega sérsvið og því fjöldi mismunandi hönnuða sem hver um sig sér verkefnið út frá eigin þekkingarsviði. Í framkvæmd er fjölbreytnin jafnvel enn meiri; fagsvið iðnaðarmanna eru alls átta talsins, þó svo vægi þeirra í framkvæmdum sé talsvert mismunandi eftir eðli framkvæmda. Þar sem sérsviðin eru svo mörg þá aukast líkurnar á því í minni framkvæmdum að eitthver atriði fái meiri athygli á kostnað annarra; s.s. að atriði er varða öryggi eða skýr krafa er gerð til í reglugerðum taka yfirhöndina (þolhönnun, hönnun brunavarna..). Það sýnir sig jafnt hérlandis sem erlendis að í þessari stöðu skiptir miklu ef hægt er að vísa til staðlaðra lausna (hönnunargögn, verklýsingar og tilbúna lausnir), sem reynsla er komin af þannig að ekki þurfi að frumhanna alla þætti. Á litlum markaði þar sem umhverfisaðstæður eru iðulega fjölbreyttar og erfiðar, og efnisframboð byggir á innflutningi hvaðanæva úr heiminum, þá byggist slíkur reynslubanki seinna upp heldur en annars væri og skortur á honum ennþá bagalegri heldur en á stærri markaði.

Gæði í byggingariðnaði

Mannvirkjagerð samanstendur af miklum fjölda verka þar sem efnisval og aðferðir getur verið afar fjölbreytilegt. Upphafleg ákvörðun um gerð og tilhögun ræður miklu um endanlegan kostnað. Undirbúningur, hönnun, raunveruleg efnisgæði og loks framkvæmd munu ráða því hver verða upphafsgæði mannvirkis. Bein tengsl eru á milli upphafsgæða og síðari rekstrar og viðhaldskostnaðar, en almennum húsbyggjanda er þetta iðulega ekki ljóst sem skildi.

Til þess að lýsa mannvirki á einhlítan hátt er því nauðsynlegt að hafa mjög ýtarleg gögn, án slíkra gagna er bæði erfitt að tryggja tilætluð gæði og áætla byggingarkostnað fyrirfram. Lélegur undirbúningur eða skortur á hönnunargögnum verður til þess að;

- erfitt er í upphafi verks að sjá hvað verkið felur í sér
- illgerlegt er að áætla byggingarkostnað öðru vísi en með hliðsjón af mjög almennum viðmiðum s.s. fermetraverði
- viðmiðun vantar til að lýsa gæðum sem óskað er eftir varðandi efniskaup og frágang
- eftirlit verður illframkvæmanlegt nema í náinni samvinnu við verkkaupa frá degi til dags
- þegar svigrúm er til að velja milli efna og aðferða, þá er ódýrari valkosturinn almennt valinn umfram dýrari, og endanleg gæði verða rýrari

Í öllum stærri verkum er því reynt að vanda allan undirbúning og hönnun, enda er slíkt nauðsynlegt ef bjóða á verk út. Lítil verk bera hinsvegar illa þann kostnað sem tengist ýtarlegum hönnunargögnum sem eru nauðsynleg til útboðs og því almennt valið að semja við framkvæmdaaðila án slíkra gagna (Valdimar K. Jónsson et al, 1998).

Afrakstur byggingariðnaðar er vara, almennt bygging eða annað mannvirki, og því er mikilvægt að kaupandi og seljandi hafi skýra hugmynd um tilætluð gæði og þarfir. Þessari hugmynd þurfa þeir svo að geta gert skýra grein fyrir þegar semja skal um kaup á vöru eða þjónustu. Það fer ekki á milli mála að byggt umhverfi, og þá ekki síst byggingar, hafa feykileg áhrif á lífsgæði einstaklinga; hvort sem litið er til heilsu-, örvunar- eða efnahagslega tengdra þátta. Þetta er það umhverfi þar sem nútímamaðurinn eyðir stærstum hluta lífs síns, og sem mótar hann frá blautu barnsbeini. Fjárfesting í byggðu umhverfi er gerð til áratuga eða jafnvel árhundraða fram í tímann; fjárfesting sem setur kvaðir bæði til góðs og ills á möguleg lífsgæði ókominna kynslóða en getur létt þeim byrðarnar ef vel er að verki staðið. Það ætti því að skipta höfuðmáli að vanda sem best til hins byggða umhverfis. Þar sem flækjustig vörunnar er iðulega fremur hátt, og mat á gæðum sérlega einstaklingsbundið þá flækist gæðahugtakið enn frekar. Í reynd er það svo að þótt veðurhjúpur í einhverri mynd sé ein af grunnþörfum lífs á norðurhvara, og fjárfesting og rekstrarkostnaður tengt þessari lífþörf sé um fjórðungur af ráðstöfunarfé meðalfjölskyldunnar (sjá kafla 6), þá eru bæði þarfagreiningar og gæðalýsingar á þessu sviði furðu óburðugar.

Nýrri Byggingarreglugerð (Byggingarreglugerð 112/2012) er skipt í sautján hluta eins og sýnt er í töflu 4.1, það er þó áberandi að vægi einstakra kafla er mjög mismikið eins og sést á umfangi hvers um sig. Í reglugerðinni er m.a. að finna kröfur um ábyrgð mismunandi aðila, ýmsar kröfur er varða öryggismál, aðkomu og innri rými í byggingum, og einföldustu hollustukröfur; s.s. er varða lágmarksloftræsingu. Í reynd má segja að kröfurnar eru settar fram svo hönnuðir viti hvaða lágmarksákvæði skuli uppfyllt, án þess að endilega sé trygging fyrir því að gæði húss verði ásættanleg. Reglugerðir eru í vaxandi mæli settar fram sem efnalýsingar (*e. performance requirements*) en ekki kröfulýsingar (*e. descriptive requirements*), og þá verða gæðalýsingar og gæðaflokkar enn mikilvægari en áður.

Skortur á gæðalýsingum og almennt gæðaviðmiðum sem undirstöðu að gæðasamanburði sést strax þegar þarfa- og kröfulýsingar Byggingareglugerðar eru skoðaðar, og er þó núverandi reglugerð ýtarlegri heldur en eldri reglugerðir að þessu leyti.

Tafla 4.1 Yfirlit yfir kaflaskiptingu Byggingarreglugerðar 112/2012

Hluti nr	fj. bls.	Kaflaheiti	Viðfangsefni
1	5	Almenn ákvæði	Markmið og skilgreiningar
2	10	Stjórn mannvirkjamála	Byggingarleyfi, ábyrgð opinberra aðila og eiganda mannvirkis
3	9	Faggilding, eftirlit og úttektir	Starfsleyfi, framkvæmd eftirlits og úttekta
4	15	Hönnuðir, byggingastjórar og iðnmeistarar	Ábyrgð og hlutverk aðila, hönnunargögn og gæðakerfi, kröfur til aðstöðu á byggingarstað
5	2	Byggingarvörur	Sannprófun eiginleika
6	24	Aðkoma, umferðarleiðir og innri rými mannvirkja	Þarfa- og kröfulýsing varðandi öryggi, aðkomu og innra fyrirkomulag
7	3	Útisvæði við mannvirki	Lóð, leiksvæði, girðing og gróður
8	9	Burðarþol og stöðugleiki	Festingar, styrkur og stífleiki byggingarhluta, sérkröfur til

9	32	Varnir gegn eldsvoða	byggingarefna; stál og ál, timbur og gler, sement og steinsteypa Notkunarflokkar, hönnun, brunahólfun Öryggisbúnaður, rýmingarleiðir, varnir gegn útbreiðslu elds, aðkoma slökkviliðs
10	8	Hollusta, heilsa og umhverfi	Loftgæði, loftræsing, innivist, birta og lýsing, raki, mengun, þrif
11	1,5	Hljóðvist	Varnir gegn hávaða
12	6	Öryggi við notkun	
13	xx	Orkusparnaður og hitaeinangrun	Einangrunarkröfur, raka og vindvarnir, loftþéttleiki
14	10	Lagnir og tæknibúnaður	
15	2	Mengun frá mannvirkjum og meðhöndlun byggingar- og niðurrifsúrgangs	
16	0,5	Rekstur, viðhald og notkun-handbækur	Handbók mannvirkis
17	1	Ýmis ákvæði	Gildistaka og ákvæði til bráðabirgða

Gæðalýsingar efna og byggingarluta;

Mat á gæðum getur verið mjög persónuháð og þegar til viðbótar kemur allur sá fjöldi mismunandi atriða sem ein bygging samanstendur af þá getur áhersla á einstök atriði verið mjög mismunandi milli aðila. Það er því mikilvægt að um mælanlegar stærðir sé að ræða, eða öðrum kosti að matslykill sé skilgreindur fyrirfram. Það er ennfremur nauðsynlegt að efnis- og efnalýsing fyrir verk sé svo ítarleg að með eftirliti sé hægt að ganga úr skugga um að hún sé uppfyllt.

Það eru ekki til neinar lýsingar eða samanburður á gæðum mismunandi frágangs eða efnisgerða héraðs, og erfitt að yfirfæra erlendar upplýsingar ef þær þá eru fyrir hendi. Í erlendum upplýsingum er stundum verið að taka mið af annarri notkun efna, eða öðrum aðstæðum, heldur en við eigum að venjast og þarf að varast að oftúlka ekki upplýsingar framleiðenda. Í Byggingareglugerð (gr. 1.1.1) kemur fram að stuðla skuli að endingu og hagkvæmni mannvirkja, sem þá gerir ráð fyrir að viðhaldsþörf og heildarkostnaðar skuli metið, en ekki er til neinn leiðbeinandi texti um hvernig þetta skuli gert - það er ekki einu sinni skilgreint héraðs yfir hversu langt tímabil skuli reikna heildarkostnað. Það er þannig fjöldi atriða sem munu ráða gæðum byggingar sem er látið í hendur verkkaupa og ráðgjafa hans, ef hann skilgreinir ekki hvað hann vill þá ræðst árangurinn alfarið af því hvað framkvæmdaraðilinn velur að gera. Í þessu liggur meginvandamál byggingariðnaðar; það er erfitt að skilgreina gæði fyrir einstaka byggingarluta eða byggingu þegar almennar aðgengilegar lýsingar skortir, þetta krefst einfaldlega of mikillar vinnu og þekkingar svo lítill verkkaupi ráði við að leysa það. Varðandi gæði í framkvæmd var áður iðulega sagt „vinnist í samræmi við góða verkætli“, þ.e. óbein viðtekin gæðalýsing, en hugtakið virðist nú ekki hafa neina merkingu lengur.

Til þess að ná fram hagkvæmni og auknum gæðum í mannvirkjagerð, og síðar rekstri þeirra og viðhaldi, þá er nauðsynlegt að auka skilning væntanlegra byggjenda á samspili upphafsgæða og heildarkostnaðar. Í þessum tilgangi þarf að efla almenna upplýsingagjöf og útbúa hjálpargögn fyrir aðila byggingarmarkaðarins, Valdimar K. Jónsson et al, 1998;

- skýra hvað felst í orðinu gæði þegar mannvirki eiga í hlut, m.a. útfrá endingu og heildarkostnaði
- skýra í hverju byggingarkostnaður felst
- gera grein fyrir því hvað felst í eðlilegum rekstri og viðhaldi, og hvaða kostnaðar megi vænta af slíku. Skýra hver eru áhrif upphafsgæða á heildarkostnað vegna byggingar, rekstrar og viðhalds
- útbúa viðmiðunarkröfur og lýsingar fyrir gæði efna og byggingarhluta sem auðvelda gerð verklýsinga og samninga

Gallar og gæðaeftirlit

Víða erlendis er talið að óþarfa umframkostnaður í byggingariðnaði nemi 10-15% af heildarkostnaði, í Noregi er skiptingin sögð eftirfarandi, tafla 4.2;

Tafla 4.2 Áætlaður umframkostnaður í norskum byggingariðnaði (heimild: Sjøholt, 1995)

Ástæða umframkostnaðar	Hlutfall af heildarkostnaði (%)
Gallar sem gert er við á ábyrgðartíma	5
Rangt viðhald	2
Frábrigði í framleiðsluferlinu	5
Sóun í framleiðsluferlinu	5

Í norskri úttekt kemur fram að galla í mannvirkjum megi rekja að stórum hluta til lélegs undirbúnings verkkaupa (40%), hönnunar (20%), framkvæmdar (30%) og loks efnisgæða (10%), sbr. Guðmundur Sæmundsson (1996).

Í meistararitgerð í verkfræði frá Háskólanum í Reykjavík (Sigurður Rúnar Birgisson, 2013) kemur fram að árlegur kostnaður sem er talinn tengjast byggingargöllum í nýbyggingum, er umtalsverður. Tilkynntur kostnaður af slíku til tryggingafélaga nemur að jafnaði nokkur hundruð milljónum á ári, en aðeins hluti þess kostnaðar telst bótaskyldur. Vænta má þess að heildarkostnaður vegna byggingargalla geti verið talsvert hærri en sem nemur þessari upphæð. Ástæður langflestra gallanna má rekja til ófullnægjandi vinnubragða á verkstað eða allt að 79 % allra galla, ófullnægjandi hönnun er talin orsök 6% galla en afganginn má rekja til fjölda annarra þátta.

Í ræðu og riti er hérlendis iðulega talað um mikilvægi (eða tilgangsleysi) gæðaeftirlits í byggingariðnaði (Nefnd um Gæðamál í byggingariðnaði, 1998, Magnús Jóhannesson, 2007, Ríkharður Kristjánsson, 2010 og ofan nefnd meistararitgerð) og vissulega er mikilvægt að tryggja að verk sé unnið af heilindum og í takt við hönnunargögn. Vandamálið felst þó kannski ekki síður í því að hönnunargögn og verklýsingar lýsa verki sjaldan á einhlítan hátt, og þá er erfitt að tryggja með verkeftirliti að gæðin verði eins og kaupandi vill að þau séu.

5. Gæði, notagildi, efnisnotkun, ending og viðhaldspörf

Hús er hannað og byggt til einhverra fjórsjónlegra nota við meira eða minna þekktar aðstæður. Grunnur að hönnun er þá þarfagreining og gæðalýsing, og húsið þarf að uppfylla lágmarkskröfur reglugerða. Samkvæmt byggingavörureglugerðinni- umfjöllun í kafla 3- er ætlast til að bygging uppfylli lágmarkskröfurnar í hagkvæman notkunartíma, og í ýmsum gögnum Evrópusambandsins má síðan finna ábendingar um hver ætluð hönnunarending (e. *assumed service life*) skuli vera, tafla 5.1.

Tafla 5.1 Hönnunarending bygginga og byggingarluta (EOTA, 1999)

Ætluð ending bygginga (ár)		Ætluð ending vöru (sem viðmiðun í greiningum og leiðbeiningum ETAG's, ETA's ¹⁴)		
Flokkur	Ár	Hægt að viðhalda eða auðvelt að endurnýja ¹⁾	Hægt að viðhalda eða endurnýja með meiri tilkostnaði	þarf að endast byggingu ²⁾
Stutt	10	10	10	10
Meðal	25	10	25	25
Algeng	50	10	25	50
Löng	100	10	25	100

Skýringar

¹ Í sértílikum má fyrir viss viðgerðarefni miða við 3-6 ár

² Þegar vara getur ekki talist „auðvelt að endurnýja“ eða „endurnýja með meiri tilkostnaði“

Strax og húsið er komið í rekstur geta þessar forsendur verið farnar að breytast og húsið sjálft að eldast. Notagildi og ástand hússins breytist, það þarf að sinna viðhaldi til að húsið haldi æskilegum gæðum og hugsanlega einnig að gera á því breytingar til að aðlaga það nýjum þörfum. Aðstæður sem upp koma skiptast í þrjá megin flokka;

Tæknilegar;

efniseiginleikar breytast, efni hrörna
kröfur til búnaðar eða öryggis breytast

Hagrænar

verðmat breytist t.d. vegna þróunar byggðar eða skipulagsákvæða
viðhald orðið óheppilega umfangsmikið eða dýrt í samanburði við aðra valkosti

Félagslegar

óskir um endurnýjun vegna útlits eða tískusveiflna
óskir um flutning vegna breytinga á eðli umhverfis (öryggi, þjóðfélagsmátt, hávaði, mengun..)

Viðhaldi og endurnýjun er iðulega skipt í fjórsjónlegra og ófjórðulegra þætti, en eins og rakið verður hér aftar þá eru það einkum tæknilegar ástæður sem geta talist fjórsjónlegar, hagrænar- og félagslegar ástæður eru síður fjórðulegar og kannski alls ekki ef litið er til langs tíma. Ýmis óvænt atvik, s.s. brotin

¹⁴ EETAs European Technical Assessments (on performance of construction products)
ETAGs European Technical Approval Guidelines (used for issuing ETAs)

rúða eða náttúruhamfarir, eru einnig ófyrirséð í þessari merkingu þó svo útfrá reynslu megi meta líkur á slíkum atvikum.

Hönnun með tilliti til endingar felst í því að hanna byggingu þannig að með eðlilegu viðhaldi sé hægt að nota byggingu á hagkvæman máta út ætlaðan endingartíma, þó eingöngu að teknu tilliti til fyrirsjáanlegra áhrifa.

Mat eiganda á aðstæðum og ástæður viðhaldsþarfar eða endurnýjunar hverju sinni ræður því hvaða leið hann velur; viðhalda eign, selja, eða rífa og byggja að nýju?

Viðhalds- og endurnýjunarþörf

Áætluð raunending er háð fjölda þátta sem alls ekki er auðvelt að meta; auk þess sem mismunandi þættir geta verið ráðandi:

Nýting og hagkvæmni

- fasteignin þarf að vera nýtanleg og hafa áhugavert markaðsvirði

Félagslegir

- áhugi eiganda á að viðhalda byggingarluta í stað þess að endurnýja (tískusveiflur..)

Efnislegir

- upphafsgæði
- hrörnun (m.a. áhrif upphafsgæða, umhverfisáráunar og viðhalds)
- væntingar (gæðakröfur)

Viðhald viðheldur a.m.k. í einhverjum mæli verðmæti eignar, en augljóslega hefur markaðsvirði eignarinnar áhrif á fjárfestingarvilja í viðhaldi. Einnig þarf að taka tillit til hversu vel eignin uppfyllir þarfir, nú og síðar, þar sem þetta mun hafa áhrif á markaðsvirðið (og þar með fjárfestingarvilja í eigninni).

Viðhalds- eða endurnýjunarþörf kemur til þegar draga þarf úr hrörnun eða uppfæra hluti svo gæðakröfur séu uppfylltar, undirbúningur og hönnun er því mismunandi eftir því hvaða ástæða liggur að baki þörfinni.

Tæknilegar ástæður

Öll efni og byggingarhlutar hafa í upphafi einhverja eiginleika sem, væntanlega, eru meiri heldur en þau lágmarksgæði sem kaupandi sættir sig við. Með tímanum hrörnir varan og almennt þá rýrna gæði hennar. Þegar gæði vöru eru orðin minni heldur en gæðakröfur eigandans segja til um þá er endingartímanum lokið og nauðsynlegt að skipta vörunni út. Ef hægt er að viðhalda efninu (eða byggingarhlutanum) þá má þannig lengja notkunartíma vörunnar. Það reynist oft mjög erfitt að prófa endingareiginleika efna þar sem þeir eru háðir svo mörgum þáttum eins og hér skal rakið lauslega. Ááætlanir varðandi endingu og viðhaldsþörf er því oft byggð á reynslu.

Í staðlinum ISO 15686 er fjallað um hrörnun efna og mat á tæknilegri endingu. Aðferðarfræði staðalsins byggir á þeirri hugmynd að útfrá þekktum viðmiðunaraðstæðum, þekktum mismun á áraun milli viðmiðunaraðstæðna og hönnunaraðstæðna þá megi áætla endingu. Aðferðarfræðina má hugsanlega útvíkka til að leggja einnig mat á viðhaldþörf (Marteinsson, B. 2002 og 2005).

Almennt má gera ráð fyrir að ending efna og byggingarluta sé háð þrem megin forsendum;

- upphafsgæðum; einkum efnisgæðum, hönnun og framkvæmd á verktíma (þar með aðstæðum)
- áraun; innri og ytri aðstæðum, veðurfari og kraftáraun
- reglubundnu viðhaldi; háð staðsetningu (áraun), upphafsgæðum og kröfum

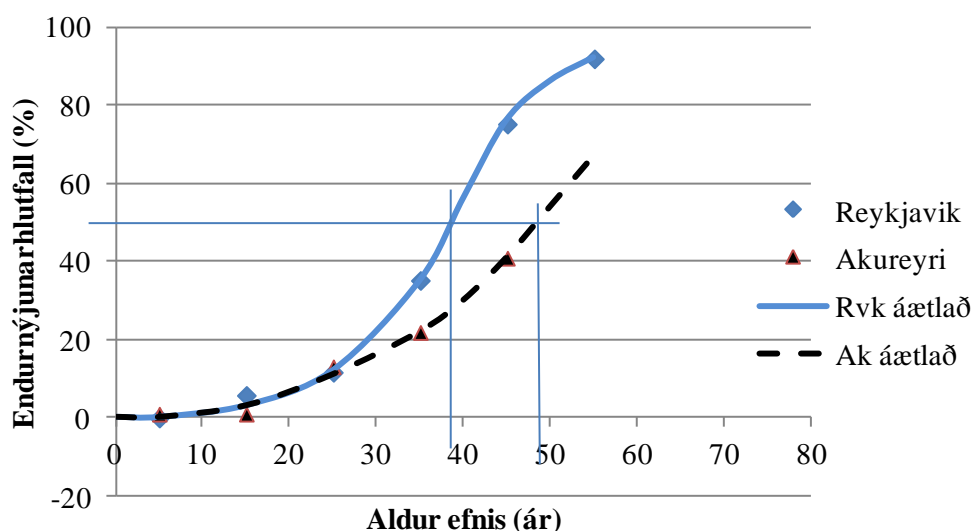
Í staðlinum er sett fram tilgáta, sem í nokkuð umskrifuðu formi er eins og jafna 5.1 sýnir;

$$ESL=RSL*f(ug, ar,vh) \quad (5.1)$$

þar sem ESL áætluð ending (*e. estimated service life*), ár
RSL þekkt viðmiðunarending (*e. reference service life*), ár
f(ug, ar, vh) fall sem tekur mið af mismun í viðmiðunartilviki og hönnunartilviki
ug áhrif vegna mismunandi upphafsgæða
ar áhrif vegna mismunandi áraunar
vh áhrif vegna mismunandi viðhalds

Í reynd stendur og fellur aðferðin með gæðum upplýsinga varðandi viðmiðunartilfellið, samanburður sem sýnir sig að vera örðugur í framkvæmd.

Höfundur þessa rits hefur í tvígang staðið að söfnun upplýsinga til að leggja mat á endingu og viðhaldspörf. Í fyrri könnuninni sem gerð var 1995 á húsum í Reykjavík þá var lagt á mat á endingu ýmissa efna (Benedikt Jónsson og Björn Marteinsson, 1999) og upplýsingar þaðan síðar notaðar til að skoða aðferðarfræði ofangreinds staðals. Í síðari spurningakönnun til húseigenda á árunum 2005-2006 var safnað upplýsingum annarsvegar á Akureyri og hinsvegar í Reykjavík. Úrtakið var valið þannig að minnst 10 svör fengjust frá eigendum húsa frá hverju tíu ára tímabili frá 1950 og fram til 2000 frá hvorum stað, liðlega 100 svör bárust frá Reykjavík og rétt tæplega 150 frá Akureyri (Marteinsson, B., 2008 og 2011). Út frá þessum upplýsingum hefur reynst mögulegt að vinna mjög áhugaverðar upplýsingar um m.a. endingu málmklæðninga á þökum húsanna.



Mynd 5.1 Málmklæðningar á þökum; Endurnýjunartíðni eftir aldri efna í Reykjavík og á Akureyri

Þegar borin er saman meðalending málmklæðninga á þökum í annarsvegar Reykjavík og hinsvegar á Akureyri þá fæst niðurstaða eins og mynd 5.1 sýnir (Björn Marteinsson, 2011).

Í Reykjavík er meðalending um 38 ár en á Akureyri er hún 48 ár. Það er áberandi munur í ýmsum umhverfisbreytum á þessum tveim stöðum, en megin ástæður mismunandi endingar eru taldar vera munur í vætutíma og saltmagni í lofti (vegna vinds af hafi).

Hafa þarf í huga að áraun getur verið mjög staðbundin og að oft eru samsetningar veikri hlekkurinn. Notkunartími efnis getur því verið mismunandi eftir staðsetningu innan sömu byggingar, og alls ekki víst að skipt sé um t.d. alla glugga á sama tíma. Í reynd er notkunartími vöru ekki endilega það sem er alltaf áhugaverðast heldur fremur hversu mikið viðhald þarf til að ná þeim endingartíma, sjá töflu í viðauka 8.

Upplýsingar um endingu byggingarefna og byggingarhluta héraendis eru af skornum skammti. Meðfylgjandi tafla sýnir viðmið fyrir meðalendingu, en tölurnar byggja á reynslu af íbúðarhúsnæði sem er viðhaldið á venjulegan hátt (og venjulegt umfang).

Tafla 5.2 Ending byggingarefna í Reykjavík; algeng- og ytri mörk

	Ending (ár)	
	Algeng	Sértilvik
Galvanhúðaðar klæðningar - þök		
.. klæðningarefni	35-45	15 – 100 +
.. yfirborðsmeðhöndlun verksmiðjuhúð	10-15	5 – 20
.. yfirborðsmeðhöndlun málað á staðnum	10	8-15
Galvanhúðaðar klæðningar - veggir		
.. klæðningarefni	45-55	25-100+
Timburgluggar (norrænn barrviður)	35-40	4-80+
Málning á timburglugga	2-4	1-8
Steypt veggyfirborð	>60	15-100+

Af töflu 5.2 (og viðauka 8) sést að þungu viðhalds- og endurbótaaðgerðirnar koma ekki inn fyrir en eftir 25-30 ára notkunartíma byggingar og margar þeirra eru því aðeins gerðar einu sinni á 50 ára viðmiðunartímabili.

Byggingavörureglugerðin gerir beinlínis ráð fyrir að með viðhaldi megi tryggja að bygging haldi nægjanlegum tæknilegum gæðum til að uppfylla grunnkröfurnar (sjá kafla 3). Það er því alls ekki sjálfgefið að afskrifa beri hús í takt við aldur þess (sjá aftar í kaflanum). Það er hinsvegar mikilvægt að sjá til þess að viðhald sé viðráðanlegt í framkvæmd og að skipta megi út efnum þegar það er talið fýsilegra heldur en að halda viðhaldi þeirra áfram. Í þessu skyni verður að forðast að byggja endingarstutt efni inn í endingarlengri, t.d. er óheppilegt að hafa skólprárennslisrör með stutta endingu (steypt rör endast að jafnaði í 30-60 ár) undir botnplötu húsa þar sem platan á helst að endast bygginguna.

Hagrænar ástæður

Sú staða getur komið upp að húseigandi sé ekki tilbúinn til að halda óbreyttum rekstri áfram; það hentar betur að breyta til;

- of mikið fé bundið í eign eða hún of dýr í rekstri (samtala fjármagns- og rekstrarkostnaðar)
- breyting í verðmati eignar getur orðið af ýmsum sökum; hvort sem eign hefur rýrnað svo í verði að það borgar sig ekki að viðhalda henni eða eignin eða hluti hennar (t.d. lóðaverð) hækkað svo í verði að eigandi vill endurskipuleggja eignasafn sitt þá er eðlilegt að endurskoða stöðuna
- þegar viðhaldskostnaður eða umstang sem af því leiðir er orðið óhagstætt í samanburði við aðra valkosti, þá er rökrétt að endurskoða stöðuna

Félagslegar ástæður

Breytingar í þjóðfélaginu eða hjá húseiganda valda því að þarfir breytast, dæmi um þetta eru einkum af þrennum toga;

- skipulagsbreytingar hverfis hafa áhrif á nýtingarmöguleika eignar
- umhverfið ekki lengur aðlaðandi eða styðjandi fyrir nýtingu eignar
- tískusveiflur sem hafa áhrif á val innréttinga og frágang

Sveigjanleiki og aðlögunarhæfni

Ef bygging úreldist þar sem ekki er hægt að aðlaga hana breyttum þörfum, þá gæti hagkvæmur endingartími orðið styttri heldur en tæknilegar forsendur gæfu annars tilefni til. Í hönnun er eðlilegt að tryggja nægan sveigjanleika og aðlögunarhæfni byggingar svo lágmarka megi þessa áhættu.

Í áðurnefndri könnun (Reykjavík og Akureyri) var leitað eftir því hversu vel íbúðarbyggingar uppfylltu þarfir notenda; húseigendur voru beðnir um að gefa eignum sínum einkunn fyrir annarsvegar innra fyrirkomulag og hinsvegar ytra umhverfi. Einkunnaskalinn var settur frá 0= lélegt og upp í 5= mjög gott, og eru niðurstöður sýndar í töflu 5.3, flokkað eftir byggingarári.

Tafla 5.3 Ánægja íbúa með innra fyrirkomulag og ytri aðstæður íbúðarhúsa

Tímabil	Alls fj. svára	Endurbætur (%)		Ánægja inni (%)					Ánægja úti (%)				
		gerðar	gerðar eða fyrirhugaðar	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<u>Reykjavík</u>													
1950-59	10	70,0	90,0	0,0	0,0	30,0	10,0	60,0	0,0	0,0	30,0	30,0	40,0
1960-69	32	46,9	68,8	3,2	0,0	16,1	38,7	41,9	3,2	6,5	19,4	29,0	41,9
1970-79	20	40,0	55,0	0,0	0,0	15,8	36,8	47,4	0,0	5,3	10,5	42,1	42,1
1980-89	21	23,8	47,6	0,0	0,0	23,8	23,8	52,4	0,0	0,0	9,5	33,3	57,1
1990-99	17	11,8	23,5	0,0	0,0	5,9	70,6	23,5	0,0	0,0	17,6	35,3	47,1
2000-	10	10,0	20,0	0,0	10,0	0,0	20,0	70,0	0,0	0,0	20,0	30,0	50,0
Alls	110												
<u>Akureyri</u>													
1950-59	12	66,7	91,7	0,0	0,0	33,3	33,3	33,3	0,0	0,0	16,7	66,7	16,7
1960-69	34	61,8	73,5	0,0	0,0	11,8	64,7	23,5	0,0	0,0	11,8	67,6	20,6
1970-79	28	39,3	53,6	0,0	0,0	10,7	57,1	32,1	0,0	7,1	7,1	53,6	32,1
1980-89	23	26,1	39,1	0,0	0,0	17,4	47,8	34,8	4,3	4,3	17,4	34,8	39,1
1990-99	27	22,2	33,3	0,0	3,7	7,4	40,7	48,1	0,0	7,4	11,1	29,6	51,9
2000-	24	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0	33,3	66,7	0,0	0,0	4,2	37,5	58,3
Alls	148												

Eigendur voru spurðir um umfang breytinga (aðlögunar) sem hefðu farið fram á eignunum, og kom þá í ljós að í stórum hluta eldri eignanna höfðu verið gerðar eða voru fyrirhugaðar breytingar. Algengast var að innveggir höfðu verið fjarlægðir í einhverjum mæli og/eða að byggðar höfðu verið sólstofur. Það er ennfremur áberandi að langstærstur hluti húseignenda í öllum aldursflokkum bygginga er ýmist ánægður eða mjög ánægður með eignirnar, meðaleinkunn liggur þó aðeins hærra í Reykjavík heldur en á Akureyri.

Niðurstöður könnunarinnar benda eindregið til þess að jafnvel 50 ára eignir, með oft smávægilegum breytingum, hafi fullt notagildi fyrir eigendur og úrelding af þeim sökum því sennilega fátíð. Það er hinsvegar ástæða til benda á að eldri eignirnar standa flestar rúmt í bæjarmyndinni þannig að aðlögun utandyra er auðveldari heldur en þegar minni lóðir eiga í hlut. Jafnframt eru eldri húsín byggð þegar fjölskyldustærð var áberandi meiri en nú er og því minna gólfpláss þá á einstakling (sjá línurit 6.7) heldur en nú gerist- hluti aðlögunar kann að koma með þessari rýmisaukningu. Það er með öðrum orðum alls ekki augljóst að eldri jafnt sem nýlegri eignir eigi eftir að sýna svipaða aðlögunarhæfni í framtíðinni eins og þær eldri hafa sýnt sig að hafa til þessa.

Ástandsmat og áætlun viðhaldsþarfar

Þegar gert er ástandsmat og viðhaldsáætlun fyrir byggingu er eðlilegt að taka afstöðu til þriggja möguleika;

- Viðhalda byggingu eða jafnvel endurbæta hana
- Selja byggingu þar sem hún hentar ekki notkunarviðinu sem henni er ætlað eða tilkostnaður vegna hennar er meiri heldur en ávinningurinn af því að eiga hana.
- Rífa og byggja nýtt.

Hagkvæmur notkunartími er því breytilegur eftir aðstæðum.

Algengt dæmi um fyrsta atriðið er þegar val stendur á milli þess að viðhalda steiptum útvegg eða taka ákvörðun um að endurnýja yfirborð með t.d. klæðningu. Mismunandi aðilar geta metið stöðuna gerólíkt; einstaklingur velur hugsanlega að halda stöðugu viðhaldinu áfram og spara sér vaxtakostnað af fjárfestingu í endurnýjun, fyrirtæki velur kannski að taka endurnýjunarkostnaðinum og fá í staðinn frið frá stöðugum erli vegna viðhalds.

Aldursdreifing, viðhaldsþörf og brottfall

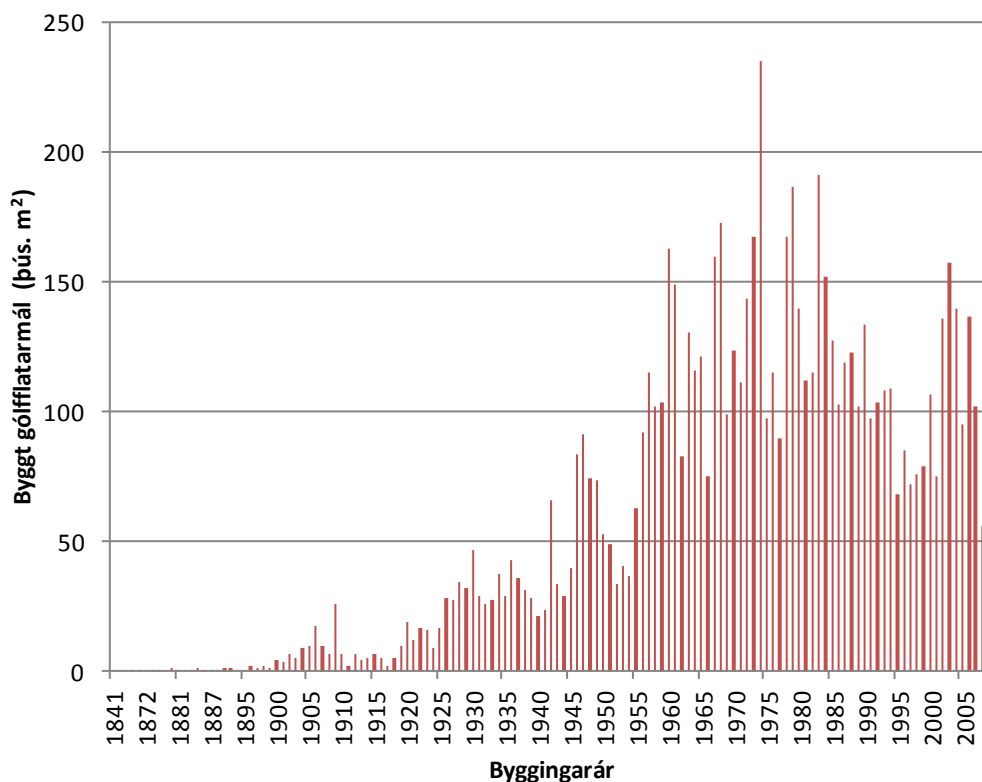
Í verkefninu reyndist áhugavert að skoða magn og aldersdreifingu bygginga í Reykjavík og jafnframt að fá mat á árlegt brottfall bygginga eftir því sem hægt væri. Þessar upplýsingar fengust hjá Fasteignaskrá árið 2010. Upplýsingar sem hér eru birtar um magn og dreifingu byggingarmassans í Reykjavík eru unnar úr þessum upplýsingum. Í úrvinnslu sáust einstaka dæmi þess að ekki var fullt samræmi milli þessara upplýsinga og talna sem fá má úr öðrum heimildum; þó svo þær hljóti að vera komnar frá Fasteignaskrá upprunalega- þetta hefur ekki verið kannað nánar.

Uppbygging í Reykjavík byrjaði að einhverju marki um og uppúr 1900, og varð svo mjög hröð síðari hluta 20 aldar. Aldursdreifing íbúðarhúsnæðis eins og það var í ársbyrjun 2010 er sýnd á mynd 5.2 Í Reykjavík voru í maí 2010 til alls 10.673.155 m² af gólfleti í íbúðarhúsnæði (brúttó), á sama tíma var gólfletur iðnaðar-, verslunar- og skrifstofuhúsnæði samtals 3.152.730 m², eða svo samsvarar 30% af

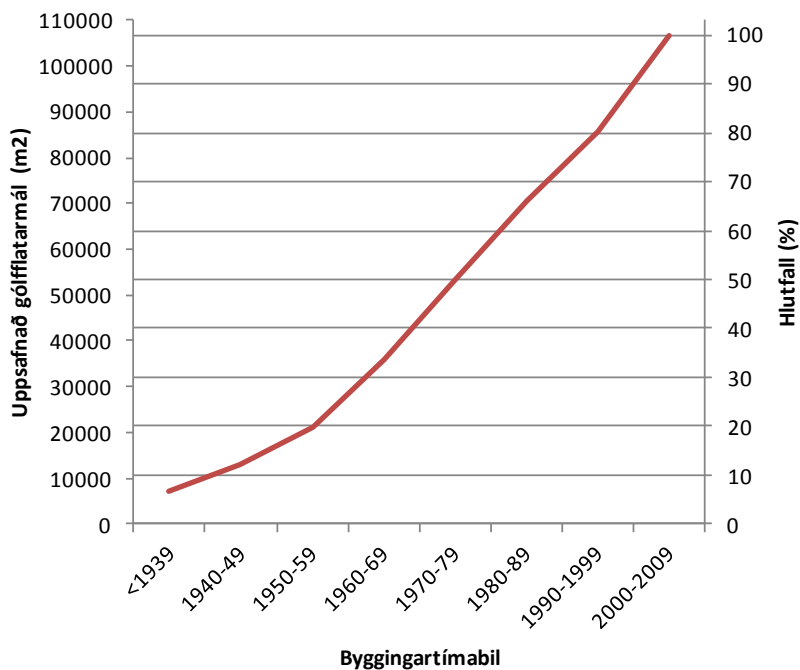
gólfleti íbúðarhúsnæðis (heimild: Fasteignaskrá). Aldursdreifing íbúðarhúsnæðis (uppsafnað magn) í maí 2010 er sýnt á mynd 5.3 og sést þar að um helmingur húsnæðis er byggt eftir 1979; þ.e. meðalaldur íbúðarhúsnæðis er þá um 30 ár. Til samanburðar má nefna að meðalaldur íbúðarhúsnæðis erlendis er iðulega allt að 50 ár (Haugbølle et. al,213).

Meðalaldur iðnaðar- verslunar- og skrifstofuhúsnæðis er árið 2010 um 5 árum lægri heldur en íbúðarhúsnæðisins.

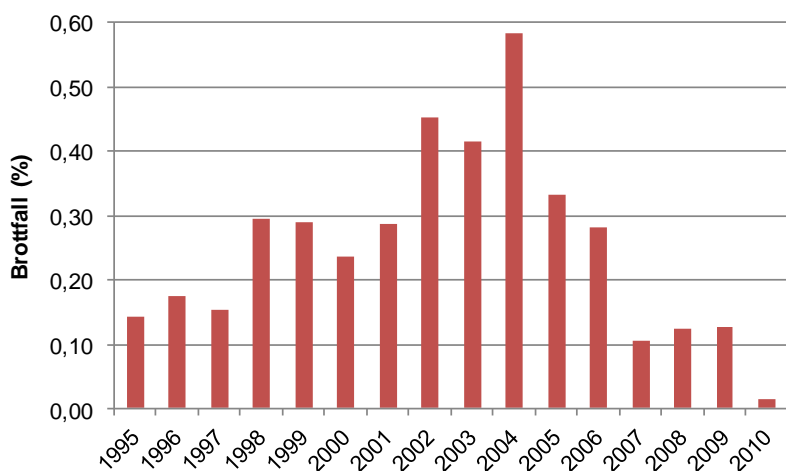
Lágur meðalaldur bygginga veldur því að brottfall bygginga héraendis er væntanlega lítið. Tölur um slíkt eru af skornum skammti en úrvinnsla úr gögnum Fasteignaskrár (Þjóðskrá Íslands-Fasteignaskrá, 2010) fyrir tímabilið 1995-maí 2010 sýnir að brottfall er verulega mismunandi eftir árum, sjá mynd 5.4. Að meðaltali er brottfall á þessu tímabili um 0,25 %, brottfallið hefur enn sem komið er einungis verið skoðuð fyrir Reykjavík, en vera má að brottfall þar á árunum 2002-2006 hafi verið óvenjuhátt vegna mikillar ásóknar í dýr byggingarsvæði í borgarkjarna. Með hækkandi meðalaldri bygginga má vænta þess að brottfall aukist, erlendis er stundum miðað við 0,5%.



Mynd 5.2 Reykjavík ársbyrjun 2010 – byggt gólfplatarmál íbúðarhúsnæðis eftir árum (gögn frá Fasteignaskrá, 2010)



Mynd 5.3 Reykjavík 2010; Uppsafnað byggingarmagn íbúðarhúsnæðis (gólfplötur m²) og hlutfallsskipting eftir byggingartímabilum (gögn frá Fasteignaskrá, 2010)



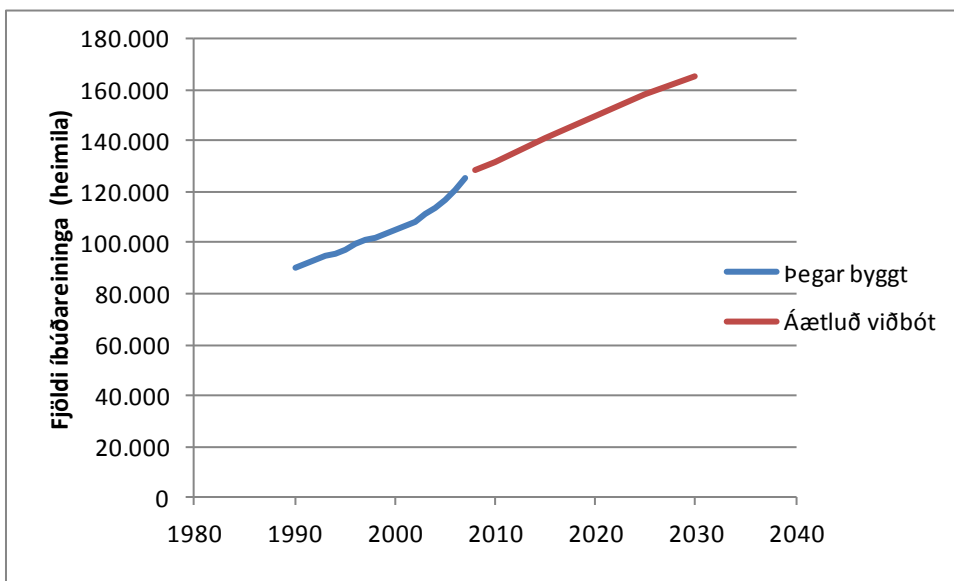
Mynd 5.4 Brottfall íbúðarhúsnæðis í Reykjavík, sýnt sem hlutfall af heildarmagni ár hvert á tímabilinu 1995 og fram í maí 2010 (gögn frá Fasteignaskrá, 2010)

Nýbyggingarþörf og aldersdreifing byggingarmassans

Það er venja hérlendis að gefa byggingarmagn upp í rúmtaki, andstætt því sem gerist erlendis þar sem stærð gólfplatnar er notað til viðmiðunar, hinsvegar er miðað við fjölda íbúðareininga.

Íbúðarbyggingar hafa eins og áður segir iðulega verið um helmingur nýbyggingarmassans, og stærstur hluti þess í stórum íbúðum. Þess má jafnvel vænta að smærri íbúðir vegi þyngra á næstu áratugum heldur en hefur verið til þessa vegna breytinga í alderssamsetningu þjóðarinnar (meðalaldur hækkar) og þá mun væntanlegt nýbyggingarmagn minnka sem þessu nemur.

Mannfjöldaspá Hagstofunnar gerir ráð fyrir að árleg fólksfjölgun verði fyrst um sinn um 1% en síðar muni hægja heldur á. Í áætlunum Orkuspárnefndar (2008a), sem byggja á íbúaspá Hagstofunnar, er gert ráð fyrir að árleg nýbyggingarþörf sé rúmlega 1% aukning íbúðareininga og til viðbótar þurfi að byggja vegna árlegs brottfalls íbúða af markaði. Í spánni er miðað við að árlegt brottfalli sé 0,5%, og mynd 5.5 sýnir það sem þá (2007) var byggt og einnig óbyggðan fjölda íbúðareininga samkvæmt spánni. Þar er enn fremur miðað við að íbúðarstærð minnki frekar en hitt og verði að meðaltali 470 m³; ef miðað er við salarhæð 2,7m og 2,3 íbúar í fjölskyldu þá samsvara 470 m³ um 174 m² íbúð eða allt að 75,7 m²/íbúða- í báðum tilvikum mun stærra rými en gerist erlendis, sjá kafla 6. Fjölskyldustærð er minnkandi og því þarf hlutfallslega fleiri íbúðareiningar heldur en sem samsvarar fólksfjölgun, en á móti kemur að hugsanlega verða nýbyggðu einingarnar minni heldur en nú er (sjá kafla 6). Sennilegt er að árleg aukning í magni (m² eða m³) íbúðarhúsnæðis nemi lægri tölu en 1% af þegar byggðu magni.



Mynd 5.5 Þegar byggt (2007) og spá Orkuspárnefndar(2008a) um fjölda íbúða fram til ársins 2030.

Meðalbrottfall á tímabilinu er 0,25% sem helgast af lágum meðalaldri, erlendis er iðulega miðað við brottfallshlutfallið 0,5%. Brottfall hérlendis mun væntanlega aukast með hækkingu meðalaldri húsnæðis, og verður hér miðað við að hlutfallið breytist eins og jafna 5.2 sýnir;

$$f_u = b_0 + n \cdot b_1 \quad (5.2)$$

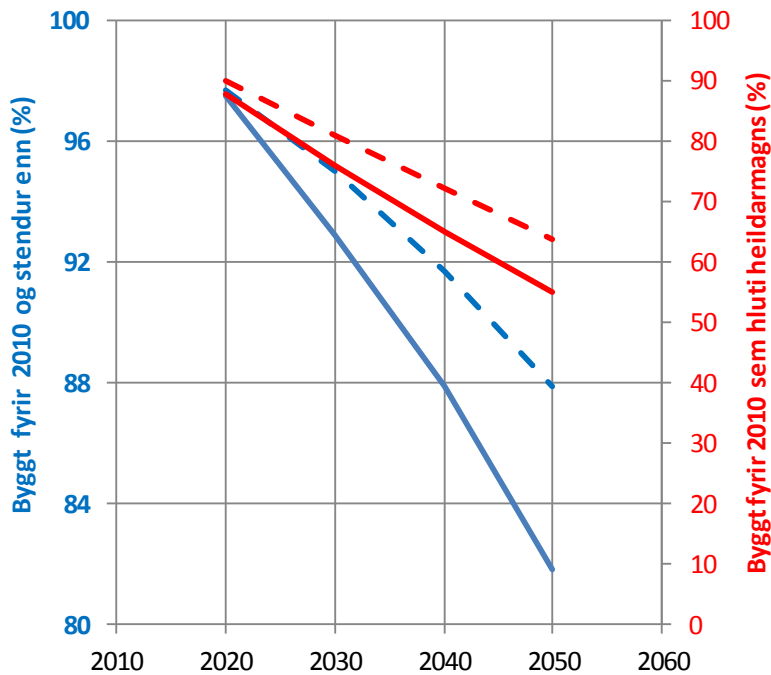
þar sem	f_u	meðalbrottfall (%)
	b_0	meðalbrottfall byggingarmassans árið 2010
	b_1	áætluð aukning í brottfalli fyrir hvert ár
	n	árafjöldi sem er liðinn frá árinu 2010

Það er erfitt að meta út frá fyrirliggjandi gögnum hvert brottfall er nú og enn erfiðara verður að áætla brottfall framtíðar. Fólksfjöldaspár benda til þess að þjóðinni muni fjölga svo nemur um 1% á ári næstu árin, en síðan kunni að draga úr vextinum. Hér er valið að reikna byggingarmagn út frá stærðartölum (ekki fjölda eininga) og taka mið af því að aukning í magni verði sennileg minni heldur en sem nemur fólksfjölgun.

Útreikningar eru gerðir fyrir Reykjavík, og niðurstöður sýndar á mynd 5.6. Reiknuð eru tvö tilvik til að sýna áhrif af mismunandi brottfalli og nettó aukningu byggingarmassans á ári; þ.e. nýbyggingarmagn = nettó aukning + brottfall ársins.

Forsendur reikninga eru;

- A. Byrjunartala brottfalls 2010 $b_0=0,25$; árleg aukning brottfalls $b_1=0,01$; árleg nettó aukning byggingarmassans = 1%
- B. Byrjunartala brottfalls 2010 $b_0=0,20$; árleg aukning brottfalls $b_1=0,005$; árleg nettó aukning byggingarmassans = 0,8%



Mynd 5.6 Vægi íbúðarbygginga sem þegar eru byggðar í heildarmagni íbúða á tímabilinu 2020-2050 og hlutfallslegt vægi þessara íbúða í heildinni á hverjum tíma.

Forsendur:

- A. Heildregnar línur - árlegt brottfall 2010 = 0,25; árleg aukning brottfalls 0,01; nettó aukning 1%
- B. Brotnar línur - árlegt brottfall 2010 = 0,20; árleg aukning brottfalls 0,005; nettó aukning 0,8%

Niðurstöður miðað við forsendur að ofan gefa eftirfarandi niðurstöður:

- A. árið 2030 mun enn standa um 93% af því sem þegar er byggt og nemur þá 76% af öllum íbúðum; þ.e. nýlegar íbúðir þá munu vera 24% af heildinni. Árið 2050 eru samsvarandi tölur; 82, 55 og 45%.
- B. árið 2030 mun enn standa um 95% af því sem þegar er byggt og nemur þá 81% af öllum íbúðum; þ.e. nýlegar íbúðir þá munu vera 19% af heildinni. Árið 2050 eru samsvarandi tölur; 88, 64 og 36%.

Það er augljóst að breytingar í forsendum svara sér mjög hratt í niðurstöðum, jafnframt að óháð forsendum þá er uppbygging svo hægt að fram til ársins 2030 þá veða nýbyggingar ekki hátt í

heildinni. Þegar hinsvegar er horft fram til ársins 2050 þá mun hlutur nýbygginga verða mun merkjanlegri, sérstaklega þegar miðað er við hærri brottfallstöluna og meiri uppbyggingu (tilvik A).

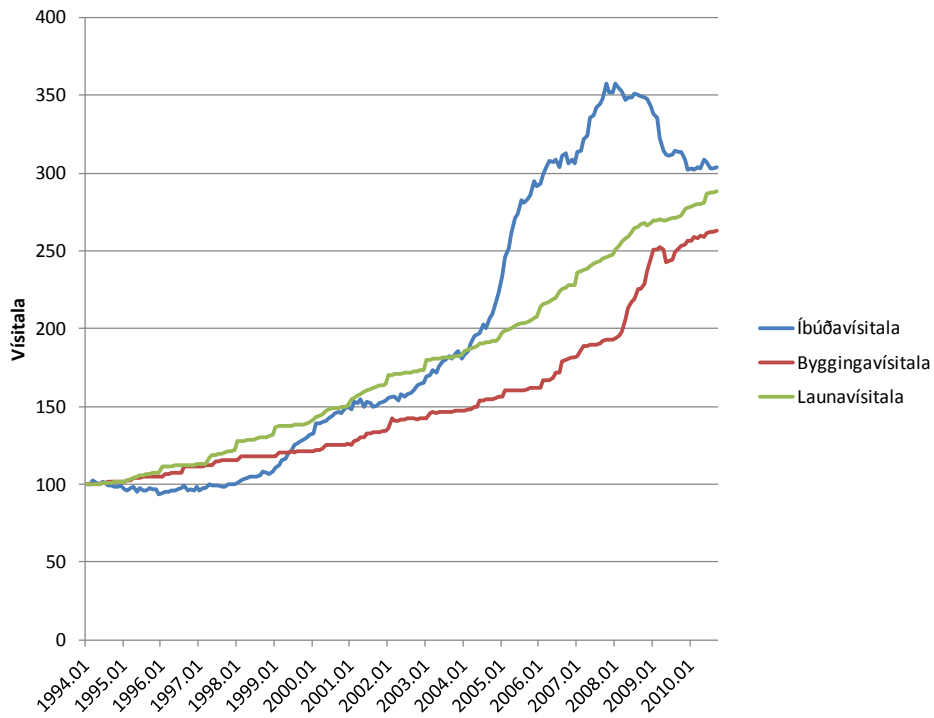
Hækkandi meðalaldur bygginga mun auka þörf á viðhaldi en einnig er óhjákvæmilegt að á löngum notkunartíma breytast kröfur til bygginga og einnig mun notkunarvið einhverra þeirra breytast. Það verður þörf fyrir endurbyggingar svo byggingar standist auknar kröfur og nýtist til þeirra þarfa sem þeim eru ætlaðar. Það stefnir því hratt í að aðalverksvið byggingariðnaðar verði fremur viðhald og endurnýjun heldur en nýbbygging eins og verið hefur lengst af til þessa.

Verðmæti, viðhald og afskriftir

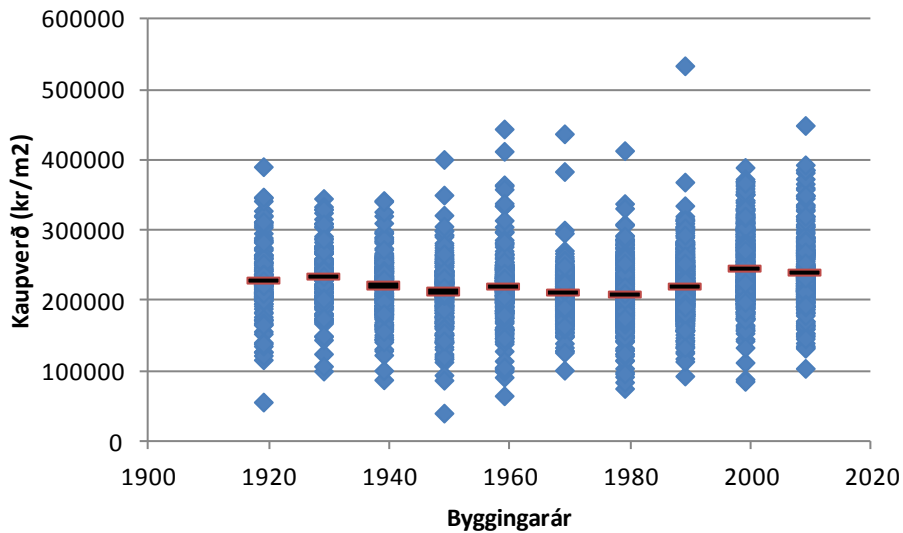
Mynd 5.7 sýnir samanburð þriggja vísitalna; íbúðar-, bygginga- og launa á tímabilinu 1994 – 2010.

Eins og sjá má þá fylgjast þær nokkuð að, þó svo kryppa á íbúðavísitölunni sé áberandi á uppgangstímanum 2004-2008. Ennfremur er athyglisvert að byggingavísitalan tók ekki samsvarandi stökk þennan tíma. Það virðist því sem íbúðavísitala fylgi öðrum vísitölum, þessu slær Ásgeir Jónsson (2004) föstu með orðunum „ En síðustu 40 ár hefur langtímaleitni hækkunar fasteignaverðs umfram almennt verðlag verið um rúm 1% að meðaltali“. Páll Árnason (2010) rekur erlend dæmi þar sem árleg hækkun er rétt aðeins yfir verðbólgu.

Húsnæði, a.m.k. íbúðarhúsnæði, heldur þannig verðgildi sínu og raunar aðeins betur en það. Þar sem nýbyggingarumfang hefur fram á síðustu ár verið mjög umtalsvert, þá gæti einhver reynt að skýra þetta með því að það væru nýbyggingar á hverjum tíma sem lyftu heildinni upp. Það má vera að slíkra áhrifa gæti eitthvað en er þó alls ekki aðalástæðan eins og sést ef borið er saman söluverð húsnæðis frá ýmsum tímum. Á mynd 5.8 eru sýnt söluverð á fermetra eftir byggingarári í öllum kaupsamningum í Reykjavík 1994-2009, uppreiknað til verðlags í júní 2010. Gögnin eru flokkuð eftir byggingarárum, og spannar hvert tímabil 10 ár. Í slíkum samanburði verður að hafa í huga að verðlag á húsnæði er háð mörgum atriðum; s.s. staðsetningu, ástandi, frágangi, útliti og skipulagi, og verð getur verið talsvert mismunandi milli eigna af þessum sökum. Þar sem breyturnar eru eins margar og raun ber vitni þá er að svo stöddu ekki reynt að greina gögnin eftir breytistærðum heldur einungis sýnd heildaráhrif allra gagnanna. Af myndinni sést að nýjustu byggingarnar eru ívið dýrari heldur en þær eldri og elstu byggingarnar eru ekki þær ódýrustu. Gögnin benda þess vegna eindregið til þess að eldri byggingar geti haldið verðgildi til jafns við nýrri byggingar; það þarf ekki að eiga sér stað verðrýrnun (afskrift) á byggingu ef viðhaldi og endurnýjun er sinnt af kostgæfni.



Mynd 5.7 Vísitölur íbúðaverðs, byggingakostnaðar og launa; janúar 1994- september 2010 (heimild: Hagstofan)

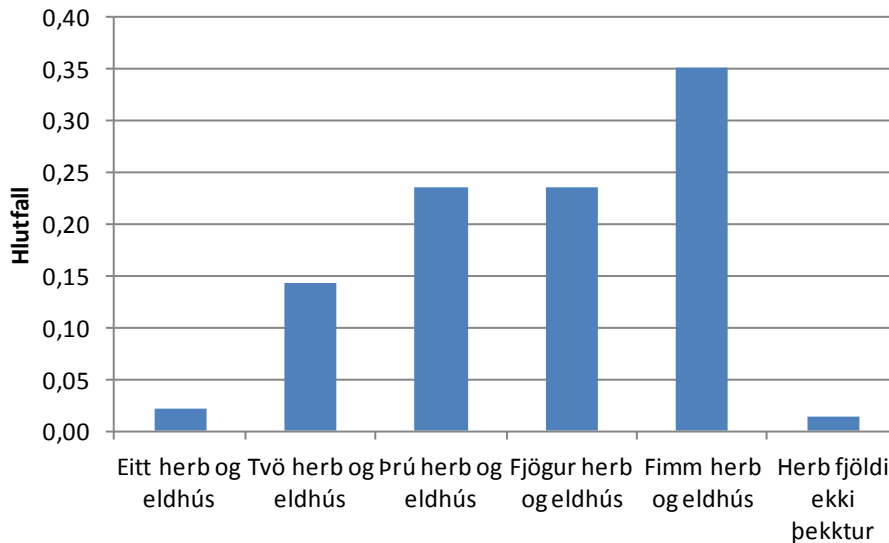


Mynd 5.8 Reykjavík- öll hverfi; kaupverð kr/m² á tímabilinu 1994-2009, uppreiknað með vísitölu íbúðarhúsnæðis til verðlags í júní 2010; meðalgildi hóps sýnt með striki. Hver hópur sýnir allar byggingar næsta 10 ára tímabils á undan; 1910-19, 1920-29,....(unnið úr gögnum frá Fasteignaskrá, 2010)

6 . Aldursdreifing, fjölskyldustærð, íbúðarþörf og búsetukostnaður

Íbúápróun, fæðingartíðni og aldersdreifing

Lengstan hluta síðustu aldar einkenndist þjóðlífið af hraðri fólksfjölgun og miklum tilflutningi fólks til þéttbýlis. Þjóðin var jafnframt fátæk í samanburði við erlendar þjóðir, lítil fyrirtæki og skortur á byggingarefni einkenndi byggingarmarkaðinn. Skortur var á húsnæði og þröngbýli algengt. Þjóðin komst efnahagslega mjög vel frá styrjaldarárunum og velmegun fór vaxandi, um og uppúr 1960 hófst öflugt uppbyggingartímabil sem vissulega tók mið af þörfum þjóðfélagsins. Barnmargar fjölskyldur þurfa stórt húsnæði og margar fjölskyldur hafa haft ráð á slíku; langalgengasta íbúðarstærðin hefur verið þrjú til fimm herbergi eins og sést þegar stærðardreifing íbúðarhúsnæðis er skoðuð, mynd 6.1



Mynd 6.1 Hlutfallsskipting íbúðareininga eftir herbergjafjölda - allt landið 2007 (Hagstofan: Landshagir, bls. 163)

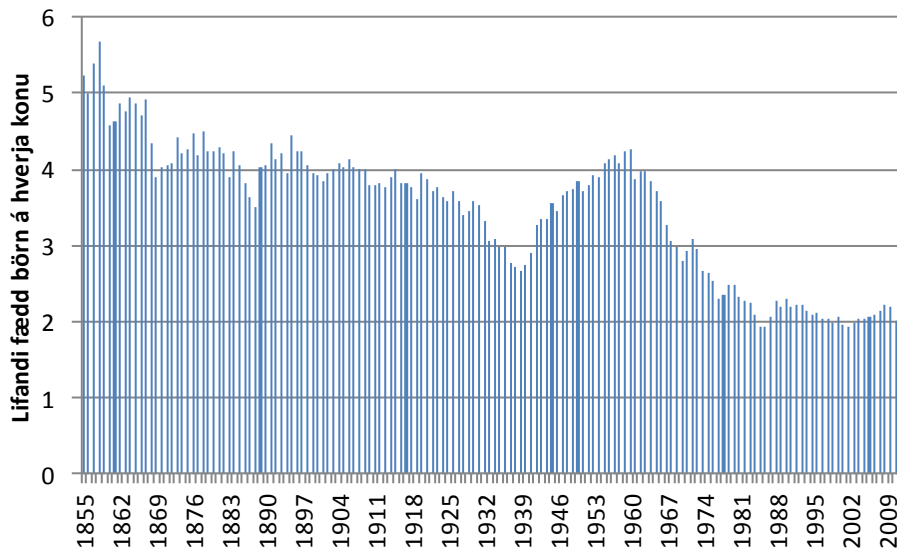
Landsmönnum fjölgaði hratt lengst af á síðustu öld en nú hefur hægt umtalsvert á. Á árunum eftir seinni heimstyrjöld og fram um 1970 fæddust 3-4 lifandi börn á hverja konu en það hlutfall er nú komið niður í 2, sjá mynd 6.2. Fjölskyldustærð hefur því minnkað hratt með minnkandi barneign, mynd 6.3, en til viðbótar fer fjöldi þeirra héraðs vaxandi sem kjósa að búa einir, mynd 6.4, sem er sama þróun og hefur verið erlendis.

Breytingar í fjölskyldustærð og fjölskyldutegund hafa ekki haft áhrif á stærðir íbúða sem hafa verið byggðar. Nú er brúttógólfloitur íbúðareininga ríflega 150 m² og öll ár frá 1960 hefur byggð meðalstærð á hverju ári verið mun meiri eða allt að 220 m², mynd 6.5. Í samanburði við aðrar þjóðir, mynd 6.6, þá eru íbúðareiningar hér mjög stórar. Þá ber þó að hafa í huga að innlendu tölurnar sýna brúttóflöt en þær erlendu nettóflöt: munur á þessu getur verið nokkur, í fjölbýli er nettóflötur um 80% af brúttóflötu. Þróunin erlendis er sú að nýbyggðar íbúðareiningar eru iðulega ívið minni heldur en meðaltalið, en þessu er sumsé alls ekki svo farið hér.

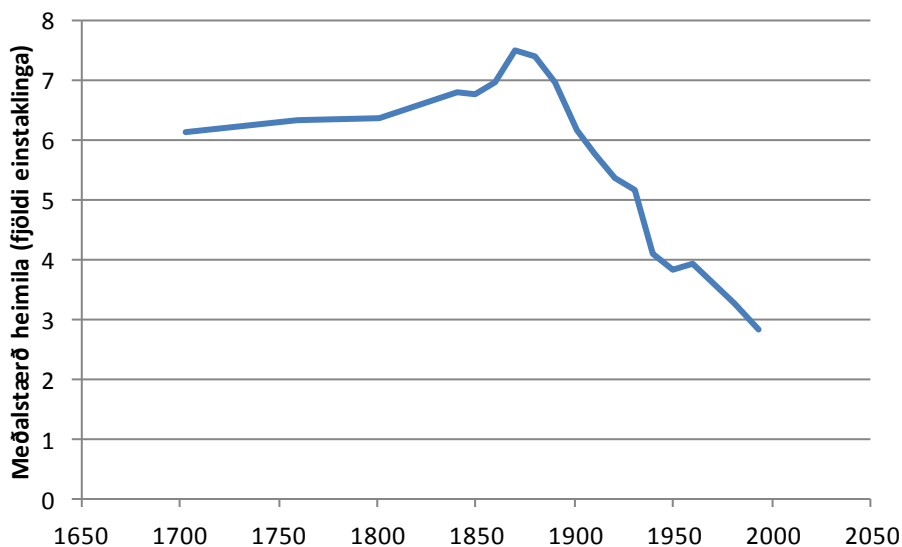
Samfara breytingum í fjölskyldustærð, og vegna vaxandi stærðar íbúðareininga, sem svo endurspeglast í fjölda herbergja í hverri einingu, þá hefur rými á hvern einstakling aukist verulega, mynd 6.7.

Samspil aldursdreifingar og tegundar byggingarmagns er sýnt á mynd 6.8, þar kemur vel fram hvað fjölbýlishús vega mikið í húsnæði í Reykjavík. Þar sést ennfreður að íbúðarhúsnæði er ríflega helmingur alls byggingarmagns í borginni.

Langlífi hefur einnig aukist verulega, þó svo breyting síðastliðin 10 ár eða svo sé óveruleg, mynd 6.9. Konur geta vænst þess að lifa um 3 árum og karlar um 6 árum lengur heldur en var fyrir 30 árum síðan.



Mynd 6.2 Lifandi fædd börn á hverja konu (heimild: Hagstofa Íslands)

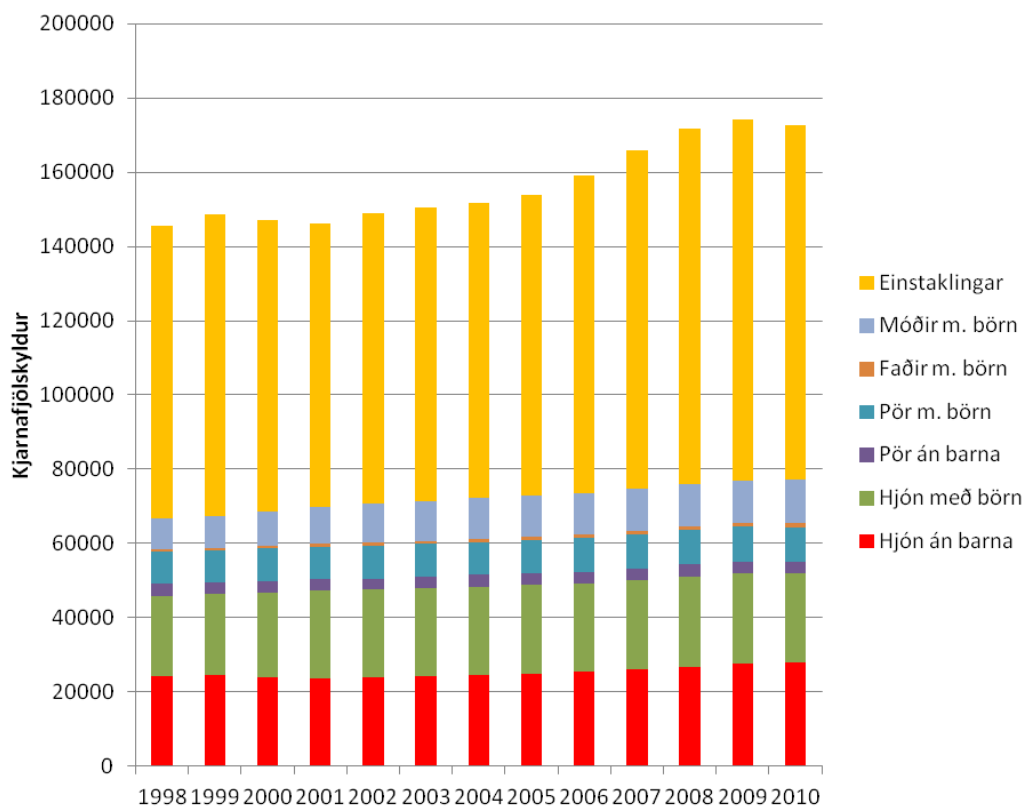


Mynd 6.3 Meðalstærð heimila (heimild: Hagstofan-Hagskinna, tafla 2.18)

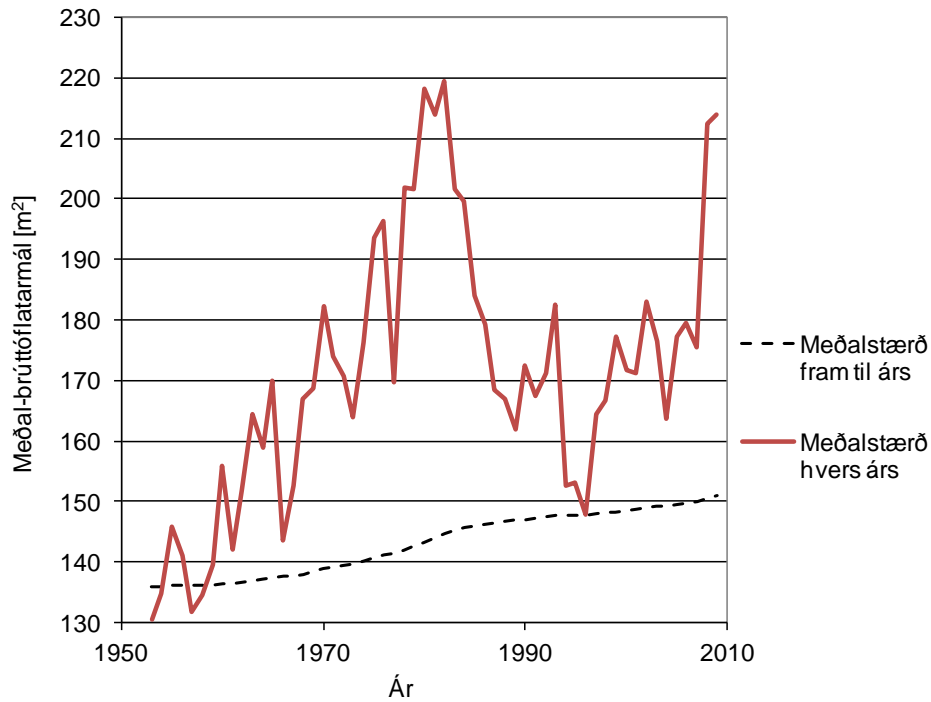
Minnkandi fólksfjölgun og lengri ævi setur vissulega mark sitt á aldursamsetningu þjóðarinnar, fyrir 30 árum síðan voru börn og unglingar áberandi stærstur hluti þjóðarinnar en nú einkennist aldursdreifingin í vaxandi mæli af miðaldra fólki, mynd 6.10. Lífslíkur hafa aukist talsvert síðastliðna áratugi, og árgangarnir sem nú eru á aldursbilinu 30-55 ára eru stórir; það má því vænta þess að á næstu tveim áratugum eða svo þá aukist vægi elstu aldurshópanna verulega, sjá töflu 6.1. Þjóðfélagið er að breytist í þá veru að hátt hlutfall barnafjölskyldna minnkar en þess meira ber á eldra fólki og einstaklingum-það má vænta þess að uppbygging næstu ára þurfi að taka mið af þessu.

Tafla 6.1 Áætluð fólksfjölgun í mismunandi aldurshópum
(heimild: Hagstofan; Mannfjöldaspá 2008-2050)

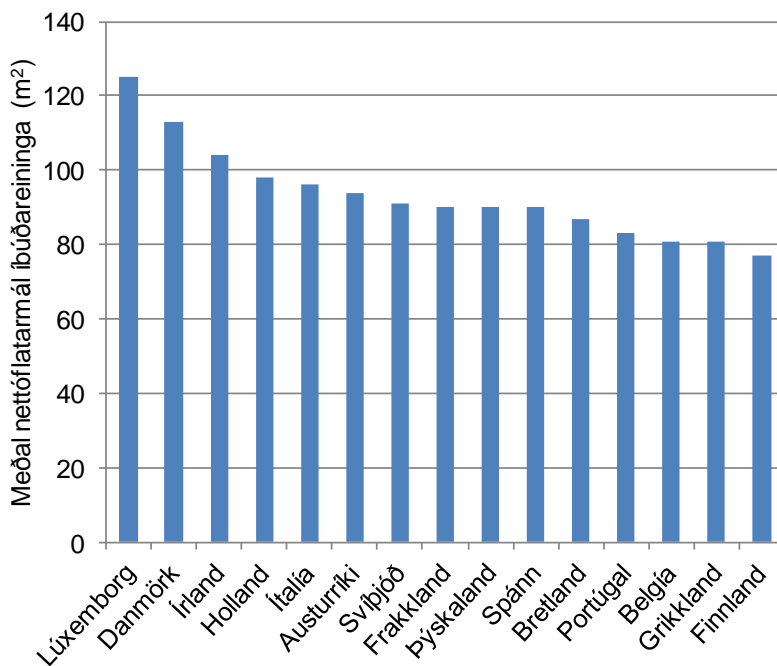
Aldurshópur (ár)	Fjöldi	Áætluð aukning (%)		
	2008	2020	2030	2050
0-14	65801	3,4	5,1	6,5
15-64	211168	3,8	7,3	15,6
65-	36407	45,3	99,6	159,8



Mynd 6.4 Ísland: Kjarnafjölskyldur eftir gerð (heimild: Hagstofa Íslands)

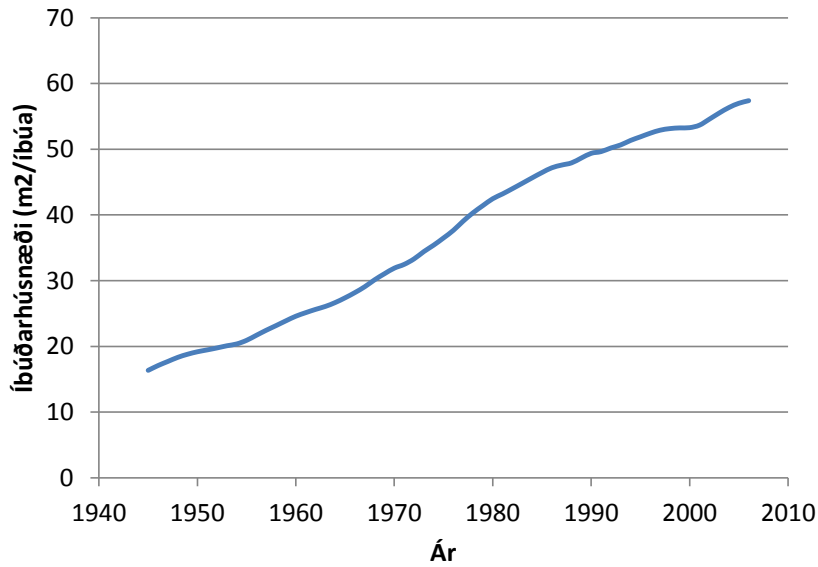


Mynd 6.5 Reykjavík 2009; Meðalbrúttóflatarmál íbúðareininga; annarsvegar allra fram til ákveðins árs hinsvegar byggðra á árinu (heimild; Fasteignaskrá, 2010)

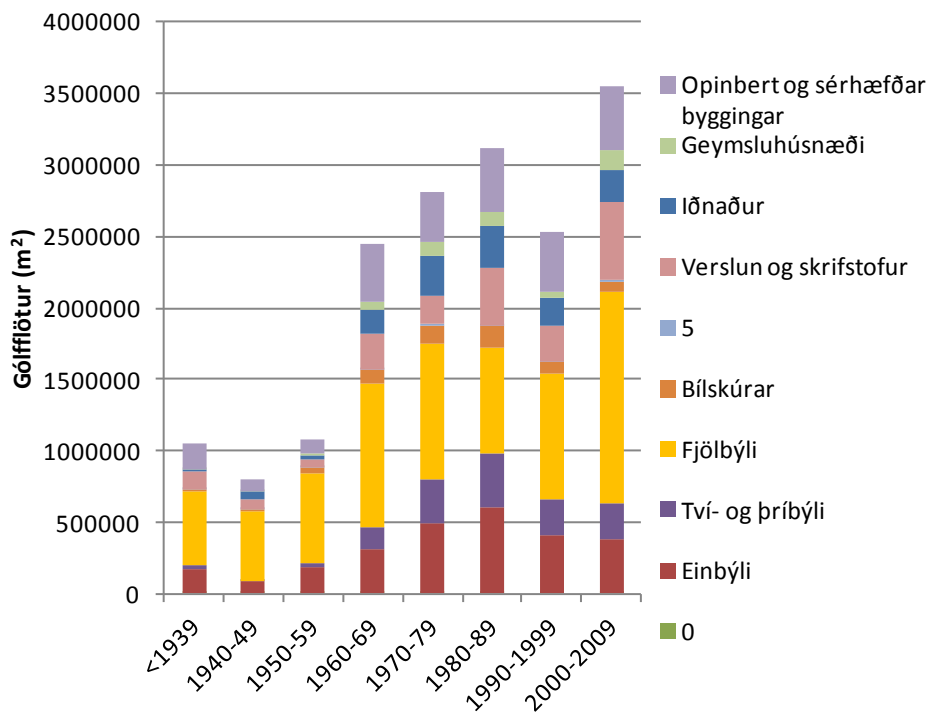


Mynd 6.6 Meðal nettóflatarmál íbúðareininga 2007 í nokkrum Evrópulöndum (heimild: Williams, ódagsett¹⁵)

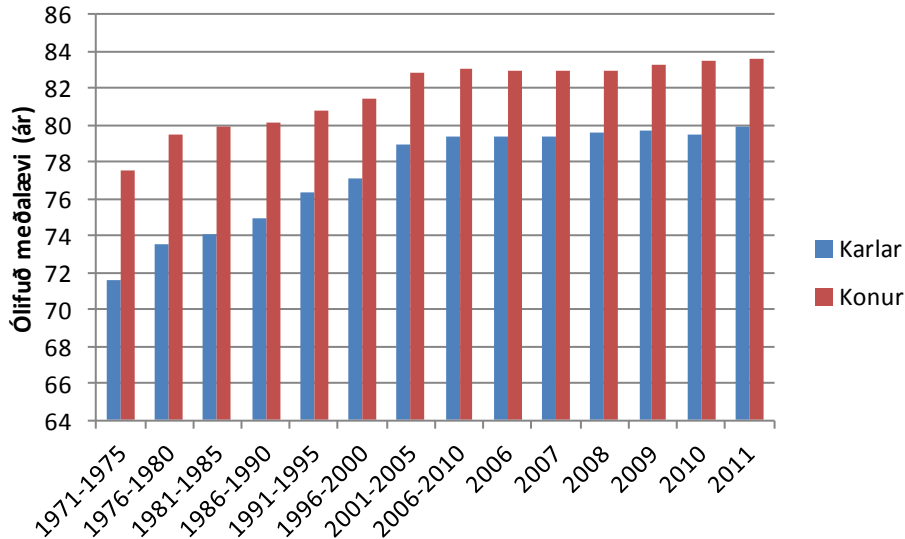
¹⁵ vísar til *Housing Statistics in the European Union, 2005/6* (Ministry of Infrastructure of the Italian Republic, 2007)



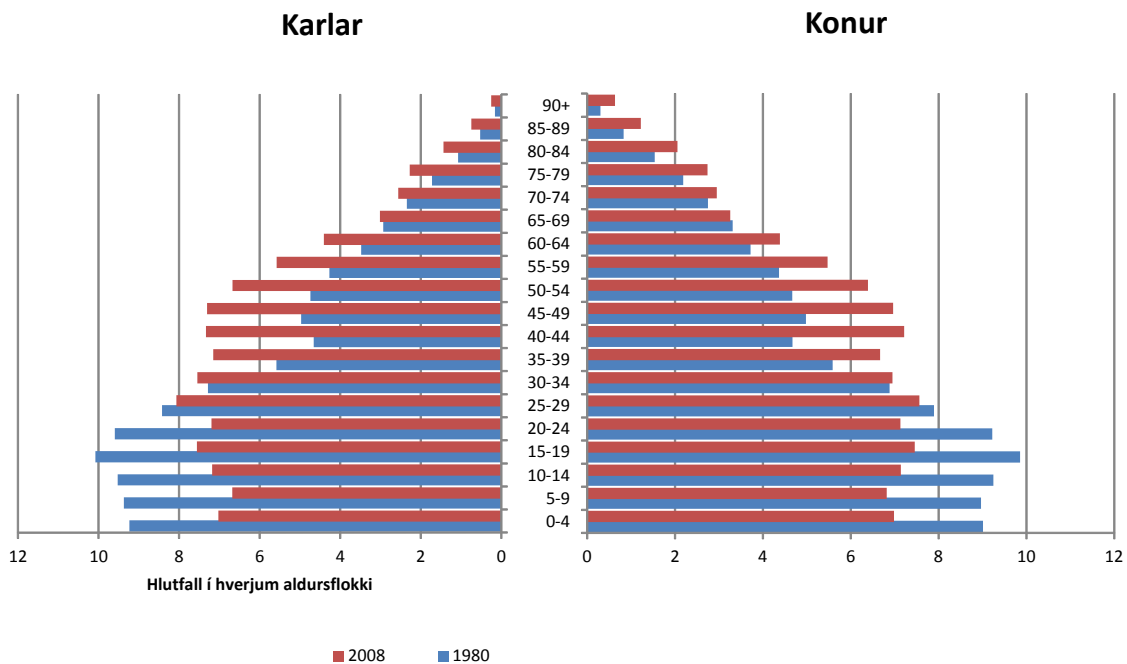
Mynd 6.7 Íbúðarrými á einstakling (unnið úr gögnum frá Hagstofunni-lykiltölur mannfjöldans o.fl.) Skýring; Gólfplötur reiknaður útfrá uppgefnu rúmmáli og miðað við salarhæð 2,7m



Mynd 6.8 Reykjavík 2010; Skipting byggingarmagns eftir tegund og byggingarári (samkv. gögnum Fasteignaskrár, 2010)



Mynd 6.9 Ísland: Ætluð ólifufé meðalævilengd við fæðingu (heimild: Hagstofa Íslands)



Mynd 6.10 Aldursdreifing Íslendinga, 1980 og 2008 (unnið úr gögnum frá Hagstofu Íslands)

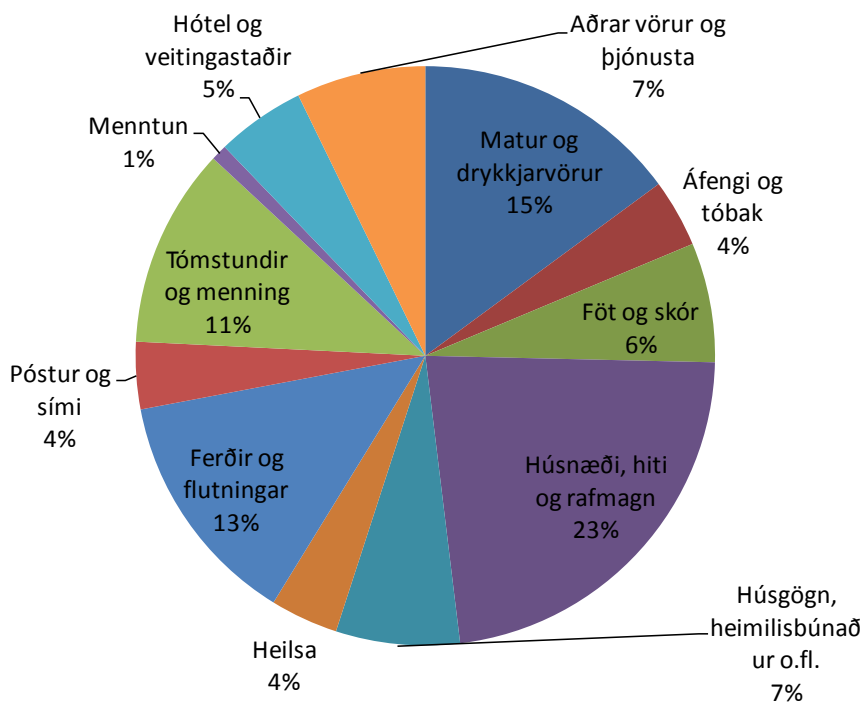
Hlutfall eldra fólks vex hratt og hlutfallslega færri eru til að standa undir þjónustu við þá. Sennilega mun aukast krafa um að eldra fólk búi heima eins lengi og kostur er en þá þarf húsnæðið að vera hentugt, sem er langt í frá alltaf í dag. Það eru fyrirsjáanlegar breytingar í þörfum þjóðfélagsins, og það þarf því að huga að þessu þegar skipulagt er og byggt þegar í dag. Gerð og stærðarsamsetning

Íbúða er sennilega of einsleit og væri áhugavert að auka valkostina, sérstaklega vantar meira úrval af minni íbúðum og lítil raðhús hljóta að vera áhugaverður kostur. Uppbygging er nú mun hægari heldur en áður fyrr og hlutfallslega mikið af því húsnæði sem þarf í náinni framtíð hefur þegar verið byggt (sjá kafla 4), allt sem byggt er nýtt þarf þá að taka mið af þörfum framtíðar í meira mæli heldur en tíðkast hefur til þessa- þetta geta t.d. verið gild rök fyrir kröfu um aðgengi fyrir alla í nýbyggingum. Aukakostnað sem af þessu hlýst er vonandi hægt fá endurgreiddan síðar þar sem slíkar eignir ættu að hafa meiri eftirspurn heldur en annars væri á markaði í framtíðinni.

Byggingaþörf er háð íbúafjölgun, úreldingu húsnæðis og rýmisþörf á einstakling. Ef eldri kynslóðir velja að fara í „hentugra“ húsnæði (t.d. vegna kostnaðar eða fyrirkomulags) þá má vænta þess að valið verði minna húsnæði ef það skilar sér í lægri búsetukostnaði.

Búsetukostnaður

Í sundurliðun neysluvísitölu, mynd 6.11, er gerð grein fyrir hvaða liðir hafa áhrif á neyslukostnað. Stærsti liðurinn er beint tengdur búsetu, þ.e. liðurinn „Húsnæði, hiti og rafmagn“ sem vegur 23% í neysluvísitölunni. Annar liður sem einnig tengist búsetu að nokkru leyti a.m.k. er „Ferðir og flutningar“ þar sem daglegar ferðir til og frá vinnu eða skóla vega drjúgt. Í heildina þá er búsetutengdur kostnaður því um eða yfir 30% af neyslukostnaði. Með tilvísun í hve rúmt við búum þá er áhugavert að velta fyrir sér hvaða kostnaður hlýst af því; þ.e. skoða hver kostnaður af hverjum aukafermetra íbúðarhúsnæðis er, þetta er auka búsetukostnaður eða leigukostnaður.



Mynd 6.11 Vísitala neysluverðs júní 2010 (unnið úr gögnum frá Hagstofu Íslands)

Þetta má meta á tvennan hátt; (i) útfrá leigukostnaði á markaði eða (ii) reikna raunkostnað vegna stækkunar gólfplatnar. Aðferðirnar hafa báðar sínar takmarkanir:

[i] Leigukostnaður á markaði er breytilegur;

- háð stærð húsnæðis (kostnaður á fermetra lækkar með aukinni stærð íbúðar)
- eftir staðsetningu þar sem eftirspurn ræðst nokkuð af henni
- óvíst hvaða hluti er raunkostnaður og hvað er arður til leigusala

[ii] Reiknaður kostnaður er háður;

- ætluðum stofnkostnaði á m² húsnæðis
- fasteigna- og brunabótamati húsnæðis
- áætlaðri viðhaldspörf

Þjóðskrá gefur upp leigukostnað á markaði á hverjum tíma (útfrá skráðum leigusamningum); þar kemur fram¹⁶ að leiguverð í Reykjavík (Kjalarnes undanskilið) í janúar 2012 er á bilinu 1215 - 2081 kr/m² á mánuði, háð staðsetningu og stærð. Leiguverð á fermetra í 3 herbergja íbúð er á bilinu 1380 - 1674 kr/m² á mánuði. Þá á eftir að reikna aukakostnað vegna hitunar og lýsingar.

Til samanburðar er áhugavert að reikna aukakostnað af 1 fermetra stækkun íbúðarflatar. Hér verður gert ráð fyrir að fjárfestingin haldi verðmæti sínu (sbr. kafla 5) og því þurfi ekki að reikna afskriftir, eða með öðrum orðum ætlast til þess að leigan borgi upp húsnæðið á einhverjum tíma). Fasteignaskattur á lóð og lóðalega er óháð fermetrafjöldi íbúðar og verður því sleppt hér, en nauðsynlegt að hafa í huga að báðir þessir liðir hafa áhrif á reiknaðan leigukostnað eða búsetukostnað vegna íbúðareiningar.

Reiknað verður með verðtryggðu láni, og gert ráð fyrir að laun og kostnaður hækki í takt við verðbólgu. Liðir sem ekki eru breytilegir með stærð gólfplatnar húsnæðis (fyrir litla breytingu í stærð flatar) s.s. lóðaleiga, fasteignagjöld af lóð, sorphirðu- og sorpeyðingargjald og mælagjöld orkumæla eru ekki teknir með. Í töflu 6.2 er yfirlit yfir kostnaðarliðina, og hvernig kostnaður vegna þeirra er ákvarðaður.

Af heildarkostnaði nemur kostnaður vegna orku, vatns og frárennslis 6% og opinber gjöld og tryggingar 4,3%; aðalkostnaðurinn liggur sumsé í vaxta- og viðhaldskostnaði.

Niðurstöður útreikninga eru sýndir á línuriti 6.12, þar sem stofnverð á fermetra er á lárétta ásnum og reiknaður rekstrarkostnaður á lóðrétta ásnum, reiknað er fyrir mismunandi viðhaldshlutfall (af nýbyggingarverðmæti og vaxtaþrósentu).

Rekstrarkostnaður fyrir mismunandi stofnkostnað, vaxta- og viðhaldskostnað er sýnt á mynd 6.12. Þar sést að búsetukostnaður af 1 m² viðbótarhúsnæði er á bilinu 950 – 1600 kr/m², mánuð eftir því hvaða forsendur eru valdar, með bættri nýtingu húsnæðis má því augljóslega spara talsverðar upphæðir ef vilji er fyrir hendi.

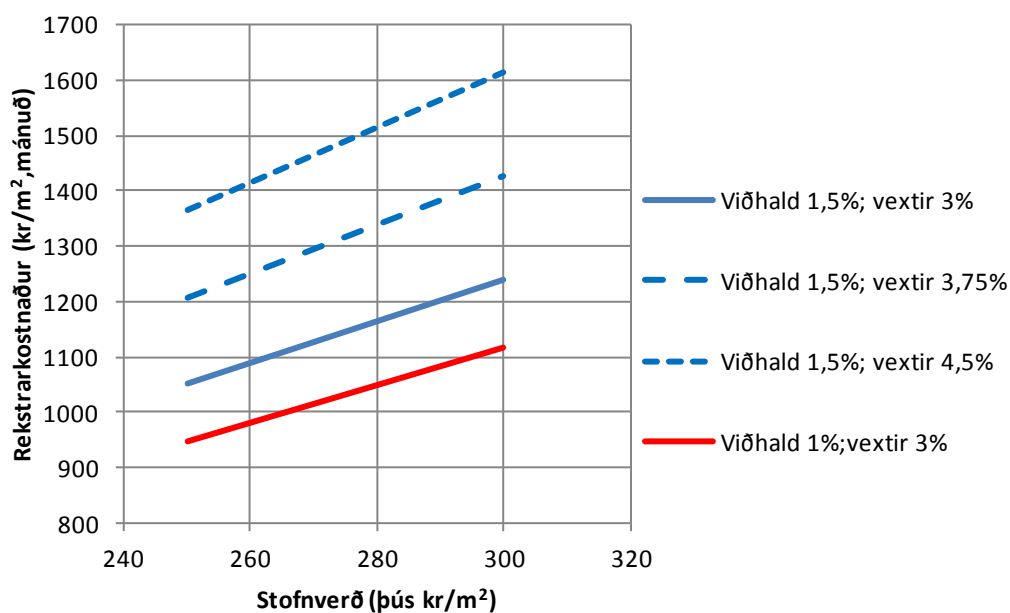
¹⁶ Þjóðskrá Íslands, „Upplýsingar um leiguverð húsnæðis“, <http://www.skra.is/Um-okkur/Frettir/Frett&NewsID=4639>, sótt 2013.03.02

Tafla 6.2 Búsetukostnaður vegna húsnæðis; Kostnaðarliðir

	Eining	Stærð í reiknuðu dæmi	
Stofnkostnaður	kr/m ²	250-300 þúsund	
Fasteignamat	kr/m ²	180 þúsund ¹⁾	
Brunabótamat	kr/m ²	220 þúsund ¹⁾	
Vextir af fjármagnskostnaði	%	3,0 – 4,0 %	Reiknast af stofnkostnaði
Viðhald	%	1-1,5%	Reiknast af stofnkostnaði
Fasteignagjöld	%	0,2	Reiknað af fasteignamati
Tryggingar	%	0,1	Reiknast af brunabótamati
Vatnsgjald kalt vatn	kr/m ² ,ár	180	
Frárennslisgjald	kr/m ² ,ár	198,73	
Hitunarorka	kWh/m ²	141,3	²⁾
Raforka	kWh/m ²	15,7	³⁾

Skýringar:

- ¹⁾ Algeng stærðargráða á gildinu í Fasteignaskrá febrúar 2013, fyrir hús á aldrinum 10-50 ára utan Vesturbæjar og Miðbæjar.
- ²⁾ Forsendur; 1,5m³ vatn/m³ húss, nýtanlegt hitafall dT=45°C og lofthæð 2,7m; orkuverð (janúar 2013) fæst sem 1,85 kr/kWh
- ³⁾ Raforkuþörf reiknuð sem 10% af heildarorkuþörf (hugsanlega ofmat), orkuverð er 10 kr/kWh



Mynd 6.12 Rekstrarkostnaður húsnæðis sem hlutfall af stofnkostnaði, viðhaldi og vöxtum af lánsfé.

7. Hollusta og gæði innilofts

Í Byggingavörureglugerð Evrópusambandsins er áberandi áhersla á hollustu og heilsu varðandi nauðsynleg gæði mannvirkja. Þetta er í góðu samræmi við umfjöllun í fyrsta kafla þessa rits, og hægt að fullyrða að bygging sem ekki skapar nægjanlega góð hollustuskilyrði geti aldrei talist vera sjálfbær.

Nútímamaður dvelst innandyra meira en 90% tímans og hollusta innilofts því enn mikilvægari heldur en hollusta útilofts (CIB 1999, p. 62). Hollusta í byggingum mun að talsverðu leyti byggja á gæðum innilofts og því nauðsynlegt að skoða nánar hvaða gæði er um að ræða.

Hvað hefur áhrif á gæði innilofts?

- Lofthiti og skynjunarhiti, loftraki og lofthreyfing
- Niðurbrot efna (efnamengun)
- Örverur og skordýr (áhrif á loftgæði, en stundum einnig bein áhrif á íbúa)
- Loftræsing og gæði útilofts

Varðandi niðurbrot efna og efnagjöf (frá efnum og örverum) þá er ekki einungis innra yfirborð efna áhugavert heldur einnig byggingarhlutinn í heild.

Óhollusta sem er talin húsatengd, en óútskýrð, er kölluð húsasótt (*e:sick building syndrome*).

Varmajafnvægi mannlíkamans-Skynjunarhiti og þægindakröfur til innilofts¹⁷

Heppilegt innra hitastig mannlíkamans er sem næst 37°C, en húðhitinn er um 4°C lægri eða 33 °C. Til þess að halda líkamshitanum stöðugum og gefa orku þá á sér stað stöðug brennsla, en hún er háð virkni líkamans. Til þess að halda húðhita stöðugum þá bregst líkaminn við með annaðhvort hita- eða kuldaviðbrögðum. Ef húðhitinn hækkar þá bregst líkaminn fyrst við með því að gefa frá sér raka (svitar) og ef húðhitinn lækkar þá dragast svitaholur saman og blóðstreymi til húðarinnar minnkar. Á norrænum slóðum, og í almennum vistarverum, þá er húðhitinn almennt hærri heldur en umhverfishitinn, fót eru notuð til að einangra húðina frá umhverfisáhrifum, og varmatap frá ysta hjúpnum verður vegna leiðnitaps og nettó geislunartaps til umhverfis. Heildar leiðnitapið frá húðinni ræðst af lofthita, lofthraða og fatnaði en geislunartapið af fatnaði, hitastigi umlykjandi flata og rúmfræðilegu vægi þeirra.

Í Byggingarreglugerð eru ekki gerðar sérstakar kröfur til innihita og takmarkaðar gæðakröfur til innilofts almennt, ef undan er skilin krafa um mesta leyfðan lofthraða (Byggingarreglugerð, 10.3.2) og kröfur til mesta leyfilegs magns CO₂ í innilofti (Byggingarreglugerð, 10.2.9). Varðandi þægindi innilofts vísar reglugerðin til staðalsins ÍST EN ISO 7730.

Staðallinn IST EN ISO 7730 fjallar einkum um hvernig meta megi ánægju fólks með inniaðstæður, en þar eru einnig skilgreiningar á skynjunarhita (*e:operative temperature*), og ráðgjöf um heppilegan skynjunarhita innandyra háð fatnaði og hreyfingu. Skynjunarhitastig er skilgreint sem það hitastig í rými með geislunartölu $\epsilon=1$ („svart rými“) á öllum flötum, þegar notandi tapar þá sama varma (vegna geislunar, leiðni og streymis) eins og hann gerir við raunaðstæður.

¹⁷ Byggir á Björn Marteinson (2012)

Þegar lofthraði er lágur og hitamunur milli meðalgeislunarhita umlykjandi flata og lofthita er minni en 4 °C, og lofthraði undir 0,2 m/s, þá má ákvarða skynjunarhitann með nægjanlegri nákvæmni sem (jafna 7.1);

$$\theta_o = \frac{\theta_i + \theta_{s,av}}{2} \quad (7.1)$$

þar sem θ_o skynjunarhiti (°C)
 θ_i lofthiti (°C)
 $\theta_{s,av}$ meðal-mótgeislunarhitastig (°C)

Meðal-mótgeislunarhitastig $\theta_{s,av}$ er ákvarðað þannig fyrir rými þar sem geislunartölur flata eru innbyrðis svipaðar (jafna 7.2¹⁸);

$$\theta_{s,av} = \sqrt[4]{\sum_i F_{i,1} \cdot (\theta_{s,i} + 273)^4} - 273 \quad (7.2)$$

þar sem $F_{i,1}$ hlutfallslegt mótgeislunarhorn flatar i til athugunarstaðar **1**(-)
 $\theta_{s,i}$ yfirborðshitastig flatar i (°C)

Yfirborðshiti flatar ræðst af umhverfisaðstæðum beggja vegna byggingarhlutar sem flötur tilheyrir og varmamótstöðum byggingarhlutans samkvæmt jöfnu 7.3;

$$\theta_s = \theta_i - \frac{R_{si}}{R_{tot}} \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (7.3)$$

þar sem θ_s yfirborðshitastig innri flatar (°C)
 θ_i lofthiti inni (°C)
 θ_e lofthiti úti (°C)
 R_{si} varmamótstaða innra yfirborðs (m²K/W)
 R_{tot} heildarvarmamótstaða byggingarhluta (m²K/W)

Af ofansögðu má ráða að staðsetning íbúa í rými, með tilliti til hlutfallslega heitra - eða kaldra flata, mun hafa áhrif á þann skynjunarhita sem hann upplifir.

Af áður nefndum staðli má ráða að þegar hitunar rýmis er þörf þá sé heppilegt skynjunarhitastig á bilinu 20-24 °C, þegar notandi er léttklæddur við léttu vinnu.

Staðallinn skilgreinir ekki kröfur og þar kemur t.d. ekki fram hvort miða skuli við ráðlagðan skynjunarhita undantekningarlaust í vistarverum. Í sænsku byggingarreglugerðinni (Boverket, BBR 2012) er tekið á þessu, skilgreint er vistsvæði sem liggur milli tveggja hæðarplana; annarsvegar 0,1 m

¹⁸ Í mörgum raunhæfum tilvikum má einfalda dæmið og sleppa fjórða veldi og síðan fjórðu rótinni í jöfnu 5.2

frá gólfi og hinsvegar 2,0 m frá gólfi. Lárétt afmarkast svæðið af plani sem er 0,6m frá útvegg, þó 1,0 m við glugga og útidyr. Þar er síðan ráðlagt að vistarverur séu þannig gerðar að í þeim megi halda þægilegum skynjunarhita innan vistsvæðisins; eðlileg viðmiðun er þar að hitastigið fari almennt ekki undir 18 °C í vistarverum þar sem fólk dvelst og ekki undir 20 °C í hreinlætisrymum og dvalarstofnunum (Boverket, BBR 2012, bls. 206). Hitastigsmunur milli mismunandi staða í sömu vistarveru sé mest 5 °C. Gólfhiti sé minnst 16 °C , þó 18 °C í dvalarstofnunum og 20°C í herbergjum ætluð börnum. Mesti gólfhiti sé 26°C.

Til þess að tryggja að trekkur valdi ekki óþægindum þá ætti lofthraði í vistarverum ekki að fara yfir 0,15 m/s (Byggingarreglugerð, 10.2.2) þegar upphitunar er þörf og annars ekki yfir 0,25 m/s (Boverket, BBR 2012, bls 206).

Loftraki í innilofti¹⁹

Inniloft er tekið utanfrá byggingu að einhverju leyti, og mun því bera með sér þann raka sem útiloft hefur á hverjum tíma. Til innilofts á sér svo stað einhver rakagjöf, háð starfsemi í húsinu og hugsanlega einnig tímabundið af öðrum orsökum s.s. vegna byggingarraka, leka vegna úrkomu eða frá lögnum og loks vegna jarðvegsraka. Áhrif rakagjafar á hlutfallsraka inniloftraka munu svo ráðast af innihita og því hversu ör loftskipti eru í byggingunni.

Rakamagn í innilofti má almennt reikna eins og jafna 7.4 sýnir, þar sem miðað er við að rakagjöf hefjist á tíma t=0;

$$w_i(t) = w_e + \frac{G}{n \cdot V} \cdot (1 - e^{-nt}) \quad (7.4)$$

þar sem	$w_{i(t)}$	rakamagn í innilofti, kg/m ³
	w_e	rakamagn í útilofti, kg/m ³
	G	rakabæting, kg/klst
	n	fjöldi loftskipta, 1/klst
	V	loftræst rými, m ³
	t	tími, klst

Af jöfnu 3.6 má sjá að með vaxandi tíma þá nálgast lausnin að verða stöðug; jafna 7.5

$$w_i = w_e + \frac{G}{n \cdot V} = w_e + \Delta w \quad (7.5)$$

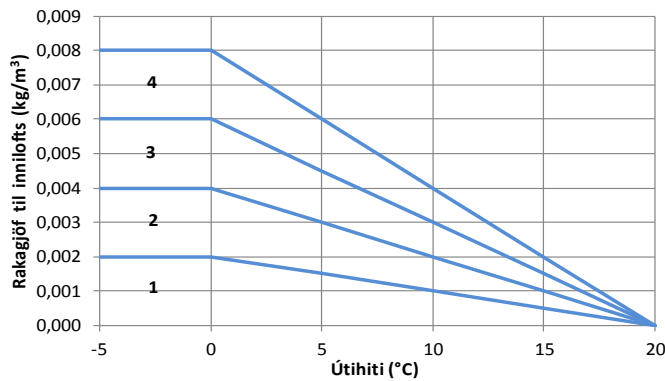
Rakaviðbótin (fyrir hvern m³ innilofts) er því háð tveim atriðum þ.e. loftskiptum í húsinu (loftræstingu) og rakagjöf innanhúss. Ör loftskipti í húsi vegna loftleka eða loftræstingar valda því að rakagjöfin dreifist á meira loftmagn og áhrif rakagjafar verða þá minni heldur en ef loftskipti eru lítil. Mikil loftskipti (vegna loftræstingar) valda því að hlutfallsraki getur fallið mjög snögg í íbúðinni, sömu áhrif nást ef lofthiti hækkar snögg t.d. vegna sólargeislunar. Gluggi sem er opnaður á kuldatíma án þess að tryggt sé að loftskipti eigi sér stað í herberginu (t.d. ef gegnumstreymi lofts á sér ekki stað) getur haft öfug áhrif, lofthiti lækkar í herbergi og vegna lítilla loftskipti þá hækkar hlutfallsrakinn.

¹⁹ Umfjöllun tekin úr Björn Marteinnsson (2012)

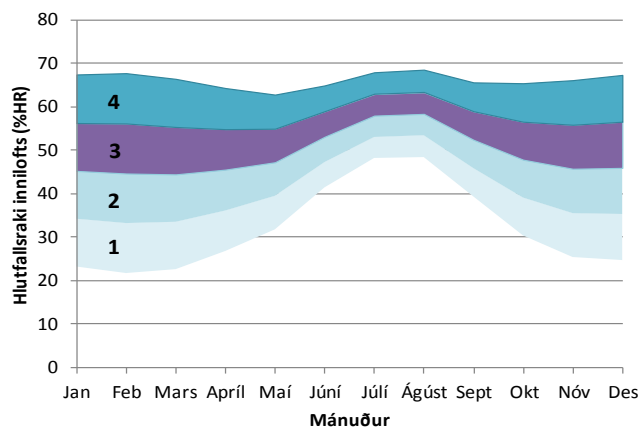
Til þess að taka samtímis tillit til áhrifa rakagjafar og loftskipta á innloftraka þá er rakagjöfin iðulega gefin upp sem rakamagn á hvern rúmmetra í loftskiptum, Δw í $g/(m^3)$. Rakamagn innlofts fæst þá sem loftraki útilofts að viðbætti þessari rakagjöf.

Algeng rakagjöf er t.d. vegna þvotta, hreingerninga og vökvunar blóma svo dæmi séu nefnd, auk rakagjafar frá íbúum. Auk þessara almennu orsaka fyrir rakagjöf geta komið óheppilegir eða mjög tímabundnir orsakavaldar s.s. útpornun byggingaraka, lekar vegna úrkomu eða frá lögnum og hárpípuflutningur vatns frá grunnvatni.

Í Svíþjóð er iðulega miðað við að slík rakagjöf í íbúðarhúsi sé $2-4g/m^3$, tölur frá Bandaríkjunum gefa svipaða niðurstöðu ef miðað er við ein loftskipti á klukkustund en hliðstæðar tölur frá Danmörku gefa um $2 g/m^3$ fyrir $300m^3$ íbúð. Rakagjöf til innlofts, reiknað á loftskiptamagn, er sennilega lægri á Reykjavíkursvæðinu vegna ódýrrar hitunarorku og því hugsanlega mikillar loftræstingar. Í staðlinum prEN ISO 13788rev er sett fram tillaga að reiknislegri rakabætingu í húsum, reiknað á hvern rúmmetra í loftskiptum og háð útihita, sjá mynd 7.1.



Mynd 7.1 Reiknisleg rakabæting í innloft; ($0-8 g/m^3$ á rúmmetra í loftskiptum) (Heimild: prEN ISO 13788rev)



Mynd 7.2 Hlutfallsraki innlofts í Reykjavík fyrir mismunandi rakabætingu ($0-8 g/m^3$) og innihita $20^{\circ}C$.

Útfrá upplýsingum um lofthita og raka í útilofti, gefinn innihita og rakagjöf þá má reikna hvernig loftraki innilofts breytist eftir árstíðum, mynd 7.2. Í íbúðarhúsnæði er rakagjöf mismunandi eftir herbergjum og loftræsting getur einnig verið mismunandi. Þannig má t.d. búast við að tímabundið geti loftraki orðið mjög hár í baðherbergjum og loftraki í svefnherbergjum getur einnig orðið allhár að næturlagi ef lítið er loftræst.

Almennt má þó miða við að algengur loftraki í íbúðarhúsum héraendis sé á bilinu 25-40 %HR að vetrarlagi, til viðmiðunar má nefna að ef rakinn fer yfir 40-45 % þegar kalt er úti þá verður rakapétting innan á tvöföldu einangrunargleri. Að sumarlagi fer loftrakinn talsvert hærra að skaðlausu, eða upp í 50-60 %HR; þ.e. samsvarar rakabætingu í inniloft svo nemur allt að tæpum 4 g/m³.

Í ýmsum sérbyggingum getur innihiti og loftraki þó verið verulega frábrugðinn því sem að ofan greinir, og eru sundhallir gott dæmi um slíkt. Þar er iðulega miðað við að vatnshiti sé um 30°C og lofthiti þá gjarnan 1,0 - 1,5 °C hærri. Með álagsstýringu á loftræsikerfi er stefnt að því að loftraka sé haldið undir 55-60 %HR að sumri til og helst neðar að vetri til, en það fer eftir hversu vönduð stýringin er hversu jafnar inniaðstæður verða.

Rakaálag vegna raka- og lekaskemmda

Rakaálag utanfrá getur valdið staðbundnum raka- og lekaskemmdum og einnig orsakað rakagjöf til innilofts. Raka- og lekavandamál hafa verið skoðuð af skýrsluhöfundi og samstarfsmönnum hans í þrígang með skoðanakönnunum; í Reykjavík á árunum 1992-1995 (Benedikt og Björn, 1999), samanburður milli Reykjavíkur og Akureyrar 2005 og loks í Reykjavík 2010 (Björn Marteinson, 2012). Í öllum þessum könnunum kemur fram að hlutfall húsa, þar sem rakavandamál hafa komið upp eða eru viðvarandi, er umtalsvert og skiptir þá aldur húsa ekki meginmáli, tafla 7.1.

Tafla 7.1 Könnun á rakavandamálum í Reykjavík og á Akureyri 2005-2006 Hlutfall húsa þar sem einhvern tíma hafa komið upp rakavandamál

Tímabil	Fjöldi alls	Raki/leki alls	Tíðni af heild						
			Raki/Leki alls	Orsök Raka- þétting	Raki/leki þak	veggir	gluggar og hurðir	grunn- og yfirborðs- vatn	lagnir og baðherb.
Reykjavík									
1950-59	11	6	54,5	0,0	9,1	27,3	9,1	18,2	0,0
1960-69	32	20	62,5	3,1	31,3	18,8	12,5	0,0	3,1
1970-79	20	14	70,0	0,0	40,0	15,0	10,0	5,0	10,0
1980-89	21	9	42,9	4,8	28,6	9,5	4,8	4,8	4,8
1990-99	17	9	52,9	0,0	47,1	0,0	11,8	0,0	0,0
2000-	10	3	30,0	0,0	10,0	0,0	30,0	0,0	0,0
Alls	111	61	55,0	1,8	30,6	12,6	11,7	3,6	3,6
Akureyri									
1950-59	12	8	66,7	8,3	16,7	8,3	0,0	16,7	16,7
1960-69	34	24	70,6	5,9	47,1	17,6	2,9	5,9	0,0
1970-79	28	14	50,0	0,0	46,4	0,0	3,6	3,6	7,1
1980-89	23	8	34,8	0,0	26,1	0,0	0,0	4,3	4,3
1990-99	27	6	22,2	0,0	7,4	0,0	7,4	0,0	7,4
2000-	24	3	12,5	0,0	0,0	8,3	4,2	0,0	0,0
Alls	148	63	42,6	2,0	26,4	6,1	3,4	4,1	4,7
Heild	259	124	47,9	1,9	28,2	8,9	6,9	3,9	4,2

Hitastig á yfirborði flata, rakabétting og efnisraki

Þegar einangrun er staðbundið lélegri heldur en almennt gerist í byggingarhlutanum, t.d. málmfestingar sem ná út í gegnum einangrun eða steipt milligólf og milliveggir ná út í steiptan útvegg sem er einangraður að innanverðu, þá nefnist slíkt kuldabrá.

Þegar innloft kemst í snertingu við fleti sem eru kaldari heldur en lofthitinn, t.d. gler í gluggum eða kuldabryr þá kólnar loftið og hlutfallsraki þess hækkar. Ef kælingin er nægjanlega mikil þá mun loftið rakamettast. Rakadræg efni sem eru í snertingu við kælt loftið geta þá fengið háan efnisraka eins og er vel þekkt í gluggakörmum herbergja þar sem loftraki er iðulega hár. Kalt og rakt yfirborð er skítsælla heldur en þurr yfirborð, dökkir flekkir í kverkum, bak við skápa við útvegg eða á gluggakörmum við glerjaðra benda alltaf til þess að yfirborðshiti og rakaaðstæður séu óheppilegar.

Steyptur veggur sem er einangraður að innanverðu með 80 mm einangrun, umhverfisaðstæður þannig að innihiti er 20 °C og útihiti -10 °C, þá verður yfirborðshiti að innanverðu almennt 18,4 °C en í loftkverk þar sem steipt milligólf gengur út í steiptan vegginn (sjá mynd 7.3) er hitastigið aðeins

11,0-13 °C (háð lofthita efst í herberginu). Reyndar getur yfirborðshitinn í kverkinni orðið ennþá lægri ef lofthreyfing þar er lítil.

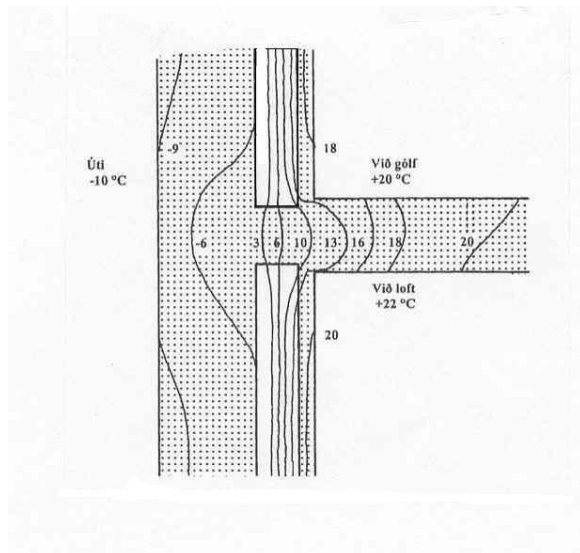
Inniloftraki í íbúðar- og skrifstofuhúsnæði er að vetrarlagi iðulega á bilinu 30-45 %HR og ef þetta loft kælist vegna snertingar við kalda yfirborðsflæti þá hækkar loftrakinn. Oft er miðað við að myglusveppur þurfi minnst 75 %HR til að dafna og því áhugavert að skoða hvað yfirborðshiti má verða lægstur áður en slík hætta er fyrir hendi, sjá töflu 7.2. Taflan sýnir í hvaða hitastig þarf að kæla 20 °C heitt inniloft með mismunandi hlutfallsraka svo hlutfallsrakinn hækki í annarsvegar 75 %HR og hinsvegar 100 %HR.

Tafla 7.2 Hitastig við 75 og 100 %HR rakamörk lofts sem byrjar sem 20°C og með mismunandi hlutfallsraka

Hlutfallsraki eftir kælingu (%HR)	Hlutfallsraki %HR innilofts við 20 °C					
	30	35	40	45	50	55
75	5,3	7,6	9,7	11,5	13,2	15,0
100	1,0	3,2	5,3	7,0	8,7	10,2

Af töflunni sést t.d. að inniloft sem er 20 °C og hefur hlutfallsraka 40 % nær 75 %HR ef það er kælt niður í 9,7 °C. Yfirborðshiti kuldabráar, eða annarra illa einangraðra flata, þarf því að vera hærri en sem þessu nemur svo tryggt sé að myglusveppur þrífist alls ekki á yfirborðinu við þessar inniaðstæður.

Þegar inniloftraki fer yfir 40 %HR þegar kalt er úti þá er umtalsverð hætta á rakapéttingu á köldum flötum innanhúss, og það ætti því almennt að miða við að halda loftraka innandyra að vetrarlagi undir 40 %HR.



Mynd 7.3 Steypt gólfplata gengur út í steyptan útvegg einangraðan að innanverðu (kuldabrá) - Hitastig í sniði

Það er vel þekkt að umtalsverður raki getur verið undir gólfefnum við útveggi, einkum á gólfplötum á fyllingu. Það er næsta víst að fyrir eða síðar losna niðurlímd gólfefni (dúkar) á slíkum stöðum og undir er svæði dökkt af raka og jafnvel myglu. Rakinn í þessum tilvikum getur hafa komið frá jarðfyllingu

upp í plötu vegna hárpípuáhrifa eða eitthvert rakasmit hefur átt sér stað í gegnum útvegginn eða milli veggjar og gluggakarms.

Niðurbrot efna - hvaða?

Hérlendis hefur ekki verið safnað kerfisbundið upplýsingum um áhrif efna á inniloft, né gæði innilofts í íbúðarhúsnæði. Augljóslega hafa fletir sem eru í snertingu við innilofti áhrif á loftgæði, og er hlutfall milli flata og rúmmáls einskona álagsstuðull flatanna (*sænska: belastningsfaktor*). Þegar þessi hlutföll eru reiknuð fyrir mismunandi yfirborðsefni byggingarhluta fyrir 8 íbúða stigagangur í fjölbýli fást gildi eins og tafla 7.3 sýnir²⁰. Af töflunni má sjá að í umræddu húsi eru alls 1,96 m² af yfirborðsflötum á hvern rúmmetra hitaðs rýmis. Málaðir fletir vega langhæst eins og við var að búast hérlendis, fletir með málningu á múr eða steypu eru alls 1,24 m²/m³ eða sem nemur rúmmum 63 % allra flatanna.

Tafla 7.3 *Umfang flata reiknað á hvern hitaðan rúmmetra íbúðarhúsnæðis – samantekt fyrir 8 íbúðir og sameign í einum stigagangi (heimild; Björn Marteinsson, 2006)*

	(m ² /m ³)	
Gólfpletir (nettó)	0,41	
Teppi	0,10	
Flísar	0,01	
Epoxy lakk á ilögn	0,08	
Dúklagt	0,07	
Parkett	0,12	
Ekki skilgreint	0,03	
Veggyfirborð inni (nettó)	1,16	
Múrað á einangrun og málað	0,41	
Steypt, sandsparslað og málað	0,49	
Flísar á múr eða steypu	0,02	
Grindarveggur með Huntonít, má	0,00	
Stálgrind; gipsklæðning	0,01	
Gler í gluggum	0,12	
Karmar (timbur)	0,05	
Hurðir	0,07	Útihurðir húss og bílskúra ekki meðtaldar
Loftafletir inni (nettó)	0,39	
Steypa, sandsparslað og málað	0,22	
Huntonít á grind	0,08	
Steypa, holufyllt og málað	0,04	
Panill á grind	0,04	
Múrað á einangrun og málað	0,01	
Ekki skilgreint	0,00	

Samsvarandi greining, en gerð fyrir eitt herbergi (hjónaherbergi) og að teknu tilliti til innréttinga er sýnd í töflu 7.4.

Af töflunni má sjá að af byggingarflötum vega málaðir fletir mest eins og einnig sást af töflu 7.3, en innréttingar vega einnig mjög mikið og því ástæða til að leggja áherslu á gæði þeirra varðandi áhrif á inniloft. Lausamunir s.s. gardínur og rúm vega álíka og gólfpletir herbergisins.

²⁰ Umfjöllun og töflugildi tekin úr Björn Marteinsson (2006, bls. 20-21)

Tafla 7.4 Flatarstærðir og álagsstuðlar flata í 12 m², 30 m³, hjónaherbergi (rúmfatnaður undanskilinn)

Flötur	Flatarmál (m ²)	Álagsstuðull (m ² /m ³)
Málaðir byggingarfletir (veggir og loft)	42,3	1,41
Gler, karmar og innihurð	4,7	0,16
Gólf	12,0	0,40
Fataskápar, 4 stk (yfirborðsfletir alls) ¹⁾	34,9	1,16
Rúm og gardínur	12,3	0,41
Alls fletir	106,2	3,54

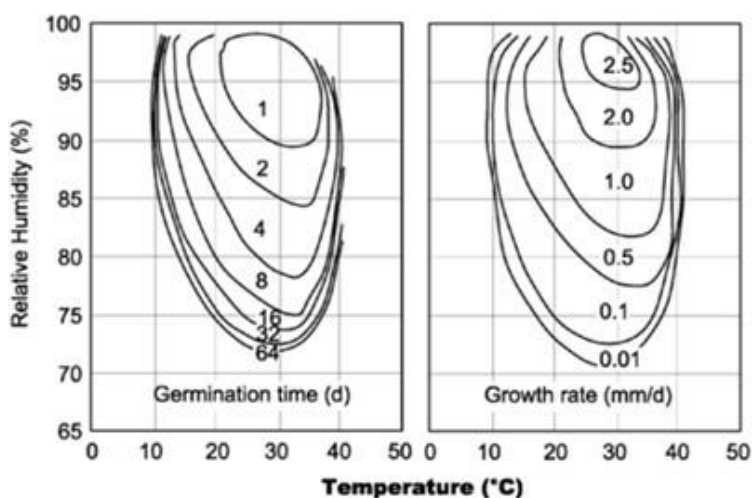
Skýringar:

1) sökkull ekki meðtalinn

Flatarstærðir efna í tengslum við inniloft eru miklar; niðurbrot, ef eitthvað, mun merkjast! Einstaklingar eru hinsvegar mjög misnæmir á efnaáhrif- og virðist sem þetta stafi að einhverju leiti af því hvort viðkomandi hafi einhvern tíma orðið fyrir svo miklum áhrifum að það hafi ofgert ónæmiskerfi hans. Þó svo þekkt sé að mörg efni geti gefið frá sér efni sem geta valdið óþægindum, sjá lista í viðauka 1, þá er alls ekki svo að efnin séu ónothæf við allar aðstæður. Þegar vitað er að notandi geti sýnt ofnæmisviðbrögð þá þarf að velja efni af gaumgæfni- í mörgum tilvikum er þessu ekki til að dreifa þó vitaskuld sé alltaf best að efni hafi alls ekki neikvæð áhrif á umhverfi.

Örverur; mygla og fúi

Sveppir þurfa talsverðan raka og hæfilegan hita til að vaxtarskilyrði séu þeim heppileg. Það hefur jafnframt verið sýnt fram á (Viitanen, 1996) að heppileg vaxtarskilyrði fyrir svepp þurfi ekki að vera stöðugt, eða samfelld til staðar. Sveppurinn vex þegar aðstæður eru heppilegar, svo hægir á vexti eða hann leggst jafnvel í dvala meðan aðstæður henta ekki, og vaxtarskeiðið heldur síðan áfram strax og aðstæður verða hagfelldari- það er því um að ræða uppsöfnuð áhrif. Það er þó verulega háð umhverfisaðstæðum hversu hratt sveppavöxtur fer af stað (spírunartími) og hver vaxtarhraði sveppsins er síðan, sjá mynd 7.4.



Mynd 7.4 Vaxtarskilyrði myglusvepps; spírunartími (e:germination time) og vaxtarhraði (heimild: Sedlbauer et al., 2002)

Samkvæmt línuriti 7.4 er ekki sýnd hættu á spírur eða vexti við lægra hitastig en 10°C, en þá skal tekið fram að Viitanen (1996) gefur upp hitastig alveg niður undir 0 °C- en vöxtur er þá mjög hægur. Byggingarefni hafa ákveðið rakaþol, ef raki er lægri en þröskuldsgildi fyrir raka viðkomandi efnisins þá er engin hættu á ferðum en fari raki upp fyrir þröskuldsgildið þá hefst niðurbrot eða sveppavöxtur sem geta haft ýmiskonar óþægindi í för með sér. Þessi mörk eru þó iðulega sett fram á aðeins mismunandi hátt, sjá töflur 7.5 og 7.6.

Tafla 7.5 Þröskuldsgildi hlutfallsraka lofts fyrir nokkur efni (heimildir: AMA Hus og Viitanen et al., 2003)

Efni	Þröskuldsgildi (%HR)	Áhætta
Stál, ómeðhöndlað	60	Tæring
Ryk og skítur	70-75	Mygla, ólykt
Timbur og trjávörur	75-90	Mygla, mislitun
Plastdúkur (með vef bakhlið)	70-75	Mygla, mislitun
Plastdúkur (PVC)	85-90	Los, lykt, stærðarbreyting
Linoleum dúkur	85-90	Los, lykt, stærðarbreyting
Timbur og trjávörur	95-	Fúasveppur
Textilteppi (al-gerfiefni)	99	Þolir raka, en ólykt getur komið vegna ryk-og skítsöfnunar

Tafla 7.6 Áhættumörk loftraka fyrir nokkur efni (%HR)

Efni	Áhættuþáttur	Áhættumörk loftraka (%HR)			Heimild
		Lítill/engin	Nokkur	Mikil	
Timbur	fúi	< 75	75-95	> 95	1
Timbur	mygla	< 75-80	80-85	> 85	1
Plötur úr trjákenndum efnum	mygla	< 75-80		> 90	2
Óvarið stál	ryð	< 60	70		1
Lím fyrir þétt efnislög (t.d. sum gólfefni)		< 90			1
Steinull	mygla	< 90-95		97-98	2
Frauðplast	mygla	< 90-95			2
Steypa, hrein	mygla	< 90-95		> 97	2
Gipsplötur með pappír	mygla	< 80-85	> 85	> 90	2
Skítug efni almennt	mygla	< 75-80			2

Heimildir:

1. Burström (2001,81)
2. Johansson et al (2005,5)

Töflugildin sýna að þegar loftraki (eða samsvarandi efnisraki) fer yfir 70 %HR þá er hættu á að myglusveppur þrífist í ryk og skít, og undir gólfefnum úr plasti. Timbur getur farið að mygla við heldur hærri raka, eða 75 %HR, en rakaþol annarra efna er mun meira.

Skordýr geta einnig valdið óheppilegum áhrifum, en hérlendis eru fáar tegundir slíkra skordýra í samanburði við það sem víða gerist erlendis. Það kemur þó alltaf fyrir af og til að bjalla veggjatítlunnar skemmi timbur, en bjallan þarf allháan viðarraka til þess að þrífast eða allt að 30% (Náttúrufræðistofnun Íslands). Af öðrum tegundum má nefna rykmaur sem getur vakið ofnæmisviðbrögð hjá sumum en umfang hans hérlendis er lítið þar sem iðulega er svo þurr í hýbýlum hérlendis að vetrarlagi að maurinn tímgastr ekki (þarf lágmarks loftraka 45 %HR, sjá t.d. Vísindavef HÍ).

Til þess að halda innloftraka hóflegum og til endurnýjunar á innlofti þá þarf að loftræsa reglulega. Hérlendis er orkuverð víða svo lágt og orka til upphitunar umhverfisvæn miðað við það sem víðast þekkist að ekki hefur verið ástæða til að takmarka loftræsinguna í þeim tilgangi að lágmarka orkunotkun. Loftun íbúðarhúsa, og raunar margra annarra hústegunda einnig, er einkum um opnanlega glugga þar sem mismunaprýstingur vegna vinds knýr loftskiptin. Á seinni árum hefur borgin vaxið umtalsvert og ennfremur er gróður mun meira áberandi í borgarmyndinni en áður var. Það er því ekki lengur sjálfgefið að opnanlegur gluggi geti tryggt næga loftun húsnæðis, enda heyrast stundum frásagnir íbúa af vandræðum við loftun húsa; það næst ekki gegnumtrekkur vegna staðsetningar húss í borgarlandinu miðað við ríkjandi vindátt. Loftun um opnanlega glugga getur verið ótrygg og ennfremur er erfitt að sýna framá hverju loftunin nemur í reynd. Það er því ástæða til að skoða aðra möguleika varðandi loftun húsa svo tryggja megi heppileg loftskipti, s.s. vélræna útloftun eða þá vindknúna loftun um stokka.

8. Umhverfisáhrif og vistferilsgreiningar

Áhersla á mat á umhverfisáhrifum fer vaxandi og erlendis er víða litið á greiningu umhverfisáhrifa sem einn af mörgum nauðsynlegum þáttum í hönnun; sumstaðar er slík greining þegar skylda þegar opinberar byggingar eiga í hlut og ótvírætt að t.d. Evrópusambandið ætlast til að þetta verði almennt tíðkað innan náinnar framtíðar (í síðasta lagi árið 2020).

Þessi áhrif eru iðulega metin í vistferilsgreiningu (*e: Life Cycle Assessment, LCA*) þar sem tekið er tillit til mismunandi áraunar á umhverfi og hollustu; en þetta mat er ekki enn innifalið í flestum vistferilsvottunarkerfum eins og drepíð var á í kafla 3. Umhverfisáhrifin sem koma til álita eru mjög fjölbreytt og framan af var því talsverð umræða um hvaða áhersluatriði skyldi taka til athugunar í matinu. Í ISO staðli frá 1997 var birtur listi sem er iðulega byggt á, tafla 8.1.

Tafla 8.1 Mat á umhverfisáhrifum (*e. Impact assessment, ISO 1997*)

Íslenska	Enska
Ólífrænar auðlindir (jarðefni, vatn, loft)	Abiotic resources
Lífrænar auðlindir (gróður, fiska- og dýralíf)	Biotic resources
Landnotkun (ágangur á land)	Land use
Gróðurhúsaáhrif, Hnattræn hlýnun, kolefnisfótspor	Global warming
Eyðing ozonlags í andrúmslofti	Stratospheric ozone depletion
Efna- og líffræðileg áraun á mannkyn	Human toxicity
Efna- og líffræðileg áraun á umhverfi	Ecotoxicity
Ljós-efnafræðileg ozon myndun	Photochemical oxidant formation
Súrnun	Acidification
Ofauðgun (áburðarauðgun)	Eutrophication

Hér verður einungis skýrt lauslega í hverju greining felst til þess að setja umfjöllun aftar í samhengi.

Í vistferilsgreiningu eru ágangur og áraun aðgerðar á umhverfi metin innan einhverra skilgreindra marka; s.s. vinnsla, framleiðsla, rekstur, förgun/endurvinnsla – hvert um sig eða fleiri þættir saman. Upphaf ferlisins er iðuleg í hráefnisvinnslu, og þá nefnt vagma (ferlis) og síðan talað um hlið þegar vara er afgreidd til næsta aðila ferlis; þessi hluti ferlis þá nefnt frá vöggju til hliðs (*e. cradle-to-gate*)

Dæmi: sementsframleiðsla

Vaggan er upphaf hráefnisvinnslu og verksmiðjuhlið þegar varan er send frá verksmiðju.

Heildarferli getur verið misflókið eftir því hve margir mismunandi þættir spila inn; þ.e. hve mörg þrep eru í ferlinu. Fyrir framleiðslu á t.d. áldósum lítur listinn þannig út (Ashby, 2009, p. 46) og í greiningunni er þá hver þáttur metinn í einhverri magneiningu, tafla 8.2.

Í greiningu á áraun á umhverfi (*e: impact assessment*) er efnagjöf svo gjarnan skipt niður á eftirtalda flokka og þegar áhrif mismunandi efna innan sama flokks eru misjöfn þá eru notaðar vægitölur og t.d. gróðurhúsaáhrif almennt metin í einingunni CO₂ ígildi (*e. CO₂-equivalents*), tafla 8.3 .

Tafla 8.2 Ágangur á auðlindir og efnagjöf vegna framleiðslu áldósa (Ashby, 2009)

Ágangur á auðlindir	Báxít Olía Rafmagn Orka úr gróðri, t.d. timbri (<i>e.energy in feedstocks</i>) Vatn
Efnagjöf ¹⁾	CO ₂ CO NO _x SO _x Ryk (<i>e.particulates</i>)

Skýringar:

1) Úrgangur (afskurðir, rusl) geta flokkast til efnagjafar í þessu samhengi ef þeir eru ekki nýttir sem orkugjafi eða hráefni

Tafla 8.3 Áraun á umhverfi, flokkar (heimild: Stranddorf et al, 2003)

Gróðurhúsaáhrif	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, CFC's, HCFC's, ..., CO
Eyðing ozonlags	CFC's, HCFC's, CCl ₄ , ...
Ofauðgun	NO ₃ ⁻
Súrnun	SO _x , NO _x , NH ₃ , ...
Ljós-efnafræðileg osonmyndun	NO _x , VOC's (m.a. CH ₄), CO

Í þeim tilgangi að meta áhrif einstakra flokka (tafla 8.3) á umhverfi þá er áraunin iðulega „normaliseruð“ sem hlutfall af heildaráraun í umræddum flokki, reiknað á einstakling og ár (athuga ber það er í raun ekki metið álag á umhverfi, heldur hlutfallsmagn í álagshóp sem persónu-ígildi). Tilgangurinn er vissulega sá að fá mat á áhrifum á umhverfi, og er það gert á síðari stigum; vegin sama áhrif og loks gefin einkunn. Þessi síðari hluti greiningarinnar er tæknilega séð mun erfiðari í skilgreiningu og mati heldur en grunngreining áraunar sem þegar hefur verið lýst, og hefur ekki enn öðlast sama samhljóm hjá notendum.

Vistferilsgreining gerir samanburð milli mismunandi efna, aðferða eða tæknilegra lausna mögulegan, en greiningin er flókin og krefst iðulega þess að lýsing sé nokkuð tæmandi. Þetta veldur því síðan að í hönnunarferli er aðferðin ekki mjög aðgengileg á meðan margir möguleikar eru enn uppi á borðinu. Í mannvirkjagerð kemur þó í ljós að gróðurhúsaáhrif vegna orkunotkunar í framleiðsluferli (og flutningum) - þetta heildarorkuinnihald efna að viðbættu brunagildi þeirra er nefnt innifalin orka (*e. embodied energy*) - vegur iðulega mikið miðað við önnur áhrif. Þetta sést einna best ef skoðuð eru áhrif í hverjum flokki sem hlutfall af persónu-ígildum flokksins á landsvísu.

Dæmi:

Í MSc ritgerð, Sigurbjörn Orri Úlfarsson (2011), er gerð vistferilsgreining á nýju, íslensku, einnar hæðar timburhúsi með heildar grunnflötinn 94,05 m². Þar má finna greiningu eftir byggingarhlutum og fyrir húsið allt í ígildum mismunandi flokka áraunar fyrir nýbygginguna og viðhald í 50 ár. Þar sem ekki eru tiltæk persónuígildi fyrir íslenskar aðstæður og umrædda flokka-

Þá eru til samanburðar tekin meðaltöl persónuígilda fyrir 15 Evrópuríki (EU-15), sjá Stranddorf et al. (2003). Í töflu 8.4 eru heildaráhrif byggingarluta annarsvegar og hinsvegar alls hússins sýnd;

Tafla 8.4 Áraun á umhverfi vegna timbureinbýlishúss; nýbygging og viðhald í 50 ár (byggt á Sigurbjörn Orri Úlfarsson, 2011 og Stranddorf et al, 2003)

	Gróðurhúsa- áhrif	Ágangur á auðlindir	Súrt regn	Virkni sólarljóss á ozon- myndun	Næringarefna- auðgun	Eyðing ósonlags
	kgCO ₂ ígildi	kg SB ígildi	kg SO ₂ ígildi	kg Ethen ígildi	kg Phospat ígildi	kg R11 ígildi
EU-15 meðaltal; ígildi/íbúa,ár	8700		74	25	119	0,103
Þakvirki húss	9506	71,6	105,3	8,4	21,1	0,0
Gólf húss	7753	54,7	35,8	8,4	8,4	0,0
Húsið allt	31011	221,5	275,8	29,9	51,4	0,0
.. hlutfall af EU-15 (%)	356,5		372,7	119,6	43,2	0,0

Eins og taflan sýnir þá vega gróðurhúsaáhrif alls hússins um 356 % af árs-persónuígildum á Evrópuvísu, og hliðstætt gildi fyrir súrnun er 373%, aðrir þættir vega mun minna.

Í Petersen et al (1998) er greining á áhrifum vegna 1 m² byggingarluta, þar fæst að gróðurhúsaáhrifin vega hlutfallslega mun meira heldur en hinir þættirnir (bls. 78) eða um fjórfalt meira (1,45e-4 á móti hæst 4e-5 fyrir önnur áhrif).

Í erlendum samanburði á umhverfisáhrifum tveggja mismunandi bygginga sést að hnattræn hlýnun, súrnun og ofauðgun eru mikilvægustu áhrifin og vega þar áhrif koltvísirings mest (Krogh, 1998 bls.19).

Af töflugildum og uppgefinni stærð timburhússins má ráða að gróðurhúsaáhrif vegna nýbyggingar og viðhalds í 50 ár nemi um 330 kg CO₂ ígildi/m² grunnflatar (sjá einnig umfjöllun síðar í kaflanum).

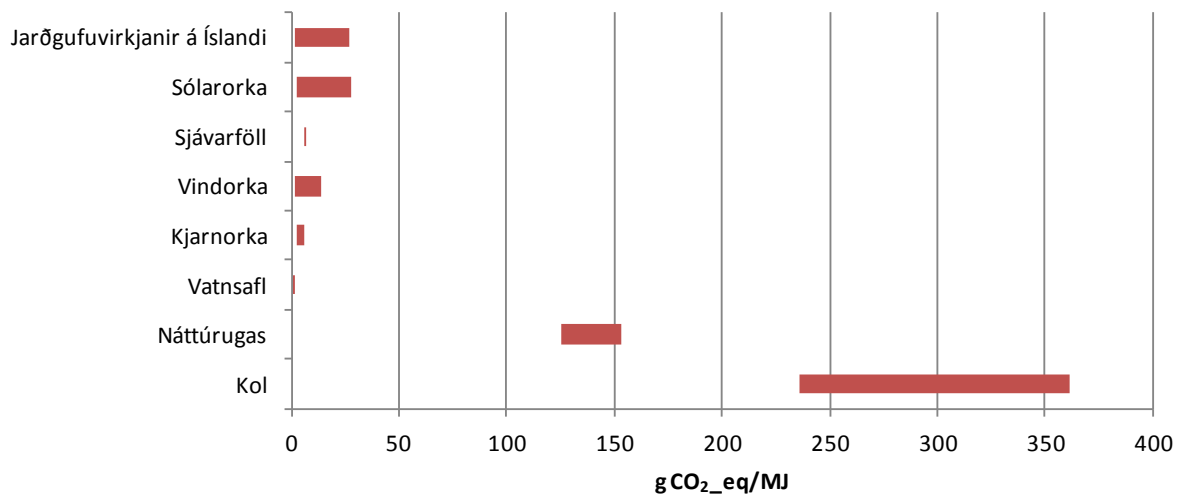
Þar sem áhrif gróðurhúsalofttegunda, og áhrif innifalinnar orku í efnum vega þar þungt, eru svo mikil sem raun ber vitni þá er algengt að sjá töflugildi fyrir einungis innifalda orku eða CO₂ ígildi fyrir ýmsa vöruflokka. Slík dæmi hafa gildi í einföldum samanburði og geta því verið gagnleg hönnuðum þó svo greining þeirra uppfylli ekki kröfur til vistferilsgreiningar og því talað um annaðhvort orkuinnihald eða kolefnisfótspor. Þó svo tölur úr mismunandi heimildum séu ekki endilega samanburðarhæfar að fullu þá geta hönnuðir og aðilar byggingarmarkaðarins betur áttað sig á kostum og göllum mismunandi lausna útfrá umhverfissjónarmiðum. Slík dæmi eru héraendis (og raunar erlendis einnig) fá þar sem flestar greiningar á byggingarsviði eru unnar fyrir einstaka kaupendur sem eiga niðurstöðurnar. Dæmi um aðgengilegar niðurstöður varðandi byggingarefni, byggingarluta eða byggingar héraendis eru t.d.;

- greining á nokkrum mismunandi þaktegundum unnið fyrir Reykjavíkurborg
- vistferilsmat timburhúss (sjá tilvísun ofar)
- vistferilsmat flutninga til Íslands (Kenneth Breiðfjörð, 2011)

Þetta eru allt dæmi sem eru unnin fyrir íslenskar aðstæður og eiga því að hafa gildi hér. Það sama verður alls ekki sagt um ýmsar erlendar upplýsingar; sem þó geta verið áhugaverðar, ef aðgát er höfð,

þar sem svo lítið er til af innlendum gögnum. Í viðauka 4 er listi yfir vistferilsáhrif byggingarefna sem er byggður á birtum gögnum víða að og því þarf að gæta að ýmsu þegar þessi gögn eru notuð. Það er nauðsynlegt að gera sér grein fyrir þeim ramma sem vistferilsgreining byggir á. Í töflunum er einungis sýnt magn jafngildis kolefnistvíldis (kolefnisspor) mismunandi efna.

Kolefnisspor vegna raforkuframleiðslu er mjög mismunandi eftir uppruna orkunnar, í Viðauka 2 er yfirlit yfir slík gildi og mynd 8.1 sýnir samanburð byggðan á þeim tölum. Raforka frá vatnsaflsvirkjunum hefur minnst kolefnisspor (virkjanir hérlandis sem erlendis iðulega á bilinu 0,3 – 1,4 g CO₂-eq/MJ) en raforka fengin með brennslu á kolum gefur mesta losun gróðurhúsalofttegunda (240-360 g CO₂-eq/MJ).



Mynd 8.1 Kolefnisspor raforku eftir uppruna , g CO₂ ígilda á hvert megajúl orku (sjá Viðauka 2)

Óháð mesta áhrifavaldi (sbr. lista að framan) þá byggja gögn greiningar alltaf á vissum vinnureglum vistferilsgreiningar, þar skipta eftirfarandi skilgreiningar höfuðmáli;

- hvert er umfang greiningar, þ.e. hver eru mörk hennar (eitt eða fleiri eftirtalinna; öflun hráefna, vinnsla, flutningar, notkun, rekstur...)
- hvaða ferli eru tekin til viðmiðunar (m.a. samsetning orku, framleiðsluferli, flutningsleiðir og fjarlægðir., förgun eða endurnýting)
- hvaða grunneining er til umfjöllunar og hvernig er hún skilgreind (m² byggingarluta, m² gólfplatar, bygging eða byggingarluti í heild,...)
- notkunarsvið (m.a. álag, viðhaldspörf og ending) og notkunartími (eingöngu nýbygging, eða bygging og rekstur í tiltekinn árafjölda?)

Þegar skoðaðar eru niðurstöður vistferilsgreiningar þá skipta ofantalin atriði höfuðmáli þegar meta þarf gæði upplýsinganna, því miður er ekki alltaf ljóst hvað á við hverju sinni.

Varðandi gögn í áður nefndri töflu í viðauka þarf að hafa eftirfarandi í huga;

Umfang:

Varðandi gögn í viðauka 4 (kolefnisfótspor) þá skal nefnt að aðeins tvær af heimildunum taka skýrt fram hvert umfang greiningar er (sjá Greenspec og Ashby, 2009 í heimildalista; einungis hráefnisöflun og framleiðsluhlutinn þ.e. *e. cradle to gate*). Hugsanlega gildir sama forsenda um stærri hluta gagna í töflunni, en það er þó ekki vitað – og ekki hægt að útiloka að búið sé að áætla inn flutningsáhrif í einhverjum tilvikum.

Ferli:

Aðeins ein heimildanna (Ashby, 2009) nefnir eitthvað um ferlin yfirleitt. Til útskýringar á mikilvægi ferla þá má taka tvö áhugaverð dæmi, annarsvegar varðandi forsögu efnis og hinsvegar uppruna orku í framleiðslu efnis;

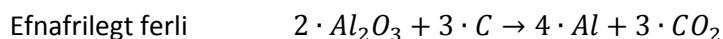
1. Tré (og flestur gróður) taka á vaxtarferlinu upp koltvísíring og vinna þannig kolefni, sem er aðalefnið sem þau eru gerð úr. Unninn viðurinn inniheldur (mest) kolefni og brunagildi hans er mikið. Viðarvinnslan sem slík krefst tiltölulega lítillar orku (hlutfallslega) þar sem t.d. þurrkun fæst með bruna afgangna s.s. greina og barkar. Innifalin orka viðar er þó umtalsverð vegna brunagildisins eins og sér. Í heildina þarf því að skoða tvö tilvik;
A- Tré er fellt úr skógi sem er viðhaldið með umhverfissjónarmið í huga; gróðursett er tré fyrir hvert eitt sem er fellt. Skógurinn er þá talinn sjálfbær og venja að líta svo á að viður úr því sé kolefnishlutlaus (binding á vaxtartíma samsvari innifalinni orku). Þetta er t.d. talið gilda um við úr barrskógum Norður Evrópu (í töflunni; „with sequestration“, eða „CO₂ uptake“)
B- Tré er fellt án endurgjalds til náttúrunnar, það hættir að taka upp koltvísíring en varan inniheldur orku sem nemur brunagildinu (og einhverri viðbótarorku). Kolefnisfótsporið viðarins er talið jafngilda innifalinni orku. Þetta er t.d. talið gilda um við úr laufskógum (m.a. Ameríka, Ástralía,.. í töflunni „without sequestration“)

Þegar meta á kolefnisfótspor vöru úr trjávið þá þarf því að taka tillit til tegundar og uppruna vörunnar.

2. Í framleiðslu sumra efna, t.d. álframleiðslu, þá kemur umtalsverður hluti kolefnissporsins vegna efnafræðilegs ferlis sem slíks, og svo bætist alltaf eitthvað við kolefnissporið vegna orkunotkunar í ferlinu.

Í bræðslu á súráli gildir eftirfarandi (í endanlegri vöru er síðan iðulega fjöldi annarra málma í litlu magni, sem ekki verða taldir hér):

Ferlið:



Út frá atómmassa fæst hlutfallið 1,2 kg CO₂ per 1 kg Ál

Bræðsla:

Bræðsluorka áls er iðuleg agefin upp sem 15 (MJ/kg Ál), (heimild; sjá töflu í viðauka 4)

Kolefnisfótspor orkunnar fer alfarið eftir uppruna hennar, fyrir mismunandi tilvik samsvarar ofanefnd orkuþörf t.d;

Kol: 305 gCO₂/MJ (lágildir) þ.e. 4,6 kg CO₂/kg Ál
Rafmagn (Landsvirkjun): 0,6 gCO₂/MJ° þ.e. 0,009 kg CO₂/kg Ál

Bræðsla súrál ein og sér getur þannig numið 0,009- 4,6 kg CO₂/kg Ál, háð tegund orkunnar.

Í mati á kolefnisfótspori fullunninnar vöru koma vissulega einnig áhrif vegna frumvinnslu hráefnis (súrál og kolefnis í skaut, auk ýmissa aukaefna) svo og flutninga, sem allt þarf að vege saman í heildarniðurstöðunni. Fyrir álverið á Reyðarfirði er kolefnisspor sagt vera á bilinu 1,20-1,50 kg CO₂/kg ál²¹.

Notkunarvið

Í töflugildum er hvorki greint frá notkunarstað né aðstæðum; gildin eru því örugglega „nýbyggingar“ - gildi í einhverjum skilningi (sbr. umræðu að ofan um umfang). Umhverfisáhrif yfir allan vistferil vöru þarf því að meta útfrá framleiðslugildum, flutningum, væntanlegri viðhaldsþörf og endingu. Að þessu öllu sögðu þá má gera eftirfarandi samanburð byggðan á töflum í viðauka 4, tafla 8.5. Þegar algeng byggingarefni eru skoðuð þá er kolefnisspor áls langstærst, gerfiefni liggja iðulega hátt og sama gildir um mikið unnar málmvörur.

Tafla 8.5 Kolefnisfótspor nokkurra efna

Efni	Kolefnisfótspor kg CO ₂ - ígildi/kg efnis
Ál, formað (endurunninn hluti 33%)	11,3 - 11,5
Stálpötur	2,28
Byggingastál	1,80
Bendistál	0,45
Steypa	0,10 - 0,15
Vínýl gólfefni (PVC)	2,9
Línóleum gólfefni	1,2
Frauðplast, þanið	2,55
Málning (plastmálning)	2,08
Timbur, að teknu tilliti til CO ₂ upptöku	hlutlaust

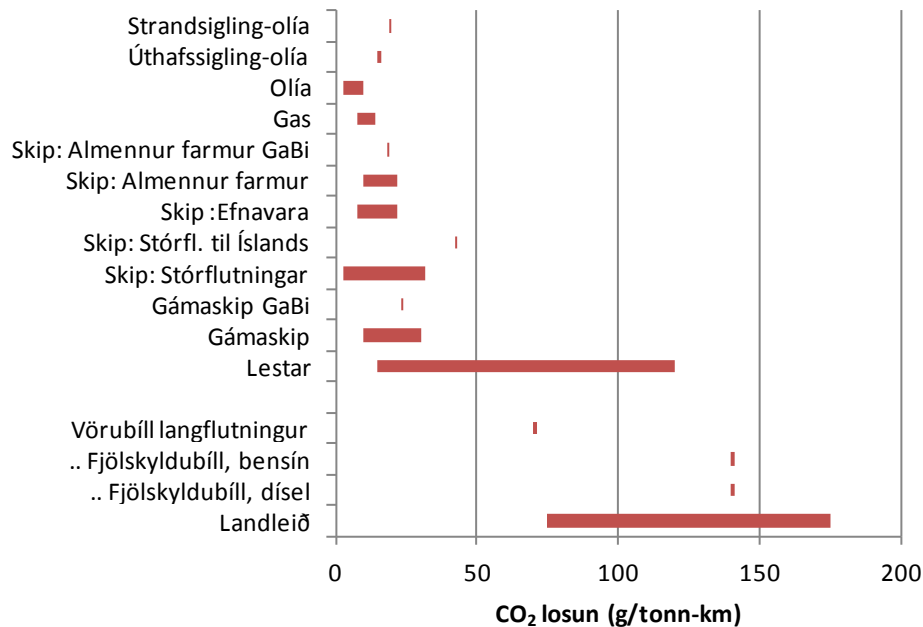
Skýringar : Gögn byggð á töflum í viðauka 4, mörk sennilega oftast miðuð við afhendingu frá framleiðanda (e. „cradle to gate“)

Kolefnisfótspor vegna flutninga og hlutfall af innifalinni orku

Við flytjum inn talsverðan hluta þeirra vara sem við notum í byggingariðnaði; innlend framleiðsla er einkum fylliefni; í steypu og jarðvegsfyllingar, steinull að mestu leyti (um 85% þunga hráefnis er innlent, unnið uppúr: Sigbjörn Orri Úlfarsson, 2011, bls. 157), frauðplast að hluta (hráefnið alfarið innflutt) og sama gildir að mestu leyti um málningu. Aðrar vörur eru fluttar inn að mestu eða öllu

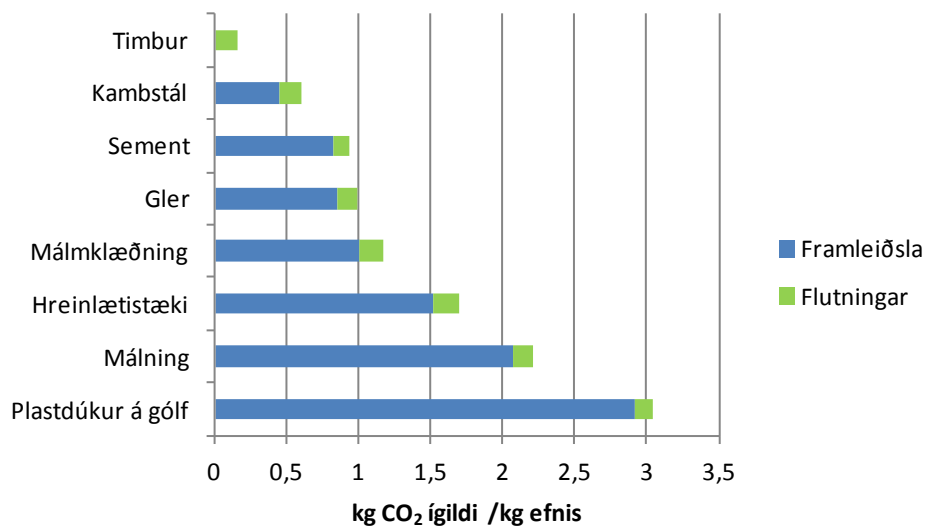
²¹ Sjálfbærni.is- Sjálfbærni verkefni á Austur-og Norðurlandi, skoðað 2013.02.25

leyti, sement er ekki framleitt í landinu sem stendur. Þar sem landið er eyland, talsvert fjarri öðrum mörkuðum, þá skiptir flutningsþátturinn nokkru í kolefnisfótspori byggingarvara hér. Bæði má gera ráð fyrir að flytja þurfi vörur til útskipunarhafnar eftir einhverjum leiðum og svo bætist við flutningur til landsins og flutningur frá uppskipunarstað og til notkunarstaðar. Kolefnisfótspor vegna flutninga er yfirleitt gefið upp sem losun á hvern tonn-km sem vara er flutt, losunin er mjög mismunandi háð flutningaleið, sjá mynd 8.2.



Mynd 8.2 Kolefnisfótspor vegna flutninga, g CO₂-ígildi/tonn-km (sjá einnig viðauka 3)

Fyrir margar vörur eru áhrif flutninga þó vel innan við 10% af heild eins og sjá má á mynd 8.3, en línuritið byggir á gögnum í viðauka 5. Hlutur flutningsorku í kolefnisspori kambstáls hingað komnu er um 25%, fyrir gler og málmklæðningar um 14% en lægra fyrir aðrar vörur.



Mynd 8.3 Hlutfallsleg áhrif flutninga í kolefnisspori vöru sem komin er til landsins. Athugasemdir; Málning flutt inn að öllu leyti (ekki blönduð hér), flutningshlutinn verður mun minni ef aðeins hráefnið er flutt inn

Hluti flutningsáhrifa vegur vissuleg í heildinni, en þó ekki meira en svo að hann einn geti orðið ráðandi varðandi efnisval nema í þeim tilvikum að um sambærileg efni frá mismunandi svæðum sé að ræða- og þá skal valið efnið sem hefur minni flutningsáhrif.

Kolefnisfótspor byggingarluta og hlutfall húsbygginga í heildarkolefnisspori

Til þess að vistferilsgreina byggingarluta þarf ítarlega sundurliðun á aðföngum, efnistegundum og efnismagni. Niðurstöður eru því mjög háðar aðstæðum og gerð hverju sinni og erfitt að bera saman tölur úr mismunandi heimildum. Þar sem slíkar upplýsingar eru þrátt fyrir allt mjög áhugaverðar, og nauðsynlegar svo betur megi skoða hvaða áraun á umhverfi stafar frá húsbyggingu þá eru niðurstöður úr nokkrum heimildum teknar saman í viðauka 6. Nákvæmni greininga er næsta örugglega eitthvað misjöfn, bæði vegna mismunandi aðstæðna en einnig þar sem íslenskar tölur byggja að einhverju leyti á misvönduðum grunngögnum.

Niðurstöður í viðaukanum sýna að gróft séð þá eru steptir byggingarhlutar með nokkuð eða talsvert stærra fótspor heldur en timburbyggingarhlutar. Óháð staðsetningu og gerð byggingarhlutanna má taka sem nálgun að kolefnisfótspor liggja á bilinu 20-100 kg CO₂ ígildi/m², lægri mörkin fyrir einfaldari byggingarluta, algengir byggingarhlutar iðulega um 50 og efri mörkin fyrir þunga, gjarna steypumikla byggingarluta. Þar sem mörkin eru þó ekki víðari en þetta þá má slá fram einfölduðu dæmi til að sýna kolefnisfótspor nýbyggingar íbúðarhúsnaðis á einstakling;

Meðalstærð nýbyggðs búðarhúsnaðis í landinu hefur undanfarin ár verið á bilinu 150-200 m² (mynd 6.5), sem fyrir meðalfjölskyldustærðina 2,5 persónur gefur 60-80 m²/íbúa. Reiknað kolefnisfótspor á mann vegna byggingar íbúðarhúsnaðis má ákvarða þannig; til einföldunar er gert ráð fyrir að íbúinn búi (hugsanlega ásamt fleirum) í einbýli og þá gildir eftirfarandi iðulega fyrir slíkt húsnaði (innréttingum sleppt), og miðað við 67m²/íbúa:

Flatarstærð þaks = flatarstærð gólfs , eða 67 m²

Flatarstærð útveggja (nettó) = flatarstærð innveggja=flatarstærð gólfplatnar , eða 67 m²

Glugga- og útihurðaflötur um 20% af útveggjafleti (brúttó) , eða 16,7 m²

Þá fæst fyrir tvær mismunandi tegundir húsa (án tillits til innréttinga);

	kgCO ₂ -ígildi/ íbúðareiningu einstaklings	m ² gólfplatnar
Stept íbúðarhús	24000	355
Léttbyggt íbúðarhús	14000	205

Í þessu samhengi má nefna tölur úr tveim heimildum:

- á heimasíðu „Canadian architect“²² er að finna upplýsingar um að innifalin orka í skrifstofuhúsnaði sé 4,82 GJ/m².
- í MS ritgerð frá Háskóla Íslands (Björn Marteinnsson, 2002) er innifalin orka í steptu íslensku íbúðarhúsi (8 íbúða stigagangur) greind fyrir nýbyggingu sem 4,77 GJ/m² (nettó) – þar af 3,74 GJ/m² í efnisorku og flutningum.

²² Vísar til: Cole, R.J. and Kernan, P.C. (1996), Life-Cycle Energy Use in Office Buildings, Building and Environment, Vol. 31, No. 4, pp. 307-317.

Tölunum í heimildunum tveim ber þannig mjög vel saman. Sé gert ráð fyrir að öll tilgreind orka í fyrri heimildinni og efnis- og flutningsorka tilgreind í þeirri síðari sé fengin vegna bruna jarðeldsneyta þá fæst kolefnisspor bygginganna sem (sjá töflu í viðauka 2) um það bil 0,06 kgCO₂/MJ * (3,74 til 4,8) GJ/m² eða sem 224 - 289 kg CO₂/m²gólfflatar.

Það má því ætla að kolefnisfótspor nýbyggingar íbúðarhúsnæðis sé nálægt 250 kg CO₂ ígilda/m² gólfflatar eða um 16500 kg CO₂ ígilda/íbúa.

Kolefnisfótspor vegna rekstrar húsnæðis (annars en viðhalds) er mjög lítið eins og sýnt er fram á í kafla 9 ; kolefnisfótspor vegna íbúðarhúsnæðis er því að mestu tengt byggingu þess og svo viðhaldi.

Til samanburðar þá er heildar kolefnisfótspor á mann á Íslandi (Landsvirkjun, 2009) árið 2005 alls 11,1 tonn CO₂/íbúa; þar af sáralítið vegna hitunar og almennrar raforkunotkunar, 2,6 vegna framleiðslu, og 2,3 vegna samgangna. Heildarlosun á íbúa er hér hærri heldur en í Svíþjóð, en heldur lægri en í Danmörku, Finnlandi og Noregi. Ef miðað er við að hverjum íbúa sé ætlað til afnota íbúðarrými sem samsvarar 67 m² gólfflatar, út alla ævina (óháð aldurs skeiði) þá sést að kolefnisfótspor vegna nýbyggingar þess húsnæðis vegur lítið í samanburði við kolefnisfótspor vegna annarrar starfsemi í þjóðfélaginu, tafla 8.6.

Tafla 8.6 Kolefnisfótspor á einstakling á Íslandi, samanburður nokkurra þátta

Skýring	kg CO ₂ ígildi/einstakling, ár
Landsmeðaltal 2005 (sjá Landsvirkjun, 2009)	11100
Einkakeyrsla; bensínbíll 15000 km, 6 l/100, reiknað á tvo einstaklinga ¹⁾	975
Nýbygging íbúðarhúsnæðis, reiknað yfir lífslíkur einstaklings =80 ár ²⁾	206
	kg CO ₂ ígildi/einstakling, ferð
Ein flugferð; Keflavík-Kaupmannahöfn (2143 km) samkv. Travel Navigation ³⁾	279

Skýringar;

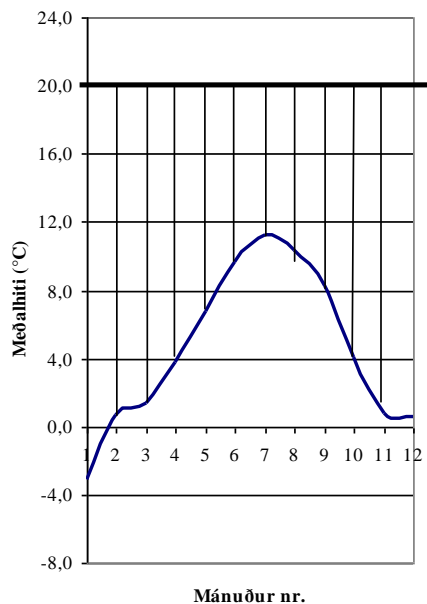
- 1) fyrir efnisþéttleika bensíns sem 0,75 kg/lítra og orkugildi úr viðauka 2, þá fæst
 $15000\text{km}/(2 \text{ einstaklingar, ár}) * 6\text{l}/100\text{km} * 0,75 \text{ kg/lítra} * 2,89 \text{ kgCO}_2/\text{kg} = 975 \text{ kg CO}_2 \text{ ígildi/einstakling, ár}$
- 2) reiknað á ár sem $16500 \text{ kg CO}_2 \text{ ígilda/íbúa} / 80\text{ár} = 206$
- 3) Travel navigation; www.travelnavigation.com

Umhverfisáhrif bygginga á Íslandi eru einkum sjónræns eðlis, svo og ótæpileg notkun byggingarefna og ágangur á náttúruleg efni, fremur en að kolefnisspor sé stórt í samanburði við aðra þætti sem hafa áhrif á heildarkolefnisfótspor einstaklings.

9. Orkunotkun bygginga og upphitunarþörf

Varmatap byggingar felst annarsvegar í leiðnitapi út um byggingarhluta og hinsvegar loftskiptatapi. Varmatapið er í báðum tilvikum háð þeim hitamun sem er á milli inni- og útilofts, og svo lengd tímabilsins sem reiknað er fyrir.

Áhrif hitamunar og tíma er allajafna reiknað saman í gráðutímafjölda fyrir viðkomandi staðsetningu; þetta samsvarar flatarmáli strikaða hlutans á mynd 9.1. Summa margfeldis hitamunar og tíma er kölluð “gráðutímar” ef tímaeiningin er klukkustundir (og reiknað út frá meðalhita klukkustunda) en “gráðudagar” ef tímaeiningin er dagar (og þá miðað við meðalhita daga). Gráðutímafjöldinn er yfirleitt reiknaður fyrir eitthvert fast innihitastig, hér 20°C, og síðan leiðrétt fyrir því ef innihiti er í reynd annar og svo einnig fyrir áhrifum gefins varma (sjá aftar).



Mynd 9.1 Hitamunur inni og úti; Reykjavík (viðmiðunarárið 1971)

Gráðutímafjölda fyrir tímabil (t.d. mánuð eða ár) má auðveldlega ákvarða þegar meðalhiti tímabils er þekktur, jafna 9.1;

$$G_t = (T_i - T_{mt}) \cdot t \quad (9.1)$$

þar sem

G_t	gráðutímafjöldi (°Ch eða Kh)
T_i	meðal innihiti (°C eða K)
T_{mt}	meðal útihiti (°C eða K)
t	tímabil (klukkustundir)

Gráðutímafjöldinn er iðulega gefinn upp í einingunni þúsundir- gráðu- klukkustunda (k°Ch).

Innihiti hérlendis er iðulega um 20  C og me al tihiti um 5  C, og munur   meðal inni- og útihita því um 15 C. Það s st  a að breyting innihita um 1  C breytir gráðutímafjölda um 1  C af 15  C, eða um 6,7%. Þegar stefnt er að h marksorkun tingu skiptir því miklu að innihita s  haldið hóflegum.

Einangrun byggingarluta, U-gildi og leiðnitap út um byggingarluta

Varmatap út um byggingarluta ræðst af k lnunart lu byggingarlutans umhverfishita beggja vegna og tímanum sem þessi hitamunur r kir.

Varmatap um efnisl g og k lnunart lur byggingarluta, U-gildi, skal reikna   samr emi við  ST 66:2008.   nýjum Evrópustöðlum er n  almennt talað um varmam tst  u byggingarluta en hér hefur almennt til þessa verið talað um útreikning að k lnunart lu. Varmam tst  ur eru annarsvegar m tst   ut lur einstakra efnislaga (varmam tsta a   loftbili og jörðu eru s rtilvik) og hinsvegar varmaflutningsm tst  ur við yfirborð (að skilum byggingarluta og umlykjandi lofts).

Varmam tsta a efnislags n , R_n er fundin   samr emi við jöfnu 9.2;

$$R_n = d_n / \lambda_n \quad (9.2)$$

 ar sem

$$\begin{aligned} d_n & \text{ efnisþykkt lags } n \text{ (m)} \\ \lambda_n & \text{ lei nitala efnislags } n \text{ (W/mK)} \end{aligned}$$

Með m tst   ut lur einstakra efnislaga (yfirbor sm tst  ur, holr ymi og j r  meðtalin)  ekktar,  a má auðveldlega ákvarða heildarvarmaflutningsm tst  u R_T , jafna 9.3, og k lnunart lu (U-gildi), jafna 9.4.

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_{se} \quad (\text{m}^2\text{K/W}) \quad (9.3)$$

 ar sem

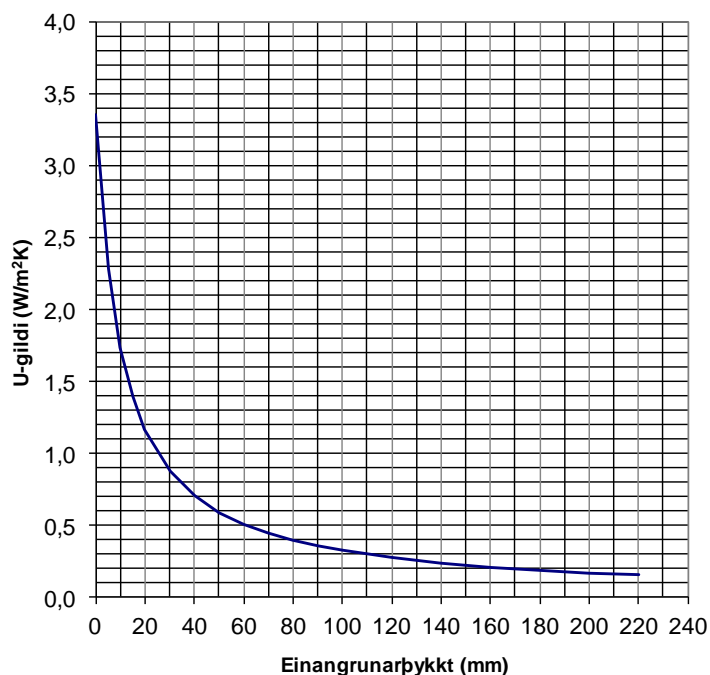
R_T	heildar varmaflutningsm�tsta�a byggingarluta
R_{si}	varmaflutningsm�tsta�a innra yfirbor�s
R_n	varmaflutningsm�tsta�a einstakra efnislaga;
	$R_n = d_n / \lambda_n$ fyrir einstakt efnislag, e�a uppgefin m�tsta�a efnislags
R_{se}	varmafl��im�tsta�a ytra yfirbor�s (ef h�n er ekki innifalin � ��rum gildum)

$$U' = 1/R_T \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad (9.4)$$

Samkv emt DS 418 (Annex A) er hönnunar U-gildi fundið útfrá reiknuðu U'-gildi og lei r ttingarstu lum sem taka tillit til loflaga   einangrun, festinga sem ganga   gegnum einangrun og úrkomu að umsn i   ak.

Breyting   k lnunart lu steypis veggjar með aukinni einangrunarþykkt er sýnd að mynd 9.2 . Hli st   línurit má ákvarða fyrir aðrar tegundir byggingarluta, en slíkum línuritum er öllum sameiginleg þau megineinkenni sem sjást að mynd 9.2;

- k lnunartalan fellur mjög hratt fyrir smávægilega aukningu einangrunarþykktar byggingarluta sem er l ti  einangraður fyrir
- Það hægir mjög hratt að þessari breytingu þegar ákveðinni einangrunarþykkt er náð, og þegar einangrunarþykkt er orðin talsverð  a er breytingin orðin mjög h g



Mynd 9.2 Steyptur veggur (hefðbundinn; einangraður að innan og múraður á einangrun)

Í Byggingarreglugerð eru kröfur gerðar til hámarks U-gilda byggingarluta, og ráða þær því hver lágmarkseinangrun má vera.

Varmatap vegna leiðni um byggingarluta er ákvarðað útfrá flatarstærð byggingarluta (A), kólnunartölu (U) og gráðutímafjölda (G) í samræmi við jöfnu 9.5;

$$Q_L = A \cdot U \cdot G \tag{9.5}$$

þar sem	Q_L	varmaflutningur vegna leiðni (kWh)
	A	flatarmál byggingarluta (m ²)
	U	kólnunartala byggingarluta (W/m ² K)
	G	gráðutímafjöldi (k°Ch)

Loftskiptatap

Loftskipti byggingar felast í því að tekið er inn (kalt) útiloft í stað innilofts; og hita þarf útiloftið upp svo nemur hitamun í úti- og innilofti. Orkuþörf vegna þessa er ákvörðuð í samræmi við jöfnu 9.6 (DS418:2011).

Til þess að hámarka orkunýtingu þá skiptir máli að hitað rúmmál sé ekki óþarflega stórt, og að fjöldi loftskipta sé hóflegur; iðulega er miðað við að meðal-loftskipti séu á bilinu $n=0,5 - 0,8$ (1/h).

$$Q_V = \rho \cdot c \cdot n \cdot V \cdot G \quad (9.6)$$

þar sem	Q_V	varmatap vegna loftskipta (kWh)
	ρ	eðlisþéttleiki lofts (kg/m^3)
	c	eðlisvarmi lofts (Wh/kgK) ²³
	n	fjöldi loftskipta á klukkustund (1/h)
	V	hitað rúmmál vistarveru (m^3)
	G	gráðutímafjöldi (k°Ch)

Orkutap og hitunarpörf bygginga

Orkunotkun til hitunar er háð nokkrum þáttum;

Varmatapi vegna leiðni og loftskipta

Gæðum stýringa á hitakerfi

„Gefins varma“, þ.e. orku frá sól, íbúum og vegna almennrar raforkunotkunar

Varmatapið er beint háð hitamun inni og úti, lofthiti inni er því mikilvæg áhrifsstærð á varmatapið. Skynjunarhitastig inni er háð lofthita og yfirborðsflata þannig að óskhitastig inni er breytilegt eftir gæðum hjúpflata vistarveru. Gefins varmi breytist ekki þó svo gæði hjúpflatar aukist, sem gerir að verkum að mikilvægi gefins varma (sem hluta af heildarorkupörf) vex með vaxandi gæðum hjúpflata.

Samanlögðum áhrifum þessara þátta er best lýst með dæmi; hér verða sýndar niðurstöður fyrir 4 hæða, 8 íbúða stigagang í fjölbýli í Reykjavík. Húsið er steipt, veggir einangraðir að innan og múraðir. Timburþak er á húsinu, að hluta stólað á steipta plötu. Reiknilíkan fyrir húsið hefur verið sannprófað með raunverulegri orkunotkun húshlutans (Björn Marteinsson, 2002). Leiðni- og loftskiptatap, nýttur gefins varmi metinn útfrá nýtanlegri geislun frá sól og himni inn um glerjaða fleti, varmi vegna almennrar raforkunotkunar og frá íbúum er allt reiknað mánuð fyrir mánuð yfir eitt ár.

Niðurstöður útreikninga eru sýndar fyrir þrjú tilvik;

- eins og húsið var byggt (um 1991).
- hús sem er byggt í samræmi við kröfur byggingareglugerðar sem var í gildi 1998-2012; þá átti m.a. að taka tillit til kuldabrua þannig að áhrif þeirra áttu ekki að auka varmaþörf byggingar.
- hús sem byggt er í samræmi við Byggingarreglugerð 112/2012 (án síðari breytinga).

Reiknað er með almennri raforkunotkun sem 3,5 kWh/íbúa og dag, sem nýtist þá jafnframt sem gefins varmi. Orkunotkun er fundin miðað við innihitastig 21 °C. Reiknuð orkupörf á gólfplöt miðast við brúttóflöt.

Niðurstöður útreikninga eru í töflu 9.1;

²³ Eðlisvarmi almennt gefinn upp í einingunni J/(kg·K) en vegna einingarinnar á Q_V þarf að umreikna gildið í aðra einingu

Tafla 9.1 Reiknað varmatap stigagangs í fjölbýli í Reykjavík vegna leiðni, loftskipta og kranavatns, nýttur gefins varmi og upphitunarþörf-skoðuð eru þrjú mismunandi tilvik

Gólfhlötur	m ²	Eining					
		Byggt 1991	Eldri reglugerð til 2012	Ný reglugerð 112/2012			
Áætluð raforkuþörf	MJ						
Leiðnitap			%	%	%		
Þak		34380		29679		22260	
Veggir		51320		63358		39598	
Gluggar & hurðir		193915		169351		143948	
Gólf		53956		53956		53956	
Kuldabryr		87003		0		0	
Leiðnitap alls	MJ	420574	49,2	316344	42,1	259762	37,4
Loftskiptatap	MJ	308464	36,1	308464	41,1	308464	44,4
Kranavatn	MJ	126472	14,8	126472	16,8	126472	18,2
Varmanotkun alls	MJ	855510	100,0	751280	100,0	694698	100,0
Nýttur gefins varmi	MJ	332242	38,8	329488	43,9	327122	47,1
Upphitunarþörf	MJ	523268	61,2	421792	56,1	367576	52,9
	MJ/m ² gólfflatar	448,4		361,4		315,0	
	kWh/m ² gólfflatar	124,6		100,4		87,5	

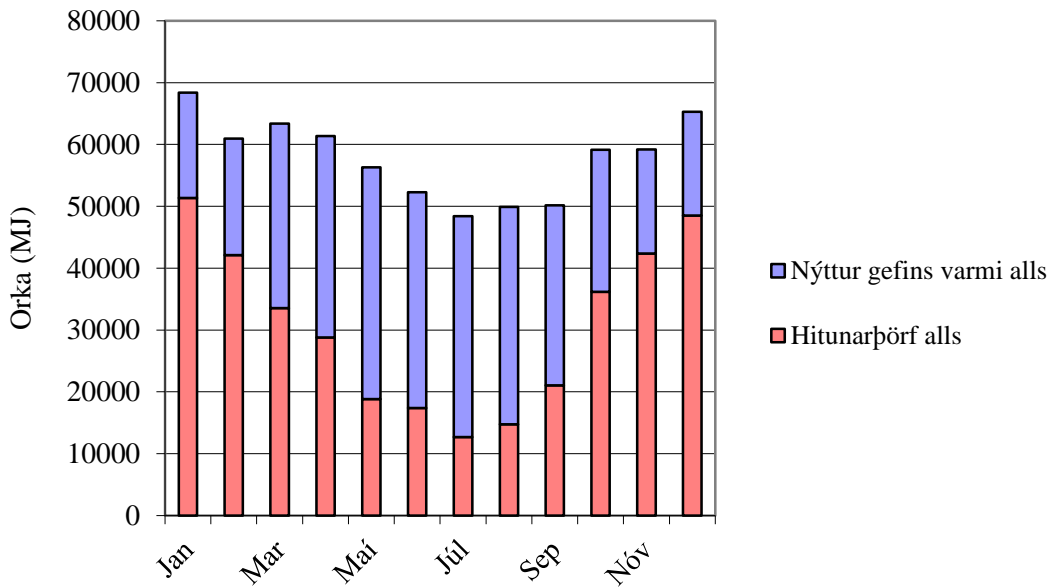
Af töflunni má sjá eftirfarandi;

- Hluttur leiðnitaps fer minnkandi í heildartapinu; frá því að vega um 49% fyrir húsið eins og það var byggt gæti hlutfallið farið niður í um 37% ef byggt væri samkvæmt nýrri reglugerð. Langstærstur hluti leiðnitaps er í öllum þrem tilvikunum vegna glugga og hurða.
- Loftskiptatapið reiknast það sama í öllum þrem tilvikum (sama hússtærð, sömu kröfur um loftskipti), og hluttur þess í heildartapinu vex því með auknum kröfum um einangrun byggingar. Ef húsið væri byggt í samræmi við byggingarreglugerð 112/2012 yrði hluttur loftskiptataps í fyrsta sinn hærri heldur en leiðnitaps; eða um 44% af heildartapinu.
- Í vel einangruðu húsi er áætluð þörf fyrir heitt kranavatn orðin um 18% af heildarvarmaorkunotkun hússins.
- Nýttur gefins varmi nemur á ársgrundvelli allt að 47% orkuþarfar í vel einangri nýbyggingu, en svo þetta megi verða þurfa hitastýringar byggingar að taka mið af orkugjöfni (sjálfvirkir ofnlokar sem stýrast af herbergishita). Niðurstöður fyrir hlutfall gefins varma eru ársmeðaltöl; að vetrarlagi er hlutfallið mun lægra (meiri orkuþörf) eða oft 20-25% og samsvarar þá því sama hlutfalli af hitamun úti og inni eða iðulega 4-5 °C. Iðulega hefur verið notuð þumalflugursreglan að gefins varmi samsvari um 3°C í innihita, en með vaxandi kröfum

til orkunýtingar hækkar þetta hlutfall og virðist nú (bygging samkvæmt nýrri reglugerð) vera nær 5 °C að vetrarlagi.

- Upphitunarpörf hússins er í öllum þrem tilvikum langt yfir kröfum sem nú eru gerðar til nýbygginga á hinum Norðurlöndunum.

Heildarorkuþörf mánaða og skipting í nýttan gefins varma og upphitunarpörf fyrir hús sem byggt er í samræmi við Byggingareglugerð 112/2012 er sýnt á mynd 9.3.



Mynd 9.3 Reykjavík, 8 íbúða stigagangur í fjölbýli - nýttur gefins varmi og hitunarpörf. Hús byggt í samræmi við Byggingareglugerð 112/2012

Hitunarpörf er lítil yfir sumartímamann, þá er orkuþörf einkum tilkomin vegna þarfar fyrir heitt kranavatn, á veturna er hinsvegar þörf fyrir hitunarorku mikil enda er þá nýttur gefins varmi bara brot af heildarorkuþörf hússins.

Skipting heildarorkuþarfar vegna nýbyggingarframkvæmda, viðhalds og rekstrar yfir 50 ára tímabil var fyrir umrædda byggingu (eins og hún var byggð 1991) metin þannig að um 85% af heildinni félli til á rekstartíma (og vegna förgunar síðar) en 15% væri innifalin orka í nýbyggingu (Björn Marteinson, 2002) og er þetta svipað og þá sást birt í erlendum heimildum. Með auknum kröfum til orkunýtingar í rekstri þá mun hlutfall innifalinnar orku hækka nema reynt verði að nýta byggingarefni betur eða öðrum kosti breyta um efnisval.

Kolefnisspor orkunotkunar í rekstri íbúðarhúsnæðis

Í dæminu hér að framan um orkunotkun íbúðarhúss fæst að almenn raforkunotkun (3,5 kWh/íbúa og dag) og miðað við 60 m² gólfhlöt á einstakling (sjá línurit 6.7) gefur á ársgrundvelli alls 76,7 MJ/m² húsnæðis og ár. Reiknuð upphitunarpörf húss er í dæminu á bilinu 315-448,4 MJ/m² og ár eftir forsendum sem eru valdar; í Reykjavík er sú orka fengin úr heitu vatni.

Kolefnisspor vegna rekstrar íbúðarhúsnæðis, g CO₂/m², ár fyrir þessa ársnotkun er sýnt í töflu 9.2 ;

Tafla 9.2 Kolefnisspor orkunotkunar vegna notkunar íbúðarhúsnæðis í Reykjavík

	Vinnsla orku	Orkuþörf (MJ/m ² ,ár)	Kolefnisspor orku (g CO ₂ /MJ) ¹⁾	Kolefnisspor (g CO ₂ /m ² ,ár)
Raforka	Vatnsaflsvirkjun	76,7	0,6	46,0
Varmaorka	Jarðvarmi-heitt	448,4	1,4	627,8
	vatn	361,4	1,4	506,0
		315,0	1,4	441,0

Skýringar;

¹ Töflugildi í Viðauka 2

Þegar töflugildin í töflu 9.2 eru borin saman við kolefnisspor vegna nýbyggingar, tafla 8.6, þá sést að kolefnisspor vegna orkunotkunar í rekstri vegur ekki mikið í þeim samanburði.

Hagkvæmar einangrunarþykktir

Lækkun orkutaps

Það má auðveldlega reikna hagkvæmni mismunandi aðgerða, en þar vega eftirtaldir liðir þungt; orkuverð, æskilegur endurgreiðslutími fjárfestingar, framkvæmdakostnaður og lánsvextir, og loks (í dag) opinber gjöld:

- Orkuverð

Orkuverð á Íslandi er almennt lágt eða mjög lágt miðað við það sem gerist erlendis (samanburður er þó erfiður nú vegna óvissu um framtíðar gengi krónunnar); Reykjavík (nóvember 2010) heitt vatn 2,11 kr/kWh (miðað við 50kWh í rúmmetra vatns)²⁴. Rafhitun (desember 2010, Orkubú Vestfjarða) kostar 8,71 kr/kWh (orka og dreifing með 2,59%VSK), til viðbótar kemur fastagjald vegna raforkudreifingar. Það er ekki ósennilegt að orkukostnaður eigi eftir að hækka eitthvað hérlendis á komandi árum, slíkt hefur talsverð áhrif á reiknaða hagkvæmni endurbóta.

Rafmagn til almennrar heimilisnotkunar (desember 2010, Orkubú Vestfjarða) kostar 10,66 kr/kWh (orka og dreifing með 25,5%VSK), til viðbótar kemur fastagjald vegna raforkudreifingar.

- Endurgreiðslutími

Hérlendis var í Orkuátaki á árunum 1984-86 miðað við að endurgreiðslutími fjárfestinga í bættri orkunýtingu skyldi ekki ná 16 árum (Björn Marteinson, 2001). Reykjavíkurborg miðar í dag við 8-10 ár sem heppileg mörk fyrir endureinangrun bygginga. Í Danmörku er miðað við 12 ár, en fyrir framkvæmdir sem lánað er til úr opinberum sjóðum er talað um að hækka þess mörk í 25 ár.

Yfirlýsing um hvaða endurgreiðslutíma skuli miða við er nauðsynleg til að samræma megi aðferðir og mat á niðurstöðum hagkvæmniútreikninga.²⁵

²⁴ Nýtanlegt meðalhitafall í kerfi 43 °C, t.d. 80 í 37 °C

²⁵ Hér mætti ræða samanburð á endurborgunartíma og innri vöxtum (athugasemd höfundar)

- Vaxtakostnaður:

Endurgreiðslutími aðgerðar er í öllu falli einhver ár og því erfitt að ákvarða hvað séu skynsamlegir viðmiðunarvextir lánsfjár fyrir þann tíma. Eðlilegt er að hagkvæmnireikningar séu gerðir fyrir mismunandi áætlaða vexti, t.d. 2, 4 og 6% ársvexti (umfram verðbólgu) til að skoða áhrif þessarar breytu á niðurstöður.

- Kostnaður aðgerða

Efni

Efniskostnaður vegna aukinnar einangrunar byggingarhluta felst annarsvegar í auknu einangrunarefni og hinsvegar breytingum sem þarf að gera til þess að koma einangrun fyrir í byggingarhluta. Hér verður til einföldunar eingöngu reiknað með efniskostnaði vegna aukinnar einangrunarþykktar.

Vinna

Vinnuliður felst annarsvegar í að koma einangrun fyrir í byggingarhluta og hinsvegar vegna aukavinnu vegna nauðsynlegra breytinga á byggingarhlutanum. Ef einangrun er sett upp í einu lagi þá er vinnan nokkurn veginn sú sama óháð einangrunarþykkt (á meðan þyngdaraukning er óveruleg), ef aukin einangrunarþykkt krefst þess hinsvegar að einangra þarf í tveim eða fleiri lögum þá vex vinnuliður í samræmi við það. Hér verður reiknað með því að í öllu falli verði byggingarhluti einangraður eitthvað vegna hollustu þátta og ekki reiknað með auknum kostnaði í vinnu vegna aukinnar einangrunarþykktar.

Aukakostnaður v/aðgerðar

Byggingarleyfisgjald miðast í dag við ákveðna upphæð á hvern brúttó fermetra grunnflatar. Þetta verður til þess að þykking veggeinangrunar, miðað við að nettó gólfleti sé haldið föstum, eykur upphæð byggingarleyfisgjalds. Það er full ástæða til að skoða hvort ekki megi ná samkomulagi um að byggingarleyfisgjald miðist við innri mál gólfplatar til að sleppa við þessa skattlagningu á aukna einangrun. Þegar er í gangi umræða um þessi mál í a.m.k. sumum nágrannalöndunum.

Útreikningur hagkvæmra einangrunarþykktar og glergæða;

Lausleg skoðun á hagkvæmum einangrunarþykktum mismunandi byggingarhluta miðað við núverandi forsendur (sjá að framan) bendir til þess að kröfur Byggingareglugerðar (112/2012) í dag séu þegar of strangar fyrir Reykjavíkursvæðið (endurborgunartími > 20 ár), en of veikar á köldum svæðum ef einungis er tekið mið af orkukostnaði (litið framhjá niðurgreiðslu hitunarkostnaðar).

Það er hinsvegar ástæða til að benda á að undanfarin ár hefur notkun stórra glerjaðra flata í útveggjum húsa kallað á vaxandi þörf fyrir kælingu í byggingum að sumarlagi og vandkvæði með kulda á vinnusvæðum næst gluggum að vetrarlagi. Það er vandséð að þessi staða samrýmist kröfum í Byggingareglugerð í dag.

Varmaendurvinnsla í loftskiptum

Í einbýlishúsi, sem einangrað er samkvæmt núgildandi reglugerðarkröfum, er hlutur loftskiptataps á bilinu 20-30% af heildarvarmatapi. Með vaxandi einangrun hækkar þetta hlutfall, og það þarf að skoða hagkvæmni endurvinnslu varma í loftskiptum samfara hagkvæmni aukinnar einangrunar.

Almenn raforkunotkun

Almenn raforkunotkun er iðulega talin vera 10-15% af heildarorkuþörf húss (í reynd ætti raforkuþörfin þó fremur að reiknast á m² gólfflatar, eða íbúa). Þessi orkunotkun er því umtalsverð og ástæða til að skoða hvernig megi hafa áhrif á hana en upplýsingar þar að lútandi er t.d. að finna hjá Orkusetri²⁶.

Bættar stýringar á upphitun og lýsingu

Stýringar á orkunotkun skipta miklu máli; varðandi hitun felst hagkvæmni í jafnari og betur stilltum innihita en í almennri raforkunotkun er fremur um að ræða hreyfiskynjara eða tímarofa sem geta dregið úr notkun.

Það er talið að með bættum stýringum megi ná talsvert betri hagkvæmni í hitun, en þetta þarf að skoða betur til að meta hagkvæmni fjárfestingarinnar.

Hönnun sem tekur mið af hármörkun „gefins“ orku

- Nýting inngeslunar til hitunar eða lágmörkunar orkutaps (útveggir og „passiv“ sólarorka, „double skin“ veggir, t.d. Náttúrufræðistofnun, Urriðaholti, staðsetning glugga og stærð..)
- Nýting dagsbirtu og lágmörkun lýsingar

Það er að nokkru leyti hægt að skoða ofantalin atriði sem einangruð tilvik hvert um sig, t.d. meta hagkvæmni mismunandi einangrunarþykkt, hagkvæmni mismunandi glergæða o.s.fr. Það er þó einnig nauðsynlegt að reikna nokkur dæmigerð hús til að fá mat á heildina, betri upplýsingar um hagkvæmni einstakra liða og ávinning af aðgerðum almennt. Þannig má auðveldar forgangsraða aðgerðum.

- Það þarf að athuga að innihiti er ekki jafndreifður (hærra hitastig við loft heldur en gólf) og áhrif þessa á varmaflutning út um byggingarluta þarf að meta.
- Orka sem er ekki keypt sérstaklega til upphitunar eða sem berst húsinu án þess að greitt sé fyrir (inngeslun frá sól, varmi frá íbúum og vegna notkunar almennrar raforku til lýsinga og tækja) er iðulega nefnd „gefins orka“, magn hennar breytist ekki þó svo varmatap húss sé lækkað og þessi áhrif á hagkvæmar einangrunarþykktir þarf að skoða .

Hér verður eingöngu lagt mat á hagkvæmni þess að auka einangrunarþykkt útveggja, reiknaður er endurborgunartími mismunandi þykktar veggeinangrunar. Í slíku verkefni koma tvær mjög ólíkar aðferðir til álita;

- reiknuð er hagkvæmni af því að auka einangrunarþykkt sentímetra fyrir sentímetra; þegar aukning stendur ekki undir væntingum um endurborgunartíma þá er hagkvæmri einangrunarþykkt náð.

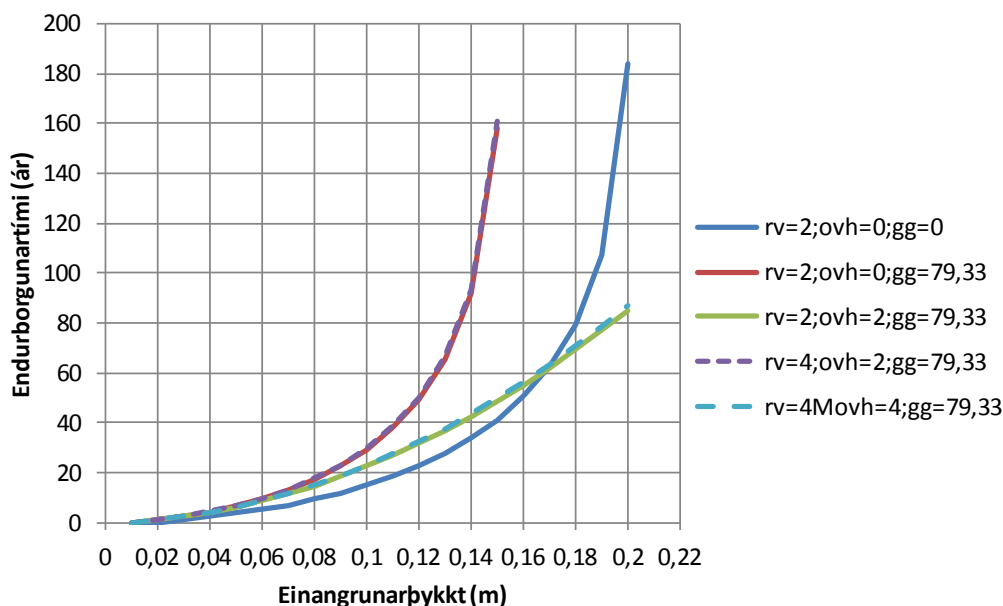
²⁶ www.orkusetur.is; orkunotkun heimilistækja, upplýsingar til notenda o.fl.

- reiknuð hagkvæmni heildarþykktar; þar sem hagkvæmni fyrstu sentímetra einangrunar byggingarhluta er mjög mikil (eins og mynd 9.2 ber með sér) þá gefur aðferðin hagkvæma einangrunarþykkt sem er langt umfram fyrri aðferðina

Fyrirnefnda aðferðin er að öllu leyti réttari, þar sem á einhverju stigi mun fara meiri kostnaður og orka til að framleiða viðbótareinangrunarþykkt, heldur en sú sama þykktaraukning getur minnkað kostnað og orkuþörf byggingar allan notkunartímann- og þá er svo sannarlega rétt að nema staðar. Hér verður ennfremur miðað við að verðlag almennt muni að jafnaði halda í við verðbólgu, og því sé hægt að reikna fjármagnsvexti sem raunvexti umfram verðbólgu, og sama gildi um hugsanlega raunhækkun orkuverðs. Forsendum og uppsetningu útreikninga er lýst í viðauka 7, nánari umfjöllun má finna í Jón Ingimarsson og Björn Marteinsson (1980).

Þegar reiknuð er hagkvæmni veggeinangrunar kemur til áhugavert álitamál; gatnagerðargjöld nýbyggingar taka mið af samanlagðri grunnflatarstærð allra hæða húss- þegar einangrun veggjar er aukin þá stækkar grunnflötur ef miðað er við að nettó gólfhlötur skuli vera sá sami. Þessi áhrif eru við núgildandi aðstæður umtalsverð, hækkun gatnagerðargjalda á hvern aukinn sentímetra í veggeinangrun (gatnagerðargjöld á grunnflöt umreiknuð í kostnað vegna þykktaraukningar á alls 2,7m veggthæð) – aukakostnaður vegna gatnagerðargjalda er nærri því jafn hár og efniskostnaður einangrunar!

Reiknaður endurborgunartími fyrir mismunandi einangrunarþykktir steypst veggjar (einangraður að innan) er sýndur á mynd 9.4.



Mynd 9.4 Steyptur veggur - einangraður að innan; orkuverð í Reykjavík. Endurborgunartími einangrunar fyrir mismunandi forsendum. Skýringar: rv = raunvextir (%), ovh = árleg raunhækkun orkuverðs (%), gg = kostnaðarauki vegna þykkingar einangrunar (gjöld ; kr/sm)

Eins og vænta mátti þá kemur í ljós að aukakostnaður vegna gatnagerðargjalda dregur verulega úr hagkvæmni (blá og rauð lína á línuriti); miðað við 20 ára endurgreiðslutíma (langur endurgreiðslutími) þá fæst hagkvæm þykkt án tillits til gatnagerðargjalda sem rúmir 11 sm, en með gjöldum er sú þykkt komin niður í um 8 sm. Einnig fæst, fyrir annars sambærileg dæmi, hagkvæmni í meiri þykktir þegar orkuverð hækkar jafnhrott (eða hraðar) en sem nemur raunvaxtaþrósentu.

10. Gátlistar og árangursvísar

Til þess að gera hönnun og rekstur, þar með talið ástandskannanir, skilvirkari þá er æskilegt að hafa vel skilgreindan áherslulista til viðmiðunar. Í þeim tilgangi þarf að skilgreina allar áherslur sem æskilegt er að setja og skilgreina hvernig þær skuli metnar. Frumlistinn er gátlisti, en þegar tekist hefur að skilgreina hvernig meta eða mæla skuli einstök atriði þá er hægt að tala um árangursvísa (e. *performance indicators*). Talsverð vinna hefur verið lögð í vinnu við gátlista og skilgreiningu árangursvísa erlendis m.a. í erlendu rannsóknaverkefnum CREDIT (Bertelsen et.al., 2010) og SURE (Haugbølle et. al., 2013) sem höfundur þessa rits var þátttakandi í. Þessi vinna sýnir sig að vera ótrúlega tímafrek auk þess sem staðbundnar áherslur geta verið mjög mismunandi- í SURE verkefninu kom þetta berlega í ljós þegar aðilar frá Danmörku, Finnlandi, Íslandi og Noregi báru sig saman.

Slíkir listar eru að hluta innbyggðir í ýmis matskerfi sem notuð eru í vistvænni vottun bygginga; s.s. þeim kerfum sem nefnd eru í kafla 3 hér að framan. Það er athyglisvert að skoða hvaða atriði eru sett fram, en einnig að listarnir verða stundum óþægilega langir og flóknir og iðulega mjög litaðir af því umhverfi sem þeir verða til í. Þar sem flækjustigið er umtalsvert, og listarnir þurfa að hafa notagildi fyrir aðila á markaðinum, þá er stundum sett fram eindregin ósk um að halda fjölda atriða niðri eftir bestu getu. Í SURE verkefninu var t.d. í upphafi stefnt að því að listinn innihéldi bara 70 atriði.

Vegna þess hve umhverfisaðstæður verða ráðandi í uppbyggingu listanna er hér valið að setja fyrst fram eigin áherslulista útfrá greiningu á lífsgæðum og skilgreiningu á hvað felst í hugtakinu „sjálfbær(ari) bygging“. Listanum er skipt í fjóra aðalflokka, tafla 10.1 (aðalskipting erlendra lista er mjög mismunandi);

Tafla 10.1 Skipting gátlista

Aðalflokkur	Skýring
Undirbúningur og hönnun	Markmið, staðsetning, hlutverk í borgar- og hverfismynd, arkitektúr, notkunarsvið, umhverfisstefna, áætlun um innivist, nýting, mat á heildarkostnaði og orkuþörf, handbækur og eftirlit
Framkvæmd	Umhverfisstefna, gæðatrygging, sorpmeðhöndlun og endurvinnsla, orkunotkun og efnisval, afhending
Mannvirki	Raunárangur; arkitektúr, nýtanleiki, ending, innivist, kostnaður, tæknilegur árangur, rekstrarhandbók, áætlanir, upplýsingagjöf og eftirfylgni
Ytra umhverfi og auðlindir	Áraun á umhverfi

Í töflu 10.2 er listinn í fullri lengd og nokkrir listar fengnir úr ýmsum áttum bornir saman við hann til að skoða áherslur annarra. Mikið af matskerfunum snýr að umhverfsvæni bygginga; þetta er t.d. áberandi í norska „Økoprofil for boliger“ og svo er áhersla á orkumál (ekki óvænt) mjög mikil. Áherslur í þessum mismunandi matskerfum eru talsvert ólíkar eins og taflan 10.2 sýnir. Það ber þó að geta þess að útfrá lýsingum einum saman er ekki alveg víst að samantekt í töflunni sé rétt- það þarf helst að prófa matslyklana á einhverjum byggingum svo nægjanleg þekking og skilningur náist.

Tafla 10.2 Gátlisti yfir áhersluatriði tengd undirbúningi, framkvæmd og rekstri byggingar

Aðalflokkur	Flokkur		Matslykill			
	Undirflokkur	Skýring	Ökopprofil	Svanurinn	LEED	SURE
Undirbúningur, hönnun	Hönnunarteymi, ferli og tryggingar			x		
	Markmiðssetning	Umhverfisstefna, aðgengi,..				
	Þarfagreining	Rýmisþörf, þjónusta frá sveitarfélagi				
	Hlutverk, tengsl við umhverfi	Bæjarmynd, fjarlægð, þjónusta				
	Tengsl við nærumhverfi					
	Staðsetning/endurnýting				x	
	Hagræn áhrif; mat	Staðsetning				x
	Innra skipulag og nýtanleiki	Rýmisþörf á notanda				
	Gæðatrygging, úttektir					
	Handbækur og skráning					
	Efnisnotkun, efnisval			x		
	Hönnun m.t.t. umhverfisálags	„Heat island effect“,..			x	
	Innivist (thermal comfort)	Vatnsnýting			x	
	Áætlanir og greiningar	Heildarkostnaður (LCC) Endurborgunartími (ár) Árlegur kostnaður				x
		Umhverfismat (LCA) Orkuþörf/hagkvæmni Nýting endurnýjanl. orku Efnisnotkun Gæði loftræsingar Ferðaáætlanir Stillingar og úttektir		x	x	
Nýnæmi og upplýsingagjöf			x			
Ferlið („e.process)	Kostnaður, tími, notendur, viðhald, innkaup, eftirlit				x ¹⁾	

Frankvæmd	Teymi					
	Skipulagning					
	Endurnýting efna og byggingarluta			x		
	Umhverfissvæn efni			x		
	Efnisraki, „byggja þurrt“		x			
	Förgun og sorp			x		
	Orkunotkun			x		
	Loftgæði inni			x		
Afhending- kvaðir			x			
Mannvirki	Nýtanleiki, sveigjanleiki, aðlögunarhæfni				x ²⁾	
	Ending og viðhald					
	Stoðrými og gildi fyrir kjarnastarfsemi	v/þjónustu við notendur				x ³⁾
	Arkitektúr	Form, hlutföll, litir, áferð				x
	Öryggi og aðgengi	Hlutverk í umhverfinu				x ⁴⁾
		Burðarvirki, öryggi í eldsvoða, öryggi í notkun, öryggistilfinning				
	Varðveislugildi	Menningarleg eða krafa samfélags				x ⁵⁾
	Tæknileg atriði	Hjúpur:				
		Grundun				x
		Gluggar				x
		Útveggir				x
		Þak				x
		Innri frágangur				x
		Kerfi;				
		Frárennsli				x
		Dren				x
		Kranavatn				x
		Hiti/kæling				x
		Loftræsikerfi				x ⁶⁾
		Lýsing				x
		Tölvukerfi				x
		Hreinlætisbúnaður				x
		Lyftur				x
		Eldvarnir				x
		Öryggiskerfi				x
		Sorpaðstaða				x
		Byggingarefni:				
	Ending				x	
	Vörulýsing				x	
	Förgun				x	
Rekstur	Rekstrar- og viðhaldsáætlun		x			
	Orka; hitun, kæling alm.	x	x		x ⁷⁾	

	raforka				
	Nýting gefins orku Vatn	x			
	Skólþ				
	Sorpflokkun/förgun	x	x		
	Ferðamöguleikar	x			
Inniaðstæður	Almennt góð innivist		x		
	Efnagjöf			x	x ⁸⁾
	Innivist (loftgæði, og þægindi)			x	x
	Hiti, skynjunarhiti	x		x	x
	Loftraki	x			
	Loftskipti (og CO ₂)				x ⁹⁾
	Lofthraði				x
	Efnisraki				
	Birta/ Dagsbirta	x		x	x
	Loftgæði	x			
	Eldvarnir				
	Hljóðvist	x			x
	Útsýni			x	x
Ytra umhverfi og auðlindir	Almennt lítil umhverfisáhrif		x		
	Losun til andrúmslofts	x			
	Losun til jarðvegs	x			
	Losun til vatns	x			
	Hljóð	x			
	Titringur	x			
	Rafsegulsvið	x			
	Orka	x		x	
	Vatn	x		x	
	Efni	x		x	
	Land	x		x	

Skýringar við dálkinn SURE:

- 1) skipt upp í 7 sjálfstæða liði
- 2) kallað „Adaptability“ skipt upp í 3 liði; „flexibility, generality, elasticity“ og svo „hnattræn hlýnun“ (e. *climate change*)
- 3) skipt upp í fimm þætti; „support spaces, functions (core activity), support functions, capacity, logistics“
- 4) skipt upp í 5 sjálfstæða liði
- 5) skipt upp í þrjú atriði; „protection level, cultural heritage, community acceptance“
- 6) tveir sjálfstæðir liðir; kerfið, hreingerningarmöguleiki kerfis,
- 7) skipt í „delivered-, primary-, electrical-, heating-..“
- 8) telja upp sem 3 sjálfstæða liði; formaldehyð mengun, radon og efnagjöf
- 9) skipta upp í tvo (sjálfstæða) liði

Fyrir sum atriðin í listanum, einkum er varðar tæknilegar atriði; s.s. einangrun, styrk, stífleika, brunamál, hljóð og hollustu að hluta, eru skilgreindar lágmarkskröfur í Byggingarreglugerðum hvers lands. Þessar kröfur má þá líta á sem árangursviðmið, sem ef þau eru uppfyllt þá sé árangur viðunandi, en vissulega er hægt að miða við hærri kröfur og ná þannig fram betri árangri. Önnur atriði verða matskennd hverju sinni og illgerlegt að skilgreina kröfur. Í sumum tilvikum er síðan eðlilegt að líta til annarra varðandi samanburð; erum við að standa okkur vel eða illa? Nokkur slík atriði eru listuð að neðan.

Nokkrar aðgengilegar samanburðartölur, sem líta má á sem árangursvísa:

Rýmisþörf:

Lágmarksrými á vinnustað (HSE, 2013); $\geq 11 \text{ m}^3/\text{persónu}$

Gólfflatarmál íbúða; Ísland 150 m^2 brúttó (mynd 6.5)

lönd í Evrópu $80 - 125 \text{ m}^2$ nettó (mynd 6.6)

Orkunotkun almennt:

Svíþjóð^e; Af heildarorkunotkun í Svíþjóð fara 39% til húsnæðis (heimili, skrifstofur,...), af þessari orku fara 60% til upphitunar, 20% er heitt kranavatn og 20% almenn raforkunotkun. Það er talið að draga megi úr orkunotkun um 20% með breyttum notkunarvenjum. Upplýsingar um 16 heimili sýna heildarnotkun á bilinu $0,3 - 0,9 \text{ kWh/m}^2$, sólarhr.

Almenn raforkunotkun:

Ísland^e; 4800 kWh/heimili

Danmörk^f; Gefnir upp alls 7 notkunarflokkar fyrir meðalnotkun (kWh/íbúð) í einbýli, háð íbúafjölda

Tafla 10.3 Danmörk; Meðalnotkun almennrar raforkunotkunar (kWh/heimili) í einbýli (heimild: Dong energy)

	Íbúafjöldi			
	1	2	3	4
Lágt	2381	3065	3800	4426
Meðal	2954	3752	4520	5181
Hátt	5600	6500	7400	8200

Hitunarorka:

Ísland^d; jarðvarmi $1-1,5 \text{ m}^3/\text{m}^3, \text{ár}$ sem samsvarar $135-200 \text{ kWh/m}^2, \text{ár}$ (eða um $8500-13200 \text{ kWh/íbúá,ár}$)

Danmörk^b; $5000 - 15000 \text{ kWh/íbúá,ár}$, meðaltal fyrir landið allt (1997) er 8300 kWh/íbúá,ár

Tékkland^a; meðalnotkun 11745 kWh/ár , eða $261 \text{ kWh/m}^2, \text{ár}$

Heitt kranavatn:

Ísland^a; talið nema 10% af orkunotkun (jarðvarmi), mæling í Garðabæ gaf $61 \text{ lítra/íbúá, sólarhr.}$

Danmörk^a; $37-43 \text{ lítrar/íbúá, sólarhr.}$

Tékkland^a; $82 \text{ lítrar/íbúá, sólarhr.}$

Svíþjóð^e; $50-200 \text{ lítrar, íbúá, sólarhr.}$ (upplýsingar um 16 heimili)

Kalt kranavatn:

- Reykjavík^a; notkunin var 18 lítrar/íbúa, dag snemma á síðustu öld (fyrir daga vatnsveitunnar) mæling í Norðurmýri (2005) gaf 205 lítra/íbúa, sólarhr. en meðaltalið fyrir Reykjavík talið vera um 175 lítrar/íbúa, sólarhr.
- Danmörk^a; 73-127 lítrar/íbúa, sólarhr.
- Danmörk^b; 80-200 lítrar/íbúa, sólarhr., meðaltal fyrir landið (1997) 144 lítrar/íbúa, sólarhr.
- Tékkland^a; 87 lítrar/íbúa, sólarhr.

Frárennsli:

- Reykjavík^a; 250-270 lítrar/íbúa, sólarhr. , áætlað heildarfrárennsli (byggt á notkun á heitu og köldu kranavatni)
- Tékkland^a; 150 lítrar/íbúa, sólarhr.

Úrgangur:

- Reykjavík^a; 209 kg/íbúa,ár (árið 2008)
- Danmörk^b; 200-500 kg/íbúa,ár, meðaltal fyrir landið 387 kg/íbúa,ár (árið 1997)
- Tékkland^a; 175 kg/íbúa,ár

CO₂ losun (eingöngu áhrif frá íbúum, ekki fyrirtækjum):

- Danmörk^b; 2000-6000 kg/íbúa,ár, meðaltal fyrir landið (1997) 2900 kg/íbúa,ár

Heimildir:

- a Víkingur Guðmundsson et.al (2010) samantekt MSc nema í námskeiðinu „Húsbyggingartækni og heildarsýn“ við Háskóla Íslands vorið 2010, sjá skýrslu þeirra „Use less“
- b Jensen (1999)
- c Spängs (2010)
- d Algengar viðmiðunartölur í Reykjavík
- e Orkustofnun (2008b)
- f Dong energy
- g Lundh, M., Hiller, C. (2011)

Eins og tölur að ofan sýna þá er notkun Íslendinga iðulega mikil, en þó ekki alltaf mest í samanburði við aðra.

Heimildir

- Ásgeir Jónsson (2004) Framtíðin á fasteignamarkaði, sótt 2012.02.10 á <https://notendur.hi.is/ajonsson/kennsla2005/fasteignamarkadur.pdf>
- Ashby, M. F. (2009) *Materials and the environment ; Eco- informed material choice*, Butterworth-Heinemann, Elsevier Inc., UK
- Benedikt Jónsson og Björn Marteinsonn (1999) *Viðhaldspörf húsa á Íslandi*, Sérrit Rb nr. 77, Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, (49s)
- Bertelsen, N. H., Frandsen A. K., Haugbølle, K., Huovila, P., Hansson, B., Karud, O.J. (2010) *CREDIT Performance Indicator Framework - A proposal based on studies of building cases, regulations, standards and research in seven Nordic and Baltic countries*, CREDIT Report 3, Statens byggeforskningsinstitut- Aalborg universitet, Hørsholm, Denmark
- Björn Marteinsonn (2001) "Hitunarpörf bygginga og Orkudagar, erindi á Orkuþingi 2001, Reykjavík
- Björn Marteinsonn (2002) *Efnis- og orkunotkun vegna fjölbýlis í Reykjavík; Efnisframleiðsla, flutningur, byggingarstarfsemi og rekstur í 50 ár*, meistararitgerð frá iðnaðar- og vélaverkfræðideild Háskóla Íslands, 127 síður, Björn Marteinsonn, Reykjavík
- Björn Marteinsonn (2006) *Heildarsýn á endingu, rekstur og viðhaldspörf bygginga*, verkefni unnið í samvinnu við Félagsbústaði og styrkt af Íbúðalánasjóði, Rb skýrsla 06-07, Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, (38s+viðaukar)
- Björn Marteinsonn (2012) "NordicBuilt: Viljayfirlýsing um sjálfbæra þróun í byggðu umhverfi", í tímaritinu *Arkitektúr*, bls. 82-83
- Björn Marteinsonn (2012) *Íslensk þök- gæði og þróun*, NMÍ 12-12 v1, lokaskýrsla til Rannís og Íbúðalánasjóðs, Nýsköpunarmiðstöð Íslands og Háskóli Íslands Umhverfis- og byggingarverkfræðideild, Keldnaholt
- Boverket () *Kunskapsbas till Hus&Hälsa*, Boverket - Byggforskningsrådet
- Byggforskserien 501.009 *Økoprofil for boliger*, Norges byggforskningsinstitut, Oslo
- Byggingarreglugerð 112/2012, Umhverfisstjórnuneytið
- Canadian architect, <http://www.canadianarchitect.com>, sótt 29.03.2012 á http://www.canadianarchitect.com/asf/perspectives_sustainability/measures_of_sustainability/measures_of_sustainability_embodied.htm
- CIB(1999) *Agenda 21 on Sustainable Construction*, CIB report Publication 237, July 1999
- Dong energy, sótt 2013.03.15 á <http://www.dongenergy.dk/privat/energiform/tjekditforbrug/typiskelforbrug/Pages/hus.aspx>
- DS 418:2011 Beregning av bygningers varmetab*, Dansk standard
- EOTA (1999). EOTA Guidance Document 002, *Guidelines for European Technical Approval*. European Technical Approvals and Harmonized Standards, Edition December 1999
- European Union (2011) *REGULATION (EU) No 305/2011 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC*, European Union, Brussel
- Fossdal, S. (1995) *Energi-og miljøregnskap for bygg*, Byggforsk projektrapport 173-1995
- Framkvæmdasýsla ríkisins (2009) *Vistvænar byggingar-kynningarrit*, Framkvæmdasýsla ríkisins, Reykjavík í október 2009, <http://www.fsr.is/lisalib/getfile.aspx?itemid=5201>
- Guðmundur Sæmundsson (1996) „Hversvegna gæðaáttak?“, grein í *Tæknivísi* 1996 bls 77-78.
- Hagstofa Íslands, Hlutfallsleg skipting vísitölu neysluerðs og breytingar milli mánaða, <http://www.hagstofa.is>
- Hagstofa Íslands (2008) *Landshagir 2008*, og heimasíðan: <http://www.hagstofa.is/>

- Halliday, S. (2008) *Sustainable Construction*, Elsevier
- Haugbølle, K. (ed.), Almås, A.-J., Marteinson, B., Bjørberg, S., Vogelius, P., Nieminen, J. (2013) *Sustainable Refurbishment by public clients: Innovation and procurement strategies and practices*, ISBN 978-87-563-1588-3, SBI- Aalborg university, Copenhagen, p. 272
- HSE -Health and Safety Executive (2013) „How much space am I entitled to at work? „, sótt 2013.03.11 á <http://www.hse.gov.uk/contact/faqs/roomspace.htm>
- ISO (1997) Environmental management-Life cycle assessment- Life cycle impact assessment, ISO 14042
- ÍST EN ISO 6946:1996 *Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method*, staðfestur af Staðlaráði Íslands
- ÍST 66:2008 *Varmatav húsa- Útreikningar*, Staðlaráð Íslands
- Jensen, O.M. (1999) *Grønt regnskab for boligområder*, SBI-rapport 303, Statens byggeforskningsinstitut, Danmark
- Jón Ingimarsson og Björn Marteinson (1980) *Greinargerð um arðsemi á olíu- og rafhituðu húsnæði*, skýrsla Rb og Orkustofnunar JI-80/05, Reykjavík í október, (19s)
- Jørgensen, E.K. (1991) *Kvalitetsstyring i byggeriet - Granskning af indeklima*, Byggeriets Udviklingsråd. København 1991.
- Kenneth Breiðfjörð (2011) *Byggingarefni á Íslandi- uppruni, flutningar til landsins ásamt kolefnisspori timbers*, 30 ECTS eininga ritgerð til MSc gráðu í umhverfisverkfræði við umhverfis- og byggingarverkfræðideild Háskóla Íslands, Háskóli Íslands
- Kibert, C.J. (2008) *Sustainable construction – Green building design and delivery*, second edition, John Wiley & Sons inc, New Jersey
- Krogh, H. (1998) „Application of environmental data for building elements“, in *Applications of environmental data and declarations for building material- Nordic workshops*, SBI report 306, Danish building research institute and Nordic council of ministers 1998, Copenhagen
- Landsvirkjun (2009) *Kolefnisspor Landsvirkjunar – Loftslagsbókhald 2008*, skýrsla LV 2009/065
- Lundh, M., Hiller, C. (2011) *Energianvändning i hemmet- Vardagliga aktiviteter*, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås Sverig, sótt 2013.03.15 á <http://www.sp.se/sv/units/energy/Documents/ETk/BroschyrEnergianvandningihemmetfinalweb.pdf>
- Magnús Jóhannesson (2007) „Fjölbýli til framtíðar“, erindi flutt á málþinginu í Grand Hótel 18. Janúar 2007
- Marteinson, B. (2005) *Service Life Estimation in Building Design - A Development of the Factor Method*, Dr.eng thesis, KTH's Research School – HiG, Center for Built Environment, Gävle, Sweden, 146 p., ISBN 91-7178-026-2
- Marteinson, B. (2003) *Assessment of Service lives in the Design of Buildings – Development of the Factor Method*, LicTechn thesis, KTH's Research School – HiG, Center for Built Environment, Gävle, Sweden, 94 p., ISBN 91 7283 586-9
- Marteinson, B. (2011) 'Service life and maintenance needs of corrugated steel roofing in Iceland- case study', Proc. *XII International Conference on Durability of Building Materials and Components*, Porto, Portugal, 12.-15. April 2011, pp. 547-554
- Marteinson, B. (2008) 'Homes in Iceland--flexibility and service life fulfilment of functional needs', Proc. *The 11th International Conference on Durability of Building Materials and Components I1DBMC*, Istanbul, Turkey, 11.-14. May, 2008, pp.1485-1490
- Náttúrufræðistofnun Íslands „Veggjatítla (*Anobium punctatum*)“, sótt 2013.02.25 á <http://www.ni.is/dyralif/smadyr/greinar/nr/263>

- Norðurlandaráð (1998), *Sjálfbær þróun- ný stefna fyrir Norðurlönd*; síðar gefið út undir heitinu TemaNord, sjá aftar í lista
- OECD How's Life ? Housing conditions, sótt 2013.02.11 á http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oced/economics/how-s-life/housing-conditions_9789264121164-6-en
- OECD Better life index, sótt 2013.02.11 á <http://www.oecdbetterlifeindex.org/#/43324425434>
- Orkuspárnefnd (2008a) *Orkuspár-almennar forsendur 2008*, Orkustofnun
- Orkuspárnefnd (2008b) raforkuspá 2008-2030 Endurreikingur á spá frá 2005 út frá nýjum gögnum og breyttum forsendum, OS-2008/007, Orkustofnun
- Orkuveita Reykjavíkur () Umhverfisskýrsla orkuveitu Reykjavíkur 2011, Orkuveita Reykjavíkur, Reykjavík
- Páll Árnason (2010) Verðmat íbúðarhúsnæðis, MS ritgerð við Viðskiptadeild Háskóla Íslands, Reykjavík
- Petersen, E. H., Krogh, H., Dinesen, J. (1998) *Miljødata for udvalgte bygningsdele*, SBI-rapport 296, Statens byggeforskningsinstitut, Hørsholm
- Regnholt, U. () *Föröreningar och emissionsförhållanden i innemiljön*, Handboksserien H4, Inneklimainstitutet, Sverige
- Ríkharrður Kristjánsson (2010) „Til baka til gamaldags gæða“, á málþinginu *Betri byggð, Grand Hôtel 11. Nóvember 2010*
- Sedlbauer, K., Krus, M. and Zillig, W. (2002) „A New Model for Mould Prediction and its Application on Dwellings with Mould on the Outer Facades“, *Building Physics 2002 -6th Nordic Symposium*, Trondheim, Norway, pp. 659-666.
- Sigurbjörn Orri Úlfarsson (2011) *Vistferilsgreining á timburhúsi – frá vöggum til grafar*, 30 ECTS eininga ritgerð til MSc gráðu í umhverfisverkfræði við umhverfis- og byggingarverkfræðideild Háskóla Íslands, Háskóli Íslands
- Sigurður Rúnar birgisson (2013) *Byggingagallar í nýbyggingum á Íslandi- könnun á tíðni og umfangi*, MSc ritgerð í byggingarverkfræði frá Háskólanum í Reykjavík, Reykjavík í júní 2013
- Sjoholt, O. (1995). *Fra kvalitetssikring til forbedringsledelse*, Norges byggforskningsinstitut, projektrapport 188, (50 sider)
- Spängs, T. (2010) ”De nya elmätarna minskade inte förbrukningen”, birt í Dagens nyheter, 2010-04-08 14:43
- Stefán Einarsson et.al (2013) *Hreint loft, betri heilsa- umfjöllun um loftgæði og heilsufar á Íslandi ásamt tillögum til úrbóta*, ISBN 976-9979-799-64-1, Velferðarráðuneytið og Umhverfis- og Auðlindaráðuneytið, Reykjavík í apríl 2013
- Stranddorf, H.K., Hoffmann, L., Schmidt, A. (2003) LCA Guideline: update on impact categories, normalisation and weighting in LCA. Selected EDIP97-data, dk_TEKNIKK energy & environment, Denmark
- TemaNord (2001) *Sjálfbær þróun- Ný stefna fyrir Norðurlönd*, TemaNord 2001:506, Norræna Ráðherranefndin
- Travel nav, „Calculate carbon emissions for a flight“, sótt 2013.02.26 á <http://www.travelnav.com/flight-emissions/>
- Umhverfiráðuneytið (2007) *Velferð til framtíðar – sjálfbær þróun í íslensku samfélagi, áherslur 2006-2009*, Umhverfiráðuneytið
- United Nations (1987) *Report of the World Commission on Environment and Development*, General Assembly Resolution 42/187, 11 December 1987

- Víkingur Guðmundsson et. al (2010) *Use Less – verkefni 1 Notkun heimila*, unnið af nemendum Birkir Hrafn Jóakimsson, Bjarki Páll Eysteinnsson, Björgvin Sigmundsson, Dórótea Höeg Sigurðardóttir, Einar Egill Halldórsson, Hrafn Arnórsson, Ingvar Árnason, Jeremy Pascal Vincent Bassaler, Kenneth Breiðfjörð, Kristín Ómarsdóttir, Kristján Ingvi Ólason, Laufey Björk Sigmundsdóttir, Magnús Karl Gylfason, Nina Dorothea Hansen, Sigurbjörn Orri Úlfarsson, Tomás Soukup, Víkingur Guðmundsson í Ms námskeiði við Umhverfis- og byggingarverkfræðideild Háskóla Íslands í umsjón Björns Marteinsonar
- Valdimar K. Jónsson, Richard Ó. Briem, Björn H. Skúlason, Eyjólfur Bjarnason, Björn Marteinson, Magnús Sædal (1998) *Nefnd umhverfissráðuneytis um Gæðamál í byggingariðnaði-Lokaskýrsla, september 1998*, Reykjavík
- Viitanen, H. (1996) *Factors affecting the development of mould and brown rot decay in wooden materials and wooden structures – Effect of humidity, temperature and exposure time*, PhD dissertation, The Swedish University of Agricultural Sciences-Department of forest products, Uppsala, Sweden
- Williams, K. () „Space per person in the UK: A Review of densities, trends, experiences and optimum levels“, Centre for Environment and Planning, Department of Planning and Architecture, University of the West of England, Bristol, sótt 2013.03.11 á eprints.uwe.ac.uk/12281/1/Output_1_Space_per_person.docx
- Þjóðskrá Íslands-Fasteignaskrá (2010) Svar við fyrirspurn

VIÐAUKAR

1. Efnagjöf og þekkt óþægindi tengd byggingarefnum
2. CO₂ losun vegna orkunotkunar og raforkuframleiðslu
3. Orkunotkun í flutningum
4. Kolefnisspor efna
5. Framleiðsla nokkurra efna og innflutningur til Íslands
6. Kolefnisfótspor byggingarhluta
7. Útreikningar á hagkvæmri einangrunarþykkt – aðferðarfræði og forsendur

V1. Efnagjöf og þekkt óþægindi tengd byggingarefnum

Efnagjöf nokkurra algengra byggingarefna - áhrif á inniloft, samantekt úr Björn Marteinnsson (2006, bls. 39).

Skýringar:	Heimildir; sjá heimildalista
MDF medium density fibreboard	1 Boverket ()
PF phenol harts	2 Jørgensen (1991)
PVC polyvinylchlorid	3 Regnholt ()
UF urea-formaldehydharts	

Efni	Dæmi um efni og áhrif	Tilvísun
Polystyren – þanið (<i>e: expanded, EPS</i>)	Frauðplast til einangrunar, pakkningar Getur gefið frá sér eitthvað af styren, sem undir vissum kringumstæðum getur valdið höfuðverk.	1
Polystyren – freytt (<i>e: extruded, XPS</i>)	Frauðplast til einangrunar Inniheldur eins og mörg önnur plastefni mýkingarefni, en þau eru ekki sérlega rokgjörn í fullgerðri vörunni (CFC er nú almennt bannað). Samkvæmt danskri rannsókn er efnagjöf meiri frá styrenplast heldur en polyurethan.	
Polyetylen	Listar, frárennslisrör, plastfilmur ofl. Er talið stöðugt.	1
Akryl	Fylliefni, lími og málning. A.m.k. málningar eru taldar geta gefið frá sér butylmetakrylat sem geta valdið vímu, höfuðverk og ofnæmi.	1
Epoxi	Gólfefni, bindiefni í lökkum ofl. Óhert getur það verið ofnæmisvaldandi.	1
Fenolformaldehyd, melaminformaldehyd	Bindiefni í limum, notað í raftækjajaiðnaði, bindiefni í gler- og steinull, plasthúðir á innréttingum. Geta gefið frá sér formaldehyð við hydrólýsu eða upphitun.	1
Ureaformaldehyd	Venjuleg límtegund og frauð Getur við upphitun og háan loftraka gefið frá sér formaldehyð, efnagjöf þó talin lítil í vörum sem eru undir (framleiðslu)eftirliti. Karbamidfrauð er þekkt vandamál í USA.	1
Polyurethan	Einangrun og lím. Gefur frá sér isocyanat, trikloretan og aminar við notkun, og getur þannig valdið astma og/eða höfuðverk. Reykur samfara bruna og ryk vegna hreynsunar/rifs getur verið skaðlegt.	1
Kloropren	Notað í þéttlistum, limum, fúguefnum og latexlitum.	1
Latex	Notað í ýmsum plastefnum með mismunandi mýkingarefnum, m.a. í lím með PVC – gólfefnum, plastmálningum (vatnsþeytum) og dæmi um að það hafi valdið ertingu í augum og öndunarfærum.	2
Línóleum	Efnið brotnar niður með oxun en eftir eitt ár ætti vandkvæðum (getur valdið ólykt og ertingu í slímhúð) vegna efnaniðurbrots almennt að vera lokið. Ef efnið verður fyrir alkalískum raka (rök steypa eða alkalísk hreingerningarefni) þá getur átt sér stað niðurbrot sem gefur af sér slæma lykt.	1,2

	Línóleumgólf sem er bleytt hressilega við þrif gefur frá sér ertandi lykt.	
PVC-gólfdukar	Allir nýir dúkar innihalda mýkingarefni (oft phthalater). Mýkingarefnið rýkur úr dúknum jafnt og þétt og geta valdið ólykt (og telst jafnvel skaðleg). Alkalískur raki getur brotið niður mýkingarefnið og þar með dúkinn og ertandi efni komast út í andrúmsloftið (2-etyl-hexanol, alkóhól með einkennandi sætri lykt, einnig aromatísk og alifatísk kolvetni og ketónar), sem veldur oft ertingu höfuðverk og útbrotum. Ekki er talið að þetta valdi (varanlegu) heilsutjóni. PVC dúkur sem er að brotna niður gefur einnig frá sér dodeken. Við mikla áraun þá skreppur dúkurinn eitthvað saman.	1,2, 3
Korkur	Korkur getur innihaldið phenol og það þarf því að fá upplýsingar áður en efni er valið hvort það sé tilfellið.	1
Gúmmí	Gúmmí gólfefni lykta oft illa og þetta þarf að kanna áður en efnið er valið.	1
Textíl efni	Teppi geta verið gerð úr fjölda efna s.s. nylon, akryl, ull, sisal, og kokos og hnýtt á mismunandi vegu. Teppin eru oft með undilag úr t.d. latex. Teppum þarf að halda hreinum til að forðast óheppileg áhrif á inniloft. Ný teppi geta gefið af sér efni er valda bæði ólykt og geta verið ertandi.	1,2
Steypa	Sérstaklega gildir þetta um latex bakhlið teppa. Talsvert af íblöndunarefnum geta verið í steypu en þau eru lítið rokgjörn. Ef steypa er gegndreypt með fjölliðuefnum (<i>polymerum</i>) til þess að gera efnið stífara þá getur slíkt haft áhrif á inniloft.	1,3
Tígulsteinn	Talið heppilegt útfrá hollustumálum.	1
Gífs	Engin efnagjöf sem máli skiptir, pappírinn límist við gífsgrautinn í framleiðsluferlinu.	1, 3
Trjákennd efni - Spónaplötur	Límt saman með ureaformaldehyd- eða karbamídlími. Viss hætta er því á að plöturnar gefi frá sér formaldehyd. Í Svíþjóð eru allar plötur (innflutningur og sala) undir eftirliti og þær plötur hafa mjög lága efnagjöf að öllu leyti (<0,13mg/m ³). - Sjaldan sem vandamál er að ná kröfum "Socialstyrelsen", mest 0,2ppm, nú orðið.	1, 3
Timbur - almennt	Timbur er almennt talið vera heppilegt útfrá hollustumálum, en ferskt timbur gefur þó af sér terpener og timbur inniheldur harpíx. Bæði þessi efni eru ofnæmisvaldandi og þegar um viðkvæma einstaklinga er að ræða þá er viður af lauftrjám æskilegri heldur en barrviður (minni harpíx).	1
Timbur - Parket	Parkettgólf eru nú í vaxandi mæli byggð upp úr samlímdum efnislögum og er þá UF-lím algengt.	1
Timbur - Límtré	Límtré er límt saman með fenolformaldehyd límum, en efnagjöf er þó engin í rétt framleiddri vöru.	1
Timbur- Krossviður	Krossviður er ýmist límdur saman með fenolhartslími (PF lím, t.d. Svíþjóð) eða UF-lími. Það fyrrnefnda er stöðugra og gefur síður frá sér óæskileg efni (t.d. formaldehyd). Stafaplötur eru límdar saman eins og krossviður, en þar er UF-lím algengara.	1, 3
Trjákennd efni - MDF	MDF plötur eru límdar saman með UF-harts bindiefni og því hætta á efnagjöf. Um öll byggingarefni þar sem	1, 3

Steinull og glerull	formaldehýð er í lími gilda sömu reglur síðan 1991. Athugun á einni tegund platna (framleiðandi ekki gefinn upp) sýndi að efnagjöf er svipuð og frá spónaplötu. Efnin eru oft úðuð með PF (fenolharts) eða UF (ureaformaldehydharts) til að gefa þeim formstöðugleika (límd). Efnin geta því gefið af sér gastegundir (jafnvel formaldehyd), sérstaklega við hátt hitastig, en við venjulega notkun er þessi efnagjöf lítil. Rök ull getur gefið óþægilega lykt þegar hún þornar. Ryk úr ull getur valdið ertingu.	1
Veggfóður	Efnagjöf almennt talin lítil.	1
Plastlaminat (t.d. Perstorp)	Harðplast gegndreyptur pappír (mörg lög) , framleiðslan gerist undir miklum þrýstingi og hita og efnið hefur lága efnagjöf.	1
Málningar og lökk-almennt	Stórt yfirborð miðað við efnismagn eykur hættu á efnagjöf. Lökk almennt geta gefið frá sér efni í lengri tíma.	1
Málning - Alkyd	Olíu-alkýðblanda. Leysiefnið er um 50% lacknafta, en lakkgerðirnar hafa enn hærra hlutfall. Hörðnun málningarinnar gerist í tveim þrepum, fyrst gufar megnið af leysiefninu burt á nokkrum dögum, síðan tekur við efnafræðileg þornun (polimerisering af bindiefninu) sem tekur nokkrar vikur og þá losnar m.a. akrolein sem er talið eitt af mest ertandi aldehydunum.	1
Málning – “plastmálning”	Í plastmálningum (vatnsþeytum) þá er bindiefnið oftast polyvinylacetat eða polyakrylat. Vatn og leysiefni gufa út við þornun og er magn þeirra minna heldur en í t.d. alkydlitum, hinsvegar er meira af síður rokgyörnum efnum og efnagjöf þessara málninga tekur því lengri tíma. Þessi tegund málninga er nú ráðandi á markaði, en ekki vandkvæðalaus því iðnaðarmenn hafa orðið fyrir óþægindum á vinnutímanum.	1
Málning - Epoxi- og polyurethanlökk	Epoxi- og polyurethanlökk eru varasöm í meðferð en eftir herslu laus við efnagjöf. Sum tveggja-þátta lökk geta samt gefið frá sér formaldehyð í einhvern tíma eftir ásetningu.	1
Formaldehýð	Lykt merkist strax við 0,5 ppm og þá jafnvel erting á augum. Erting í öndunarvegi getur merkist við um 1ppm, en það er mikill munur milli aðila. Efnagjöfin er fremur hæg, helmingunartími um eitt ár, en vex mikið með hækkandi hita og raka.	1
Lím og fúguefni	Efni sem eru notuð í lím eru oft þau sömu og í málningum eða lökkum, en hlutföllin ólík. Lím eru almennt ekki í beinni snertingu við innloft, en stundum er lagið sem skilur þau að mjög þunnt (t.d. þunnur gólfdukur eða veggfóður). Vandamál vegna ólyktar eru því ekki óvanaleg. PVA (polyvinylacetat) lím hafa mikla efnagjöf, einkum toluen en einnig terpener og xylaner.	
Gólf-flotefni	Hafa valdið vandamálum (í Svíþjóð, komu þar fyrst á markað 1977), einkum í byrjun. Nú er um 5% gólfa þar sem einhver vandamál koma upp (Svíþjóð), oftast þó bara mislitun. Vandkvæðin eru einkum ef efnisraki er hár (yfir 85-90% í flotinu).	

V2. CO₂ losun vegna orkunotkunar

M.F. Ashby: Materials and the Environment Eco-informed material choice, Table 6.5

Orkuvinnsla með bruna eldsneytis

	CO ₂ kg/MJ	CO ₂ kg/kg
Kol (lignite)	0,08	1,6
Kol (anthracite)	0,088	2,9
Hráolía	0,07	3,0
Díselolía	0,071	3,2
Bensín	0,065	2,89
Kerosín	0,068	3,0
Etanól	0,083	2,6
Fljótandi náttúrugas	0,055	3,03

Carbon trust Conversion factors 2011

Raforkuframleiðsla (Bretland)

	kg CO ₂ e/MJ
Raforka af neti í Bretlandi	0,146
Náttúrugas	0,051
Fljótandi gas (própan eða bútan)	0,060
Díselolía	0,070
Bensín	0,067
Íónaðarkol	0,092
Viðar köggjar	0,011

Rita Schenk [http://yosemite.epa.gov/r10/ECOCOMM.NSF/Programs/lca_epd/\\$FILE/lca_2_101509.pdf](http://yosemite.epa.gov/r10/ECOCOMM.NSF/Programs/lca_epd/$FILE/lca_2_101509.pdf)
og World Nuclear Association

Raforkuframleiðsla (Bandaríkin)

	g CO ₂ e/MJ		
	lágildir	hágildi	mism
Kol	236,1	361,1	125,0
Náttúrugas	125,0	152,8	27,8
Vatnsafl	0,3	1,4	1,1
Kjarnorka	2,8	5,6	2,8
Vindorka	1,4	13,9	12,5
Sjávarföll	6,1		0,5
Sólarorka	2,8	27,8	25,0

Landsvirkjun;

Landsvirkjun; vatnsaflsvirkjanir	0,6		0,2	Landsv. Loftslagsbókh. 2008
Landsvirkjun; jarðvarmavirkjanir (Krafla)	27,2		0,5	Landsv. Loftslagsbókh. 2008
OR jarðvarmi	1,4	11,1		Umhverfisskýrsla OR 2011
Jarðgufuvirkjanir á Íslandi	1,4	27,2	25,8	

V3. Orkunotkun og kolefnisfótspor vegna flutninga

Flutningsleið	Orkunotkun (MJ/tonn-km)	CO ₂ _eq losun (g/tonn-km)		ref
		lágildi	mismunur	
Landleið		75	175	IMO(2007) and K. Breiðfjörð (2011)
.. Fjölskyldubíll, dísel	1,6	140	141	M.F. Ashby (2009)
.. Fjölskyldubíll, bensín	2,06	140	141	M.F. Ashby (2009)
Vörubíll langflutningur	1	70	71	Fossdal (1995. s.32)
Lestar		15	120	IMO(2007) and K. Breiðfjörð (2011)
Gámaskip		10	30	IMO(2007) and K. Breiðfjörð (2011)
Gámaskip GaBi		23	24	IMO(2007) and K. Breiðfjörð (2011)
Skip: Stórflutningar		3	32	IMO(2007) and K. Breiðfjörð (2011)
Skip: Stórfl. til Íslands		42	43	IMO(2007) and K. Breiðfjörð (2011)
Skip :Efnavara		7,5	22	IMO(2007) and K. Breiðfjörð (2011)
Skip: Almennur farmur		10	22	IMO(2007) and K. Breiðfjörð (2011)
Skip: Almennur farmur GaBi		18	19	IMO(2007) and K. Breiðfjörð (2011)
Gas		8	14	IMO(2007) and K. Breiðfjörð (2011)
Olía		3	10	IMO(2007) and K. Breiðfjörð (2011)
Úthafssigling-olía	0,16	15	16	M.F. Ashby (2009)
Strandsigling-olía	0,27	19	20	M.F. Ashby (2009)

V4. Orkuinnihald og CO₂ ígildi efna

Gögnum í töflunum er safnað úr sjö heimildum sem eru aðgengilegar á netinu. Þar sem heimildirnar eru svo ólíkar þá ert ekki hjá því komist að forsendur greiningar geti verið það líka. Það þarf því að gæta fyllstu varkárni í samanburði og taka hann fremur sem vísbendingu heldur en sem stóra dóm.

Eftirfarandi töflur er byggðar á heimildum sem eru skrifaðar á ensku. Til að forðast misskilning þá er valið að þýða efnisheiti ekki heldur halda upprunanlegum heitum.

Efnisflokkum er raðað í stafrófsröð í meðfylgjandi töflum;

- Clay and ceramics
- Concrete and cement products
- Flooring
- Glass and glazing
- Gypsum
- Insulation
- Membranes
- Metals
- Natural stone and aggregates
- Paints and varnishes
- Polymers
- Roofing material
- Sealants and adhesives
- Various
- Wood and wood products

Heimildalisti:

- 1 New Zealand report; <http://www.maf.govt.nz/forestry/publications/lca-materials.pdf>
- 3 Forest&Wood products Australia (2010) Development of an Embodied CO₂ Emissions Module for AccuRate, project no: PNA161-0910, Forest&Wood products Australia – Market Access & Development
- 4 <http://www.victoria.ac.nz/cbpr/documents/pdfs/ee-coefficients.pdf>
- 5 G. Hammond & C. Jones (2008) Inventory of carbon & Energy (ICE) vers 1.6a, University of Bath, www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied, this is at least partly based on a literature study
- 6 Greenspec; sótt 2012.05.10 <http://www.greenspec.co.uk/>, based on "Cradle-to gate" analysis of publicly available data
- 7 Rautaruukki Corporation; http://www.ruukki.se/~media/Sweden/Filer/ISO%20certificates/Ruukki_Varmforzinkade-byggprodukter_miljo.pdf
- 8 Athena institute; http://calculatelca.com/wp-content/themes/athena/images/LCA%20Reports/Built-Up_Roofing_Felts.pdf

Ennfremur er ástæða til að benda sérstaklega á lista í bókinni

Ashby, M. F. (2009) *Materials and the environment ; Eco- informed material choice*, Butterworth-Heinemann, Elsevier Inc., UK

Material	CO2 equivalents (kgCO2 eq./unit)	Unit	density (kg/m3)	GWP Global warming potential (kg CO2 eq./kg)	Reference
CLAY and CERAMIC products					
Fired clay brick		1 kg		0,246	1
Clay tile		1 kg		0,460	5
Clay tile		1 kg	1900	0,45	6
Brick		1 kg	1700	0,24	6
Vitrified clay pipe (DIN 500)		1 kg		0,52	6
ceramic tile	1920	m3			3
ceramics general		1 kg		0,650	5
ceramics-sanitary products		1 kg		1,480	5
ceramics-sanitary ware		1 kg		1,510	6
CONCRETE and cement prod					
cement		1 kg			4
cement - general (typical) Portland CEM 1		1 kg		0,83	5
Concrete, 17.5 MPa		1 kg		0,102	1
Concrete, 40 MPa		1 kg		0,158	1
Concrete (1:1,5:3, e.g. In situ floor slabs, structure)			2400	0,159	6
Concrete (e.g. In situ floor slabs) with 25% PFA RC40				0,132	6
Concrete (e.g. In situ floor slabs) with 50% GGBS RC40				0,101	6
Concrete block (medium density 10 Pa)			1450	0,073	6
Aerated block			750	0,30	6
Pre-cast concrete		1 kg		0,170	1
Concrete tiles		1 kg		0,263	1
Cement mortar (1:3)				0,208	6
Fibre cement Sheet		1 kg		0,697	1
Fibre cement Sheet	1668,6	m3			3
Plaster (cement: sand, 1.4)	418	m3			3
Plasterboard		1 kg	800	0,38	6
FLOORING					
General carpet		1 kg		3,89	5
Felt (hair and jute) underlay		1 kg		0,96	5
Carpet underlay (rubber)	739,5	m3			3
carpet; saturated felt underlay (asphalt or tar impregn)		1 kg		1,7	5
carpet 10+ felt underlay 10	1169	m3			3
Carpet-nylon		1 kg		3,55	5
Carpet-nylon		1 kg		7,31	5
carpet tiles (nylon polyamid, pile weight 770 g/m2)		1 m2	4,6 kg/m2	13,7	6
carpet;wool		1 kg		5,48	5
Wool carpet		1 kg		5,63	6
cork tile	861	m3			3
linoleum	1461,2	m3			3
linoleum		1 kg			4
linoleum		1 kg	1200	1,21	6
vinyl tile	2525,6	m3			3
Vinyl flooring		1 kg	1200	2,92	6
marble	397,1	m3			3
Terrazzo tiles		1 kg	1750	0,12	6
Ceramic tiles		1 kg	2000	0,74	6

Material	CO2 equivalents (kgCO2 eq./unit)	Unit	density (kg/m3)	GWP Global warming potential (kg CO2 eq./kg)	Reference
GLASS and glazing					
Glass - general		1 kg		0,85	5
Glass - general		1 kg	2500	0,85	6
Glass (flat)	1380,5	m3			3
Fiberglass		1 kg		1,53	5
GYP SUM					
Gypsum-general		1 kg		0,12	5
Gypsum plaster		1 kg	1120	0,12	6
GIB ® plasterboard		1 kg		0,340	1
plasterboard		1 kg		0,38	5
INSULATION					
Cork		1 kg		0,19	5
Cork insulation		1 kg	160		6
Cellulose fibre (38,6 kg/m3)	76,4	m3	38,6	1,98	3
Cellulose insulation		1 kg			6
Glass fibre insulation		1 kg		1,66	1
Glass fibre insulation (glass wool)		1 kg	12	1,35	6
Glass fibre bat (12 kg/m3 !!)	38,3	m3	12	3,19	3
Mineral wool		1 kg		1,20	5
Rockwool batt (0,033 W/mK, 32 kg/m3)	48,6	m3	32	1,52	3
Rockwool (slab)		1 kg	24	1,05	6
Polystyren expanded (0,036 W/mK, 16 kg/m3 !!)	58,7	m3	16	3,67	3
Polystyreninsulation expanded		1 kg	15-30	2,55	6
Polystyren extruded (0,028 W/mK, 32 kg/m3)	140,5	m3	32	4,39	3
Polyurethane rigid foam (0,028W/mK, 24 kg/m3)	86,3	m3	24	3,60	3
Polyurethane insulation (rigid foam)		1 kg	30	3,480	6
Flax insulation		1 kg	30	1,70	6
Woodwool board insulation		1 kg		0,980	6
Wool (recycled) insulation		1 kg	25		6
Straw bale		1 kg	100-110		6
MEMBRANES					
PE membrane (building wrap)		1 kg		2,368	1
PE film (LDPE)		1 kg		1,90	5
UPVC film		1 kg		2,50	5
Wall paper		1 kg		1,93	6
NATURAL STONE AND AGGEGATES					
Natural stone				0,17	2
Granite	386,9	m3			3
Marble			2500	0,116	6
Limestone block			2180		6
Aggregates				0,005	5
Aggregates			2240	0,0048	6
Slate (UK-imported)		1 kg	1600	0,006-0,058	6

Material	CO2 equivalents (kgCO2 eq./unit)	Unit	density (kg/m3)	GWP Global warming potential (kg CO2 eq./kg)	Reference
METALS					
Álbræðsla- Alcoa, Ísland 13-14,6 kWh/kg					
Aluminium, extruded		1 kg		11,312	1
Aluminium, virgin (world wide recycled content is 33%)		1 kg		11,46	5
Aluminium (general & incl. 33% recycled)		1 kg	2700	8,24	6
Aluminium, virgin extruded		1 kg		11,2	5
Aluminium, recycled, extruded		1 kg		1,98	5
Iron (general)		1 kg	7870	1,91	6
Low carbon steel			7850	2,500	
Reinforcing steel		1 kg		0,449	1
Structural steel		1 kg		1,802	1
Steel	12207	m3	7850	1,555	3
Steel sheet		1 kg		2,284	1
Steel - general (World wide recycled content 42,7%)		1 kg		1,770	5
Steel - general (average recycled content)		1 kg	7800	1,370	6
Steel (sections - average recycled content)		1 kg	7800	1,42	6
Steel (pipe - average recycled content)		1 kg	7800	1,37	6
Stainless steel		1 kg	7850	6,15	6
Copper general		1 kg		2,19	5
Copper general		1 kg		3,83	5
Copper 8average inc. 37% recycled)		1 kg	8600	2,60	6
Copper (tube)	55262,7	m3			3
Lead	30894	m3			3
Lead (incl 61% recycled)	30894	m3	11340	1,570	6
Chromium		1 kg		5,39	5
Manganese		1 kg		3,50	5
Nickel		1 kg		12,40	5
Lithium		1 kg		5,30	5
Molybdenum		1 kg		30,30	5
Vanadium		1 kg		228,00	5

Material	CO2 equivalents (kgCO2 eq./unit)	Unit	density (kg/m3)	GWP Global warming potential (kg CO2 eq./kg)	Reference
PAINTS and varnishes					
Paint, water based		1 kg		2,077	1
Paint: water borne		m2		2,12	6
Paint: solvent borne		m2		3,13	6
Paint-general		1 kg		3,56	5
Wood stain /varnish		1 kg		5,35	6
POLYMERS					
Polyethylen (high density, HDPE)		1 kg		1,6	5
Polyethylen (low density, LDPE)		1 kg		1,7	5
Polycarbonat (PC)		1 kg		6,00	5
Polystyren (PS)		1 kg		2,9	2
General purpose PS		1 kg		2,7	5
Thermoformed Expanded Polystyren		1 kg		3,40	5
Polyurethane		1 kg		3,00	5
PVC (general)		1 kg	1380	2,8	6
rubber-general		1 kg		3,2	5
synthetic rubber		1 kg		4,0	5
natural latex rubber		1 kg		1,6	5
Polycarbonate	6944,3	m3			3
Nylon 6		1 kg		5,5	5
Nylon 6.6		1 kg		6,5	5
HDPE pipe		1 kg		2,00	5
PVC pipe		1 kg		2,50	5
PVC pipe		1 kg	1400	2,44	6
Asphalt - general		1 kg		0,046	5
Asphalt (paving)		1 kg			4
bitumen - general		1 kg		0,48	5
Bitumen (general)		1 kg	0,38-0,43		6
ROOFING materials					
Stainless steel		1 kg	7850-8000		6
Galvanized metal sheeting	12,66 kg/m2			1,01	7
Built up asphalt impregnated fiberglass roofing felt	385 g/m2 !!	1 kg		0,25	8
SEALANTS and ADHESIVES					
Urea formaldehyde		1 kg		1,3..2,26	5

Material	CO2 equivalents (kgCO2 eq./unit)	Unit	density (kg/m3)	GWP Global warming potential (kg CO2 eq./kg)	Reference
WOOD and wood prod.					
Timber-general		1 kg		0,460	5
Timber (general - excludes sequestration)		1 kg	480-720	0,72	6
Sawn timber, kiln dried (10%) - emissions only		1 kg		0,154	1
Sawn timber, kiln dried (10%) - CO2 uptake		1 kg		-1,684	1
Sawn hardwood		1 kg	700-800	0,86	6
Particle board- emissions only		1 kg		0,279	1
Particle board- CO2 uptake		1 kg		-1,417	1
Masonite (soft) - emissions only	231,8 m3				3
Masonite (soft) -CO2 uptake	-853 m3				3
Hardboaboard		1 kg	600-1000	1,050	6
MDF (softwood)		1 kg			4
MDF		1 kg	680-760	0,720	6
Soft board (MDF, 12mm) -emissions only	627,7 m3				3
Soft board (MDF, 12mm) -CO2 uptake	-468,3 m3				3
OSB		1 kg	640	0,96	6
Plywood - emissions only		1 kg		0,210	1
Plywood - CO2 uptake		1 kg		-1,385	1
Plywood		1 kg	540-700	1,070	6
Plywood (softwood) - emissions only	650,1 m3				3
Plywood (softwood) - CO2 uptake	-96,9 m3				3
Glue laminated timber		1 kg		0,87	6
VARIOUS					
wool general		1 kg		0,15	5
Mineral fibre roofing tile		1 kg	1850	2,70	6

Material	CO2 equivalents (kgCO2 eq./unit)	Unit	GWP Global warming potential (kg CO2 eq./unit)	
COMPONENTS				
		1 item		
Glass Window (double glazed, aluminium frame)		1,5x 1,8 m	599	1
		1 item		
Timber window, single glazed		1,2x1,2 m	14,60	5
		1 item		
Timber framed window, double glazed , air or argon filled		1,2x1,2 m	12..25	5
		1 item		
Aluminium window, double glazed , air or argon filled		1,2x1,2 m	279	5
		1 item		
PVC window, double glazed , air or argon filled		1,2x1,2 m	110..126	5
Aluminium clad timber frame window, double glazed , air or argon filled		1 item		
.. Krypton filled; add		1,2x1,2 m	48..75	5
..Xenon filled; add			26	5
			229	5
Photovoltaic(PV) cell: monocrystalline (average)		m2	242	6
Photovoltaic (PV) cell: Polycrystalline (average)		m2	208	6
Photovoltaic (PV) cell: Thin film (average)		m2	67	6

V5. Framleiðsla nokkurra efna og innflutningur til Íslands

Taflan sýnir hlutfall flutningsáhrifa í heildarkolefnisfótspori nokkura algengra byggingarefna hingað kominna. Úrvinnslan byggir á töflu yfir kolefnisspor efna (viðauka 4), upplýsingum umorkunotkun og kolefnisspor (viðauki 3) og flutningavegalengdum til landsins (Sigurbjörn Orrri Úlfarsson, 2011 og Kenneth Breiðfjörð, 2011).

Efni	Skýring	Framleiðsla	Flutningar	Framleiðsla og flutningar				
				Skip	Bíll	Alls	Alls	
		kg CO ₂ e/kg	Aðferð	km	km	kg	kg	
						CO ₂ e/kg	CO ₂ e/kg	
							Hlutf. Flutninga	
Plastdúkur á gólf	PVC	2,92	Landflutningur og skip frá Danmörku	2300	350	0,121	3,041	0,04
Málning	vatnsmálning	2,077	Landflutningur og skip frá Danmörku	2300	500	0,132	2,209	0,06
Hreinlætistæki	postulín	1,51	Landflutningur frá Ítalíu og skip frá Danmörku	2300	1350	0,192	1,702	0,11
Málmklæðning	galvanhúðað stál (12,66 kg/m ²)	1,01	Landflutningur og skip frá Svíþjóð	3000	500	0,162	1,172	0,14
Gler	flotgler	0,85	Landflutningur og skip frá Belgíu	2350	500	0,134	0,984	0,14
Sement		0,83	Landflutningur og skip frá Danmörku	2300	50	0,100	0,930	0,11
Kambstál		0,449	Landflutningur og skip frá Eistlandi	3310	200	0,153	0,602	0,25
Timbur	umhverfisvæn ræktun	0	Landflutningur og skip frá Eistlandi	3310	200	0,153	0,153	1,00

V6. Kolefnisfótspor byggingarluta

Byggingarluti	eining	kg CO ₂ - ígildi/einingu	Mest vægi	Heimild
Þak; hefðbundið timbursperruþak, bárujárn	m ² bygg.hl.	51,6	Þakjárn	1
Útveggur; Hefðbundinn timburveggur, timburklæðning utan, gips-og spónaplötur innan	m ² bygg.hl.	53,1	Gips-og spónaplötur, festingar, timbur	1
Gluggar og hurðir (ath. hurðin vegur lítið í heild)	m ² bygg.hl.	Um 20 ¹⁾	gler	
Innveggir; hefðbundinn timbur með plötuklæðningu og einangrun	m ² bygg.hl.	49,5	Gips-og spónaplötur	1
Gólfplata; steiptá fyllingu ,án gólfefnis 2)	m ² bygg.hl.	93,5	Steypa og ílögn, gólfhitakerfi	1
Jarðvegsskipti	m ³ fylling	11,2		1
			Orka (MJ/einingu) ³⁾	
Útveggur; tígulsteinn/frauðsteypa/glerull	m ² bygg.hl.	63	760	2
Útveggur;steipt samlokueining m. EPS einangrun	m ² bygg.hl.	98	970	2
Útveggur; timbureiningar m. áklæðningu að utan	m ² bygg.hl.	47	740 ⁴⁾	2
Innveggur; steypa 100mm	m ² bygg.hl.	47	430	2
Innveggur; tvöfaldar gipsplötur á blikkstoðir og steinullareinangrun	m ² bygg.hl.	16	270	2
Innveggur; spónaplötur á timburstoðir og einangrun	m ² bygg.hl.	6,6	230 ⁴⁾	2
Milligólf; spónaplata á timburbitum og einangrun, tvöföld gipsplatan að neðanverðu	m ² bygg.hl.	24	510 ⁴⁾	2
Milligólf; Forspenntar holplötueiningar 215mm	m ² bygg.hl.	74	680	2

Skýringar:

- Heimildir 1 Sigurbjörn Orri Úlfarsson (2011); Undanskilið í greiningu Orra er orka til samsetningar eininga, orka á byggingarstað, rekstrarorka á visttíma, orka til niðurrifs
- 2 Petersen, E. H., Krogh, H., Dinesen, J. (1998)

- 1) Í heimild 1 gefin upp mun hærri tala, töflugildi hér metið útfrá gildum í Viðauka 4
- 2) Sökkulveggir og fylling ekki meðreiknað
- 3) Gas og olía
- 4) Til viðbótar kemur orka frá gróðri (*e. feedstock energy*)

V7. Útreikningar á hagkvæmri einangrunarþykkt - aðferðarfræði og forsendur

Kostnaður aðgerðar reiknast almennt sem efnis- og vinnukostnaður, en einnig þarf að taka tillit til kostnaðarauka vegna t.d. áhrifa hússtærðar á gatnagerðargjöld. Hagnaður aðgerðar er árleg lækkun hitunarkostnaðar. Hagkvæmni aðgerðar er hér metin útfrá endurborgunartíma, þ.e. þann árafjölda sem þarf til þess að stofnkostnaður með vöxtum náist að fullu greiddur með lækkun hitunarkostnaðar.

Hérlendis hefur stundum verið miðað við að ásættanlegur endurborgunartími ²⁷í aðgerðum sem bæta orkunýtni skuli vera innan við 10 ár en í t.d. Danmörku hefur verið miðað við 12 ár og í opinberri umræðu þar er nú rætt um hvort hækka skuli þetta viðmið upp í 25 ár.

Forsendur og einfaldanir útreikninga;

Útreikningar orkuflutnings og kostnaðar eru gerðir fyrir 1 m² efnis, þ.e. í samsettum byggingarluta þarf að meta hvort taka skuli tillit til áhrifa þessa á U-gildi.

- Lækkað orkutap metið sem munur í orkuflutningi í gegnum byggingarluta fyrir og eftir viðbótarskref (aukna einangrun) og notaðar sömu forsendur varðandi gefins varma í báðum tilvikum.
- Almennt ekki gert ráð fyrir að breyting yfirborðshita (á því sviði U-gilda sem eru áhugaverð hverju sinni) hafi áhrif á skynjunarhitastig, þetta þarf þó að meta hverju sinni.

Kostnaður vegna aukinnar einangrunar er hér reiknaður útfrá efniskostnaði einangrunar, en gert ráð fyrir að vinnukostnaður breytist ekki, þ.e. ekki tekið tillit hugsanlegs kostnaðarauka vegna eftirtalinnna atriða;

- breytingar á uppbyggingu eða frágangi byggingarluta (t.d. sverara burðarkerfi..).
- aukinn vinnukostnaður ef einangra þarf í fleiri efnislögum vegna aukinnar þykktar.

Í ákvörðun hagkvæmrar einangrunarþykktar nýbyggingar þá er árangur af 1 sm aukningu einangrunarþykktar reiknaður og ekki reiknaður inn vinnuliður þar sem gera má ráð fyrir að einangra þurfi bygginguna eitthvað í öllu falli (vegna hollustukrafna).

Í útreikningi á hagkvæmni mismunandi glerjunar (1-falt, 2-falt,..gler) þá er gert ráð fyrir að vinnukostnaður sé hinn sami og honum því sleppt í samanburðinum (þetta er ekki allskostar rétt í reynd).

Í endurbótaaðgerð, þ.e. gæðaaukandi aðgerð, þarf almennt að reikna vinnukostnað aðgerðar og aukakostnað t.d.vegna klæðningar yfir einangrun. Þegar endurnýja þarf yfirborð byggingarluta í öllu falli vegna öldrunar þá er eðlilegt að sleppa kostnaðarhlutdeild þess hluta aðgerðar í hagkvæmniútreikningunum.

²⁷ Í Orkusparnaðaráttakinu 198xx þó miðað við < 16 ár (Björn Marteinson, 2001)

Gert er ráð fyrir að áhrif verðbólgu stríkt út, þ.e. áhrifin séu hin sömu á reiknaðan sparnað og útgjöld. Þetta byggir á þeirri væntingu að orkuverð hækki í takt við verðbólgu og því megi reikna með föstu verðlagi orkuverðs. Vaxtakostnaður er því reiknaður út frá raunvöxtum (vextir umfram verðbólgu), í útreikningum má síðan að auki taka tillit til raunhækkunar orkuverðs umfram verðbólgu.

Orkuverð er eingöngu reiknað sem notkunartengdur einingarkostnaður, þ.e. summa einingarverðs og dreifingarkostnaðar (kr/kWh) en ekki fastir liðir s.s. mælagjald.

Skýring tákna;

U_f	U- gildi fyrir (W/m^2K)
U_e	U-gildi eftir (W/m^2K)
T_i	óskhiti inni ($^{\circ}C$)
T_m	meðalútihiti staðar ($^{\circ}C$)
dT	lækkun vegna gefins varma ($^{\circ}C$)
$O_{verð}$	orkuverð (kr/kWh)
dQ	lækkun hitunarþarfar ($kWh/m^2, \text{ár}$)
G	gráðutímar (þús. $^{\circ}Ch$)
vc	árlegir lánsvextir, umfram verðbólgu (%)
ve	árleg hækkun orkuverðs, umfram verðbólgu (%)
ET	endurgreiðslutími aðgerðar (ár)
KG	stofn-umframkostnaður aðgerðar (kr/m^2)
KO	lækkun hitunarkostnaðar ($kr/m^2, \text{ár}$)

Athuga ber að KG er ákvarðað sem umframkostnaður aðgerðar (t.d. einangrunarkostnaður + hækkuð gatnagerðargjöld þegar það á við);

Dæmi:

- ef valið stendur milli tveggja lausna þá er KG mismunur í verði lausna (t.d. 2-falt í stað 1-falt gler á byggingartíma)
- þegar skoða á hagkvæmni endurnýjunar, t.d. skipta út einföldu og setja tvöfalt þá er kostnaðurinn reiknaður sem allur aukakostnaður aðgerðar

Útreikningar – hagkvæmnismat

$G = (T_i - T_m - dT) \cdot 24 \cdot 365 / 1000$	þúsund gráðutímar, út frá staðsetningu og óskhita
$dQ = (U_f - U_e) \cdot G$ ($kWh/m^2, \text{ár}$)	lækkun hitunarþarfar
$KO = dQ \cdot O_{verð}$ ($kr/m^2, \text{ár}$)	lækkun hitunarkostnaðar

Nettókostnaður aðgerðar eftir n ár:

$$K_n = KG \cdot (1 + vc/100)^n - KO \cdot \sum_{i=0}^{n-1} (1 + ve/100)^i$$

og endurgreiðslutíminn $ET = n$ þegar $K_n = 0$

Forsendur útreikninga í Reykjavík

Úti hiti: $T_m=4,3$ °C,

Innihiti; $T_i=20$ °C

Gefins varmi; $dT=3$ °C

Orkuverð, heitt vatn í þéttbýli á svæði OR: 119,91 kr/m³ mVSK (dags: 2012.01.01)

orkuverð (forsenda ca. 50 kWh/m³) = 2,40 kr/kWh m. VSK

Einangrunarverð 110,6 kr/sm þykktar pr. fermetra veggjar

Gatnagerðargjald: Reikna gjaldið pr. m² gólflatar og deili því á fermetra fjölda veggjar (háð vegg hæð).

Reiknað fyrir parhús; gatnagerðargjald 19832 kr/m² (1. janúar 2012) þ.e. 79,33 kr/sm þykkingu veggeinangrunar

V8. Ending og áætluð viðhaldstíðni efna í Reykjavík

Áætluð meðaltíðni aðgerða og endurnýjunarhlutfall (Björn Marteinson, 2006, bls, 24)

Aðgerð		Meðaltíðni (ár)	Hlutfall ¹⁾
Yfirborðsmeðhöndlun, endurmálun	timbur, úti	4	1,0
	steypa, úti	8	1,0
	málm, úti; endurmálun	10	1,0
	málm, úti; hreinsun, grunnun og málun	20	1,0
	yfirborð, inni	5	1,0
Viðhald yfirborða inni (spörtlun o.fl.)	veggir og loft	30	1,0
	gólf	15	0,05
Innréttingar og yfirborðsefni	eldhús	25	0,7
	baðherbergi	25	0,7
	hreinlætistæki	25	1,0
	múruð yfirborð	25	1,0
	teppi og dúkar	15	1,0
	innréttingar	25	0,7
Gluggar	gler	15	0,5
	timbur	50	0,5
Gluggar og útihurðir	viðgerðir	5	0,01
	endurnýjun glugga	45	1,0
	endurnýjun hurða	50	1,0
Innihurðir	endurnýjun	40	1
Þak	málmklæðning; endurnýjuð	40	0,5
	timbur (burðarhluti)	40	0,15
	rennur og niðurföll; endurnýjun	25	1
Steyptir eða múruð vegg yfirborð ("heit)	yfirborðsviðgerð	8	0,05
	sprunguviðgerð	10	²⁾
Svalir og svalaveggir ("kaldir fletir")	yfirborðsviðgerð	10	0,2
	yfirborðsmeðhöndlun, gólf	5	1
Tæknibúnaður	drenlagnir	40	0,2
	vatns- og hitalagnir	40	0,5
	raflagnir	40	0,5
	loftræsikerfi	30	0,5

Skýringar:

- 1) Endurnýjunarhlutfall miðað við magn sem fór til byggingarhluta í nýbyggingu
- 2) Umfang (m) skilgreinist fyrir hvert verk



**Nýsköpunarmiðstöð
Íslands**

Akureyri | Egilsstaðir | Húsavík | Höfn | Ísafjörður | Reykjavík | Sauðárkrúkur | Vestmannaeyjar