

Þórhildur Fjóla Kristjánsdóttir
og Jónas Þór Snæbjörnsson

Orkunotkun íbúða- bygginga á Íslandi

— Yfirlitsgrein

MARKMIÐ þessarar greinar er að gefa yfirlit um orkunotkun bygginga, rekja þær rannsóknir og greiningar sem gerðar hafa verið varðandi orkunotkun í íbúðarbyggingum á Íslandi og gera samanburð við stöðuna í Evrópu.

Fjallað verður um byggingarflokka og orkunotkun bygginga í heiminum. Stuttlega er farið yfir helstu þætti sem hafa áhrif á orkunotkun bygginga og hvernig má draga úr orkunotkun til upphitunar. Í því samhengi er þróun krafna um einangrun húsa í byggingarreglugerð hérlendis kynnt og rædd Evróputilskipun um orkunotkun bygginga.

Í framhaldinu eru teknar saman helstu niðurstöður eldri ástandskannana á vegum Orkustofnunnar og nýlegrar rannsóknar á raunorkunotkun bygginga, og fjallað bæði um þær nýjungar sem eru að eiga sér stað og um framtíðarþróun. Þar má nefna snjallmæla til að fylgjast með orkunotkun húsa, fyrirsjáanlega aukningu í orkunotkun og loftslagsáhrif núverandi orkunotkunar. Að lokum eru umræður, niðurstöður kynntar og næstu skref tekin saman.

INNGANGUR

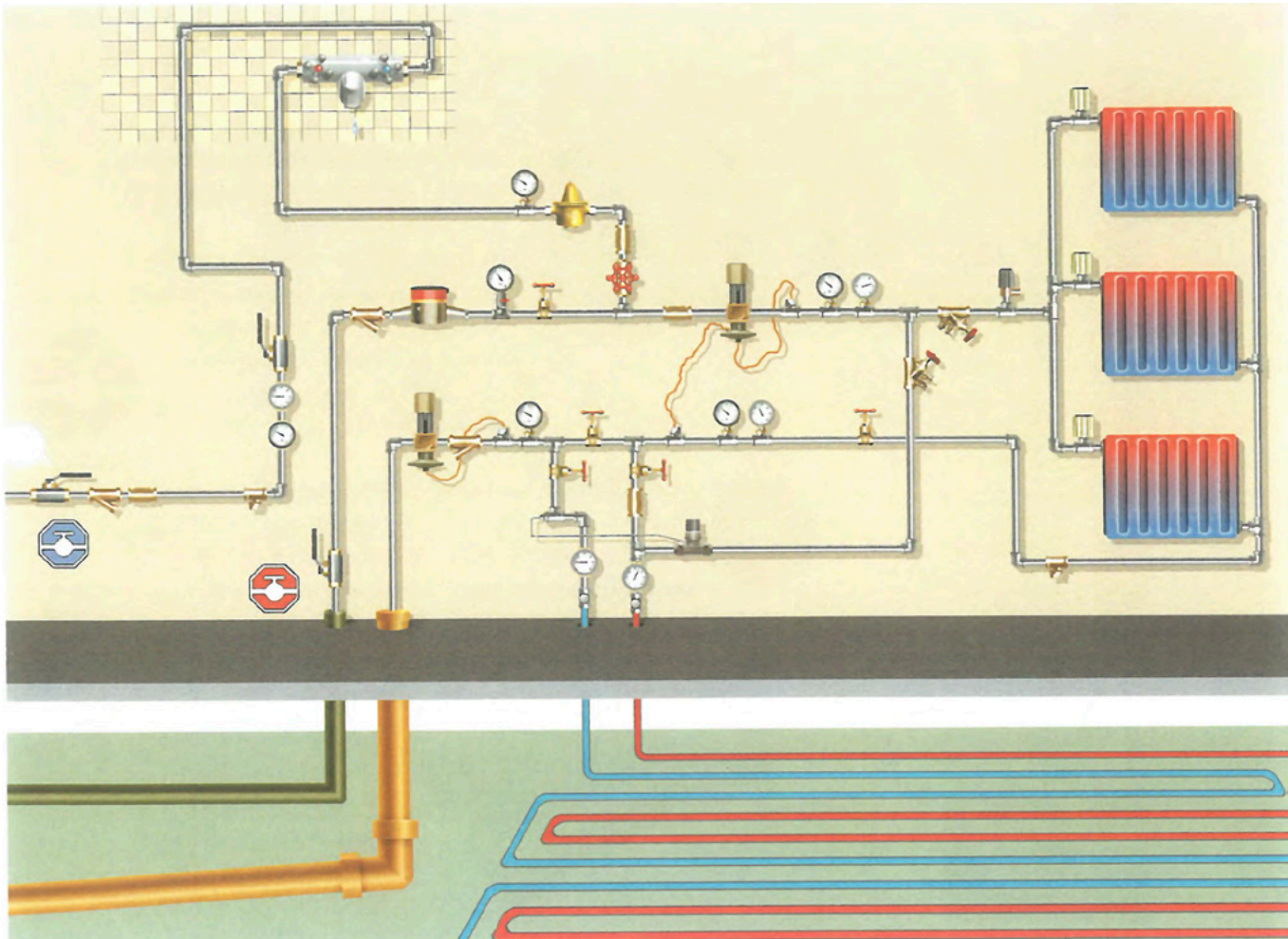
Byggingar eru margvíslegar og þjóna mismunandi hlutverki. Þeim er yfirleitt skipt í tvo meginflokka, atvinnuhúsnaði (s.s. skrifstofur og verlanir) og íbúðarhúsnaði (s.s. einbýlishús og fjölbýlishús). Samkvæmt samantekt frá verkefninu Byggjum grænni framtíð¹ er íbúðarhúsnaði um 48% bygginga á Íslandi, sjá töflu 1. Í Evrópusambandsríkjunum er hlutfall íbúðarhúsnaðis af heildarbyggingarmassanum hærra, eða um 75%.² Heildarflatarmál íbúðarhúsnaðis á Íslandi er samkvæmt fasteignaskrá 18,7 milljónir fermetra, og eru 63% bygginganna eldri en 30 ára.³

ORKUNOTKUN BYGGINGA

Á heimsvísu fer til bygginga um 30% af allri orku sem framleidd er og við það myndast um 26% af allri losun gróðurhúsalofttegunda frá orkunotkun.⁴ Mest er losunin (18%) frá framleiðslu fjarvarmaorku og rafmagns sem nýtt er í byggingum. Bruni olíu og gass við kyndingu og eldamennsku veldur um 8% af heildarlosun gróðurhúsalofttegunda frá orkunotkun í heiminum.⁵ Í Evrópusambandsríkjunum er hlutfall orkunotkunar til bygginga hærra en á heimsvísu, eða um 40%,⁶ og myndar um 35% af allri orkutengdri losun gróðurhúsalofttegunda innan ESB.⁷ Losun

gróðurhúsalofttegunda frá orkunotkun í byggingum í Evrópu hefur þó minnkað um rúmlega þriðjung milli 2005 og 2021 vegna aukinna krafna um orkunýtni og hreinni orkuframleiðslu.⁷

Mest orka í íbúðarhúsnaði í heiminum er nýtt við að hita og kæla byggingar til þess að skapa þægilega innivist. Yfirleitt er miðað við innihitastig á bilinu 20–26 °C.⁵ Í atvinnuhúsnaði er orkunotkunin yfirleitt fjölbreyttari og hlutfallslega meiri orka fer til lýsingar og tækjabúnaðar sem tengist starfseminni. Hitun og kæling nemur að meðaltali um 50% af orkunotkun atvinnuhúsnaðis í heiminum.⁵



Heildarmynd af hita- og neysluvatnskerfi og frárennsli, þ.e. inntak og tengigrind hitaveitu, inntak og tengigrind fyrir kalt vatn, húsveitu-grind, ofnakerfi og snjóbræðslukerfi'. – A comprehensive overview of the heating, domestic water, and drainage systems, including geothermal heating and cold water inlets, connection manifolds, domestic water manifold, radiator system, and snow melting system. Mynd/Photo: Rannsóknarstofnun Byggingariðnarins, rit nr. 88.

Í ESB-ríkjunum er hlutfall orkunotkunar á heimilum til upphitunar rýmis 64%, til vatnshitunar 14,5%, orka, til lýsingar og tækja nemur 13,6% og til eldamennsku 6%, eins og sjá má á mynd 1.⁶ Orkan sem nú er notuð í íbúðarbyggingum í ESB-ríkjunum er að mestum hluta gas (33,5%) og rafmagn (25,0%), en einnig er notast við olíu (9,5%) og kol (2,5%) auk annara orkukosta.⁶

Í Noregi hafa verið teknar saman tölur um orkunotkun mismunandi bygginga eins og sjá má á mynd 2 sem byggð er á gögnum frá Enova (2017).⁸ Í ljós kemur að orkunotkunin á fermetra er mest í

matvöruverslunum. Þar er bæði mikil kæling og lýsing og byggingarnar eru í notkun allt árið. Skólabyggingarnar eru með eina minnstu notkun á fermetra á ári, líklega vegna þess að þær eru ekki í samfelldri notkun allt árið.⁸ Meðaltal heildarorkunotkunar íbúðarbygginga í Noregi á ári er 143 kWst/m² í blokk og 166 kWst/m² í sérbyli, miðað við loftslag í Ósló.

Á Íslandi eru um 90% íbúða kynt með jarðhita og um 10% með rafmagn, fjarhitaveitum eða olíukyndingu.⁹ Orkunotkun heimila á jarðhitasvæðum má skipta í tvo aðalflokka eftir því hvaða orka er nýtt, jarðhiti til upphitunar og

heitavatnsnotkunar, og svo rafmagn til lýsingar, eldunar og tækjabúnaðar. Samkvæmt upplýsingum frá Orkustofnun og Húsnæðis- og mannvirkjastofnun (HMS) er ársnotkunin að meðaltali um 272 kWst/m² af heitu vatni og 33 kWst/m² af rafmagn, sem þýðir að á Íslandi nemur hlutfall orkunotkunar til upphitunar rýmis og öflunar heits vatns nálægt 90% allrar orkunotkunar í byggingum.^{9,10} Almenn heimilisnotkun rafmagns, var 619 GWst árið 2022 án rafhitunar heimila, og með rafhitun 738 GWst.¹¹ Heildar-jarðhitanotkun til hitunar heimila var sama ár um 4.192 GWst.¹²

1. Tafla. Hlutfall mismunandi byggingartegunda af heildarbyggingamassa á Íslandi.¹
– Proportion of different building types of the total building mass in Iceland.

Byggingarflokkur	Hlutfall af byggingum
Útihús	10%
Einbýli/sérbýli	25%
Fjölbýli	23%
Bílskúr/skúr	4%
Sumarhús	3%
Verslanir og skrifstofuhús	9%
Iðnaðarhús	10%
Vörugeymslur	2%
Sérhæfðar byggingar	14%

ÁHRIFAPÆTTIR ORKUNOTKUNAR Í BYGGINGUM

Margir ólíkir þættir hafa áhrif á orkunotkun í byggingum. Hinir helstu eru:

- Loftslag (s.s. útihitastig, vindur og sólarstundir)
- Notendahegðun (fjöldi notenda, innihitastig, lengd og fjöldi sturtuferða, notkunartími o.fl.)
- Einangrun (veggir, þak, gólf, gluggar, dyr)
- Hitakerfi (hitastýring og stilling tæknikerfa)
- Loftskipti (þéttleiki húsa, loftun og loftræsikerfi)
- Hönnun og rýmisnýtni (s.s. lofthæð og stærð rýmis og stærð veðurhjúps)
- Nýting dagsbirtu
- Raftæki og lýsingarbúnaður (s.s. fjöldi tækja og nýtni)
- Byggingarefni (magn og eðlisvarmi byggingarefna)
- Orkugjafi (verð og aðgengi að orku)
- Umhverfi (s.s. skuggavarp, jarðvegur og skjól)

BYGGINGARREGLUGERÐIN

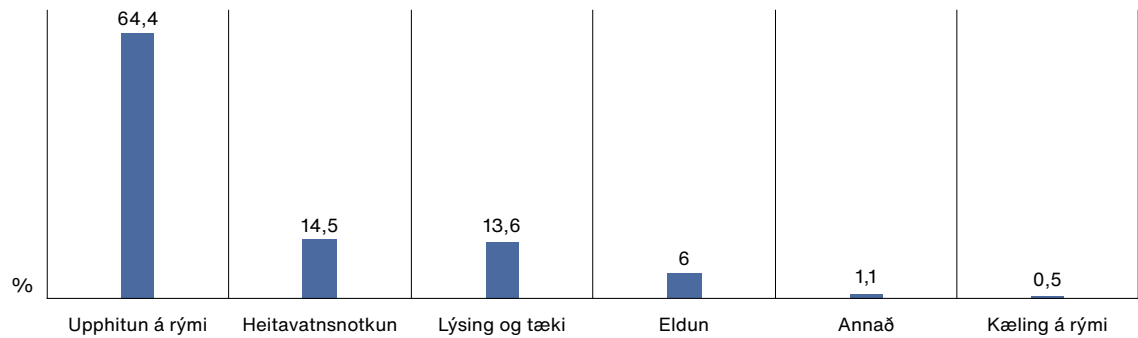
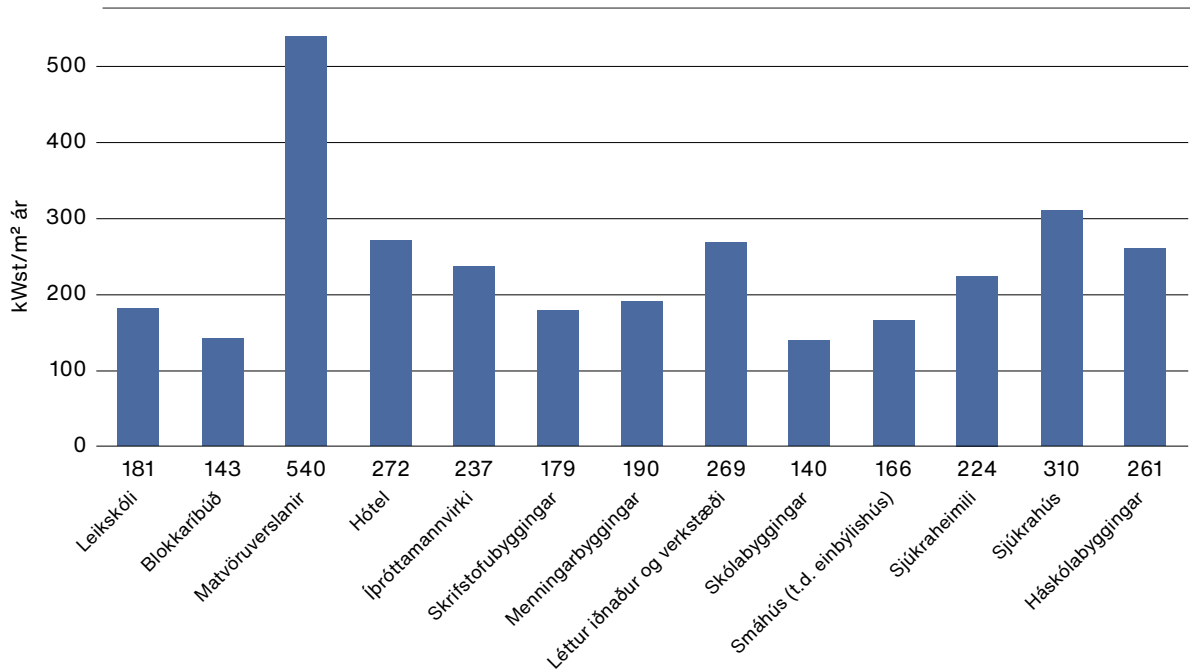
Fjallað er um orkusparnað og hita-einangrun í kafla 13 í byggingareglugerðinni frá 2012.¹³ Þar eru settar fram kröfur um einangrun, loftskipti og varmatap bygginga. Markmiðið er að stuðla að þægilegri innivist, hagkvæmri orkunýtingu og sjálfbærri nýtingu náttúruauðlinda. Tafla 2 sýnir kröfur um U-gildi einstakra byggingarhluta samkvæmt reglugerð¹³ og til hliðsjónar sömu atriði í samsvarandi reglugerð í Noregi¹⁴ ásamt gildum frá eldri útgáfum af byggingarreglugerðinni hér.^{3,15-17} U-gildið gefur til kynna hve mikil orka (W) streymir í gegnum flatareiningu (m²) þegar hitaunur í lofti sitthvoru megin við byggingarhlutann er 1°C. Eins og sjá má í töflu 2 hefur orðið lítil breyting á kröfum til einangrunar íslenskra bygginga síðastliðna fjóra áratugi, eða síðan 1984.

Við endurskoðun byggingarreglugerðarinnar árið 2012 var lagt til að lækka nokkur viðmiðunargildi af þessu tagi. Til dæmis var lagt til að U-gildið fyrir þök lækkaði úr 0,2 í 0,15 W/m²°C og veggja úr 0,4 í 0,25 W/m²°C, en breytingin mætti andstöðu og varð ekki að veruleika. Til samanburðar má sjá að kröfur til U-gilda útveggja eru helmingi lægri í Noregi (TEK17) en á Íslandi, og að auki er umtalsverður munur á leyfilegum U-gildum glugga.

EVROPUREGLUGERÐ

Árið 2002 kom út fyrsta tilskipun Evrópusambandsins um orkunýtni bygginga (e. *Buildings Energy Performance Directive* (EPBD) 2002/91/EC). Hún hefur síðan verið uppfærð reglulega og var endurútgefin árið 2010.¹⁸ Í tilskipuninni er meðal annars farið yfir innleiðingu orkumerkinga fyrir byggingar og þar er mælt fyrir um að allar nýbyggingar skyldu vera „núllorku-byggingar“ (e. net-zero) fyrir árið 2020.¹⁸ Í skýrslu frá Almennu verkfræðistofunni (nú Verkís) var farið ytarlega yfir reglugerðina frá 2010 og innleiðingu hennar í nágrannalöndum okkar.¹⁹ Ísland hefur sérstöðu varðandi upphitun bygginga vegna jarðhitans. Óskuðu stjórnvöld því eftir undanþágu frá tilskipuninni og var það samþykkt.²⁰ Hinar auknu kröfur ESB hafa haft merkjanleg áhrif á orkunotkun bygginga í ESB-ríkjunum, samanber mynd 3. Orkunotkun í byggingum frá því eftir 2010 er mun minni en orkunotkun til upphitunar eldri bygginga.²¹

Í Noregi hefur verið gefinn út sérstakur staðall um orkunotkun svokallaðra passífhúsa (n. passivhus). Í slíkum byggingum er lögð áhersla á að nýta vel allan gefins varma, svo sem sólarorku og hita frá notendum og tækjum í gangi. Orkunotkun í þessum byggingum getur farið allt niður í 80–120 kWst/m².²² Þær eru betur einangraðar en hefðbundin hús, og sérstaklega er hugað að orkunýtni hönnun. Til dæmis er staðsetning og stærð gluggaflata bestuð, varmaendurnýting lofts er skilvirk og virk stýring er á orkunotkuninni.

1. mynd. Hlutfallsleg orkunotkun heimila í Evrópu.⁶ – Relative Energy Consumption of Households in Europe.2. mynd. Orkunotkun mismunandi tegunda bygginga í Noregi miðað við loftslag í Ósló.⁸
– Energy Consumption of Different Types of Buildings in Norway Based on the Climate in Oslo.

ORKUNÝTNI OG ORKUSPARNAÐUR

Til þess að draga úr þörf fyrir upphitun er hægt að bæta einangrun glugga, þaks, veggja og gólfs. Tafla 3 sýnir meðalhlutfallsskiptingu varmataps mismunandi byggingarluta og loftskipta úr ástandskönnun fjörutíu og þriggja bygginga.¹⁵

Varmatap einstakra bygginga og byggingarluta reyndist mjög mismunandi og fór eftir hönnun bygginganna og mismunandi áhrifum einstakra byggingarluta. Í niðurstöðum könnunarinnar kom fram að til þess að draga úr upphitunarþörf væri skynsamlegast að bæta einangrun byggingarluta, minnka loftskipti, lækka innihita og bæta stýringu hitakerfa.

Ýmsar aðrar aðgerðir til orkusparnaðar í byggingum hafa verið kannaðar að undanfögnu.

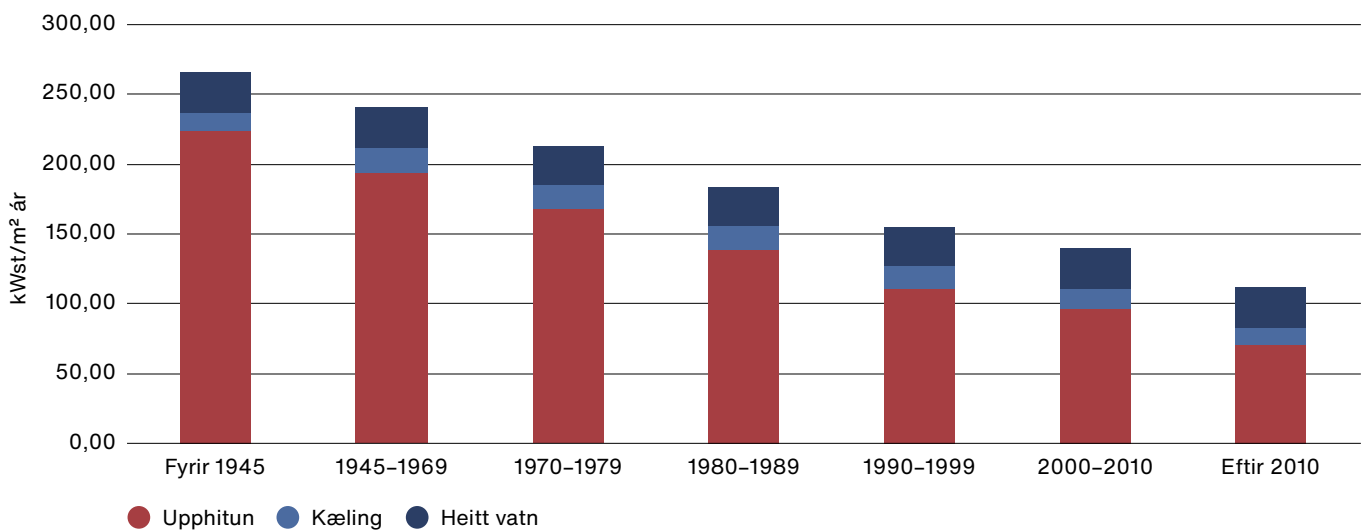
Jóhann Númasson (2012)²³ skoðaði hagkvæmar leiðir til þess að draga úr kostnaði til upphitunar skólabyggingar á köldu svæði. Í ljós kom að varmatapið var mest í gegnum gamla lélega glugga og væri ráðlegt að skipta út hluta þeirra og endureinangra sökkla. Magni Grétarsson (2012)²⁴ fór yfir áhrif mögulegra breytinga í byggingarreglugerð á byggingu nýrra einbýlishúsa á köldum svæðum. Samkvæmt þeirri greiningu var ekki hagkvæmt að einangra bygginguna miðað við drög að byggingarreglugerð 2012. Niðurstaða beggja þessara greininga var einnig að hagkvæmt væri að nýta varmadælur til upphitunar.

Jón Sigurðsson (2012)²⁵ skoðaði vistvænar áherslur í rekstri bygginga og bar saman orkunotkun í aðalbyggingu Orkuveitu Reykjavíkur við Bæjarháls 1 árin 2008 og 2011. Niðurstöður hans voru að hægt væri að draga úr kostnaði til upphitunar um allt að 40%, meðal annars með betri stillingum á húskerfum og betra eftirliti með loft-ræsi- og hitakerfum. Sú niðurstaða er í samræmi við niðurstöðu Matthíasar Ásgeirssonar (2023)³, sem komst að því að bætt hitastýring væri vænlegust til að bæta orkunotkun eldri bygginga.

Þórunn Nanna Ragnarsdóttir (2023)²⁶ athugaði reikningslega orkunotkun fyrir Svansvottað raðhús, og kom í ljós að varmatap var mest vegna loftskipta í gegnum glugga og að vélræn loftræsing

2. tafla. Kröfur um einangrunargildi helstu byggingarhluta í byggingarreglugerð frá 1945 til 2012 með samanburði við gildi úr norsku byggingarreglugerðinni frá 2017 – Requirements for Insulation Values of Major Building Components in Building Regulations from 1945 to 2012 with a Comparison to Values from Norwegian Building Regulations of 2017.

U-gildi byggingahluta, U-gildi [W/m ² C]	1945	1965	1979	1984	1998	2012	Norsk TEK17
Útveggir	1.16	0.8	0.5	0.4	0.4	0.4	0.18
Léttir útveggir	1.16	0.8		0.4		0.3	0.18
Þök	1.16	0.8	0.3	0.2	0.2	0.2	0.13
Gólf	1.16	0.8	0.4	0.3	0.3	0.3 (0.2 útiloft)	0.10
Gluggar (vegið meðaltal karma og glers)	-	-	-	2.5	2	2	0.80
Útveggir, vegið meðaltal	-	-	-	0.85		0.85	-
Kuldabryr, vegið meðaltal	-	-	-			-	0.05-0.07



3. mynd. Orkunotkun bygginga í Evrópusambandinu eftir byggingarári, við upphitun og kælingu.²¹ – Energy Consumption of Buildings in the European Union by Year of Construction, for Heating and Cooling.

með varmaendurnýtingu gæti mögulega dregið úr orkunotkun til upphitunar.

Orkunotkun í byggingum er háð hegðun notenda bygginganna, sérstaklega því hversu heitt þeir vilja hafa inni hjá sér og hversu mikið þeir lofta út. Með því að lækka innihita um eina gráðu minnkar orkunotkun til upphitunar að meðaltali um 5–7%^{15,27} Fjöldi íbúa í hverri íbúð hefur líka áhrif á orkunotkun. Sá fjöldi hefur minnkað að meðaltali undanfarin ár, og hafa breytingar á fjölskyldustærð ekki síst haft áhrif á þá þróun.²⁸ Árið 1995 voru um 2,75 einstaklingar að meðaltali í hverri íbúð en núna um 2,5. Örar breytingar á orkunotkun tækjabúnaðar og lýsingar síðustu ár

hafa einnig haft áhrif á raforkunotkun heimila. Þar á meðal er innleiðing ljóstvists-tækninnar (e. LED) og almennt betri orkunýtni í nýjum tækjabúnaði. Árið 1992 kom út Evróputilskipun um orkumerkingar og nýtni heimilstækja²⁹ sem síðan hefur verið uppfærð reglulega. Dæmi um umræddar orkumerkingar eru á mynd 4. Meðaltalsorkunotkun allra nýrra ísskápa sem seldir voru í ESB-rikjunum dróst saman um 25% milli 2004 og 2014.³⁰ Ljóstvistur notar um 75% minni orku en hefðbundin glóðarpera. Nýja tæknin hefur því dregið mjög úr orkunotkun til lýsingar og er að verða leiðandi tækni á markaðnum í heiminum.³¹

ORKUNOTKUN BYGGINGA GREIND

Unnið hefur verið að nokkrum stórum verkefnum við að greinaorkunotkun íbúðarbygginga síðastliðin 40 ár og hefur Orkustofnun haft yfirumsjón með flestum þessara verkefna. Tölulegar niðurstöður þessara rannsókna má sjá í töflu 4.

Orkunotkun til upphitunar með rafmagni hefur verið mæld í kWst á rúmmetra íbúðar, kWst/m³. Þegar jarðhiti er notaður til upphitunar er yfirleitt talað um magn í rúmmetrum af heitu vatni annaðhvort á rúmmetra af húsnæði eða á fermetra af húsnæði. Til þess að breyta rúmmetrum af heitu vatni í kWst þarf að áætla orkuinni-



Hefðbundinn 50 ára gamall þilofn með Retúr loka, staðsettur undir glugga. – A traditional 50-year-old panel oven with a return valve, located under a window. Ljósmynd./Photo: Jónas Þór Snæbjörnsson

3. tafla. Varmatap mismunandi byggingarluta – meðaltal úr ástandskönnun 43 bygginga.¹⁵
– Heat Loss of Different Building Components – Average from a Condition Survey of 43 Buildings.

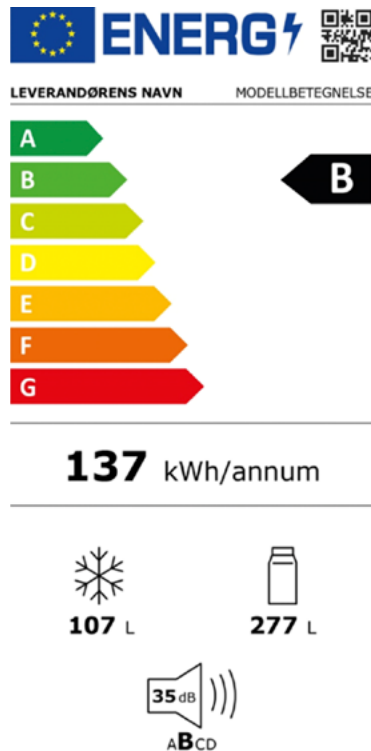
Byggingarluti	Hlutfallsskipting varmataps byggingarluta (meðaltal 43 bygginga)
Þak	14,7%
Veggir	21,3%
Gluggar og hurðir	25,6%
Gólf	16,4%
Loftskipti	22,0%
Sérhæfðar eignir	14,0%

haldið. Oft hefur verið miðað við að 1 m³ af heitu vatni nemi um 52 kWst, þar sem gert er ráð fyrir um 45 gráðu hitastigsbreytingu á vatninu (úr 75 gráðum í 30 gráður). Upplýsingar um fermetrafjöldi húsnæðis eru tiltölulega áreiðanlegar og vel skráðar. Hins vegar er töluverður breytileiki og óvissa í fyrirliggjandi upplýsingum um rúmmál húsa þar sem það er ekki alltaf skráð í gagnagrunna um fasteignir. Raunveruleg hitastigsbreyting á innrás og bakrás hitakerfa er líka breytileg. Til þess að breyta tölum úr fermetrum húsnæðis í rúmmetra húsnæðis er almennt beitt nálgun um loft-hæð húsa. Algengt hefur verið að miða við lofthæðina 3,3 m og er það gert hér.³

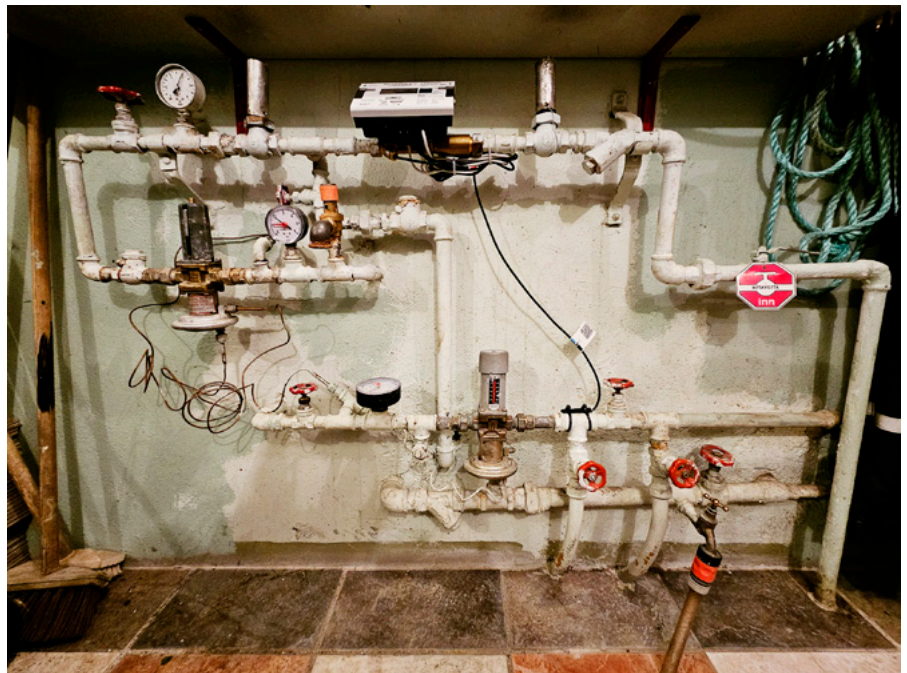
Fyrsta könnun um orkunotkun íslenskra bygginga var gerð árið 1979 í kjölfar olíukreppunnar þegar verð á olíu tvöfaldaðist frá 1978 til 1980.³³ Í ljósi þessara verðhækkana var farið að skoða betur hvernig mætti lækka orkukostnað á Íslandi. Gerð var ástandskönnun 1979–1980 um orkunotkun 320 bygginga á fjórum þéttbýlisstöðum, á Bolungarvík, í Neskaupstað, á Raufarhöfn og á Hvolsvelli.^{15,34}

Í tengslum við orkusparnaðaráttak iðnaðarráðuneytisins var árið 1984 athuguð orkunotkun rafhitaðs íbúðarhúsnæðis í þéttbýli á grundvelli gagna frá Orkubúi Vestfjarða og Rafmagnsveitu ríkisins (RARÍK). Gögn um stærð

húsa voru fengin frá Fasteignamati ríkisins.³⁵ Þar sem árið 1985 voru einungis til haldbær gögn um raforkunotkun til upphitunar gerði Orkustofnun til sam-anburðar greiningu á jarðhitanothun til hitunar á íbúðarhúsum í Kópavogi.³⁶ Gögnin voru fengin frá Hitaveitu Reykjavíkur og frá Fasteignamati ríkisins um rúmmál og aldur húsa. Orkustofnun kannaði jafnframt gögn frá Hitaveitu Hafnarhreypps fyrir íbúðarhús í Höfn í Hornafirði árin 1984 og 1985.³⁷ Greiningin sýndi að því stærri hús sem húsin voru, þeim mun minni var orkunotkunin á hvern rúmmetra, og að því eldri sem húsin voru, þeim mun meiri var notkunin.



4. mynd. Dæmi um orkumerkingar frá 2021 samkvæmt Evrópureglugerð, þar sem fram kemur áætluð orkunotkun á ári fyrir viðkomandi vöru.³² – Example of Energy Labels from 2021 According to European Regulations, Indicating Estimated Annual Energy Consumption for the Respective Product.



Dæmigerð hitaveitugrind í eldra húsnæði, með snjallmæli. Á grindinni eru mælar sem sýna þrýsting fyrir þrýstijöfnun, þrýsting eftir þrýstijöfnun ásamt þrýstingi og hita á bakrás. – A typical geothermal heating manifold in older buildings, equipped with a smart meter. The manifold includes gauges that display the pressure before and after pressure equalization, as well as the pressure and temperature on the return flow. Ljós./Photo: Jónas Þór Snæbjörnsson

Til þess að afla meiri þekkingar um orkunotkun bygginga var gerð ástandskönnun um fjörutíu og þrjár byggingar sumarið 2005 fyrir Orkustofnun og iðnaðarráðuneytið¹⁵ sem áður var fjallað um. Markmiðið var að leita leiða til að draga úr orkunotkun bygginga á köldum svæðum til þess að hægt væri að draga úr niðurgreiðslum til húshitunar. Rannsóknin sýndi meðal annars að oft er mikill breytileiki í orkunotkun milli húsa, án þess að augljósar skýringar liggi fyrir.

Verkfræðideild Háskóla Íslands kortlagði orkunotkun í öllum húsum sem voru með niðurgreidda rafhitun árið 2004, samkvæmt upplýsingum Orkustofnunar, með það að markmiði að auka þekkingu og lækka kostnað ríkisins við niðurgreiðslu raforku til upphitunar.²⁷ Þar kom svipað í ljós og í könnuninni á Höfn í Hornafirði, að stærð, aldur og staður húsnæðis hefur tölfræðilega marktæk áhrif á orkunotkun til hús-

hitunar. Með meira rúmmáli minnkar hlutfall útvegga af upphitun rými, það er betri einangrun í húsum sem byggð eru eftir 1980, og útilhitastig hefur mikil áhrif og þar með hvar húsið er á landinu.²⁷

Niðurstöður ástandskannana og rannsókna á orkunotkun við upphitun með raforku gefa nokkuð svipaðar niðurstöður, eða árlega orkunotkun á bilinu 214 kWst til 290 kWst/m², eins og sjá má í töflu 4.

Veitur gefa út tölfræði um líklega orkunotkun íbúðarhúsnæðis, og skipta því í þrjá flokka: stærri fjölbýli, minni fjölbýli og einbýlishús. Samkvæmt tölunum frá Veitum notar íbúðarhúsnæði að meðaltali um 231 kWst/m² á ári til upphitunar. Forsendur fyrir húshitun í Orkusparnefnd⁹ gera ráð fyrir því að orkuþörf sé 60 kWst/m³ sem er ekki langt frá þeirri tölu sem fæst með því að deila með 3,3 m í 231 kWst/m², en það gefur 70 kWst/m³.

Í nýlegri rannsókn Háskólans í Reykjavík, Eflu, Grænni byggðar og fleiri voru greind sýnishorn af gagnasafni Orkuveitu Reykjavíkur, þar sem orkunotkun íbúða á höfuðborgarsvæðinu var skoðuð, bæði notkun rafmagns og heits vatns. Sú greining sýndi að meðaltalsnotkun heits vatns í íbúðarhúsum var um 5,5 m³/m².³⁸ Það gefur orkunotkun við upphitun sem samsvarar 286 kWst/m² (m.v. 52 kWst/m³). Það er svipað eða aðeins hærra gildi en eldri greiningar á orkunotkun til upphitunar sýndu. Viðmið sem HMS hefur nýlega gefið út í tengslum við innleiðingu lífsferilsgreininga í byggingareglugerð ríma ágætlega við þessa notkun, nefnilega 271,6 kWst/m² og 33,2 kWst/m² af rafmagni.¹⁰ Þetta samsvarar niðurstöðum áðurnefndrar rannsóknar HR, Eflu o.fl. þar sem raforkunotkun íbúðarhúsnæðis árið 2019 reyndist að meðaltali vera um 31,3 kWst/m².

4. tafla. Árleg meðaltals-orkunotkun til upphitunar íbúðarbygginga samkvæmt ástandskönnunum og rannsóknarverkefnum (miðað er við að orkuinnihald sé 52 kwst/m³ og lofthæð 3,3 m). – annual average energy consumption for heating residential buildings based on condition surveys and research projects (assuming an energy content of 52 kwh/m³ and a ceiling height of 3.3 m).

Heimild	kWst/m ³	kWst/m ²	Fjöldi	Athugasemd
[34]	50-200	165-660	320	Bolungarvík, Neskaupsstað, Raufarhöfn, Hvolsvelli
[35]	83	274	3787	Rafhitun í þéttbýli. Íbúðir
[35]	77	254	3787	Rafhitun í þéttbýli. Íbúðir með bílskúr og geymslu.
[36]	88	290	1883	Jarðhiti í Kópavogi. Íbúðir.
[36]	83	274	1883	Jarðhiti í Kópavogi. Íbúðir með bílskúr og geymslu.
[36]	70	231	1883	Jarðhiti í Kópavogi. Íbúðir með bílskúr og geymslu. Byggð eftir 1980.
[37]	76, 79	251,261	185	Höfn í Hornafirði, fjarveita. Mismunur milli ára (1984, 1985)
[15]	80-200	264, 660	43	Rafhitun á köldum svæðum, ástandskoðun bygginga (2005)
[27]	65, 78	214, 257	793	Rafhitun. Mismunur milli staða. Vík í Mýrdal, Snæfellsbær
[38]		288	251	Gögn úr ólíkum íbúðum á höfuðborgarsvæðinu
Veitur (https://www.veitur.is/hollrad-umheitt-vatn/notkun)		206, 223, 257 (231)		Stór fjölbýlishús, minni fjölbýlishús, einbýlishús
[10]		215 / 271.6		Rafhitun / Hitaveita

NIÐURGREIÐSLUR VEGNA RAFHITUNAR

Þrátt fyrir að orkuverð á Íslandi til upphitunar sé það lægsta á Norðurlöndum er verð á orku sem fer í upphitun mjög mismunandi eftir landsvæðum.¹⁶ Samkvæmt upplýsingum frá Bygðastofnun er orkukostnaður heimila á bilinu 163.000 til 374.000 kr. á ári eftir landsvæðum.³⁹ Stjórnvöld hafa frá árinu 1982 niðurgreitt kostnað til upphitunar á svæðum þar sem ekki nýtur jarðvarma. Lög um niðurgreiðslur húshitunarkostnaðar nr. 78/2002 fjalla um þetta ásamt reglugerð um framkvæmd laga um niðurgreiðslur húshitunarkostnaðar nr. 698/2013. Niðurgreiðslur falla niður fyrir orkunotkun umfram 40.000 kWst.⁴⁰ Samkvæmt lögnum má veita 3% af árlegri fjárveitingu til orkusparnaðarverkefna.⁴¹ Á árunum 1982-2017 var í heildina varið 45 milljörðum úr ríkissjóði til lækkunar á húshitunarkostnaði, eða u.þ.b. 1,3 milljarði á ári.^{42,43} Langmestur

hluti niðurgreiðslukostnaðar er vegna beinnar rafhitunar en einnig er niðurgreiddur kostnaður vegna fjarhitunar sem ekki byggist á jarðhita, um 2 milljarðar króna árið 2020.⁴³

LOFTSLAGSÁHRIF ORKU- NOTKUNAR Í ÍBÚÐARBYGGINGUM

Í Evrópu eru þeir orkugjafar sem notaðir eru til upphitunar húsa að mestu leyti gas og rafmagn. Þetta eru orkugjafar með mun hærra kolefnisspor en íslenskur jarðhiti og íslenskt rafmagn sem framleitt er með vatnsafli eða jarðgufu. Kolefnisspor ólíkra orkugjafa má sjá í töflu 5. Þar sést að kolefnisspor á orkueiningu fyrir jarðvarma og rafmagn á Íslandi er mjög lágt samanborið við aðra orkugjafa, svo sem rafmagn frá bruna kolum, gass eða olíu, eða varma frá gasbrennslu.

Með auknum áherslum á sjálfbærni og græna fjármögnun eru vottunarkerfi um sjálfbærar byggingar sífellt út-

breiddari. Með slíkum vottunarkerfum er kappkostað að draga úr orkusóun, svo sem með bættri þekkingu notenda um orkunotkun, minna varmatapi og góðri varmaendurnýtingu loftræsikerfa. Á Íslandi hafa verið byggðar nokkrar Svansvottaðar og BREEAM-vottaðar byggingar.⁴⁷

Við Svansvottun bygginga er gerð krafa um að orkunotkun vottaðra bygginga sé 20% lægri en í viðmiðunarbyggingu eftir byggingarreglugerð.⁴⁸ Í BREEAM-vistvottunarkerfinu er meðal annars gerð krafa um nákvæma orkuútreikninga og einnig um að orkunotkun byggingar sé minni en í viðmiðunarbyggingu reiknuð eftir byggingarreglugerð viðkomandi ríkis. Kolefnisspor frá íslenskum byggingariðnaði var kortlagt í Byggjum grænni framtíð verkefninu 2023¹ og samkvæmt þeirri greiningu er kolefnisspor frá orkunotkun yfir áætlaðan rekstrartíma byggingar u.þ.b. 30% af heildarkolefnisspori byggingarinnar.

5. tafla. Kolefnisspor orkugjafa í ESB ríkjum miðað við orkugjafa á Íslandi. – Carbon Footprint of Energy Sources in Europe Compared to Energy Sources in Iceland.

Varmi frá gasbrennslu	Kolefnisspor (kg CO ₂ -íg./kWst)	Heimild
Rafmagn á Íslandi (vatnsafl og gufa)	3, 3 7	10
Jarðhitavarmi á Íslandi	11, 21	10, 44
Rafmagn í ESB ríkjum (meðalgildi)	265	45
Varmi frá gasbrennslu	200–610	46, 3

Kolefnisspor yfir rekstrartíma byggingar með góða orkunýtni var borin saman við viðmiðunarbyggingu samkvæmt lágmarkskröfum byggingarreglugerðar.⁴⁹ Niðurstaðan var að heildarkolefnissporið væri á bilinu 472–478 kg CO₂-ígilda á m², nánast það sama fyrir báðar byggingarnar. Í greiningunni var hlutfall orkunotkunar af heildarkolefnisspori bygginganna mun lægra en 30%, eða nær 15%, þar sem miðað var við að losun frá orkunotkun væri 7 grömm CO₂-íg./kWst. Til samanburðar má nefna þá niðurstöðu Guðrúnar Hlíðkvist Kröyer (2022) að þeirri niðurstöðu að heildarkolefnisspor Svansvottaðra radhúsa væri 411 kg CO₂-íg./m², án tæknikerfa.⁵⁰ Síðar var gerð lífsferilsgreining á tæknikerfum sömu Svansvottuðu radhúsa,²⁶ og leiddi hún í ljós að losun frá framleiðslu á tækjabúnaði loftræsikerfis væri 12 kg CO₂-íg./m² og hitakerfis 22 kg CO₂-íg./m² á rekstrartíma bygginganna.

Stefán Ármann Hjaltason (2023)⁵¹ skoðaði áhrif af aukinni einangrun fyrir steiptan útvegg á kolefnislosun frá orkunotkun byggingar yfir rekstrartímann (50 ár). Niðurstöðurnar gefa til kynna að núverandi byggingarreglugerð væri hæfilega ströng varðandi einangrunargildi til þess að hámarka loftslagsávinning á rekstrartíma byggingarinnar. Í greiningunni var notuð steinullareinangrun með eðlisþyngdina 150 kg/m³ en ef notuð er einangrun með minni eðlisþyngd verður kolefnissporið minna. Kolefnisspor orkugjafans ræður því einnig hvaða aðferð er best umhverfis-

lega, en miðað var við losun upp á 3,8 grömm kg CO₂-íg./kWst vegna varmaorku. Forsendur fyrir losun á hverja kWst geta verið breytilegar, eftir því hvernig hún er reiknuð (t.d. með eða án lífsferilsnálgunar, eða við beinan bruna), og hvaðan orkan kemur, en samkvæmt samræmdum forsendum HMS fyrir lífsferilsgreiningu bygginga er núna ráðlagt að nota 3,4 grömm CO₂-íg./kWst fyrir rafmagn og 11,2 grömm CO₂-íg./kWst fyrir varma.¹⁰

Markmið verkefnisins Byggjum grænni framtíð á vegum Húsnæðis- og mannvirkjastofnunnar er að þróa viðmið og orkuflokkun fyrir íslenskar byggingar.⁵² Einnig hefur í tengslum við verkefnið verið sett það markmið að draga úr losun frá orkunotkun bygginga um 7,5% fyrir árið 2030.⁵³

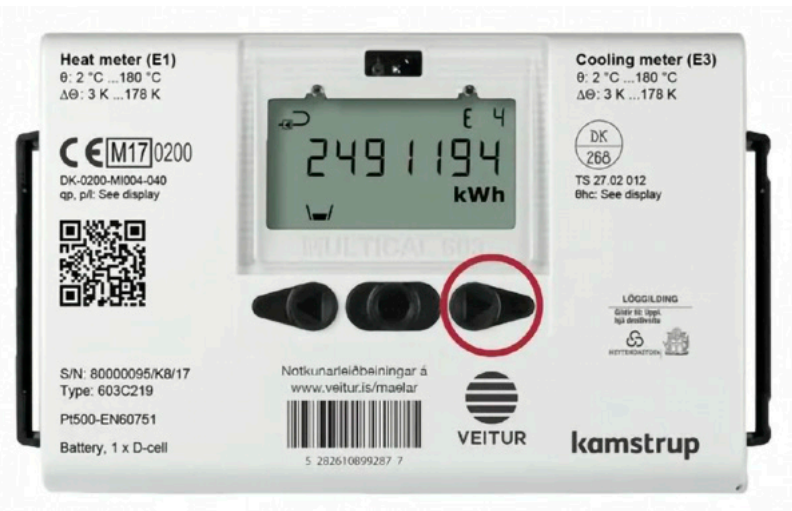
AUKIN ORKUNOTKUN OG SNJALLMÆLAR

Samkvæmt tölum Orkuveitu Reykjavíkur hefur heitavatnsnotkun á þjónustusvæði Veitna á höfuðborgarsvæðinu aukist um 2,4% árlega síðustu ár. Samhlíða þessari aukningu hefur fólki fjölgað mjög á Íslandi og spáð er áframhaldandi fjölgun. Miðgildisspá Hagstofu Íslands gerir ráð fyrir því að fólksfjöldi á Íslandi verði í kringum 580 þúsund árið 2060.⁵⁴ Fjöldi ferðamanna hefur líka áhrif á orkunotkun. Þeim hefur fjölgað úr um 65 þúsund árið 1980 í 1,7 milljón árið 2022.⁵⁵ Með áframhaldandi aukningu notkunar þurfa Veitur að tvöfalda orkuöflun sína fyrir 2060.

Norðurorka sér um hitaveitu fyrir Akureyri og þar hefur heitavatnsnotkunin einnig verið að aukast, aukningin var 2,8% árið 2022.⁵⁶ Um 60% af heitu vatni sem notað er á Akureyri kemur frá Hjaltreyri, en þar hafa komið upp áskoranir tengdar auknu klóríðmagni í jarðhitavatninu, sem bendir til snefilmagns af sjó. Norðurorka er með mörg verkefni í gangi til aukinnar orkuöflunar, til dæmis mögulega nýtingu á glatvarma frá álþynnuframleiðandanum TDK, en einnig hefur verið lögð áhersla á að notendur fari vel með heita vatnið og dragi úr sóun.^{57,58}

Á Íslandi er varmi frá lághita- og háhitavæðum endurnýjanleg auðlind, ef rétt er á haldið, en þó er vel þekkt að vatnsþrýstingur inn í einstakar borholur dregst saman við langtímanotkun. Sérstaklega getur þurft að hvíla lághitavæðin þegar hægt er, svo sem á sumrin þegar orkuþörfin er í lágmarki.

Í fyrri rannsóknnum hefur verið stuðst við árlegar mælingar heildarrensli heits vatns inn í hús. Fyrir um það bil tveimur árum hófu Veitur að nýta snjallmæla hjá viðskiptavinum sínum. Helsti munurinn á gögnum úr snjallmælum og eldri rennismælum er sá að snjallmælar skrá rennslis vatns ásamt hitastigi á innrás og útrás, og þar með orkunotkunina, á 60 mínútna fresti. Þar með er auðvelt er að sjá sveiflur yfir daginn, mánuðinn og árið.⁵⁹ Gögn um orkunotkun eru því að verða ýtarlegri og nákvæmari. Það verður áhugavert að sjá hvort, og þá hvernig, sú aukna þekking og yfirsýn verður nýtt til þess að bæta orkunýtingu í byggingum.



Snjallmælir fyrir heitvatnsnotkun. – A smart meter for hot water usage.
Mynd/Photo: Jónas Þór Snæbjörnsson

UMRÆÐUR, NIÐURSTÖÐUR OG NÆSTU SKREF

Hér hefur verið stiklað á stóru um orkunotkun bygginga með áherslu á upphitun íbúðarhúsa. Það virðist vera all gott samræmi á milli eldri og nýrri greininga um það að árleg orkunotkun við upphitun íslenskra íbúðarhúsa er á bilinu 214 til 290 kWst/m². Nýlegri greiningar virðast þó almennt sýna eilítið hærri meðaltalsnotkun en hinar eldri greiningar.

Þar sem Íslendingar hita hús sín mestmegnis með jarðhita, sem er orkugjafi með mjög lágt kolefnisspor, er hvatinn frá sjónarhóli loftslagsmála minni en í grannlöndunum að draga úr þessari orkunotkun. Einnig hefur orkuverð til upphitunar á Íslandi, þar sem jarðhitinn er aðgengilegur verið lægra en í hinum norrænu ríkjunum. Orkunotkun bygginga á Íslandi er töluvert hærri enn gengur og gerist í byggingum í Noregi og byggingum í ESB-ríkjunum, sérstaklega þegar litið er til nýrri bygginga. Í því sambandi er þó rétt að hafa í huga að meðallofthiti er lægri á Íslandi en víðast hvar í Evrópu, og upphitunarþörf því heldur meiri. Evróputilskipun um bættu orkunýtni bygginga hefur haft mikil áhrif á þróun orkunotkunar í nýbyggingum í Evrópu, en byggingarreglugerð á Íslandi hefur að mestu staðið í stað.

Heita vatnið er auðlind sem er mikilvægt að fara vel með, sérstaklega í ljósi þess að átt hefur sér stað mikil fjölfölun og horfur eru á áframhaldandi fjölfölun og að auki fjölfölun ferða-

manna. Eins og fram hefur komið er mögulegt að frekari orkuöflun kalli á dýrari kosti en hingað til hafa staðið til boða og því gætu aðstæður breyst varðandi hagkvæmni orkusparandi aðgerða fyrir byggingar. Þá hafa allar framkvæmdir í för með sér rask á náttúru og umhverfi, og losun gróðurhúsalofttegunda.

Greiningar sem gerðar hafa verið um orkusparnað eru samhljóða um það að á köldum svæðum geta varmaðætur gefið góða raun til þess að draga úr rafmagnsnotkun. Bætt stilling og stýring hitakerfa virðast líka vera hagkvæm aðferð til þess að draga úr óþarfa orkunotkun miðað við niðurstöður fyrri greininga.

Með notkun snjallmæla verða til rauntímagögn um orkunotkun bygginga sem hægt er að tengja við önnur tímaháð gögn, svo sem um veður, notkun íbúa og rekstrarþætti hitaveitna. Þannig verður hægt að athuga mun betur hvaða þættir hafa mest áhrif á orkunotkun bygginga. Greining á þessum gögnum er hafin⁶⁰ og verður áhugavert að þróa greiningu snjallmæligagna frekar og kanna hvort þær upplýsingar má nýta til að bæta orkunýtingu íslenskra bygginga.

ABSTRACT

This study examines energy consumption and efficiency in Icelandic residential buildings by compiling data from prior research, energy authorities, housing authorities, and energy companies. According to the reviewed studies, the average energy consumption per square meter ranges from approximately 214 to

290 kWh/m². Notably, around 90% of residential buildings in Iceland utilize geothermal energy, while the remaining 10% predominantly rely on direct electrical heating or heat pumps. Icelandic building regulations regarding energy efficiency have remained essentially unchanged since 1984. On average, energy consumption in Icelandic residential buildings exceeds that of new buildings in the European Union and Norway, where stricter energy efficiency standards are enforced. Heating accounts for roughly 90% of energy usage in Icelandic buildings, compared to an average of 64% in Europe. In recent years, there has been a continuous increase in the use of geothermal energy for heating in Reykjavík and Akureyri, with annual growth rates between 2.1% and 2.8%. This trend is primarily driven by population growth and the need to expand production capacities. Previous studies indicate that enhancing automatic control systems is a cost-effective method for improving energy efficiency. A clearer understanding of the current state of energy consumption in Icelandic buildings can support more informed policymaking aimed at improving energy efficiency.

PAKKIR

Greinin er unnin sem hluti rannsóknarverkefnis um Orkunotkun bygginga sem hlaut styrk úr Aski, styrktarsjóði Húsnæðis- og mannvirkjastofnunar, árið 2023. Háskólinn í Reykjavík annast verkefnið í samstarfi við dr. Egil Maron Þorbergsson hjá Orkuveitu Reykjavíkur, Írisi Þórarinsdóttur, umhverfisstjóra fasteignafélagsins Reita, Guðmund Frey Atlason, orku- og umhverfissérfræðing hjá fasteignafélaginu Heimum, dr. Áróru Árnadóttur, framkvæmdastjóra hjá Grænni byggð og dr. Björn Marteinsson, arkitekt. Við þökkum öllum samstarfsmönnum okkar fyrir liðveisluna.

HEIMILDIR

- Sigríður Ósk Bjarnadóttir & Björn Marteinsson. 2022. Mat á kolefnislosun frá íslenskum byggingariðnaði. Vegvísir að vistvænni mannvirkjagerð 2030 I. Byggingum grænni framtíð, Reykjavík. 18 bls. Á vefsetri verkefnisins. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://byggingumgrænniframtid.is/wp-content/uploads/2022/06/Vegvísir-ad-vistvaenni-mannvirkjagerd-I.-hluti.-Losun.pdf>
- Gevorgian, A., Pezzutto, S., Sambotti, S., Croce, S., Oberegger, U.F., Lollini, R., Kranz, L. & Müller, A. 2021. European building stock analysis: A country by country descriptive and comparative analysis of the energy performance of buildings. Eurac research, Bolzano. 238 bls.
- Matthías Ásgeirsson. 2023. Ávinningur af bættri orkunotkun eldri bygginga. VSO Ráðgjöf, Reykjavík. 30 bls.
- International Energy Agency. 2021. Key world energy statistics 2021. Á vefsetri IEA. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021>
- International Energy Agency. Á.á. Energy system: Buildings. Á vefsetri IEA. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.iea.org/energy-system/buildings>
- Eurostat. 2023. Energy consumption in households. Á vefsetri Eurostat. Slóð (sótt 30.11. 2024): https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_consumption_in_households
- European Environment Agency. 2024. Greenhouse gas emissions from energy use in buildings in Europe. Á vefsetri EEA. Slóð: (sótt 30.11. 2024): <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emissions-from-energy>
- Enova. Á.á. Enovas byggstatistikk 2017. 48 bls. Á vefsetri Enova. Slóð að niðurhali (skoðað 30.11. 2024): <https://www.enova.no/om-enova/om-organisasjonen/publikasjoner/>
- Orkusetur. 2024. Húshitun. Á.á. Á vefsetri Orkuseturs. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://orkusetur.is/hushitun/>
- Húsnæðis- og mannvirkjastofnun. Á.á. Lífsferilsgreining (LCA) / Íslensk meðaltalsgildi. Á vefsetri HMS. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://hms.is/mannvirki/lifsferilsgreining/islensk-medaltalsgildi-lca>
- Orkustofnun. 2023. Raforkunotkun á Íslandi 2020–2022. OS 2023-T-003-01. Á vefsetri OS. Slóð að niðurhali (skoðað 30.11. 2024): <https://orkustofnun.is/upplýsingar/talnaefni/raforka>
- Orkustofnun. 2024. Varmanotkun á Íslandi 2022 eftir veituvæðum. OS-2024-15. Á vefsetri OS. Slóð að niðurhali (skoðað 30.11. 2024): <https://orkustofnun.is/upplýsingar/talnaefni/varmi>
- Byggingarreglugerð nr. 112/2012.
- Direktoratet for byggkvalitet. 2017. Byggteknisk forskrift (TEK17) með veiledning. Á vefsetri DIBK. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17>
- Björn Marteinsson. 2005. Orkunotkun húsa, ástandskönnun. Rannsóknarstofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík. 16 bls.
- Bryndís Tryggvadóttir. 2019. Yfirlit yfir orkunotkun, orkuverð og orkukröfur til upphitunar í íslenskum byggingum. Grænni byggð, Reykjavík. 20 bls.
- Magni Grétarsson. 2012. Kynding á köldum svæðum. Lokaverkefni í tæknifræði við Háskólann í Reykjavík. 49 bls.
- Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. Á Eur-Lex, lagavef ESB. Slóð: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/31/oj>
- Almenna verkfræðistofan 2012. Orkumerking bygginga á Íslandi: Evróputilskipun um orkunýtni bygginga. Möguleikar á íslenski aðlögun. Almenna verkfræðistofan, Reykjavík. 73 bls.
- Tilskipun Evrópuþingsins og ráðsins 2010/31/ESB frá 19. maí 2010 um orkunýtingu bygginga. Í: EES-viðbætur við Stjórnartíðindi Evrópusambandsins. Á vefsetri Stjórnráðsins og EFTA. Slóð: <https://gagnagrunnur.ees.is/32010I0031>
- Rager, J., von Gunten, D., Wilczynski, E., Pezzutto, S., Balest, J. Fallahnejad, M. & Contant, C. .2021. EnerMaps project: A new open energy data tool to accelerate the energy transition. Datasets of the EnerMaps Data Management Tool. Gögn hafa verið innleidd í gagnagrunn EnerMaps: <https://lab.idiap.ch/enermaps/> (4.12.2024).
- Standard Norge. 2013. NS 3700 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger – Boligbygninger. Staðall. Til sölu á vefsetri Standard Norge. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://online.standard.no/nb/ns-3700-2013>
- Jóhann Númason. 2012. Hagkvæmar leiðir til að lækka kyndikostnað á köldum svæðum. BS-verkefni í byggingartæknifræði við Háskólann í Reykjavík. 80 bls.
- Magni Grétarsson. 2012. Kynding á köldum svæðum. BS-verkefni í byggingartæknifræði við Háskólann í Reykjavík. 34 bls.
- Jón Sigurðsson. 2012. Vistvænar áherslur í rekstri bygginga: Áhrif á orkunotkun og líftímakostnað. MS-ritgerð í framkvæmdastjórnun við Háskólann í Reykjavík. 65 bls.
- Þórunn Nanna Ragnarsdóttir. 2023. Mat á hita- og loftþræsikerfum bygginga, með tilliti til lífsferilsgreiningar, orkunýtingar og loftgæða. MS-ritgerð í vélaverkfræði við Háskólann í Reykjavík. 93 bls. <https://hdl.handle.net/1946/44789>
- Eggert Þröstur Þórarinnsson & Ólafur Pétur Pálsson. 2007. Raforkunotkun á köldum svæðum: Úttekt á raforkunotkun til húshitunar. Orkustofnun (OS-2007-004), Reykjavík. 79 bls.
- Þjóðskrá Íslands. 2017. Hversu mikill er skorturinn á íbúðamarkaðinum? Á vefsetri Þjóðskrár. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.skra.is/um-okkur/frettir/frettir/2017/03/02/Hversu-mikill-er-skorturinn-a-ibudamarkadnum/>
- Council Directive 92/75/EEC of 22 September 1992 on the indication by labelling and standard product information of the consumption of energy and other resources by household appliances. Á Eur-Lex, lagavef ESB. Slóð: <http://data.europa.eu/eli/dir/1992/75/oj>
- Michel, A., Attali, S. & Bush, E. 2016. Energy efficiency of white goods in Europe: Monitoring the market with sales data. Á vefsetri Topten-verkefnisins; tengt ADEME. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://storage.topten.eu/source/files/Market-Monitoring-2016-EN-Topten.eu.pdf>
- International Energy Agency. 2023. Global residential lighting sales share by technology in the Net Zero Scenario, 2010-2030. Á vefsetri IEA. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-residential-lighting-sales-share-by-technology-in-the-net-zero-scenario-2010-2030>. Apríl 2024
- Norges vassdrags- og energidirektorat. 2024. Nye energietiketter i 2021. Á vefsetri NVE. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.nve.no/energi/virkemidler/okodesign-og-energimerking-av-produkter/nye-energietiketter-i-2021/>
- Statista. 2024. Average annual Brent crude oil price from 1976 to 2024 (in U.S. dollars per barrel). Á vefsetri Statista. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.statista.com/statistics/262860/uk-brent-crude-oil-price-changes-since-1976>
- Fundur Verkfræðingafélags Íslands: Hvernig leysum við húshitunarvandann. Alþýðublaðið 4. júní 1980. 1–2.
- Jón Vilhjálmsson & Ojala, O.M. 1984. Orkunotkun við hitun húsnæðis, nr. 1: Rafhitað húsnæði í þéttbýli utan hitaveituvæða. Orkustofnun (OS-8499/OBP-03B), Reykjavík. 19 bls.
- María J. Gunnarsdóttir. 1986. Orkunotkun við hitun húsnæðis, nr. 2: Húshitun í Kópavogi. Orkustofnun (OS-86036/JHD-11 B), Reykjavík. 14 bls.
- Árni Ragnarsson. 1989. Orkunotkun við hitun húsnæðis, nr. 3: Höfn í Hornafirði. Orkustofnun (OS-89028/JHD-12 B), Reykjavík. 13 bls.
- Þórhildur Fjólá Kristjánsdóttir, Salvör Svanhvit Björnsdóttir, Jónas Þór Snæbjörnsson, Þórunn Vala Jónasdóttir, Björn Marteinsson, Áróra Árnadóttir, Sunna Hrönn Sigmarsdóttir, Guðmundur Freyr Atlason & Íris Þórarinsdóttir. 2023. Orkunotkun í byggingum – Gögn um raunnotkun. Efla og Húsnæðis- og mannvirkjastofnun, Reykjavík. 26 bls.
- Byggingastofnun og Orkustofnun. 2024. Orkukostnaður heimila. Mælaborð á vefsetri OS. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.byggdastofnun.is>
- Reglugerð um framkvæmd laga um niðurgreiðslur húshitunarkostnaðar nr. 698/2013.
- Lög um niðurgreiðslur húshitunarkostnaðar nr. 78/2002.
- Benedikt Guðmundsson & Jón Ragnar Guðmundsson. 2019. Niðurgreiðslur á húshitun og dreifingu raforku í dreifbýli 2018. Skýrsla til ferðamála-, iðnaðar- og nýsköpunarráðherra. Orkustofnun (OS-2019-02), Reykjavík. 13 bls.
- Benedikt Guðmundsson & Jón Ragnar Guðmundsson. 2021. Niðurgreiðslur á húshitun og dreifingu raforku í dreifbýli 2021. Skýrsla til ferðamála-, iðnaðar- og nýsköpunarráðherra. Orkustofnun (OS-2021-4), Reykjavík. 16 bls.
- Marta Rós Karlsdóttir, Heiðonen, J. & Ólafur Páll Pálsson. 2020. Life cycle assessment of a geothermal combined heat and power plant based on high temperature utilization. Geothermics 84. 101 727. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2019.10727>
- European Environment Agency. 2023. Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe. Á vefsetri EEA. Slóð: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emission-intensity-of-1>

46. Environmental Protection Agency 2024. Greenhouse-gases equivalencies – Calculator and references. Á vefsetri EPA. Slóð: <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gases-equivalencies-calculator-calculations-and-references>
47. Bryndís Tryggvadóttir, Bjartur Guangze Hu & Þórhildur Fjóra Kristjánsdóttir. 2019. Orkukröfur BREEAM 2016 og reynslan af að uppfylla þær í íslenskum verkefnum. Grænni byggð. Reykjavík. 19 bls.
48. Svanurinn. Ítarefni viðmiðaskjal 4. Nordic Ecolabelling 2023. Version 4.3 Nordic Ecolabelling for New buildings Residential, educational and office buildings. Á vefsetri www.svanurinn.is. Slóð (sótt 4.12 2024): <https://svanurinn.is/voruflokkar/byggingar/>.
49. Páll Hafstað. 2023. Áhrif byggingarefna og orkunýtingar á kolefnisspor bygginga. – Samanburður á kolefnisspori byggingarefna og orkunotkunar í BREEAM vottaðri og óvottaðri byggingu. Grænni byggð, Reykjavík. 31 bls.
50. Guðrún Hlíðkvist Kröyer. 2022. Samanburður á kolefnisspori burðarvirkja úr steypu og CLT einingum. BS-ritgerð í byggingartæknifræði við Háskólann í Reykjavík. 42 bls.
51. Stefán Ármann Hjaltason. 2023. Comparison of environmental performance of concrete and timber buildings in Iceland. MS-ritgerð í byggingarverkfræði við Háskólann í Árósum. 73 bls.
52. Byggjum grænni framtíð. 2023. 3.2. Samræma aðferðafræði við gerð orkuútreikninga mannvirkja og gefa út viðmið fyrir orkuflokka bygginga: Upplýsingar um aðgerð skv. II. hluta Vegvísis að vistvænni mannvirkjagerð, útg. í júní 2022. (Einnig uppl. um stöðuna í ágúst 2023). Á vefsetri verkefnisins. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://byggjumgraenniframtid.is/3-2-samraemdir-orkuut-reikningar-og-orkuflokkar-bygginga/>
53. Byggjum grænni framtíð. 2022. Markmið og aðgerðaráætlun. Vegvísir að vistvænni mannvirkjagerð 2030 II. Byggjum grænni framtíð og Húsnæðis- og mannvirkjastofnun, Reykjavík. 102 bls. Á vefsetri verkefnisins. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://byggjumgraenniframtid.is/wp-content/uploads/2022/06/Vegvisir-ad-vistvaenni-mannvirkjagerd.-II.hluti...Markmid-og-adgerdir.pdf>
54. Hagstofan. Á.á. Spá um mannfjölda eftir kyni og aldri 2025–2074. Á vefsetri Hagstofunnar. Slóð (sótt 30.11. 2024): https://px.hagstofa.is/pxis/pxweb/is/Ibuar/Ibuar__mannfjoldaspa/MAN09010.px
55. Ferðamálastofa. Á.á. Heildarfjöldi erlendra ferðamanna. Á vefsetri Ferðamálastofu. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.ferdamalastofa.is/is/gogn/fjoldi-ferdamanna/heildarfjoldi-erlendra-ferdamanna>
56. Norðurorka. 2023. Ársskýrsla 2022. Hitaveita. Á vefsetri fyrirtækisins. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://arsskyrsla.no.is/2022/yfirlit-yfir-starf-semina/hitaveita>
57. Norðurorka. 2023. 30.3. Viljayfirlýsing um könnun á nýtingu glatvarma frá TDK. Frétt á vefsetri Norðurorku. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.no.is/is/um-no/frettir/viljayfirlýsing-um-konnun-a-nytingu-glatvarma-fra-tdk>
58. Norðurorka. Á.á. Staðan á heitu vatni á starfssvæði Norðurorku. Á vefsetri fyrirtækisins. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.no.is/is/veiturnar-okkar/hitaveita/stada-hitaveitu>
59. Veitur. 2024. Snjallmælar: Álestur af orkumælum heyrir brátt sögunni til. Við skiptum orkumælum út fyrir snjallmæla. Á vefsetri fyrirtækisins. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.veitur.is/snjallmælar>
60. Egill Kári Guðbergsson. 2024. Greining á varmaorkunotkun bygginga á höfuðborgarsvæðinu. MS-ritgerð í vélaverkfræði við Háskólann í Reykjavík. 137 bls. <https://hdl.handle.net/1946/48008>

UM HÖFUNDA



Þórhildur Fjóra Kristjánsdóttir (f.1979) lauk MS-prófi í umhverfis- og orkuverkfræði við Tækniháskólann í Þrándheimi (Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet) árið 2004 og doktorsprófi við sama skóla árið 2017. Doktorsverkefni hennar fjallaði um kolefnishlutlausar byggingar í Noregi. Hún hefur komið víða við og unnið meðal annars hjá SINTEF Community í Ósló 2011–2014, sem framkvæmdastjóri Grænni byggðar á Íslandi 2016–2021 og verið sérfræðingur hjá EFLU verkfræðistofu 2021–2023. Þórhildur hefur unnið í mörgum ólíkum rannsóknarverkefnum á sviði orku- og umhverfismála í hinu byggða umhverfi, svo sem verkefninu HringRás, um þverfaglega samvinnu við innleiðingu hringrásarhagkerfis í byggingariðnaði og verkefninu Orkunotkun hönnuð og mæld, þar sem athuguð var mæld orkunotkun bygginga.

thorhildurfk@ru.is



Jónas Þór Snæbjörnsson (f. 1961) lauk meistaraþrófi í byggingarverkfræði við Háskóla Íslands 1985, MSCE-prófi við Washington-háskóla í Seattle, Bandaríkjunum, 1989 og doktorsprófi við Tækniháskólann í Þrándheimi 2002. Hann starfaði við Háskóla Íslands árin 1985–2009 sem sérfræðingur, fræðimaður, vísindamaður og adjúnt. Hann var prófessor við háskólann í Stavanger í Noregi 2009–2011 og Prófessor II við sama skóla frá 2013. Hann hefur verið prófessor við Háskólann í Reykjavík frá 2011. Eftir hann liggja yfir 100 rannsóknarafurðir á ýmsum sviðum verkfræðinnar.

jonasthor@ru.is