



**Mat á hita- og loftræsikerfum bygginga, með tilliti til
lífsferilsgreiningar, orkunýtingar og loftgæða**

Þórunn Nanna Ragnarsdóttir

60 ECTS eininga ritgerð lögð fram við verkfræðideild Háskólans í Reykjavík til **Meistaraprófs
(MSc) í Vélaverkfræði**

Maí 2023

Leiðbeinendur:

Dr. Þórhildur Fjóla Kristjánsdóttir, Eflu Verkfræðistofu

Dr. Jónas Þór Snæbjörnsson, Prófessor, Háskólanum í Reykjavík

Harpa Sif Gísladóttir, MSc, Eflu Verkfræðistofu

Prófdómari:

Eiríkur Magnússon, MSc, Venum

Ágrip

Ein mikilvægustu verkefni nútímasamfélags tengjast umhverfis- og orkumálum. Aukin uppbygging vegna stöðugrar íbúafjölgunar og vaxandi inniveru fólks gerir orkunotkun og koltvísýringslosun bygginga að brýnu viðfangsefni. Loftræsing er þar mikilvægur þáttur en meginhlutverk hennar er að tryggja gott inniloft. Ljóst er að slík kerfi hafa talsverð áhrif á orkunotkun og kolefnislosun. Í þessu verkefni er rannsakað hversu mikil koltvísýringslosun verður við framleiðslu og viðhald hita- og loftræsikerfa í nýlega byggðum raðhúsum við Urriðaholtsstræti 44-47 í Garðabæ, ásamt því að reikna og mæla orkunotkun húsanna og loftgæði í svefnherbergjum. Raðhúsin eru Svansvottuð, en sú vottun gerir kröfu um að húsin séu með vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu þar sem slík kerfi eru orkusparneytin. Raðhúsin við Urriðaholtsstræti 44-47 eru að þessu leyti frábrugðin flestum íbúðabyggingum á Íslandi. Fyrirliggjandi BIM-líkan af húsunum var notað til að gera magnskrá allra íhluta í hita- og loftræsikerfunum. Aflað var nauðsynlegra upplýsinga um þá, eða sambærilega íhluti og sett upp LCA greining þar sem áherslan var lögð á að mæla kolefnisspor. Niðurstöðurnar voru þær að losun koltvísýringsígilda vegna framleiðslu og viðhalds loftræsikerfisins er 32.804 kgCO_{2eq}, sem gerir 12 kgCO_{2eq}/m² og 0,20 kgCO_{2eq}/m² á ári. Fyrir hitakerfið fékkst 59.358 kgCO_{2eq} sem gerir 22 kgCO_{2eq}/m² og 0,37 kgCO_{2eq}/m² á ári. Mikilvægt er að hugað sé að því hvernig hægt er að byggja orkusparneytnar byggingar, en þar geta tæknikerfin skipt sköpum. Sett voru upp líkön af raðhúsunum í forritunum IDA ICE og Simien og orkunotkun húsanna hermuð, bæði með vélrænni loftræsingunni með og án varmaendurvinnslu og náttúrulegri loftræsingunni. Fengust þær niðurstöður að samkvæmt IDA ICE getur loftræsikerfi með varmaendurvinnslu borið saman við loftræsikerfi án varmaendurvinnslu sparað 35% - 40% orkunotkunar til upphitunar en samkvæmt Simien er það 49,3% - 52,4%. Samkvæmt IDA ICE getur það sparað 2,0% - 8,5% borið saman við náttúrulega loftræsingunni og 14,4% - 15,8% samkvæmt Simien. Sparast þá koltvísýringslosun vegna minni orkunotkunar frá 7% af losun framleiðslu loftræsikerfisins og uppí tæplega fjórfalda þá losun við notkun á loftræsikerfi með varmaendurvinnslu, eftir tilfelli.

Gerðar voru mælingar á innilofti í tveimur svefnherbergjum með tilliti til koltvísýrings, hitastigs og rakahlutfalls með vélræna og náttúrulega loftræsingunni. Þær niðurstöður gáfu að í báðum tilfellum er hitastig í lagi en að vélræna loftræsikerfið sé nauðsynlegt til að lágmarka koltvísýring í loftinu, þar sem meðaltal hans fer langt yfir kröfur byggingarreglugerðar þegar slökkt er á loftræsingunni.

Efnisorð: Lífsferilsgreining, orkuútreikningar, loftgæðamælingar, loftræsikerfi, hitakerfi

Abstract

Environmental and energy issues are among the most important challenges that modern societies are currently facing. Continuously increasing development resulting from population growth along with people spending more and more time indoors makes the energy consumption and carbon dioxide emissions of buildings an urgent issue. Heating and ventilation systems in buildings will impact both the energy consumption and CO₂ emissions. This project studies the heating and ventilation systems in newly built townhouses at Urriðaholtsstræti 44-74 in Garðabær. These townhouses are Swan-certified, which requires them to have a mechanical ventilation system with heat recycling, to improve air quality in an energy efficient manner. This makes the townhouses atypical apartment buildings in Iceland, which generally do not have a mechanical ventilation. The project estimates the carbon dioxide emissions resulting from the production and maintenance of the heating and ventilation systems. The energy consumption of the buildings is simulated using two different software tools and the results are compared with the actual energy use. The quality of air in the bedrooms is also monitored. Using a pre-existing BIM model of the apartments, a quantity list of all the components of the utility systems was created. Information about each component, or similar component, was gathered and used in a LCA analysis, where the emphasis was placed on evaluating the carbon footprint of the utility systems. The results were that carbon dioxide emissions due to the production and maintenance of the ventilation system is 32.804 kgCO_{2eq}, which makes 12 kgCO_{2eq}/m² and 0,20 kgCO_{2eq}/m² per year. For the heating system it is 59.358 kgCO_{2eq}, which makes it 22 kgCO_{2eq}/m² and 0,37 kgCO_{2eq}/m² per year. It is important to build energy-efficient buildings, in that endeavour the efficiency of the utility systems can make a difference. The townhouses were modelled using two different software packages, IDA ICE and Simien, to simulate the energy consumption of the buildings, with mechanical ventilation with and without heat recovery and without mechanical ventilation. The results were that according to IDA ICE, an air conditioning system with heat recovery can save 35% - 40% of the energy consumption for heating when in comparison with mechanical ventilation without heat recovery, while according to Simien it is 49% - 52%. When comparing the energy consumption of the buildings with mechanical ventilation with heat recovery and without mechanical ventilation, the results were that the mechanical ventilation with heat recovery saves 2,0% - 8,5% according to IDA ICE and 14,4% - 15,8% according to Simien. Additionally, carbon dioxide emission is reduced due to the lower energy consumption, which can range from 7% and up to nearly four times the emissions that occurred during the production of the system depending on which case is considered. The indoor air quality in two bedrooms was monitored considering temperature, carbon dioxide and humidity levels for both mechanical and natural ventilation. The results were that the temperature is adequate in both cases, but the mechanical ventilation system is necessary to minimize the carbon dioxide content as the average level exceeds the requirements of the building regulations when it is turned off.

Keywords: LCA, energy calculations, air quality measurements, HVAC

Formáli

Ég vil þakka leiðbeinendum mínum Dr. Þórhildi Fjólu Kristjánsdóttur, Dr. Jónasi Þór Snæbjörnssyni og Hörpu Sif Gísladóttur, fyrir stuðning og leiðsögn í gegnum þetta verkefni. Ég vil einnig þakka starfsfólki Eflu Verkfræðistofu fyrir alla þá aðstoð sem þau veittu mér og þá sérstaklega Ólafi Ágústi Ingasyni. Ennfremur vil ég þakka eiginmanni mínum og dætrum, foreldrum og fjölskyldunni allri ásamt vinum og samnemendum fyrir allan þann stuðning sem þau hafa veitt mér í gegnum meistaranám mitt.

Efnisyfirlit

Ágrip	II
Abstract	IV
Formáli	VI
1 Inngangur	12
1.1 Uppbygging ritgerðar	13
2 Byggingarreglugerð	15
2.1 Hollustukröfur byggingarreglugerðar	15
2.2 Kröfur um orkusparnað og hitaeinangrun	16
2.3 Kröfur til lagna og tæknibúnaðar	17
3 Vistvottunarkerfi	19
3.1 BREEAM	19
3.1.1 Uppsetning BREEAM	19
3.1.2 Orkukröfur BREEAM	20
3.2 Svansvottun	21
3.2.1 Kröfur Svansins sem snúa að loftræsi- og hitakerfum og orkumálum . . .	22
3.2.2 Aðlögun Svansins að íslensku aðstæðum	23
4 Lífsferilsgreiningar - yfirlit og skilgreiningar	25
4.1 Fimm meginskref lífsferilsgreininga	25
4.1.1 Markmið og umfang lífsferilsgreiningar	25
4.1.2 Gagnaöflun	25
4.1.3 Áhrifamat	26
4.1.4 Túlkun	26
4.2 Lífsferilsgreiningar bygginga	26
4.2.1 Gagnaöflun og áhrifamat fyrir byggingar	26
4.3 Umhverfislýsingar vara	27
4.4 Samþætting BIM og lífsferilsgreininga fyrir hönnun á umhverfisvænum byggingum	27
4.5 Greiningartæki	28
4.5.1 OneClick LCA	28
4.5.2 GaBi	28
5 Orkuútreikningar	29
5.1 Hugbúnaður til orkuútreikninga	29
5.1.1 IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE)	29
5.1.2 Simien	29
5.2 Samanburður IDA ICE og Simien	30

5.3	Losun koltvísýrings frá orkunotkun á Íslandi	30
6	Um tækniakerfi bygginga	33
6.1	Kolefnisspor og orkupörf bygginga	33
6.2	Kolefnisspor tækniakerfa	33
6.3	Orkupörf loftræsikerfa	34
6.4	Orkusparnaður með varmaendurvinnslu loftræsikerfa	35
6.5	Loftgæði íbúða með loftræsikerfi	36
7	Urriðaholtsstræti 44-74	39
7.1	Uppbygging	41
7.2	Loftræsikerfi	42
7.3	Hitakerfi	45
8	Lífsferilsgreining loftræsi- og hitakerfis	47
8.1	Markmið og umfang lífsferilsgreiningarinnar	47
8.2	Gagnaöflun lífsferilsgreiningarinnar	47
8.3	Áhrifamat lífsferilsgreiningarinnar	50
8.4	Niðurstöður og næmnigreining vistferilsgreiningar	52
9	Orkuútreikninar byggingar	57
9.1	Uppbygging húsanna	57
9.2	Uppsetning í IDA ICE og Simien	59
9.3	Niðurstöður orkuútreikninga	63
9.4	Raunorkunotkun	71
9.5	Koltvísýringslosun orkunotkunar	71
10	Loftgæði	73
10.1	Mælingar	73
10.2	Úrvinnsla og niðurstöður mælinga	73
10.2.1	Hitastig [°C]	73
10.2.2	Koltvísýringur CO ₂	78
10.2.3	Hlutfallsraki	82
11	Umræða um niðurstöður	89
12	Samantekt og niðurlag	93
A	Viðauki - Magnskrár	101
A.1	Magnskrá loftræsikerfis	101
A.2	Magnskrá hitakerfis	103

B	Viðauki - IDA ICE	104
B.1	Stillingar byggingarhluta	104
B.2	Hitaveita	106
B.3	Loftræsikerfi	107
B.4	Loftpéttleiki	109
B.5	Yfirlit húsanna	110
B.6	Niðurstöður hermanna	112
B.7	Aðrar stillingar	130
C	Viðauki - Simien	131
C.1	Stillingar byggingarhluta	131
C.2	Loftræsikerfi	136
C.3	Loftpéttleiki	137
C.4	Niðurstöður hermanna	137
C.5	Aðrar stillingar	149

Myndaskrá

1	Flokkar BREEAM og vægi þeirra [1] (Anna Kristín Hjartardóttir, munnleg heimild, 9. desember 2022)	19
2	Urriðaholtsstræti 44-74 [2]	39
3	Grunnmynd af 1. hæð [2]	40
4	Grunnmynd af 2. hæð [2]	40
5	Austurhlið Urriðaholtsstrætis 44-58 [2]	40
6	Vesturhlið Urriðaholtsstrætis 44-58 [2]	41
7	Norður- og suðurhlið Urriðaholtsstrætis 44-58[2]	41
8	Uppbygging byggingarhluta[2]	41
9	Stærðir og gerðir allra glugga og hurða[2]	42
10	Loftræsikerfið á 1. hæð [2]	43
11	Loftræsikerfið á 2. hæð [2]	43
12	Loftræsikerfið fyrir ofan loft [2]	43
13	3D teikning af loftræsikerfinu í einu húsi[2]	44
14	Hitakerfið á 1. hæð[2].	45
15	Hitakerfið á 2. hæð[2]	45
16	Losun CO_{2eq} á m^2	53
17	Næmnigreining fyrir loftræsi- og hitakerfið með tilliti til líftíma	55
18	Mynd af 3D líkaninu úr IDA ICE	60
19	Grunnmyndir móðelsins í IDA ICE	61
20	Grunnmyndir móðelsins í IDA ICE	62
21	Skjáskot úr Simien af upplýsingum um veðurfar í Reykjavík	63
22	Hlutfallslegt varmatap endahúss samkvæmt IDA ICE	65
23	Hlutfallslegt varmatap miðjuhúss samkvæmt IDA ICE	65
24	Hlutfallslegt varmatap endahúss samkvæmt Simien	66
25	Hlutfallslegt varmatap miðjuhúss samkvæmt Simien	67
26	Hlutfallslegt varmatap endahúss samkvæmt IDA ICE og Simien	68
27	Hlutfallslegt varmatap miðjuhúss samkvæmt IDA ICE og Simien	68
28	Hlutfallsleg notkun hitaveituvatns samkvæmt IDA ICE	69
29	Hlutfallsleg notkun hitaveituvatns samkvæmt Simien	70
30	Hitastig í svefnherbergjunum á tímabilinu	75
31	Hitastig í svefnherbergjunum eftir tíma sólahringsins	77
32	Styrkur koltvísýrings í svefnherbergjunum á tímabilinu	79
33	Styrkur koltvísýrings í svefnherbergjunum eftir tíma dags	81
34	Hlutfallsraki í svefnherbergjunum á tímabilinu	84
35	Hlutfallsraki í svefnherbergjunum eftir tíma dags	86
36	Fyrri hluti magnskrár loftræsikerfis	101
37	Seinni hluti magnskrár loftræsikerfis	102
38	Fyrri hluti magnskrár hitakerfis	103

39	Seinni hluti magnskrár hitakerfis	103
40	Byggingarhlutar	104
41	Kuldabryr	105
42	Auka orku- og varmataps stillingar	105
43	Kerfi inntaks hitaveitu	106
44	Varmaskiptir hitaveitu	106
45	Stillingar íhluta kerfisins	107
46	Loftræsikerfið	107
47	Stillingar íhluta loftræsikerfisins með varmaendurvinnslu	108
48	Stillingar íhluta kerfisins án varmaendurvinnslu	108
49	Stillingar loftþéttleika með vélrænt loftræsikerfi	109
50	Stillingar loftþéttleika með náttúrulegt loftræsikerfi	109
51	Yfirlit yfir rými og stillingar endaraðhúss með vélrænt loftræsikerfi	110
52	Yfirlit yfir rými og stillingar endaraðhúss með náttúrulegt loftræsikerfi	110
53	Yfirlit yfir rými og stillingar miðjuraðhúss með vélrænt loftræsikerfi	111
54	Yfirlit yfir rými og stillingar miðjuraðhúss með náttúrulegt loftræsikerfi	111
55	Niðurstöður orkunotkunar fyrir endaraðhús með vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu	112
56	Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers hluta fyrir endaraðhús með vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu	113
57	Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers byggingarhluta fyrir endaraðhús með vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu	114
58	Niðurstöður orkunotkunar endaraðhúss með vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu eftir kerfi	114
59	Niðurstöður orkunotkunar fyrir endaraðhús með vélrænt loftræsikerfi án varmaendurvinnslu	115
60	Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers hluta fyrir endaraðhús með vélrænt loftræsikerfi án varmaendurvinnslu	116
61	Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers byggingarhluta fyrir endaraðhús með vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu	117
62	Niðurstöður orkunotkunar endaraðhúss með vélrænt loftræsikerfi án varmaendurvinnslu eftir kerfi	117
63	Niðurstöður orkunotkunar fyrir endaraðhús með náttúrulegt loftræsikerfi	118
64	Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers hluta fyrir endaraðhús með náttúrulegt loftræsikerfi	119
65	Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers byggingarhluta fyrir endaraðhús með náttúrulegt loftræsikerfi	120
66	Niðurstöður orkunotkunar endaraðhúss með náttúrulegt loftræsikerfi eftir kerfi	120
67	Niðurstöður orkunotkunar fyrir miðjuraðhús með vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu	121

68	Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers hluta fyrir miðjuraðhús með vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu	122
69	Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers byggingarhluta fyrir miðjuraðhús með vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu	123
70	Niðurstöður orkunotkunar miðjuraðhúss með vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu eftir kerfi	123
71	Niðurstöður orkunotkunar fyrir miðjuraðhús með vélrænt loftræsikerfi án varmaendurvinnslu	124
72	Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers hluta fyrir miðjuraðhús með vélrænt loftræsikerfi án varmaendurvinnslu	125
73	Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers byggingarhluta fyrir miðjuraðhús með vélrænt loftræsikerfi án varmaendurvinnslu	126
74	Niðurstöður orkunotkunar miðjuraðhúss með vélrænt loftræsikerfi án varmaendurvinnslu eftir kerfi	126
75	Niðurstöður orkunotkunar fyrir miðjuraðhús með náttúrulegt loftræsikerfi	127
76	Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers hluta fyrir miðjuraðhús með náttúrulegt loftræsikerfi	128
77	Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers byggingarhluta fyrir miðjuraðhús með náttúrulegt loftræsikerfi	129
78	Niðurstöður orkunotkunar miðjuraðhúss með náttúrulegt loftræsikerfi eftir kerfi .	129
79	Aðrar kerfisbreytur	130
80	Stillingar fyrir vind	130
81	Útveggir	131
82	Þak	131
83	Gólf	132
84	Gluggar og hurðar	132
85	Sólarfaktor glugga	133
86	Kuldabryr	133
87	Gildi byggingarhluta úr húsunum með vélræna loftræsingunni með og án varmaendurvinnslu	134
88	Gildi byggingarhluta úr húsunum með náttúrulega loftræsingunni	135
91	Orkunotkun endaraðhúss með vélræna loftræsingunni með varmaendurvinnslu . . .	137
92	Niðurstöður orkunotkunar eftir kerfum fyrir endaraðhús með vélræna loftræsingunni með varmaendurvinnslu	137
93	Niðurstöður orkunotkunar eftir mánuðum fyrir endaraðhús með vélræna loftræsingunni með varmaendurvinnslu	138
94	Orkunotkun endaraðhúss með vélræna loftræsingunni með varmaendurvinnslu eftir mánuðum	139
95	Orkunotkun endaraðhúss með náttúrulega loftræsingunni	139
96	Niðurstöður orkunotkunar eftir kerfum fyrir endaraðhús með náttúrulega loftræsingunni	140

97	Niðurstöður orkunotkunar eftir mánuðum fyrir endaraðhús með náttúrulega loftræsingu	140
98	Orkunotkun endaraðhúss með náttúrulega loftræsingu eftir mánuðum	141
99	Orkunotkun endaraðhúss með vélræna loftræsingu án varmaendurvinnslu	141
100	Niðurstöður orkunotkunar eftir kerfum fyrir endaraðhús með vélræna loftræsingu án varmaendurvinnslu	142
101	Niðurstöður orkunotkunar eftir mánuðum fyrir endaraðhús með vélræna loftræsingu án varmaendurvinnslu	142
102	Orkunotkun endaraðhúss með vélræna loftræsingu án varmaendurvinnslu eftir mánuðum	143
103	Orkunotkun miðjuraðhúss með vélræna loftræsingu með varmaendurvinnslu	143
104	Niðurstöður orkunotkunar eftir kerfum fyrir miðjuraðhús með vélræna loftræsingu með varmaendurvinnslu	144
105	Niðurstöður orkunotkunar eftir mánuðum fyrir miðjuraðhús með vélræna loftræsingu með varmaendurvinnslu	144
106	Orkunotkun miðjuraðhúss með vélræna loftræsingu með varmaendurvinnslu eftir mánuðum	145
107	Orkunotkun miðjuraðhúss með vélræna loftræsingu án varmaendurvinnslu	145
108	Niðurstöður orkunotkunar eftir kerfum fyrir miðjuraðhús með vélræna loftræsingu án varmaendurvinnslu	146
109	Niðurstöður orkunotkunar eftir mánuðum fyrir miðjuraðhús með vélræna loftræsingu án varmaendurvinnslu	146
110	Orkunotkun miðjuraðhúss með vélræna loftræsingu án varmaendurvinnslu eftir mánuðum	147
111	Orkunotkun miðjuraðhúss með náttúrulega loftræsingu	147
112	Niðurstöður orkunotkunar eftir kerfum fyrir miðjuraðhús með náttúrulega loftræsingu	148
113	Niðurstöður orkunotkunar eftir mánuðum fyrir miðjuraðhús með náttúrulega loftræsingu	148
114	Orkunotkun miðjuraðhúss með vélræna loftræsingu með náttúrulega loftræsingu eftir mánuðum	149
115	Stilling fyrir innbú	149

Töfluskrá

1	Leyfilegt hámark U-gilda $W/(m^2 K)$ einstakra byggingarhluta	16
2	Flokkar BREEAM og vægi þeirra [1] (Anna Kristín Hjartardóttir, munnleg heimild, 9. desember 2022)	20
3	Flokkanir heildareinkunna	20
4	Gögn fyrir lífsferilsgreiningu loftræsingar	48
5	Gögn fyrir lífsferilsgreiningu hitakerfis	49
6	Losunartölur (GWP) hvers íhlutar loftræsikerfisins	50
7	Losunartölur (GWP) hvers íhlutar hitakerfisins	51
8	Koltvísýringslosun frá framleiðslu og viðhaldi loftræsikerfisins	52
9	Koltvísýringslosun frá framleiðslu og viðhaldi hitakerfisins	52
10	Næmnigreining fyrir loftræsikerfið með tilliti til líftíma $[kgCO_{2eq}/m^2/ár]$	53
11	Næmnigreining fyrir hitakerfið með tilliti til líftíma $[kgCO_{2eq}/m^2/ár]$	54
12	Útreikningar R-gildis útveggja skv. ÍST 66	58
13	Útreikningar R-gildis gólfs skv. ÍST 66	58
14	Útreikningar R-gildis þaks skv. ÍST 66	58
15	Útreikningar U-gildis útveggja skv. ÍST 66	58
16	Útreikningar U-gildis gólfs skv. ÍST 66	59
17	Útreikningar U-gildis þaks skv. ÍST 66	59
18	U-gildi þeirra byggingarhluta sem notuð voru við útreikninga og byggingarreglugerðar	59
19	Orkunotkun húsanna	63
20	Orkunotkun viðmiðunarhúss	64
21	Raunorkunotkun og hermd orkunotkun fyrir endaraðhús	71
22	Losun koltvísýrings $[gCO_2/m^2]$ vegna orkunotkunar húsanna	71
23	Koltvísýringslosun $[kgCO_2/m^2]$ sem sparast yfir líftíma bygginganna samanborið vélrænni loftræsingu án varmaendurvinnslu	72
24	Koltvísýringslosun $[kgCO_2/m^2]$ sem sparast yfir líftíma bygginganna samanborið náttúrulegri loftræsingu	72
25	Mælisvið og skekkja Awair Omni	73
26	Hitastig í svefnherbergi 1	74
27	Hitastig í svefnherbergi 2	74
28	Gildi koltvísýrings í andrúmslofti svefnherbergis 1	78
29	Gildi koltvísýrings í andrúmslofti svefnherbergis 2	78
30	Hlutfallsraki í svefnherbergi 1	82
31	Hlutfallsraki í svefnherbergi 2	82

1 Inngangur

Umhverfis- og orkumál eru brýn mál sem réttilega eru mikið í umræðunni í dag. Loftslagsbreytingar vegna losunar mannkynsins eru þar eitt stærsta vandamálið sem koma að mestu til vegna orkunotkunar. Flest lönd heimsins hafa sett sér metnaðarfull markmið með þeim tilgangi að bæta sig í loftslagsmálum og minnka orkunotkun og er Parísarsáttmálinn dæmi um það. Sá sáttmáli er samkomulag milli Sameinuðu þjóðanna um að unnið sé að því sameiginlega markmiði að halda hækkun hitastigs jarðar undir 2 [°C] miðað við það meðalhitastig sem var við upphaf iðnvæðingarinnar og að leitast skuli við að halda hækkuninni undir 1,5 [°C]. Ísland og Noregur hafa sett sér sameiginleg markmið með ESB aðildarríkjunum um 40% samdrátt í losun árið 2030 miðað við 1990 [3]. Hér á landi eru stjórnvöld og hagaðilar byggingariðnaðarins um vistvænni mannvirkjagerð í samstarfsverkefni sem heitir Byggjum grænni framtíð og er markmið verkefnisins að minnka losun og umhverfisáhrif byggingariðnaðarins. Markmiðin eru metnaðarfull og meðal annars er stefnt á 55% samdrátt í losun byggingarefna og 7,5% samdrátt vegna orkunotkunar á rekstartíma fyrir árið 2030 [4]. Spila byggingar stóran þátt í þessum málum þar sem bæði eru þær orkukræfar og losa mikinn koltvísýring en byggingar stóðu fyrir 34% af orkunotkun og 33% af heildarlosun CO₂ á heimsvísu árið 2021 samkvæmt IEA [5]. Er þetta stór hluti og því mikilvægt að greina byggingar til þess að finna út hvaða hluti byggingarinnar það er sem losar mest og notar mesta orku. Með þær upplýsingar er auðveldara að áætla hvar nauðsynlegt er að finna lausnir til þess að draga úr losun og orkunotkun. Lífsferilsgreining (e. LCA) er aðferð sem notast er við, við þess konar verkefni en niðurstöður hennar sýna umhverfisáhrif vöru á öllum lífsstigum hennar. Við vinnslu greiningarinnar sem er gerð hér er stuðst við gögn sem byggð eru á umhverfisýfirlýsingum vara (e. EPD) sem gefnar eru út af framleiðendum. Ekki er skilda fyrir fyrirtæki að gefa út umhverfislýsingu með vörum og því oft erfitt að finna upplýsingar um umhverfisáhrif hluta og á það við um íhluti tækni-kerfa. Sífellt færirist í aukana að lífsferilsgreiningar fyrir byggingar séu gerðar hér á Íslandi en hafa fáar verið gerðar á tækni-kerfum þeirra.

Úr rannsókn sem gerð var á 43 húsum á Íslandi fékkst að hlutfall varmataps sem verður vegna loftskipta er að meðaltali 22,0% [6]. Loftræsikerfi eru þó misjöfn og verður varmatap vegna náttúrulegrar loftræsingar meira heldur en vélrænnar. Einnig eru þau kerfi sem eru með varmaendurvinnslu mun sparneytnari og spara þau einnig orku með því að draga úr upphitunarþörf bygginga. Megintilgangur loftræsikerfa er þó að viðhalda góðu hitastigi, rakastigi og góðum loftgæðum í byggingum en slæmt innloft getur haft heilsuspillandi áhrif á fólk, bæði vegna loftgæða og uppsöfnunar á raka sem oft á tíðum fylgir lítilli loftræsingu. Því er ljóst að um mikilvæga hluta bygginga er að ræða og brýnt að huga vel að hönnun og uppsetningu þessara kerfa sem og að taka þau með í þær greiningar sem gerðar eru á þeim [7][8][9].

Í þessu rannsóknarverkefni er loftræsi- og hitakerfi í Urriðaholtsstræti 44-74 í Garðabæ rannsökuð til þess að leytast eftir því að svara eftirfarandi spurningum:

1. Hversu mikil áhrif hafa tækniakerfin á niðurstöðu LCA greiningar bygginga?
2. Hver er ávinningur vélræns loftræsikerfis með varmaendurvinnslu þegar kemur að orkunotkun?
3. Bætir vélræn loftræsing loftgæði íbúa?

Um er að ræða Svansvottuð raðhús sem útbúið eru vélrænu loftræsikerfi með varmaendurvinnslu, eins og kröfur Svansins kveða á um, og er það frábrugðið flestum íbúðarbyggingum á Íslandi. Skoðuð er sú koltvísýringslosun, mæld í koltvísýrings ígildum, CO_{2eq} , sem á sér stað við framleiðslu kerfanna og endurnýjunnar íhluta með lífsferilsgreiningu. Er sú greining notuð til þess að setja fram hversu mikið framleiðsla kerfanna og viðhald losa af CO_{2eq} . Líkt er eftir orkunotkun húsanna til upphitunar og upphitunar neysluvatns með því að nota hermiforritin IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) og Simien. Með því er hægt að áætla raunverulega orkunotkun loftræsikerfisins með og án varmaendurvinnslu og náttúrulegrar loftræsingar ásamt því að sannreyna orkunotkun og orkutap. Einnig eru gæði innilofts í svefnherbergjum mæld með tilliti til hitastigs, koltvísýrings og hlutfallsraka þegar kveikt var á vélræna loftræsikerfinu og þegar slökkt var á því.

Með þessu er hægt að meta hversu ákjósanleg loftræsikerfi eru með tilliti til bæði heilsu- og umhverfissjónarmiða. Oft er skoðaður hver þáttur fyrir sig en þörf er á að skoða alla þessa þætti saman til þess að hægt sé að meta kerfið á heildstæðari grundvelli.

1.1 Uppbygging ritgerðar

Þessi ritgerð samanstendur af 11 köflum þar sem farið er yfir bakrunn, upplýsingar og þegar gerðar rannsóknir um viðfangsefni ritgerðarinnar ásamt rannsóknum og niðurstöðum verkefnisins. Í þessum 1. kafla, innganginum, er farið yfir viðfangsefni og markmið ritgerðarinnar ásamt uppbyggingu.

Í 2. kafla er farið er byggingarreglugerð gerð skil með tilliti til þátta rannsóknarefnisins og í 3. kafla er farið yfir vistvottunarkerfin BREEAM og Svaninn, tilgang þeirra og kröfur til orkunotkunar og loftræsingar.

Í 4. kafla er farið yfir lífsferilsgreiningar, meginskref þeirra og tilgang. Auk þess er gert grein fyrir öðrum þáttum sem tengjast þess háttar greiningum, þ.e. umhverfislýsingum vara, BIM og hugbúnaði. Í 5. kafla er farið yfir orkuútreikninga, þann hugbúnað sem notaður er til orkuútreikninga í verkefninu, IDA ICE og Simien og þeir bornir saman. Að lokum er farið yfir þá losun koltvísýrings sem verður vegna orkunotkunar.

Farið er yfir tækniakerfi bygginga í 6. kafla. Fyrst er farið yfir kolefnisspor og orkuþörf bygginga áður en farið er ítarlega í kolefnisspor tækniakerfa, orkuþörf loftræsikerfa, þann orkusparnað sem verður með varmaendurvinnslu loftræsikerfa ásamt loftgæðum húsa sem hafa loftræsikerfi. Í

7. kafla er Urriðaholtsstræti 44-74 kynnt, en þau raðhús eru greind og rannsökuð í verkefninu. Farið er yfir uppbyggingu þeirra, loftræsikerfi og hitakerfi.

Í 8. kafla er farið yfir lífsferilsgreininguna sem gerð var fyrir hita- og loftræsikerfi Urriðaholtsstrætis 44-74. Farið er yfir markmið og umfang hennar, gagnaöflunina, áhrifamatið og niðurstöður túlkaðar ásamt því að farið er yfir næmnigreiningu á skilgreindum líftíma byggingarinnar.

Í 9. kafla er farið yfir orkuútreikningana sem gerðir voru í IDA ICE og Simien. Sýndir eru þeir U-gildis útreikningar sem gerðir voru ásamt því að farið er yfir þær breytur sem notaðar voru. Skýrt er frá uppsetningunni í báðum forritum ásamt niðurstöðum og þær bornar saman við raunorkunotkun.

10. kafli gerir grein fyrir þeim mælingum sem gerðar voru á innilofti ásamt niðurstöðum þeirra. Mælt var hitastig og koltvísýringur sem farið er yfir í sitthvorum undirkaflanum.

Í 11. kafla er farið yfir niðurstöður rannsóknanna og greininganna og þær ræddar.

Í lokakaflanum, 12. kafla, er síðan gerð samantekt og niðurlag.

2 Byggingarreglugerð

Byggingarreglugerð er reglugerð sem skal fylgja við uppbyggingu allra mannvirkja sem reist eru innan landhelginnar og efnahagslögsögunnar. Bindandi ákvæði reglugerðarinnar eru lágmarkskröfur og gildir um alla þætti mannvirkja svo sem gerð burðarvirkja, lagnir, þ.m.t. loftræsilagnir og hitalagnir, fjarskiptabúnað, eldvarnir og byggingarvörur auk þess að gilda um gróður á lóðum og öllu því sem þeim tengist. Markmið hennar er að vernda líf og heilsu manna, eignir og umhverfi, að stuðla að endingu og hagkvæmni mannvirkja, að stuðla að vernd umhverfis, að stuðla að tæknilegum framförum og nýjungum, að tryggja aðgengi fyrir alla og að stuðla að góðri orkunýtingu við rekstur bygginga. Til þess að þessum markmiðum sé náð þarf meðal annars að tryggja faglegan undirbúning og virkt eftirlit með því að kröfum um öryggi mannvirkja og heilnæmi sé fullnægt og að tryggja að mannvirki séu hönnuð og byggð þannig að þau henti íslenskum aðstæðum [10].

2.1 Hollustukröfur byggingarreglugerðar

Reglugerðin gerir kröfur um inniloft og samkvæmt henni skulu mannvirki vera byggð þannig að heilsu og innra umhverfi sé ekki spillt [10].

Gerð er sú krafa að allar byggingar séu loftræstar og tekið sé mið af starfsemi byggingarinnar um hvernig því er háttað. Getur það verið hvort sem er vélræn loftræsing, náttúruleg loftræsing eða blanda af hvoru tveggja. Tryggja þarf að kröfum um gæði lofts og þægilega varmavist séu uppfylltar og að loftræsikerfi séu þannig hönnuð, gerð, rekin og viðhaldið að þau haldi virkni sinni allan líftíma byggingarinnar [10].

Óheimilt er að blanda útsogslofti við ferskloft þar sem það getur mengast og skal loftstreymi vera frá rými með minni loftmengun til rýmis þar sem loftmengun er meiri, án undantekningar. Krafa er gerð um að magn fersklofts sem berst til íverurýma skal vera minnst $0,3 \text{ l/s á m}^2$ þegar það er í notkun og $0,2 \text{ l/s}$ annars. Fyrir svefnherbergi skal magn fersklofts aldrei vera minna en 7 l/s á hvern einstakling meðan herbergið er í notkun. Eftirfarandi viðmiðunarreglur gilda um ákvörðun loftmagns í íbúðum og tengdum rýmum og eru teknar beint upp úr byggingarreglugerð:

1. Tryggja skal að eftirfarandi loftskipti í íbúðarhúsum séu möguleg að lágmarki, óháð gerð loftræsingar:
 - (a) Útsog úr eldhúsi íbúðar: 30 l/s .
 - (b) Útsog úr baðherbergi íbúðar: 15 l/s .
 - (c) Útsog úr minni snyrtingum: 10 l/s .
 - (d) Útsog úr stökum geymslu- eða kjallaraherbergjum þar sem ekki er stöðug viðvera: $0,2 \text{ l/s á m}^2$ gólfplatar. Þegar geymslurými er innan íbúðar er heimilt að rýmið sé loftræst á sama hátt og íverurými íbúðarinnar.
 - (e) Útsog frá þvottaherbergi einnar íbúðar: 20 l/s .

- (f) Sameiginlegt þvottaherbergi með samnýttum þvottavélum fyrir 2 íbúðir eða fleiri: 30 l/s á hverja þvottavél.
 - (g) Stigahús: 17 l/s.
 - (h) Sorpgeymslur: 0,6 l/s á m², þó að lágmarki 20 l/s.
2. Aðstreymi lofts að eldhúsi, baðherbergi, salerni eða þvottahúsi má koma frá aðliggjandi rýmum með minna mengunar- eða rakaálagi.

Mesta leyfilegt magn CO₂ í innilofti skal að jafnaði ekki vera meira en 800 ppm og fari ekki til skamms tíma yfir 1.000 ppm. Tryggt skal að vatn eða raki geti ekki valdið skaða á mannvirki eða skapað aðstæður sem valdið geta óþægindum, slysum eða verið hættulegar heilsu manna, s.s. vegna myndunar myglu. Það er meðal annars gert með því að tryggja að grunnvatn, yfirborðsvatn og úrkoma geti hvorki skaðað mannvirkið né rýrt eðlileg hollustuskilyrði innandyrna [10].

2.2 Kröfur um orkusparnað og hitaeinangrun

Byggingarreglugerð gerir þá kröfu að við ákvörðun einangrunar skuli tryggja hollustu og þægindi innan mannvirkja ásamt því að orkunýting sé hagkvæm og náttúruauðlindir nýttar á sjálfbæran hátt [10].

Skal tekið tillit til heildarleiðnitaps, loftskipta byggingar og lofthita úti og inni þegar heildarorkuþörf byggingar skal ákvarða. Þegar ákvarða á U-gildi byggingarhluta skal tekið mið af æskilegum innilofthita og fyrirhugaðri notkun mannvirkis en fyrir íbúðarhúsnæði skal lofthiti vera meiri en 18 °C. Leyfilegt hámark U-gilda einstakra byggingarhluta má sjá í töflu 1.

Tafla 1: Leyfilegt hámark U-gilda W/(m² K) einstakra byggingarhluta

Byggingarhluti	Ti ≥ 18 °C
Þak	0,20
Útveggur	0,40
Léttur útveggur	0,30
Gluggar (karmar, gler vegið meðaltal, k-gler)	2,0
Hurðir	3,0
Ofanljós	2,0
Gólf á fyllingu	0,30
Gólf að óupphituðu rými	0,30
Gólf að útilofti	0,20
Útveggir, vegið meðaltal (veggfletir, gluggar og hurðir)	0,85

Þó er mælt með að leiðnitap sé a.m.k. 10% lægra en fram kemur í töflunni þar sem orkukostnaður vegna húshitunar er hár á íslenskan mælikvarða [10].

Til þess að koma í veg fyrir orkutap og dragsúgur valdi ekki óþægindum skal tryggja að hús séu nægjanlega loftþétt. Miða skal við að þéttleiki byggingarflata í hjúpflati íbúðarhúsnæðis og

annara bygginga þar sem gerðar eru sambærilegar kröfur til innivistar sé lofthleypni mæld við 50 Pa mismunabýrðing minni en $3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$ [10].

2.3 Kröfur til lagna og tæknibúnaðar

Ávallt skal gæta öryggis, aðgengis, hollustu, umhverfis og orkunýtingar við hönnun og gerð lagna og annars tæknibúnaðar bygginga. Þegar kemur að hönnun lagna gerir byggingarreglugerðin þær kröfur að hita- og kælikerfi bygginga skulu vera hönnuð þannig að hagkvæmni varðandi orkunotkun og rekstur sé höfð að leiðarljósi og öryggi fólks, eigna og umhverfis sé tryggt. Þurfa kerfin að vera fullnægjandi og uppfylla reglugerðina og ÍST 66 - varmatap húsa. Reglugerðin gerir kröfu um að leitast skuli við að lágmarka heildarorkunotkun loftræsikerfa í byggingum og stefnt skuli að því að varmaendurvinnsla, uppá a.m.k. 70% hitanýtni, sé á varma í útsogslofti loftræsikerfa bygginga. Uppfylla skal ákvæði staðalsins ÍST EN 13779 við hönnun, uppsetningu og frágang loftræsikerfa [10].

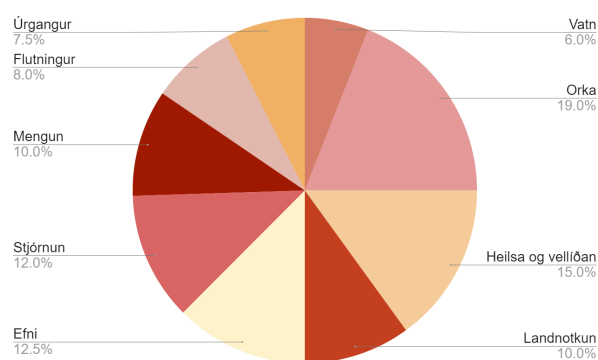
3 Vistvottunarkerfi

Til eru mörg mismunandi vistvottunarkerfi (e. Environmental certification) en mikil og hröð þróun hefur verið á gerð slíkra kerfa undanfarin ár. Tilgangur vistvottunarkerfa er að tryggja að hugað sé að þeim þáttum sem mikilvægir eru við hönnun og byggingu vistvænna mannvirkja, þ.e. umhverfis, efnahags og samfélags. Þegar leitast er við að byggja vistvænar byggingar geta vistvottunarkerfi veitt aðhald svo ekki slakni á kröfunum í ferlinu, einnig hafa þau nýst við markaðssetningu þar sem æskilegt er að sýna fram á umhverfislega ábyrgð. Í grunninn þurfa vottunarkerfin alltaf að fylgja reglugerðum og stöðlum sem eru í gildi í hverju landi á þeim tíma og byggja svo ofaná það þær kröfur og þau viðmið sem þau setja sér. Tvö vottunarkerfi hafa verið notuð á Íslandi, BREEAM vottunarkerfið og vottunarkerfi Svansins [11].

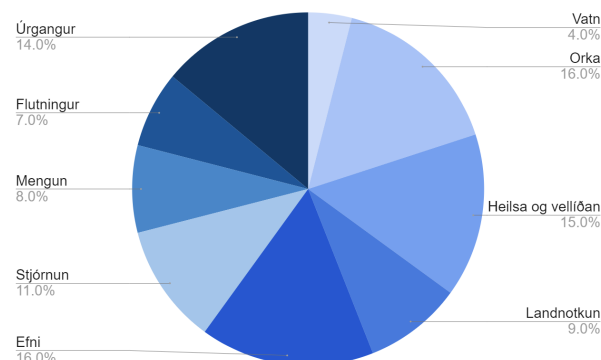
3.1 BREEAM

BREEAM (e. British Research Establishment Environmental Assessment Method) er eitt þekktasta vistvottunarkerfi í heimi sem tekur tillit til fjölmargra þátta, allt frá vistfræði til orkunotkunar. Upprunalega var kerfið þróað fyrir Bretland, en þar sem aðstæður eru mismunandi eftir heimssvæðum, hefur matskerfið verið þróað fyrir alþjóðlegan markað með því að aðlagja það að hinum ýmsu löndum, t.d. Noregi. Ásamt því að geta stefnt á að fá BREEAM vottun strax í upphafi hönnunar bygginga, er einnig möguleiki að nýta BREEAM til þess að meta áhrif og frammistöðu bygginga til þess að greina hvar megi gera betur. Einnig býður BREEAM uppá vistvottunarkerfi fyrir hverfa- og deiliskipulög [12].

3.1.1 Uppsetning BREEAM



(a) Flokkar BREEAM og algild vægi þeirra



(b) Flokkar BREEAM og íslensk vægi þeirra

Mynd 1: Flokkar BREEAM og vægi þeirra [1] (Anna Kristín Hjartardóttir, munnleg heimild, 9. desember 2022)

Vistvottunarkerfið skiptist upp í 9 flokka sem hver hefur sitt vægi. Þessir flokkar eru orka, heilsa og velliðan, landnotkun, efni, stjórnun, mengun, flutningur, úrgangur og vatn. Á mynd 1 og í töflu 2 má sjá algild og íslensk vægi þessara flokka.

Hverjum og einum flokki er svo skipt frekar niður í margvísleg matsatriði þar sem hvert og eitt hefur sín markmið og viðmið. Í hverjum flokki eru svo lágmarksþröskuldar sem þarf að

Tafla 2: Flokkar BREEAM og vægi þeirra [1] (Anna Kristín Hjartardóttir, munnleg heimild, 9. desember 2022)

Flokkar/Vægi	Almenn [%]	Íslensk [%]
Orka	19	16
Heilsa og vellíðan	15	15
Landnotkun	10	9
Efni	12,5	16
Stjórnun	12	11
Mengun	10	8
Flutningur	8	7
Úrgangur	7.5	14
Vatn	6	4

komast yfir og fyrir hvert og eitt uppfyllt matsatriði, fást stig. Einkunn fyrir viðkomandi flokk er síðan reiknuð út eftir fjölda BREEAM stiga sem náðst hefur. Heildareinkunn byggingarinnar er síðan ákvörðuð sem vegin summa einkunna flokkanna sem gefur til kynna hversu vel byggingin uppfyllir skilyrðin. Minnst verður að ná 30% til þess að uppfylla skilyrðin en hærri einkunnir en það skiptast síðan í flokka sem sjá má í töflu 3[1].

Tafla 3: Flokkarnir heildareinkunna

Einkunn [%]	Flokkur
<30	Uppfyllir ekki skilyrði
>30	Fullnægjandi
>45	Gott
>55	Mjög gott
>70	Ágætt
>85	Framúrskarandi

3.1.2 Orkukröfur BREEAM

Orkukröfurnar skiptast í 9 hluta sem allar hafa það markmiðið að hámarka orkunýtni bygginga og draga úr orkunotkun með því að miða að nýtingu á endurnýjanlegri orku, orkunýttinni tækni, skilningi notenda á orkunotkun, aðgerðum og tækni sem dregur úr orkunotkun eignar. Fyrir hvern flokk er hægt að fá ákveðið mörg stig og heita flokkarnir:

- Lágmarka orkunotkun og kolefnislosun
- Orkumælar og orkueftirlit
- Útilýsing
- Loftslagsvæn hönnun
- Orkunýtni kælikerfa/frystikerfa
- Orkunýtni flutningskerfa

- Orkunýtni rannsóknarstofu
- Orkunýtni tækjabúnaðar
- Þurrkherbergi (íbúðarhús og langtíma dvalarheimili)

Ekki eiga allar kröfur við allar byggingar og meta þarf hverju sinni hvaða stigum hægt er að ná. Nokkrar kröfur hafa bein áhrif á það hvernig hugað skal að loftræsi- og hitakerfum. Fyrsta krafan, sem snýr að því að lágmarka orkunotkun og kolefnislosun, tekur mið af bættri orkuframmistöðu byggingarinnar og hvetur til hönnunar sem lágmarkar orkuþörf bygginga, frumorkunotkun og koltvísýringslosunar. Önnur krafan, orkumælar og orkueftirlit, er að til staðar í byggingunni séu settir upp orkumælar svo hægt sé aðfylgjast með orkunotkuninni og fjórða krafan, loftslagsvæn hönnun, hefur það markmið að minnka orkunotkun byggingar ásamt meðfylgjandi kolefnislosun og minnka þörf á orku fyrir tækniakerfi byggingarinnar [13]. Þessar þrjár kröfur tengjast loftræsi- og hitakerfum þar sem hitakerfi krefjast mikillar orku til upphitunar sem hægt er að minnka með því að blásið sé inn upphituðu lofti með loftræsikerfum. Þetta er þó margþætt og oft vandaverk að finna lausnir til þess að uppfylla kröfurnar og fá þau stig sem sóst er eftir.

3.2 Svansvottun

Svanurinn (e. The Nordic Swan Ecolabel) er lífsferilsgreining sem stofnuð var af Norrænu ráðherranefndinni árið 1989 fyrir Norðurlöndin Danmörk, Finnland, Ísland, Noreg og Svíþjóð og er samkvæmt ISO 14024, umhverfisvottunarstaðlinum, umhverfismerki af típu 1. Svanurinn hefur mótað strangar umhverfiskröfur fyrir 55 vöru- eða þjónustuflokka þar sem hver telur meira en 200 mismunandi vörutegundir og fer fjölgandi. Þessar kröfur ná til allra stiga lífsferils vörunnar eða þjónustunnar og eiga að tryggja að vottaðar vörur séu góðar fyrir umhverfið og heilsuna [14].

Hjá Svaninum eru, líkt og í öðrum flokkum, strangar kröfur í byggingageiranum þar sem markmiðið er að minnka umhverfisáhrif framkvæmdanna og vernda heilsu allra sem að byggingunni munu koma, bæði á framkvæmdartíma og í notkunarfasa. Þessar kröfur eru meðal annars um orkunotkun hússins, að notuð sé örugg og umhverfisvæn efni og að gæði innivistar séu tryggð, meðal annars með tilliti til loftræsingar og hljóðvist [15].

Svanurinn setur fram margvíslegar kröfur sem eru skyldukröfur (O kröfur). Þær ná til dæmis yfir vörur sem eru innbyggðar í húsin, eldsneyti á vélar og tæki og allt byggingarefni [16]. Notast er við stigamatskerfi með fjórtán kröfum (P kröfur) þegar metið er hæfi byggingar til að fá vottunina þar sem hver krafa gefur ákveðið mörg stig. Mismörg stig eru í boði fyrir hverja kröfu en til að fá vottunina þarf að ná lágmarks stigafjölda sem er mismunandi eftir tegund hússins. Fjölbýlishús þurfa að ná 17 stigum af 44 mögulegum, einbýli 16 af 42 mögulegum og leikskólar og skólar þurfa að ná 15 af 39 mögulegum [17]. Þessar kröfur eru:

- P1 - Staðbundnir orkugjafar
- P2 - Heitavatnsmælar
- P3 - Hringrásarkerfi heitt neysluvatn
- P4 - Orkuflokkur heimilistækja
- P5 - Orkusparneytnir vatnskranar
- P6 - Kolefnisspor steypu
- P7 - Burðarvirki úr timbri
- P8 - Hljóðvist
- P9 - Umhverfismerktar vörur
- P10 - Meðvitað vöruval
- P11 - Rekjanleikavottun á trélistum
- P12 - Endurnýttar byggingarvörur
- P13 - Endurvinnsla byggingarúrgangs
- P14 - Grænar lausnir

3.2.1 Kröfur Svansins sem snúa að loftræsi- og hitakerfum og orkumálum

Kröfum sem snúa að orkugjöfum (P1), hita- og loftræsikerfum (O11) eða heildar orkunotkun (O4) verður gerð betur skil hér ásamt því að farið verður yfir hvernig hver og ein krafa var leyst af hendi við hönnun og byggingu Visthússins að Brekkugötu 2 sem hlaut vottunina árið 2017.

O4 - Orkunotkun er krafa um að á hönnunarstigi sé reiknað út orkunotkun hússins í samræmi við reglugerð viðkomandi lands með aðferðum og verkfærum sem Svanurinn samþykkir. Almennt er að krafan að orkunotkun sé 75% - 90% af leyfilegri notkun og reiknað sé með einingunni $[kW h/m^2/ári]$. Hér á landi styðst byggingarreglugerð við aðra aðferðarfræði, eða hámarks leiðnitap (U-gildi) einstakra byggingarhluta, og því ekki hægt að yfirfæra þá almennu reglu um 75 % - 90% yfir fyrir Ísland. Visthús færði rök fyrir því að viðmiðið gæti verið 144 $[kW h/m^2/ári]$ sem visthúsið stóðst með útreiknaðri orkunotkun uppá 121 $[kW h/m^2/ári]$ með því að vera með loftræsikerfi með hitaendurvinnslu, takmarka eða losna við kuldabryr, minnka leiðnitap glugga og staðsetja þá þannig að þeir gefi sem bestu birtu en sem minnst orkutap [16].

O11 - Loftræsing er krafa um að loftræsikerfi þurfi að uppfylla lög og reglur í viðkomandi landi og að virkni kerfisins sé eins og ætlast var til. Samkvæmt Svaninum er ekki skylda að hafa loftræsikerfi en á hinum Norðurlöndunum er aftur á móti erfitt að ná orkuviðmiðum sakvæmt byggingarreglugerð án þess að hafa loftræsikerfi með varmendurvinnslu. Krafa er gerð um hreinlæti og að kerfið safni ekki undir neinum kringumstæðum óhreinindum sem geta dreift sér eftir að húsnæðið er tekið í notkun. Það er gert með því að verja allt kerfið, þ.m.t. rör, stokka og samstæðuna, frá því það er framleitt, flutt á verkstað, sett upp og tengt. Sett var upp loftræsikerfi í Visthúsi en í stað stokka voru sett innsteypt 75 mm rör sem afhent voru með hlífðarrörum til þess að tryggja hreinlæti [16].

P1 - Staðbundnir orkugjafar er krafa sem fjallar um að ákveðið hlutfall af orkuþörf hússins sé náð með sólarrafhlöðum eða ef til dæmis varmi frá frárennslisvatni er endurnýttur. Það taldist ekki fýsilegt að setja upp sólarrafhlöður á þak Visthússins þar sem orka frá sólarcellum er margfalt dýrari en frá netinu en þær henta betur á kaldari svæðum [17].

3.2.2 Aðlögun Svansins að íslensku aðstæðum

Árið 2003 voru viðmið Svansins fyrir nýbyggingar teknar í notkun og byggðust á skyldukröfum og stigakerfi sem farið er yfir hér á undan. Nú hefur 4. útgáfa viðmiðanna tekið gildi og felast breytingar á milli útgáfa til að mynda í orku- og loftslagskaflanum þar sem innleiddar voru fleiri kröfur sem taka mið af því að lækka kolefnisspor bygginga. Í þessari nýjustu útgáfu viðmiðanna eru til dæmis kröfur um loftslagsútreikninga, hringrásarhagkerfinu gerð betri skil, skylda að flokka 70% af byggingarúrgangi og hægt að fá stig fyrir hönnun sem miðar að niðurrifi byggingarinnar. Fyrir 3. útgáfu viðmiðanna var krafa um orkunotkun bygginga aðlöguð að íslenskum aðstæðum og var niðurstaðan sú að íslenskar byggingar þurftu að vera með orkunotkun undir $160 \text{ [kW h/m}^2\text{]}$ en í 4. útgáfu er gerð sú krafa að það þurfi að gera 20% betur en byggingarreglugerð segir til um, þ.e. að raunhúsið þarfnist 20% minni orkunotkunar heldur en útreiknuð orkunotkun hússins samkvæmt lágmarksviðmiðum byggingarreglugerðar segir til um [15].

Vistvottunarkerfi eru í stöðugri þróun og nýjar útgáfur því reglulega gefnar út. Er þetta mikilvægt og óhjákvæmilegt þar sem bygginga- sem og tæknigeirinn er í stöðugri þróun sem krefst reglulegs endurmats. Einnig er sífellt reynt að gera betur við að aðlaga kröfur að íslenskum aðstæðum þar sem þær upprunalegu eru ekki hugsaðar fyrir það loftslag og þær aðstæður sem búið er við hér á landi. Algengara og algengara er að sótt sé um vottanir fyrir nýbyggingar sem er góð og jákvæð þróun sem ber jákvæðar afleiðingar í för með sér.

4 Lífsferilsgreiningar - yfirlit og skilgreiningar

Lífsferilsgreining, (e. life cycle assessment, LCA) er aðferð sem notuð er til þess að meta þau umhverfisáhrif sem ákveðin vara eða kerfi hefur á líftíma sínum, þ.e. meðan það er í framleiðslu, þ.m.t. framleiðsla hráefnanna, þann tíma sem það er í notkun og síðar við eyðingu, auk alls flutnings sem á sér stað í þessum skrefum. Meta þarf öll þau hráefni, orku og þjónustu sem notuð er í ferlinu og gera grein fyrir umhverfisáhrifum hvers fyrir sig við gerð lífsferilsgreiningarinnar. Með þessu er reynt að tryggja að ekki sé verið að leysa eitt umhverfisvandamál með því að búa til önnur. Við gerð lífsferilsgreininga er farið eftir stöðlunum ISO 14040 og 14044, sem eru alþjóðlegir staðlar sem mynda ákveðin ramma utanum aðferðafræðina sem liggur að baki lífsferilsgreininga. Fimm megin-skref LCA eru skilgreining á markmiðum (e. goal definition), skilgreining á umfangi (e. scope definition), gagnaöflun (e. Life Cycle Inventory), mat á áhrifum (e. Life Cycle Impact Assessment) og túlkun (e. interpretation).

4.1 Fimm megin-skref lífsferilsgreininga

4.1.1 Markmið og umfang lífsferilsgreiningar

Fyrsta skref lífsferilsgreininga er alltaf að skilgreina markmiðin. Þá er tilgangur rannsóknarinnar skilgreindur, áætlað hvernig nýta á niðurstöðurnar og kerfismörk (e. system boundaries) metin. Skilgreina þarf markhópinn og greina frá hverjir koma að rannsókninni. Út frá þessum skilgreiningum er svo ákvarðað hvaða aðferðafæði skuli nota við gerð greiningarinnar. Sem dæmi gæti markmiðið verið að finna þann þátt vöru eða kerfis, sem mengar hvað mest. Annað dæmi um markmið er að bera saman tvær vörur eða kerfi sem þjóna sama tilgangi til þess að meta hvort sé umhverfisvænna. Ákvarða þarf aðgerðaeiningu (e. functional unit), en í því fellst að skilgreina hvaða hluta eða virkni kerfisins eða vörunnar á að greina í matinu. Þegar markmið rannsóknarinnar er að bera saman tvær vörur eða kerfi er skilgreiningin á aðgerðaeiningunni sérstaklega mikilvæg til að tryggja að bornir séu saman sambærilegir hlutar kerfanna eða varanna. Aðgerðaeiningin (e. functional unit) verður því að vera vel skilgreind og mælanleg.

Kerfismörkin (e. system boundaries) skilgreina viðmiðunarmörk kerfisins (e. cut-off criteria) og hversu nákvæmlega á að rannsaka kerfið. Ákvarðanir um hvað skuli skera niður skulu vera í samræmi við markmið rannsóknarinnar og er mjög mikilvægt að þær séu vel tilgreindar og rökstuddar.

Þá eru metnir þeir áhrifaflokkar sem taldir eru hafa áhrif á greininguna. Síðan tekur ákvarðanir um gæði og uppruna þeirra gagna og upplýsinga sem þarf að nota við gerð greiningarinnar ásamt því að meta hvers konar líkön best er að nota [18].

4.1.2 Gagnaöflun

Í þessum hluta lífsferilsgreiningarinnar fer fram gagnasöfnun og líkanagerð. Þessa vinnu skal vinna í samræmi við fyrri skref greiningarinnar, þ.e. markmiðaskilgreininguna og þær kröfur sem settar eru fram í skilgreiningu á umfangi. Í grófu máli er leitast við að afla gagna um allt sem tengist vörunni eða kerfinu, þ.e. rekja öll inntök og úttök sem eru hluti af framleiðslu vörunnar

eða kerfisins. Sem dæmi um inntök og úttök má nefna hráefni, orku, vatn og mismunandi losun í umhverfið. Þar sem um er að ræða fjölda ferla getur þetta skref orðið flókið. Niðurstöður úr þessu skrefi eru svo inntakið fyrir næsta skref og veita endurgjöf á umfangið sem skilgreint hefur verið, sem oft þarf að aðlaga. Þetta skref krefst venjulega mestrar vinnu og fyrirhafnar af öllum skrefunum í greiningunni [18].

4.1.3 Áhrifamat

Hér eru niðurstöður úr gagnaöfluninni greindar með tilliti til umhverfisáhrifa og gefa niðurstöðurnar vísbendingu um umhverfisáhrif vörunnar eða kerfisins. Áhrifamatið skiptist í nokkur skref en fyrsta er að velja þá áhrifaflokka sem passa við greininguna. Áhrifaflokkarnir eru misjafnir eftir því hvort sé verið að skoða áhrif vistkerfa, áhrif mannkynsins eða auðlindaþurrð og þarf því að velja þann flokk sem tengist rannsókninni beint. Næsta skref er að flokka LCI niðurstöðurnar í tilheyrandi áhrifaflokk. Þriðja, og síðasta skrefið sem nauðsynlegt er að gera, er að reikna út áhrifavísana (e. impact indicators). Í framhaldi af þessu er svo val um hvort sé haldið áfram og gögnin kvörðuð, áhrifaflokkum gefið vægi sem tákna hlutfallslegt mikilvægi þeirra (e. weighting) og þeim skipt niður í hópa (e. grouping) [19].

4.1.4 Túlkun

Í síðasta skrefi lífsferilsgreiningarinnar er tilgangurinn tvenns konar. Á meðan enn er verið að ítra í gegnum rannsóknina bætist í líkan gagnaöflunarinnar sem gert er til þess að mæta sífellt betur þörfum rannsóknarinnar. Eftir að greiningunni hefur verið lokið, er markmiðið að draga fram öruggar ályktanir og gefa ráðleggingar. Niðurstöður lífsferilsmatsins eru metnar í þeim tilgangi að svara spurningum sem settar eru fram þegar skilgreind voru markmið og umfang. Farið er yfir takmarkanir greiningarinnar og næmnisgreining innleidd.

4.2 Lífsferilsgreiningar bygginga

Þegar notast er við LCA greiningar á byggingum er langalgengasta markmiðið að kortleggja og lágmarka kolefnislosun. Hægt er að gera LCA greiningu á mismunandi áföngum byggingarinnar eftir því hvert markmið greiningarinnar er, allt frá skissuhönnun að notkunarfasa, sem gefa misjafnar niðurstöður í samræmi við það stig sem hönnunin eða uppbyggingin er komin á. Nákvæmasta greiningin sem hægt er að gera er framkvæmd eftir byggingu og innkaupastig en þá er hægt að nota upplýsingar um þau efni sem notuð eru og raunverulegt efnismagn [20].

4.2.1 Gagnaöflun og áhrifamat fyrir byggingar

Samkvæmt Rochlitzer og fl. [21] hefur orðið mikil og öflug þróun á umhverfislýsingum (EPD) á undanförunum árum, en í byrjun árs 2021 voru yfir 10.000 staðlaðar umhverfislýsingar á skrá. Stór hluti þessara lýsinga eru fyrir byggingarefni og íhluti bygginga sem hægt er að nota sem gagnagrunn fyrir mat á umhverfisárangri bygginga. Þrátt fyrir þessa miklu þróun og aukna eftirspurn, eru umhverfislýsingar sem snúa að íhlutum og kerfum fyrir upphitun,

loftræsingu og loftkælingu sá vöruflokkur sem minnst er til af meðal allra byggingarvara. Einnig er enn mikil óvissa hvaða gagna er krafist og þá hvenær í ferlinu. Þessum kerfum er því sleppt í umhverfisáhrifamati meirihluta LCA greininga á byggingum sem hafa verið birtar. Mikil tækifæri eru í því að minnka þau skaðlegu umhverfisáhrif sem byggingar hafa með því að taka vel upplýstar ákvarðanir um hvaða byggingarefni og íhluti skuli nota strax í hönnunarfasa. Með LCIA, eða mati á áhrifunum, er hægt að fá raunverulegar upplýsingar um þau mismunandi áhrif sem efnið eða íhluturinn hefur eftir því hvað er verið að skoða, t.d. hver kolefnislosun þess sé, hvaða áhrif það hefur á hnattræna hlýnun og hver áhrif á ósonið eru. Hægt er að meta og bera saman þær upplýsingar um þau efni sem koma til greina að nota og getur verið að eitt efnið komi best út með tilliti til kolefnislosunar á meðan annað kemur betur út með tilliti til áhrifa á ósonið. Þá getur verið gott að notast við vægi í LCIA til þess að meta hvað skuli nota á réttum forsendum út frá markmiði framkvæmdanna [22]. Til þess að þetta gagnist þurfa þó að vera til greinargóðar upplýsingar um íhlutinn sem unnið er með og því ljóst að mikilvægt er að fjölga EPD fyrir alla flokka byggingarvara.

4.3 Umhverfislýsingar vara

Umhverfislýsingar vara (e. environmental product declaration, EPD), eru sannreyndar upplýsingar um umhverfisáhrif vöru yfir líftíma hennar. Þessar upplýsingar eru settar fram samkvæmt alþjóðlegum stöðlum, ISO 14025 og EN 15804, og er varan LCA greind eftir sérstökum kröfum og vöruflokkaleiðbeiningum (e. product category rules, PCR). Þessar upplýsingar eru um framleiðanda, tæknilega lýsingu á eiginleikum og efnislegri samsetningu vörunnar og staðlaðar upplýsingar um umhverfisáhrif og notkun auðlinda. Þar sem flækjustig tæknikerfa fer vaxandi er EPD mikilvægt til þess að einfalda fyrir einstaklingum og fyrirtækjum að nálgast og skilja upplýsingarnar um þau umhverfisáhrif sem hinar ýmsu vörur hafa [23].

4.4 Samþætting BIM og lífsferilsgreininga fyrir hönnun á umhverfisvænum byggingum

BIM, Building Information Model, er öflugt tæki sem býr til og heldur utan um nákvæmar upplýsingar um alla hluta bygginga og samþættir gögn til að framleiða stafræna framsetningu byggingar yfir líftíma hennar, allt frá skipulagningu og hönnun til byggingar og rekstrar [24]. Einstaka byggingarhlutar, líkt og veggir, gluggar og loftræsihlutar, eru settir inn í líkanið og upplýsingum um þá safnað saman í BIM gagnagrunninn. Sem dæmi má nefna upplýsingar um stærð, efnasamsetningu og kostnað. Hugbúnaður sem styðst við BIM, líkt og Revit, gerir síðan kleift að flytja út gögn til að framkvæma kostnaðar-, orku- og/eða umhverfismat á byggingunni. Það gefur því augaleið að samþætting BIM og lífsferilsgreininga auðveldar hönnuðum að nálgast það markmið að gera byggingar sjálfbærar. Martin Röck og fl. [25] greina frá því að eftir rannsókn sína á samþættingu BIM og LCA greininga telji þeir BIM líkön mjög gagnleg til þess að lista upp íhluti fyrir LCA greiningar en þó verði að varast að oft eru einhverjir íhlutir sem ekki eru settir inn í BIM líkönin. Þá þarf að finna örugga leið til þess að koma í veg fyrir að þeir

hlutir fari framhjá greinanda og verði þar af leiðandi ekki með í greiningunni. Einnig þarf að huga vel að því hvernig skuli setja fram flóknar byggingarupplýsingar íhluta frá BIM módelinu við vinnslu gagnaöflunarinnar, LCI. Þeir tala einnig um að LCA greiningar sem notast við BIM módel við útreikninga sína geta á einfaldan máta sótt upplýsingar og gefið niðurstöðu fyrir LCA á mismunandi stigum hönnunarferilsins. Uppsetning þess konar LCA kerfis er þar af leiðandi ekki bundin við eitt tilfelli þar sem mismunandi BIM módel frá mismunandi byggingum geta gefið mismunandi niðurstöður.

4.5 Greiningartæki

Þar sem lífsferilsgreining er margþætt og flókin greining hafa verið hannaðir hinir ýmsu hugbúnaðir til þess að einfalda ferlið og gera það skilvirkara í framkvæmd. Þar sem þeir tengjast oftast ákveðnum gagnabanka er hægt að sækja allar þær upplýsingar sem þarf á sama stað og forritið reiknar svo umhverfisáhrifin. Hugbúnaðirnir eru misjafnlega nákvæmir og með ólíka framsetningu svo misjafnt getur verið hvaða hugbúnaður hentar best hverju verkefni.

4.5.1 OneClick LCA

OneClick LCA er öflugur hugbúnaður sem hannaður er til þess að vinna lífsferilsgreiningar. Hugbúnaðurinn notast við stærsta LCA gagnagrunn heims þar sem notast er við mismunandi þætti lífsferilsins, allt frá framleiðslustigi vörunnar til förgunar, sem skilar sér í hraðvirku og sjálfvirku lífsferilsmati. Mikill kostur er að OneClick LCA gefur nákvæmar upplýsingar á stuttum tíma og hægt er að breyta íhlutum og efnum til þess að líkja eftir því hvernig draga megir úr kolefnislosun [26].

4.5.2 GaBi

GaBi er einn fremsti LCA hugbúnaður í heimi. Með GaBi er hægt að móta alla þætti vöru eða kerfis út frá þeim áhrifum sem það kann að hafa allan þess líftíma og þar af leiðandi taka upplýstar ákvarðanir um framleiðslu þess. Hugbúnaðurinn býður upp á aðgengilegan og stöðugt endurnýjanlegan efnisgagnagrunn sem sýnir kostnað, orkunotkun og umhverfisáhrif við að framleiða og betrubæta hvert hráefni ákveðinnar vöru. Einnig býður það upp á upplýsingar um dreifingu, endurvinnslu og sjálfbærni, að auki við framleiðslu og mengun.

5 Orkuútreikningar

Með orkuútreikningum er hægt að sýna fram á raunverulega orkunotkun húsa og þar með tryggja að þeim kröfum sem gerðar eru til húsa samkvæmt reglugerð, þ.e. orkuramma, sé framfylgt. Með því að spara orku sparast að auki fjármagn og hægt er að minnka losun gróðurhúsalofttegunda. Við gerð útreikninganna eru U-gildi allra hluta hússins þar sem varmatap getur átt sér stað reiknuð samkvæmt ÍST 66 [27] eða fengnar úr skýrslu frá Eflu [28]. U-gildi segir til um hversu vel einangraður byggingarhlutinn er og hefur eininguna $W/(m^2 K)$. Það er reiknað með jöfnu 1 þar sem varmamótstaða, R [$m^2 K/W$], fæst með því að deila þykkt efnisins, D [m], upp í varmaleiðnitölu þess, K [$W/(m K)$], eins og sjá má í jöfnu 2 [29].

$$U = 1/R \quad (1)$$

$$R = D/K \quad (2)$$

Með upplýsingum um U-gildi er hægt að meta hvaða byggingarhluti veldur mestu varmatapi en reglugerð gerir kröfu á gæði hvers byggingarhluta fyrir sig. Því næst er einstakt varmatap hvers hluta lagt saman og því deilt á flatarmál hússins sem gefur þá orku sem þarf til þess að hita upp húsið. Er hér aðeins verið að ræða þá orku sem bygging þarf í notkunarfasa og er t.d. gagnlegt að geta reiknað út þegar meta á kostnað þeirrar orku sem þörf er á við rekstur byggingar eða bera á saman orkunotkun byggingar við lágmarkskröfur reglugerðar.

5.1 Hugbúnaður til orkuútreikninga

5.1.1 IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE)

IDA ICE er hugbúnaður sem hermir eftir frammistöðu bygginga, kerfum þeirra og stýringum þegar kemur að orkunotkun og er hannaður af sænska fyrirtækinu EQUA. Bæði er hægt að nota forritið til þess að meta hitauppstreymi innanhúss sem og orkunotkun alls byggingarinnar. Notendaviðmót hermiforrítsins er hannað til þess að gera notendum auðvelt að byggja upp og líkja eftir bæði einföldum og háþrúðum tilfellum og bera reiknaðar niðurstöður vel saman við mæld gögn. Hægt er að nota IDA ICE með hugbúnaðinum BIM sem gerir vinnuna enn fljótlegri og skilvirkari. Einnig er hægt er að flytja inn allar 2D og 3D CAD skrár [30].

5.1.2 Simien

Simien er hugbúnaður sem metur innloftslag innanhúss og heildar orkunotkun fyrir bæði atvinnuhúsnæði og heimili, sem hannaður er af norsku fyrirtæki, Programbyggerne. Það tekur tillit til hitakerfa, kælikerfa og loftræsikerfa. Hugbúnaðurinn er þróaður í Noregi og er því aðlagður að norskum hefðum í byggingageiranum, byggingarreglugerðum, orkumerkingum og stöðlum. Hann býður upp á sumar-, vetur- og heils árs hermun, reiknar kolefnislosun og er í svokölluðu skýi (e. cloud) sem einfaldar miðlun skráa [31].

5.2 Samanburður IDA ICE og Simien

IDA ICE og Simien, eru hermunarforrit sem byggð eru á misnákvæmum líkönum. IDA ICE byggir á tiltölulega nákvæmu geometrísku líkani en Simien byggir á tiltölulega einfaldri framsetningu á lykilgögnum.

Hér verða kynntar tvær rannsóknir tengdar tækniakerfum bygginga, þar sem skoðaðir hafa verið ýmsir eiginleikar hermunarforritanna IDA ICE og Simien og styrkleikar og veikleikar þeirra dregnir fram.

Pomorski [32] rannsakaði og bar saman dreifð loftræsikerfi með varmaendurvinnslu og miðstýrð loftræsikerfi með það að markmiði að sjá hvort þau fyrrnefndu standi betur þegar kemur að orkunotkun, þegar hugað er að loftgæðum og innihitastigi. Að auki var gerð samanburðarrannsókn á IDA ICE og Simien þegar kom að ákveðnum þáttum rannsóknarefnisins. Tekið er fram að helsti munurinn á forritunum tveimur sé notagildi og flækjustig. Simien notast við ákveðnar upplýsingar fyrir hvert skilgreint svæði á meðan IDA ICE notast við ákveðnar upplýsingar á hvern flöt innan allra skilgreinda svæða. Þar að auki notar IDA ICE ítarlegri gögn en Simien við reikninga á hitauppstreymi. Tekið er fram að þegar kemur að loftslagsgögnum notar IDA ICE EPW (EnergyPlus Weather) mælingar sem endurteknar eru á klukkutíma fresti á meðan Simien er byggt á sínus-kúrfu útihitamælinga á þeim svæðum sem nota skal. Einnig er tekið fram að þegar kemur að því að líkja eftir loftstreymi, býður IDA ICE uppá að breyta loftmagni sem fer inn og út af svæðum, hlutfall endurheimts varma og afkastagetu varamendurvinnslu.

Metlid [33] skoðaði hversu nákvæmlega IDA ICE líkir eftir ákveðnu varmadælukerfi með því að bera niðurstöður þess saman við niðurstöður mælinga. Næmnigreining á niðurstöðunum var síðan gerð með því að bera saman þær niðurstöður við Simien "As-built"skýrslu. Kom í ljós að niðurstöður IDA ICE hermuninni voru nákvæmari heldur en niðurstöður sem fram komu í Simien skýrslunni en þó var skekkja hjá báðum forritum, IDA ICE vanmat kæliþörfina á meðan Simien vanmat hitaþörfina og ofmat kæliþörfina.

Má lesa úr þessu að IDA ICE sé hentugara forrit fyrir byggingar sem ekki eru byggðar í Noregi þar sem mörg af inntaksgildunum eru stöðluð í Simien eftir norskum stöðlum á meðan þau eru sérstaklega valin af notandanum í IDA ICE. Samkvæmt þessum rannsóknum er IDA ICE einnig nákvæmara og notendaviðmótið í því forriti betra.

5.3 Losun koltvísýrings frá orkunotkun á Íslandi

Þær framfarir sem Íslendingar hafa náð á liðinni öld á nýtingu jarðhita sem leynst hefur djúpt í jarðlögum undir landinu eru með merkustu tækni framförum þessarar þjóðar. Íslendingar eru meðal fremstu þjóða í nýtingu jarðhitans og fer langmestur hluti af nýtingu hans til húshitunar. Heildarvarmanotkun á Íslandi árið 2020 var 35,9 PJ og var 97% af því jarðhiti. Þegar skoðaðir eru notkunarflokkar IGA, sem eru húshitun, sundlaugar, snjóbræðsla, fiskeldi, iðnaður og gróðurhús, er hlutfall húshitunar 71,0% af heildarvarmanotkuninni [34]. Einnig er orka hérlandis til dæmis framleidd með vatnsorku, olíu og lífelfsneyti [35]. Við framleiðslu á orku losna gróðurhúsalofttegundir en þar sem Umhverfisstofnun heldur utan um alla losun frá jarðvarma í

einni tölu, þ.e. vegna framleiðslu bæði raforku og heits vatns, er losunarstuðull fyrir notkun á heitu vatni 0 samkvæmt þeim þar sem losunin er öll sett á raforkuna [36]. Það er mikil einföldun að setja alla losun á raforkuna og samkvæmt munnlegri heimild frá Sigurði Thorlacius, M.Sc. Umhverfisverkfræðingi hjá EFLU (maí 2023), hafa einhverjir leitast þeirra leiða að skoða græna bókhaldið hjá því orkufyrirtæki sem er á því svæði sem skoða á. Hefur verið notast við 8,1 gCO_{2eq}/kWh í verkefni hjá Eflu og inn í verkefnið Byggjum Grænni framtíð á vegum HMS, þar sem stuðst er við vistferilsgreiningu af hitaveitu Stykkishólms. Sé litið til annarra landa er ljóst að á Íslandi er losun á gróðurhúsalofttegundum vegna orkuframleiðslu mjög lág en samkvæmt EPA (United States Environmental Protection Agency) nemur losun vegna framleiðslu orku í Bandaríkjunum 387 gCO_{2eq}/kWh að meðaltali en þar er mest notað gas, kol og kjarnorka til framleiðslunnar [37]. Ef horft er til Evrópu í heild er sú losun sem verður vegna framleiðslu orku 275 gCO_{2eq}/kWh að meðaltali í heimsálfunni samkvæmt EEA (European Environment Agency) en við framleiðsluna eru stærstu flokkar orkugjafa endurnýjanleg orka, kjarnorka, kol og gös [38].

6 Um tækni kerfi bygginga

6.1 Kolefnisspor og orkuþörf bygginga

Kolefnisspor og orkuþörf bygginga er umtalsverður hluti á heimsvísu en árið 2021 stóð rekstur bygginga fyrir 34% af orkunotkun og 33% af heildarlosun CO₂ samkvæmt IEA. Sú losun koltvísýrings samanstendur af beinni losun frá byggingum, þ.e. bruna á jarðefnaeldsneyti líkt og kolum og gasi, sem nam 8%, og óbeinni losun sem kemur frá framleiðslu raforku og varma sem notað er í byggingum sem nam 19%. Athuga ber að þessar tölur eiga við heiminn allan og endurspeglar því ekki íslenskar aðstæður beint [5].

Mikil aukning hefur orðið á orkunotkun bygginga síðustu áratugi sem má meðal annars rekja til íbúafjölgunar, ásamt því að sífellt er notast við meiri tækni og tól sem krefjast orkunotkunar auk þess að fólk ver auknum tíma inni í byggingum. Hefur þessi þróun staðið um langt skeið og ef litið er til áratuganna frá 1984-2004 þá jókst orkunotkun bygginga um 49% á því tímabili. Til eru margar tegundir bygginga með misjafnan og oft ólíkan tilgang, t.d. skólar, veitingastaðir, hótél, sjúkrahús og íbúðarhúsnæði. Allar tegundir bygginga þarfnast fjölbreyttrar orkuþjónustu til þess að reka þau tækni kerfi sem þarf til þess að svara kröfum og þörfum notenda um loftræsingu, loftkælingu, upphitun, heitt og kalt vatn, lýsingu o.fl. Hefur þessi þróun ýtt undir að flest lönd eru farin að huga að orkunýtingu og komin með aðgerða- og sparnaðaráætlanir fyrir orkuframmistöðu bygginga[39].

6.2 Kolefnisspor tækni kerfa

Margar eldri rannsóknir á kolefnisspori loftræsikerfa og öðrum tækni kerfum, gefa til kynna að áhrif þessara kerfa séu lítil á umhverfið. Inge Blom og fl. [40] gerðu LCA greiningu á notkun og viðhaldi á hita- og loftræsikerfum í hollenskum íbúðum þar sem fimm mismunandi tilfelli voru skoðuð fyrir níu áhrifaflokka þar sem tilföllin voru annað hvort einungis með vélrænum útblæstri eða loftræsikerfi með varmaendurvinnslu. Þessir níu áhrifaflokkar eru ólífræn eyðing (e. abiotic depletion), hnattræn hlýnun (e. global warming), eyðing ósonlagsins (e. ozone layer depletion), ljósefnafræðileg oxun (e. photochemical oxidation), eituráhrif af völdum manna (e. human toxicity), visteituráhrif á vatn (e. fresh water aquatic ecotoxicity), vistfræðileg áhrif á jörðina (e. terrestrial ecotoxicity), súrnun (e. acidification) og ofauðgun (e. eutrophication). Niðurstaðan var sú að loftræsikerfi með varmaendurvinnslu dregur úr áhrifum fyrir fjóra áhrifaflokka, þ.e. ólífræna eyðingu, gróðurhúsaáhrif og eyðing ósonlagsins um 11-13% og eituráhrif af mannavöldum um 3%, á meðan það eykur áhrifin fyrir þá fimm sem eftir eru um 7-41%. Þessi aukning er rakin til þeirra hráefna sem notuð eru við framleiðslu kerfisins og aukinnar rekstrarorku þess. Nyman og fl. [41] gerðu LCA greiningu á tveimur mismunandi loftræsisamstæðum með varmaendurvinnslu í einbýlishúsi í Finnlandi þar sem skoðuð voru efnin í kerfunum, að stökkum undantöldum, og útblástur frá þeim auk orkunotkunar á rekstartíma. Þeirra rannsókn leiddi í ljós að losun gróðurhúsalofttegunda sem verður við framleiðslu og flutninga loftræsikerfis er 100-200 sinnum minni heldur en sú losun sem kemur fram við notkun kerfisins á 50 ára líftíma þess.

Nýlegar rannsóknir sýna hins vegar að losun gróðurhúsalofttegunda tækni kerfa er mun

meiri með tilliti til heildarumhverfisáhrifa heldur en talið var. Þetta misræmi á milli nýrri og eldri rannsókna má bæði rekja til þróunar í orku- og tæknigeiranum, sem og betri og bættari aðgangur að ítarlegum gögnum yfir loftræsikerfi og aðra tæknilega íhluti. Samkvæmt Idu Kjekken [42] hafa endurbætur á orkunýtingu bygginga minnkað rekstrarorkunotkun sem og val á raforkusamsetningu, þessir þættir skila sér einnig í minni losun gróðurhúsalofttegunda. Það sem talið er að hafi þó meiri áhrif er að mun ítarlegri skrár yfir alla íhluti loftræsikerfa eru notaðar í nýrri rannsóknum sem bendir til þess að eftir því sem birgðahald verður fullkomnara verða niðurstöður rannsókna þær að raunveruleg losun og orkunotkun kerfanna er meiri en áður var talið. Er þetta í samræmi við niðurstöður sem fengust úr rannsóknunum sem nefndar eru í kafla 4.2.1. Rannsókn Idu Kjekken [42] fólst í því að meta umhverfisáhrif tækni-kerfa í skrifstofubyggingu með LCA og meta umhverfislýsingar vara (e. EPD, Environmental Product Declaration). Bentu LCIA niðurstöður hennar til þess að umhverfisleg áhrif frá tækni-kerfum séu umtalsverð. Þegar borin voru saman áhrifin frá tækni-kerfum við restina af byggingunni, kom í ljós að áhrifin frá þeim eru 33% - 46% af heildarlosun byggingarinnar og þegar orkan sem reksturinn krefst er tekin með, er losun hráefna tækni-kerfanna 19% - 29% af heildarlosun yfir líftíma hússins. Af tækni-kerfunum er það loftræsikerfið sem hefur mestu áhrifin, eða tæplega 50% af losun gróðurhúsalofttegunda sem stafar af því efnismagni sem notað er í loftræsikerfið. Í rannsókn Peter Ylmén o.fl. [43] var markmiðið að reikna út umhverfislosun skrifstofubyggingar í Svíþjóð í heild og fyrir mismunandi hluta hússins, sem og meta áhrifin á mismunandi stigum líftímans. Metnir voru fimm áhrifaflokkar og raungögn sem komu beint frá framleiðendum notuð. Niðurstöður rannsóknarinnar voru þær að áhrif loftræsikerfisins er umtalsverð, eða 14% - 32% af heildaráhrifum fyrir fjóra af fimm áhrifaflokkum, og því ljóst að ef loftræsikerfið er ekki tekið með í greiningar, er verið að vanmeta umhverfisáhrif bygginga.

6.3 Orkupörf loftræsikerfa

Sú orka sem tækni-kerfin þarfnast er stór partur af rekstri bygginga í notkunarfasa og því mikilvægt að tekið sé tillit til allra þátta framleiðslu og notkunar þeirra. Huga þarf að því hversu orkukræf þau eru í notkun og hversu mikillar orku það krefst að framleiða þau, ásamt því að huga að því hvaða orkugjafa er verið að nota til framleiðslu rafmagnsins. Sem dæmi má nefna að töluverður munur er á umhverfisáhrifum frá rafmagni sem framleitt er af jarðefnaeldsneyti og rafmagni sem framleitt er af endurnýjanlegri orku.

Eins og fyrr segir gerðu Nyman og fl. [41] greiningu á tveimur mismunandi loftræsisamstæðum í einbýlishúsi í Finnlandi og var bæði tekið tillit til kolefnislosunar kerfisins og orkunotkunar á rekstartíma. Rannsóknir þeirra leiddu í ljós að um fjórfalt meiri orka er notuð árlega til að reka loftræsieiningarnar heldur en notuð er við framleiðslu tækjanna. Á 50 ára líftíma fer næstum 200 sinnum meiri orka í notkun kerfisins en til framleiðslu þess. Þó er tekið fram að loftið sem loftræsisamstæðan blæs inn er upphitað og sparast því orka fyrir hitakerfið sem þarf ekki að hita upp loftið í íbúðinni jafn mikið og þyrfti án loftræsikerfisins. Er það þáttur sem þarf að taka til greina þegar hugað er að orkunotkun kerfanna.

Í rannsókn Wei og fl. [44] var orkunotkun og innloft í skrifstofuhúsnæði skoðað fyrir og

eftir að loftræsikerfi byggingarinnar var endurbætt með skynjurum og stýringu, rakaeyðingu úr útilofti, með því að bæta við kælispirali, og tveggja þrepa agnasíunarkerfi. Var mælt fyrir svifryksmengun, PM, kolsýringi, CO, og köfnunarefnisdíoxíði, NO₂. Með þessari uppfærslu á kerfinu lækkaði meðalorkunotkun þess um 51% sem samsvaraði 670.000kWh. Ekki var hægt að tilgreina með vissu hvaða hluti uppfærslunnar skilaði mestum sparnaði þar sem öllu kerfinu var breytt í einu. Má þó áætla að rakaeyðingin úr útiloftinu hafði spilað stóran part þar sem fyrir uppfærsluna kældi kerfið loftið að daggarmarki (e. dew point) til þess að eyða rakanum og hitaði það svo aftur upp í æskilegt hitastig til þess að geta stjórnað rakastigi herbergisins. Þetta krafðist mikillar orku. Rakaburrkunin í endurbætta kerfinu, sem stjórnaðist af spólu, dregur úr með því að stjórna rakastigi loftsins á áhrifaríkan hátt og þar með forðast að þurfa að ná daggarmarki. Einnig hafði uppfærsla á skynjurum og stýringu sitt að segja þar sem sú breyting gerði það kleift að stilla loka út frá því hitastigi sem mælir í skrifstofurýminu sagði til um. Minnkaði það notkun á kældu vatni og þar með orkunotkun. Taheri o.fl. [45] rannsökuðu frammistöðu loftræsikerfa í skólastofum sem stjórnuð voru með spám um magn CO₂ í andrúmslofti. Borin voru saman afköst sex algengustu reikniriti fyrir vélrænt nám (e. machine-learning) sem voru aðlöguð að CO₂ spám. Sýndi rannsóknin fram á að stýrikerfi sem stýrð eru eftir ákveðnum módelum með ákveðin markmið eru mun nákvæmari og orkusparneytnari en einfaldar á/af stýringar, en samanburðarniðurstöður sýndu að heildarorkunotkun minnkaði um allt að 51,4% með markvissari stýringu.

Má því sjá að miklu getur munað á orkunotkun loftræsikerfa eftir því hvernig þau eru hönnuð, uppsett og hvernig þeim er stjórnað og því mikilvægt að fundið sé hagkvæmasta kerfið hverju sinni fyrir þær aðstæður sem það á að þjóna.

6.4 Orkusparnaður með varmaendurvinnslu loftræsikerfa

Þau kerfi sem endurheimta varma úr útkastslofti bygginga til þess að hita upp loftið sem blása á inn í þær (e. Heat Recovery System) kallast kerfi með varmaendurvinnslu. Stærstur hluti þeirrar orku sem byggingar nota er til kælingar, hitunar og loftræsingar og er því mikilvægt að reynt sé að draga úr orkunotkun og kostnaði þeirra kerfa með varmaendurvinnslu sem dregur úr upphitunarálagi bygginga og þar af leiðandi dregur úr orkunotkun hennar. Dæmigert varmaendurvinnslukerfi í byggingum samanstendur af samstæðu, sem er kjarnaeiningin sem m.a. inniheldur varmaskiptinn, rásun fyrir ferskt loft og rásun fyrir útblástursloft, ásamt ventlum. Inntök og útköst eru yfirleitt upp um þak og er afkastageta algengustu varmaendurvinnslukerfa á bilinu 60-95%, það er hlutfall þeirrar orku sem kerfið skilar sér í hita á móti orkunni sem kerfið tekur inn. Til eru margar gerðir af varmaendurvinnslukerfum sem allar eiga þó það sameiginlegt að innihalda varmaskipti. Varmaskiptum er skipt upp í tvo flokka eftir því hvort um sé að ræða beina eða óbeina snertingu tveggja efna, lofts eða vökva. Þar sem um er að ræða óbeina snertingu er skilveggur á milli heitra og kaldra efna í gegnum rásina og hitaflutningurinn fer fram í gegnum þann flöt sem skilur efnin að. Í þeim varmaskiptum sem eru með beina snertingu efna, er varminn fluttur beint á milli heitra og kaldra efna þar sem bæði heiti vökvinn og sá kaldi streyma inn í sama rýmið án milliveggs[7].

Mardiana-Idayu og fl. [46] rannsökuðu varma- eða orkuendurvinnslutækni fyrir byggingar þar sem farið var eftir gerð og rennslisfyrirkomulagi búnaðarins. Skoðuð var sú þróun sem hefur orðið í þessari tækni fyrir vélræna og náttúrulega loftræsingu ásamt annars búnaðar. Þar er farið yfir almenna uppbyggingu loftræsikerfa með snertilausa varmaendurvinnslu. Niðurstöður rannsóknarinnar voru að skilvirkni plötuvarmaskipta er á bilinu 50-80%, pípuvarmaskipta er á bilinu 45-55%, varmaskipta með hjóli sé meiri en 80% og píputengdar stæður þar sem útsog og inntak er óháð hvoru öðru sé á bilinu 45-65%.

Yau [47] rannsakaði kerfi með pípuvarmaskipti þar sem útsogsloftið var notað til þess að hita upp innblástursloftið og sýndi fram á að kerfið getur sparað 26% af orkunotkun byggingar. Wang o.fl. [48] rannsökuðu loftræsikerfi með himnu sem skiptir hita og massa milli inntaksloftsins og útsogsloftsins. Gaf sú rannsókn þær niðurstöður að þetta kerfi gefur 18-49% orkusparnað, eftir því í hvers konar loftslagi kerfið er notað. Rannsókn Nafis o.fl.[49], þar sem rannsakað var kerfi með varmaskipti með himnu sem flytur raka á milli innblásturslofts og útsogslofts, leiddi í ljós að hægt sé að spara allt að 8% af orku þegar notkunin er borin saman við orkunotkun hefðbundis loftræsikerfis án varmaendurvinnslu. Mats Fehrm og fl. [50] rannsökuðu mismunandi aðferðir til þess að endurheimta varma með loftræsikerfum og hver ávinningurinn er sé varmaendurnýting notuð, auk þess sem þau fara yfir þróun markaðarins í Svíþjóð og Þýskalandi. Rannsókuð voru 60 loftræsikerfi með varmaendurvinnslu og fengust þær niðurstöður að, að hægt sé að draga úr heildarorkunotkun bygginga að meðaltali um allt að 19,4% og CO₂ losun um 18,4%.

Ljóst er að misjafnt er hvaða kerfi hentar best eftir því í hvaða loftslagi það skal vinna í. Líkt og tekið var fram í kaflanum á undan 6.3, hefur það mikil áhrif á orkunotkun og þar með orkunýtingu kerfisins hvernig því er stjórnað, hvernig það er hannað og uppsett.

6.5 Loftgæði íbúða með loftræsikerfi

Þegar rými eru loftræst er upphituðu fersku útilofti blásið inn í rýmið til þess að auka loftmagnið og þar með þynna þau mengandi efni sem eru í inniloftinu. Geta þessi mengandi efni bæði komið til vegna líffræðilegrar rakamyndunar fólks með efnaskiptum sem og daglegum athöfnum sem og eldamennsku og þvotti. Einnig myndar fólk hita sem hefur áhrif á hitastig, þó veigamesti partur óumræðilegrar upphitunar sé sólarálag [51]. Loftræsikerfi rétta af hitastig og hlutfallsraka í innilofti. Misjafnt er þó hvernig fólk skynjar innihita og raka og því getur verið breytilegt við hvaða aðstæður fólk vill búa. Í staðli EN-ISO 7730 [52] eru upplýsingar um meðaltöl þess hita og rakastigs sem fólki líður best í og kallast PMV eða Predicted mean vote. Einnig eru það efnasamböndin kolsýrlingur (CO) og köfnunarefnistvísýringur (NO₂) sem myndast t.d. í húsnæði vegna reykinga og kertaloga, ásamt koltvísýringi (CO₂) sem myndast vegna líffræðilegra efnaskipta lífvera og getur verið skaðlegur heilsu fólks sé styrkurinn of hár en alltaf er einhver styrkur koltvísýrings í lofti. Koltvísýringurinn er oft notaður til þess að meta gæði innilofts en magn hans í inniloftinu gefur til kynna hversu mikil mengun er í loftinu. Út frá styrk hans má áætla hversu mörg loftskipti verða í rýminu miðað við fjölda fólks og þar af leiðandi áætla virkni loftræsingar [53] [54].

Hinir ýmsu kvillar geta fylgt slæmu innilofti ásamt því að vera hættulegir heilsu fólks, svo sem

myglu- og örveruvexti, og er því, samkvæmt byggingarreglugerð, skylda að tryggja fullnægjandi loftgæði innan mannvirkja. Skal það gert með loftræsingum sem má ýmist vera vélræn, náttúruleg eða blanda af hvoru tveggja en við ákvörðun um það skal taka mið af tegund og gerð rýmis, þeirri starfsemi sem þar fer fram ásamt öllum þeim þáttum sem kunna að hafa áhrif á loftgæði. Krafa er gerð um að magn fersklofts sem berst til íverurýma í notkun sé minnst 0,3 l/s á m² gólfflatar en annars minnst 0,2 l/s á m² gólfflatar. Að auki er gerð krafa um að magn fersklofts sem berst til svefnherbergis skal aldrei vera minna en 7 l/s á hvern einstakling meðan herbergið er í notkun. Sérstakar viðmiðunarreglur gilda um ákvörðun loftmagns eftir gerð rýma þar sem tryggja skal ákveðin loftskipti óháð gerð loftræsingar. Tekið er að lokum fram að tryggja skuli að CO₂ magn í innilofti verði ekki meira að jafnaði en 0,08% (800 ppm) og fari ekki til skamms tíma yfir 0,1% CO₂ (1.000 ppm)[10].

Ólafur Ingi Bjarnason [55], rannsakaði meðal annars reglur um ferskloftspörf rýma með tilliti til magns koltvísýrings og raka í vistrýmum. Niðurstöður þeirrar rannsóknar sýna að 7 l/s fyrir hvern einstakling tryggir ekki að magn CO₂ í innilofti haldist undir þessum gefnu mörkum byggingarreglugerðar, þ.e. 800 ppm og 1.000 ppm.

Í rannsókn Piotr Batog og fl. [56] voru loftgæði innilofts rannsökuð í svefnherbergjum sem voru lítið loftræst þar sem koltvísýringur var notaður til að meta gæðin. Kynntu þeir fræðilega útreikninga, niðurstöður CFD hermana og niðurstöður mælinga. Sýndu rannsóknir þeirra að koltvísýringurinn fór yfirleitt verulega yfir heilsusamleg mörk á nóttunni og vel yfir þau gildi sem þarlend yfirvöld leggja upp með. Í nokkur skipti var hæsta gildi koltvísýringsins herra en 75% af váhrifamörkum í 8 klukkustundir.

Eins og fyrr segir var í rannsókn Wei og fl. [44] orkunotkun og inniloft í skrifstofuhúsnæði skoðað fyrir og eftir að loftræsikerfi byggingarinnar var bætt með skynjurum til stýringar, rakaeyðingu úr útilofti og tveggja þrepa agnasíunarkerfi. Eftir uppfærslu kerfisins mældist magn CO minna en 1 ppm sem er töluvert lægra en leyfileg mörk WHO (World Health Organization) segja til um sem er 6 ppm. Að meðaltali mældist styrkur NO₂ á bilinu 20 ppb til 60 ppb á veturna og 30 ppb til 40 ppb á sumrin sem er umfram viðmiðunarreglur WHO sem eru 21 ppb. Þó mældist NO₂ í inniloftinu 20% til 50% minna en við loftinntök sem getur verið afleiðing síunarkerfisins og loftræsingarinnar en ekki voru gerðar frekari rannsóknir til þess að greina hverjar ríkjandi ástæður minnkunar NO₂ voru frá inntökunum að innblæstrinum. Engar augljósar uppsprettur CO eða NO₂ voru innanhúss þar sem engin brennsla eða reykingar voru leyfðar og því ætti það magn efnanna sem mældist innandyra að berast inn að utan.

Líkt og áður hefur verið nefnt, skiptir miklu máli hvernig kerfi er hannað, uppsett og því stjórnað varðandi það hversu mikil áhrif kerfið hefur á inniloft bygginga.

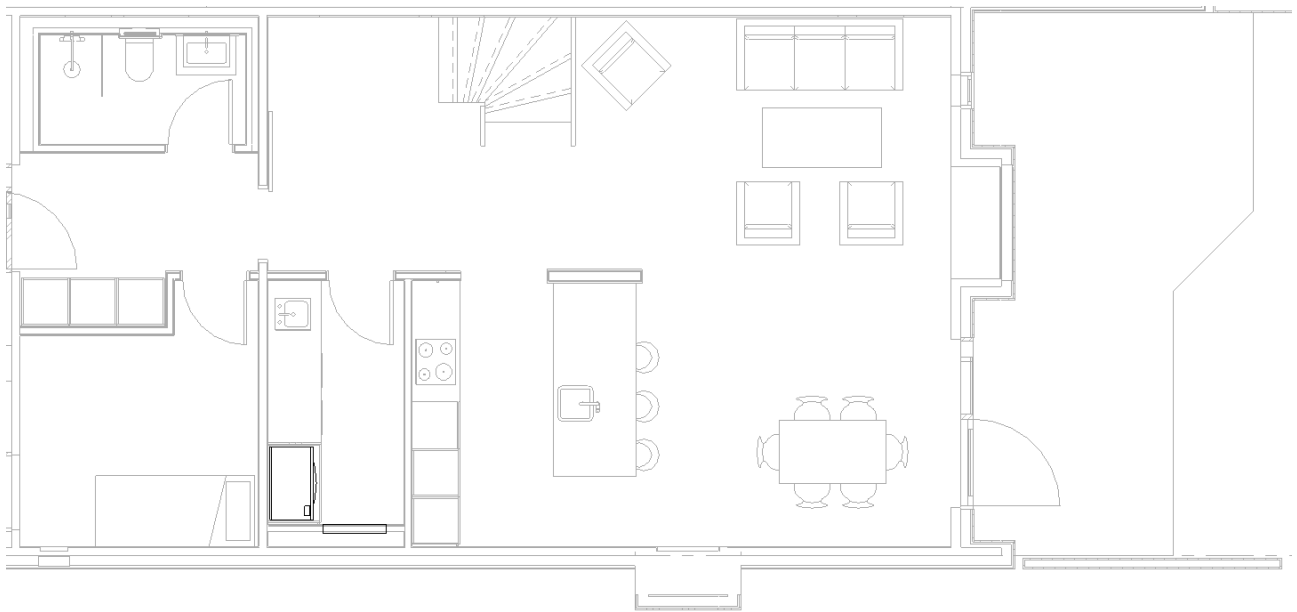
7 Urriðaholtsstræti 44-74

Urriðaholtsstræti 44-74 er staðsett í Garðabæ, nánar tiltekið í Urriðaholti sem er fyrsta hverfið á Íslandi til að fá vistvottun skipulags (BREEAM Communities). Um er að ræða tvær raðhúsalengjur með sextán íbúðareiningar þar sem hver íbúðareining er 168,6-171,8m², á tveimur hæðum og með geymsluskúr á lóð fyrir framan húsið sem hugsaður er sem geymsla og fyrir öll inntök veitna. Húsin eru byggð af Vistbyggð og við byggingu var allt efnisval ákveðið með umhverfisáhrif þeirra í huga. Miðað var við að notuð væru efni sem þurfa lítið viðhald en húsin eru úr krosslímdu timbureiningum sem framleiddar eru í Austurríki og unnar úr sjálfbærum evrópskum skógum. Þetta er í fyrsta skipti sem notast er við Svansvottaðar krosslímdu timbureiningar (e. CLT) í byggingu á Íslandi. Hvert hús hefur hlotið norræna Svansmerkið fyrir umhverfisvæna hönnun og efnisval.

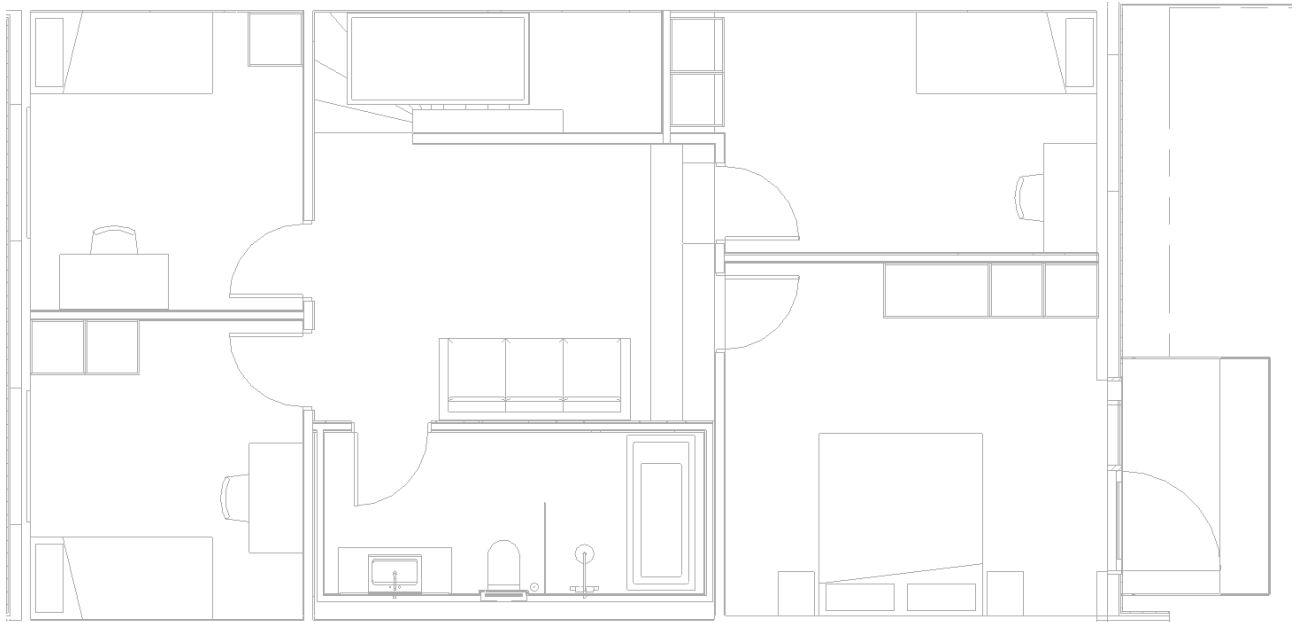


Mynd 2: Urriðaholtsstræti 44-74 [2]

Raðhúslengjurnar tvær liggja andspænis hvor annarri og er sameiginlegt bílaplan á milli þeirra eins og sjá má á mynd 2. Þar sem lengjurnar eru speglaðar snúa gluggar alrýmis annarar lengjunnar í suð-austur á meðan gluggar alrýmis hinnar lengjunnar snúa í norð-vestur. Á mynd 3 má sjá neðri hæð húsanna, en á þeirri hæð er eldhúsið sem er opið inn í stofu og borðstofu, þvottahús og salerni ásamt einu svefnherbergi. Á efri hæð húsanna, sem sjá má á mynd 4, eru fjögur svefnherbergi, salerni og sjónvarpshol. Á mynd 5 má sjá austurhlið Urriðaholtsstrætis 44-58, á mynd 6 vesturhlið þess og á mynd 7 húsalengjuna séð frá norðri annars vegar og úr suðri hins vegar.



Mynd 3: Grunnmynd af 1. hæð [2]



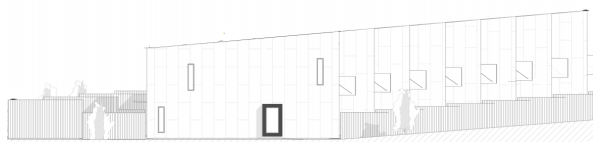
Mynd 4: Grunnmynd af 2. hæð [2]



Mynd 5: Austurhlið Urriðaholtsstrætis 44-58 [2]



Mynd 6: Vesturhlið Urriðaholtsstrætis 44-58 [2]



(a) Norðurhlið



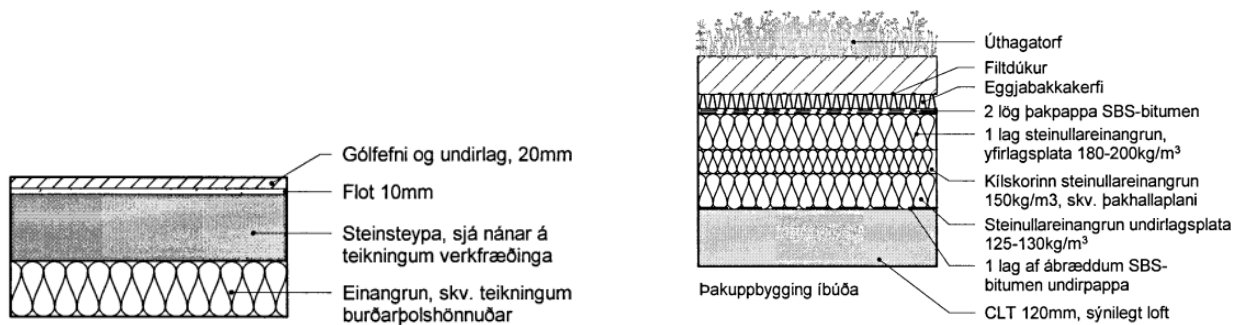
(b) Suðurhlið

Mynd 7: Norður- og suðurhlið Urriðaholtsstrætis 44-58[2]

Þau kerfi sem farið verður yfir hér eru loftræsikerfi og hitakerfi húsanna ásamt því að farið verður yfir uppbyggingu þeirra byggingarhluta sem hafa áhrif á varmatap.

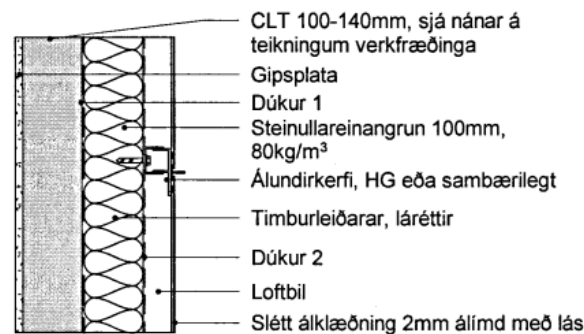
7.1 Uppbygging

Eins og fram hefur komið eru húsin úr CLT einingum eins og sjá má á deilum þaks og útveggja á mynd 8. Á sömu mynd má sjá uppbyggingu botnplötu.



(a) Botnplata húsa

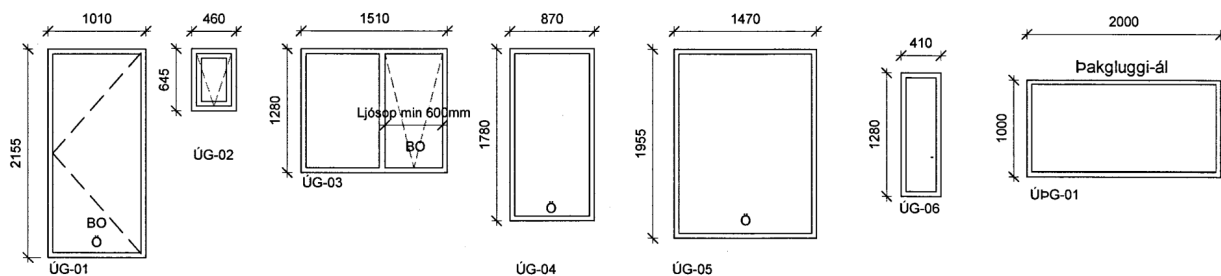
(b) Þakuppbygging húsa



(c) Útveggir húsa

Mynd 8: Uppbygging byggingarhluta[2]

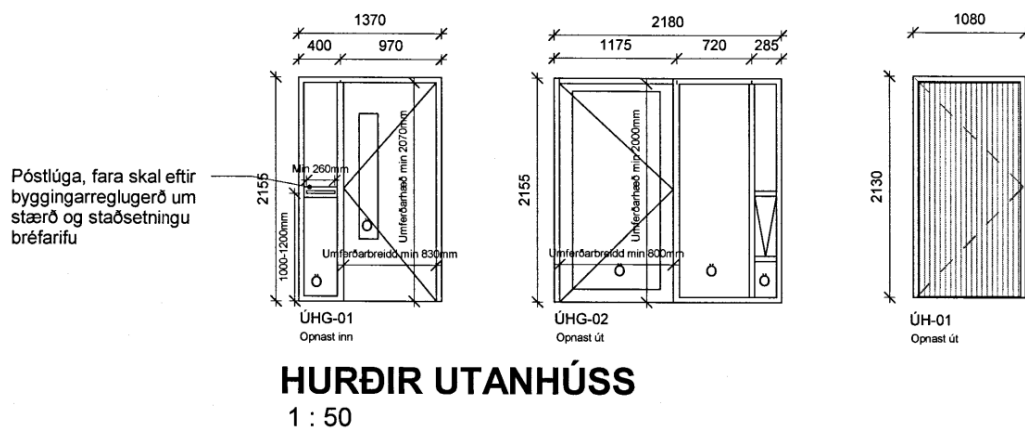
Gluggar og hurðar voru framleidd af framleiðandanum IdealCombi (IC Frame) og eru sjö mismunandi stærðir af gluggum og tvennskonar hurðar, svalahurð og útidyrhurð, í húsunum. Sjá má teikningar af gluggum og hurðum á mynd 9.



GLUGGAR UTANHÚSS

1 : 50

(a) Allar tegundir glugga



HURÐIR UTANHÚSS

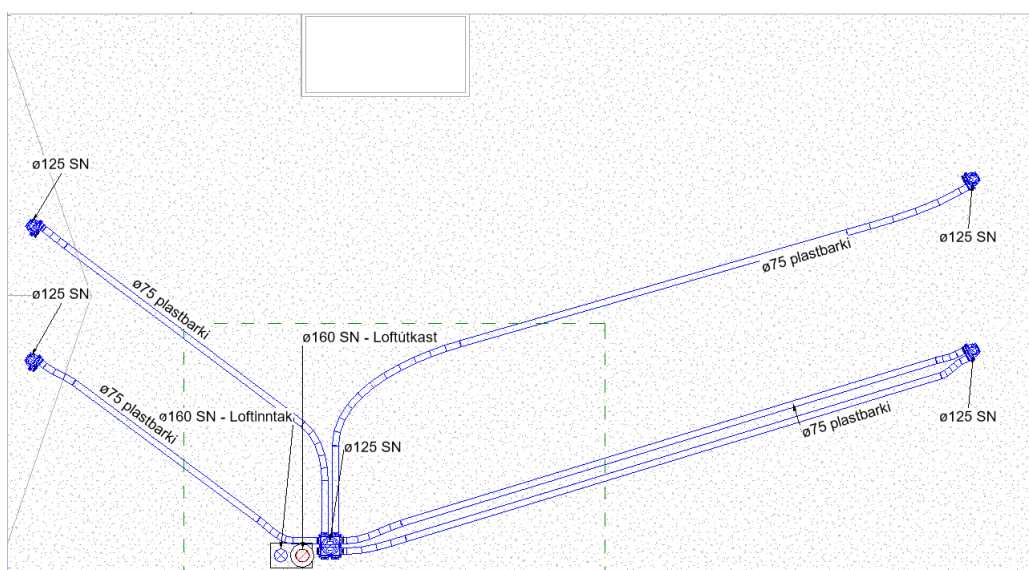
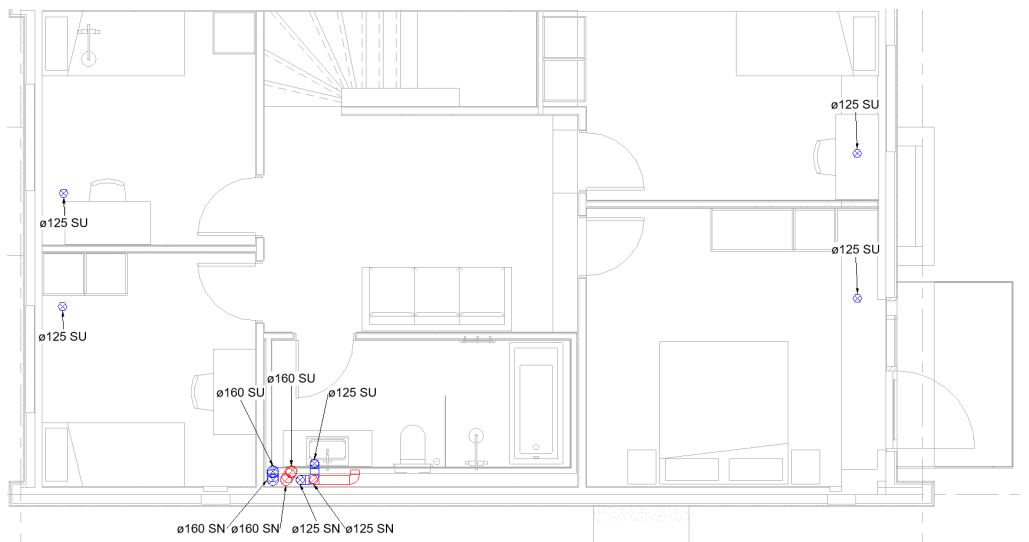
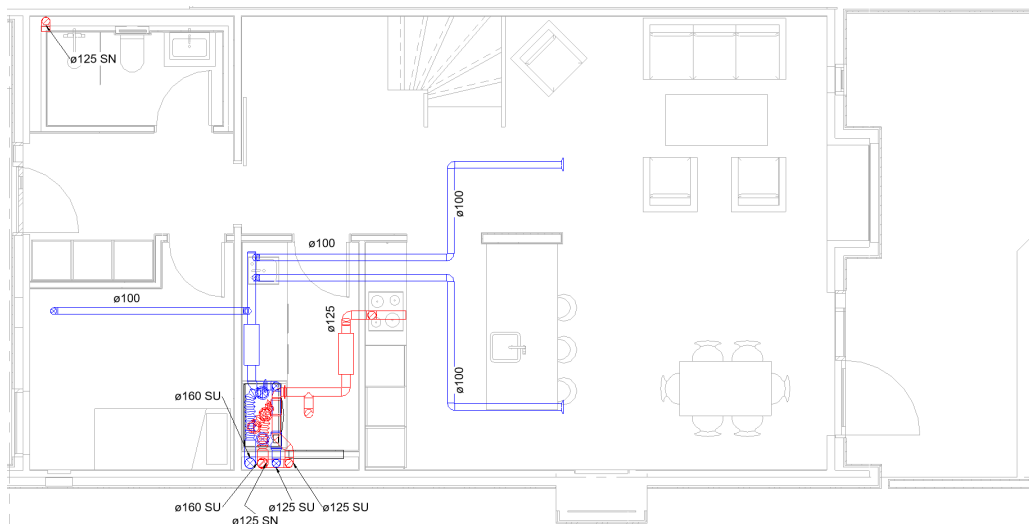
1 : 50

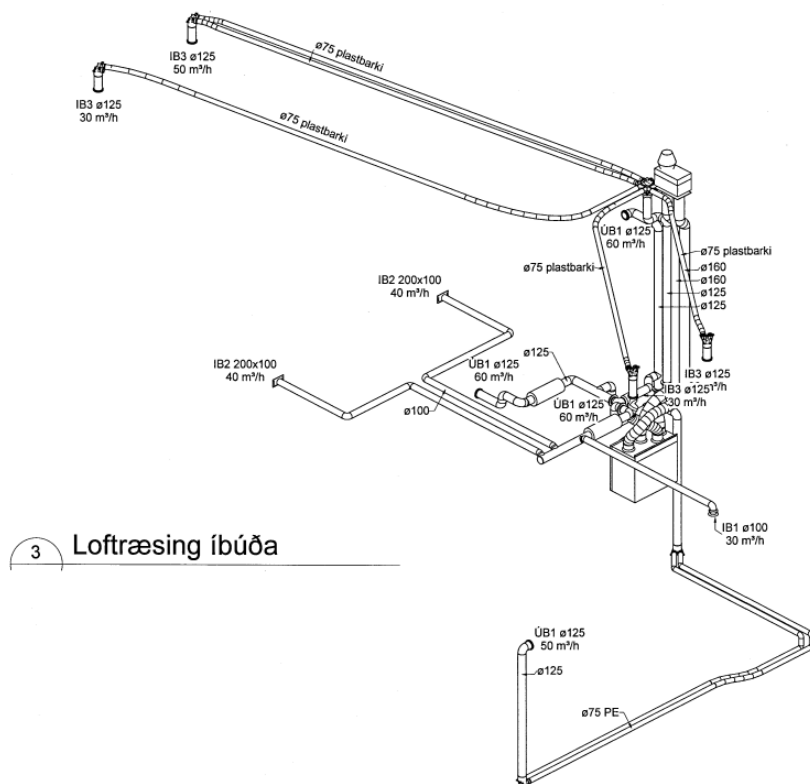
(b) Allar tegundir hurða

Mynd 9: Stærðir og gerðir allra glugga og hurða[2]

7.2 Loftræsikerfi

Vel er hugað að loftgæðum en loftræst er með vélrænni loftræsingum með sjálfstæðri loftræsisamstæðu sem staðsett er í þvottahúsi hvers húss eins og sjá má á mynd 10. Á myndum 11 og 12 má svo sjá að loftræsistokkarnir liggja frá stæðunni eftir lagnaleið sem liggur upp úr þvottahúsi, í gegnum salerni á 2. hæð og upp á loft og ferðast stökkarnir þaðan í herbergin á 2. hæð. Útsogsstokkur fyrir salerni á 1. hæð liggur undir húsinu, í sökklí og þaðan inná salernið eins og sjá má á mynd 13. Vélrænt útsog er frá salerni, þvottahúsi og hringrásarviftu í eldhúsi sem búin er kolasíu á meðan blásið er inn fersklofti í öll viðverurými. Loftræsingin er útbúin varmaendurvinnslu og er umframhitun á lofti með raforku þ.e. þegar og ef umframhitunar er þörf.





Mynd 13: 3D teikning af loftræsikerfinu í einu húsi[2]

Stokkar eru annars vegar úr galvaniseruðu stáli og PE hinsvegar. Þar að auki er varmaeinangrun úr steinull í stokkum þar sem þörf er á. Aðrir hlutar kerfisins eru inn- og útblástursventlar, inn- og útblásturssamstæður að gerð R3 Smart frá Swegon[57], loftinntaksristar, innblástursristar, loftinntaks- og útkastssventlar, stillilokur, hljóðgildrur, dreifibox og hljóðeinangrandi barkar. Einnig er sérsníðað box úr áli með verðurheldum ristum og fuglheldu neti sem ver útkast og inntak.

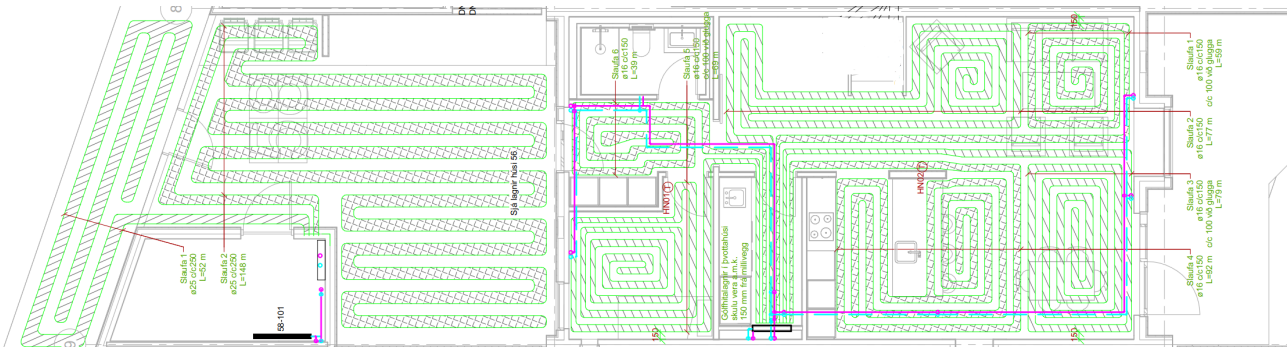
Tekið skal fram að við greininguna voru beygjur, söðlar og minnkanir teknar með sívölu stokkunum. Ekki fundust nákvæmar upplýsingar um dreifiboxin, inntaks- og útkastsventlana, stillilokurnar, hljóðgildrurnar, hljóðeinangrandi barkana og sérsníðaða boxið.

Fyrir dreifiboxin var notast við upplýsingarnar sem fundust fyrir sívala plastbarka úr PE þar sem dreifiboxin eru að mestu úr því sama efni. Fyrir inntaks- og útkastsventlana og stillilokurnar var notast við þær upplýsingar sem fundust um stokka úr galvaniseruðu stáli þar sem það fyrrnefnda er $>98\%$ úr því efni og það síðarnefnda $>92\%$ úr því efni. Fyrir hljóðgildrurnar var notast við þær upplýsingar sem höfðu fundist fyrir stokka úr galvaniseruðu stáli og varmaeinangrunina þar sem þær eru $>73\%$ úr fyrrnefndu efni og $>24\%$ úr því síðarnefnda. Hljóðeinangrandi barkarnir og sérsníðaða boxið eru flóknari uppbyggingar og ekki hægt að nálgast að öðrum efnum svo þeir eru ekki með í greiningunni.

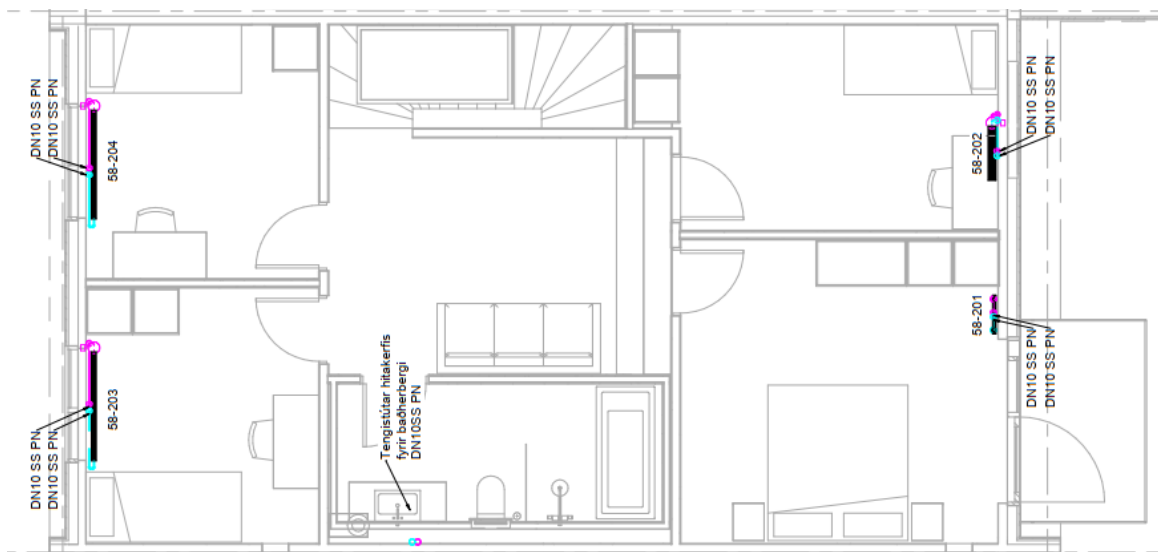
Nánari upplýsingar um alla íhluti má finna í magnskrá loftræsikerfis í viðauka A.

7.3 Hitakerfi

Íbúðareiningarnar eru upphitaðar með hitaveitu þar sem notast er við hefðbundna blöndu ofnakerfis og gólfhitakerfis. Eins og sjá má á mynd 14 er tengigrind hitaveitu í geymsluskúr ásamt deiligrind snjóbræðslu. Snjóbræðsla er fyrir framan hús, 2 slaufur. Gólfhiti er í botnplötu jarðhæðar, 6 slaufur í heild, í öllum rýmum nema baðherbergi, þar sem er handklæðaofn sem ekki sést á teikningum. Baðherbergin eru flutt inn fullbúin með öllum tækjum og hífd inn í húsin áður en þeim er lokað og svo tengd við lagnakerfi hússins. Gólfhitakistan er staðsett í þvottahúsi og eins og sjá má á mynd 15 eru ofnar í öllum lokuðum rýmum á efri hæð.



Mynd 14: Hitakerfið á 1. hæð[2].



Mynd 15: Hitakerfið á 2. hæð[2]

Gólfhita- og snjóbræðslulagnir eru allar úr PEX. Ofnalagnir eru úr svörtu stáli með ádragseinangrun annars vegar og PEH hins vegar. Ekki fundust upplýsingarr um ádragseinangrunina og því er hún ekki með í greiningunni.

Í kerfinu eru einnig stopplokar, tæmingarlokar, einstreymislokar, öryggislokar, stillilokar, þrýstimælir með loka, þrýstijafnarar og slaufulokar. Tekið skal fram að fyrir alla þessa íhluti var sami EPD notaður sem gefinn er út fyrir 1 kg af lokum af mismunandi gerð.

Tvær tegundir eru af dælum. Notaðar voru upplýsingar úr EPD fyrir samskonar dælu sem þó er aðeins háþróaðari heldur en þessar og var því gert ráð fyrir 85% af losun þeirrar dælu við

útreikninga fyrir þessar.

Fjórar tegundir eru af ofnum, tvær tegundir mótorloka, þensluker, loftskiljur og hitamælar. Fyrir þessa íhluti voru EPD skrár skamskonar íhluta notaðir. Einnig eru varmaskiptar, gólfhita-kistur og deiligrindur snjóbræðslu, sem ekki voru teknar með í lífsferilsgreininguna vegna skorts á gögnum.

Nánari upplýsingar um alla íhluti má finna í magnskrá hitaveitukerfis í viðauka A.

8 Lífsferilsgreining loftræsi- og hitakerfis

8.1 Markmið og umfang lífsferilsgreiningarinnar

Markmið lífsferilsgreiningarinnar er að meta þau umhverfisáhrif sem hita- og loftræsikerfi íbúðareininga Urriðaholtsstrætis 44-74 hafa á kolefnisspor bygginganna. Upplýsingar um magn og tegundir þeirra efna og íhluta sem notuð voru fengust úr þrívíddarlíkani byggingarinnar og gögnum frá hönnuðum, þ.e. almennum gögnum sem hönnuðir fyrirskrifuðu í hönnunarferlinu. Ef ekki voru til upplýsingar um lífsferil þeirra efna og íhluta sem fyrirskrifuð voru, voru upplýsingar um sambærilega íhluti notaðar.

Umfang rannsóknarinnar er greining á kolefnislosun tækniakerfanna á framleiðslustigi þ.e. öll sú losun kolefnis sem tengist framleiðslu allra íhluta loftræsi- og hitakerfisins, þ.e. flokkar A1-A3 samkvæmt LCA, ásamt þeirri losun kolefnis sem tengist endurnýjun íhluta á líftíma byggingarinnar, þ.e. flokkur B4 samkvæmt LCA. Ekki er áætlað eða gert ráð fyrir tækniframförum þegar kemur að endurnýjun íhluta heldur er gert ráð fyrir að eins íhlutur með eins virkni og úr sömu framleiðslu komi í stað þess gamla.

Aðgerðaeiningin (e. functional unit) er 1 m² af brúttó innri fleti (e. gross internal area, GIA) byggingar en sú aðgerðaeining leyfir samanburð milli misstórra bygginga. Miðað er við líftíma upp á 60 ár sem er í samræmi við aðrar vistferilsgreiningar á byggingum. Kerfismörkin eru þeir fasar sem teknir voru með í greininguna ásamt stærstu íhlutum kerfanna, þ.e. ekki eru teknir með veigaminni hlutar á borð við skráfur og festingar.

8.2 Gagnaöflun lífsferilsgreiningarinnar

Fyrst voru allir íhlutir kerfanna magnteknir úr BIM-líkani húsanna sem unnið var af Eflu, og upplýsingar um fyrirskrifaða íhluti, lengdir þeirra eða fjöldi skráð og sett upp í Excel fyrir öll 16 húsin. Eins og áður hefur komið fram má finna ítarlegar magntökur beggja kerfa má sjá í Viðauka A. Síðan var hafist handa við að finna upplýsingar um þá kolefnislosun sem verður við framleiðslu hvers íhlutar og líftíma þeirra með því að leita í þeim gagnagrunnum sem höfundur hafði aðgang að, þ.e. forritunum OneClick LCA og Gabi ásamt opinberum EPD-skrám. Í þeim tilvikum sem ekki voru til upplýsingar um þá hluti sem fyrirskrifaðir voru, var leitað að sambærilegum hlutum sem gefið hefur verið út EPD fyrir og upplýsingar um þá notaðar. Aðlagðar voru einingar íhlutanna að þeim aðgerðaeiningum sem notast var við í viðeigandi gögnum. Í töflu 4 má sjá alla íhluti og efni loftræsikerfisins sem notuð voru í greininguna, hversu mikið af þeim er í kerfinu og hver áætlaður líftími þeirra sé.

Tafla 4: Gögn fyrir lífsferilsgreiningu loftræsingar

	Magn	Eining	Líftími [ár]
Sívalir stokkar úr galvaniseruðu stáli Ø100	545	kg	60
Sívalir stokkar úr galvaniseruðu stáli Ø125	997	kg	60
Sívalir stokkar úr galvaniseruðu stáli Ø160	511	kg	60
Sívalir plastbarkar úr PE Ø75	1274	kg	60
Sívalir plastbarkar úr PE Ø160	312	kg	60
Inn/útblástursventill Ø100	5	kg	60
Inn/útblástursventill Ø125	46	kg	60
Loftinntaks/loftútkastsventill	31	kg	60
Loftinntaksrist bxh= 200x100	21	kg	60
Loftinntaksrist Ø125	6	kg	60
Hljóðgildra Ø125, lengd 600, þykkt 50	128	kg	60
Stilliloka Ø125	68	kg	60
Dreifibox með 2x75mm stútum í Ø125	192	kg	60
Dreifibox með 8x75mm stútum í Ø125	48	kg	60
Inn- og útblásturssamstæða með varmaendurvinnslu	839	kg	25
Varmaeinangrun 20mm	525	kg	60

Eins og sjá má eru allir íhlutir loftræsikerfanna, fyrir utan samstæðurnar, með líftíma út líftíma bygginganna. Samstæðunum þarf því að skipta út rúmlega einu sinni, en nákvæmir reikningar gefa 1,4 sinnum, sem reiknað er með. Aðrir íhlutir kerfisins endast öll 60 árin.

Í töflu 5 má sjá alla íhluti og efni hitakerfisins sem notuð voru í greininguna, hversu mikið af þeim er í kerfinu og hver áætlaður líftími þeirra sé.

Tafla 5: Gögn fyrir lífsferilsgreiningu hitakerfis

	Magn	Eining	Líftími [ár]
Gólfhitalagnir PEX Ø16	1020	kg	60
Snjóbræðslulagnir PEX Ø25	840	kg	60
Svart stál DN10	451	kg	40
Svart stál DN15	13	kg	40
Svart stál DN20	88	kg	40
Svart stál DN25	293	kg	40
PEH DN32	129	kg	60
PEH DN40	68	kg	60
Ofn 11 hxl:600x1400mm	1353	kg	30
Ofn 22 hxl:600x700mm	561	kg	30
Ofn 22 hxl:500x1200mm	832	kg	30
Ofn Runtyl VKM hxl:200x500mm	942	kg	30
Stopploki DN15	7	kg	10
Stopploki DN20	11	kg	10
Stopploki DN25	9	kg	10
Tæmingarloki 1/2"	3	kg	10
Einstreymisloki DN15	6	kg	10
Einstreymisloki DN20	5	kg	10
Öryggisloki 6 bar	3	kg	10
Stilliloki DN15	6	kg	10
Mismunaþrýstijafnari DN15	3	kg	10
Slaufuloki DN15	3	kg	10
Vatnsstýrður mótorkloki DN15	42	kg	10
Mótorkloki DN15	42	kg	10
Dæla 60kPa	103	kg	10
Dæla 80kPa	103	kg	10
Loftskilja DN20	19	kg	50
Þensluker 5L	37	kg	10
Þrýstimælir með 1/2"loka	12	kg	17
Hitamælir	14	kg	17

Eins og sjá má eru íhlutir hitakerfisins með misjafnlega langan líftíma, en aðeins PEH lagnirnar og PEX lagnirnar endast allan líftíma bygginganna. Loftskiljan endist í 50 ár og þarf því að skipta út á lífsferlinum, eða nákvæmlega 0,2 sinnum, sem reiknað er með þar sem hún er aðeins notuð í 10 ár eftir endurnýjun. Ofnarnir hafa líftíma uppá 30 ár og þarf að skipta út 1 sinni auk þess sem mælarnir hafa líftíma uppá 17 ár og þarf að skipta út nákvæmlega 3,5 sinnum. Lokarnir, þrýstijafnararnir, dælurnar og þenslukerin hafa líftíma uppá 10 ár og þarf því að endurnýja 5 sinnum yfir líftíma bygginganna.

8.3 Áhrifamat lífsferilsgreiningarinnar

Allar upplýsingar voru teknar saman og sett var upp lífsferilsgreining í Excel þar sem kolefnislosun (e. Global Warming Potential, GWP) hvers íhlutar var reiknuð út og hlutföll hvers og eins skoðuð. Nokkrir íhlutir eru ekki með í greiningunni þar sem ekki fundust upplýsingar um sem má lesa um í köflum 7.2 og 7.3. Notast var við EPD skrár sem fundust á netinu ásamt gögnum úr gagnagrunni hugbúnaðarins OneClick LCA og gagnagrunni hugbúnaðarins GaBi. Í töflu 6 má sjá alla íhluti loftræsikerfisins sem teknir voru með í greininguna, kolefnislosun þeirra fyrir hvorn flokk fyrir sig, þ.e. framleiðslu (A1-A3) og viðhald (B4), ásamt kolefnislosun þeirra í heild.

Tafla 6: Losunartölur (GWP) hvers íhlutar loftræsikerfisins

	GWP A1-A3 [kgCO_{2eq}]	GWP B4 [kgCO_{2eq}]	GWP [kgCO_{2eq}]
Sívalir stokkar úr galvaniseruðu stáli Ø100	3.963	0	3.963
Sívalir stokkar úr galvaniseruðu stáli Ø125	6.846	0	6.846
Sívalir stokkar úr galvaniseruðu stáli Ø160	3.802	0	3.802
Sívalir plastbarkar úr PE Ø75	3.707	0	3.707
Sívalir plastbarkar úr PE Ø160	908	0	908
Inn/útblástursventill Ø100	12	0	12
Inn/útblástursventill Ø125	127	0	127
Loftinntaks/loftútkastsventill	232	0	232
Loftinntaksrist b×h= 200x100	145	0	145
Loftinntaksrist Ø125	45	0	45
Hljóðgildra Ø125, lengd 600, þykkt 50	682	0	682
Stilliloka Ø125	467	0	467
Dreifibox með 2x75mm stútum í Ø125	559	0	559
Dreifibox með 8x75mm stútum í Ø125	140	0	140
Inn-og útblásturssamstæða með varmaendurvinnslu	4368	6115	10.483
Varmaeinangrun 20mm	688	0	688
Samtals	26.689	6.115	32.804

Pegar niðurstöður losunar loftræsikerfisins eru skoðaðar, má sjá að stærsti partur losunarinnar er af völdum stökkakerfisins þar sem stálstökkarnir bera ábyrgð á 44,5% af koltvísýringslosun kerfisins og PE-rörin 14,1%, sem gerir samanlagt 58,6%. Að sama skapi má líka sjá í töflu 4 að þeir vega þyngst. Losun koltvísýrings vegna loftræsisamstæðunnar er síðan næst mest eða 32,0%. Aðrir íhlutir bera ábyrgð á 0,04% - 2,8% af heildarlosun kerfisins.

Í töflu 6 má sjá alla íhluti hitakerfisins sem teknir voru með í greininguna, kolefnislosun þeirra fyrir hvorn flokk fyrir sig, þ.e. framleiðslu (A1-A3) og viðhald (B4), ásamt kolefnislosun þeirra í heild.

Tafla 7: Losunartölur (GWP) hvers íhlutar hitakerfisins

	GWP A1-A3 [kgCO _{2eq}]	GWP B4 [kgCO _{2eq}]	GWP [kgCO _{2eq}]
Gólfhitalagnir PEX Ø16	2815	0	2815
Snjóbræðslulagnir PEX Ø25	2318	0	2318
Svart stál DN10	1134	567	1701
Svart stál DN15	33	17	50
Svart stál DN20	222	111	333
Svart stál DN25	738	369	1107
PEH DN32	375	0	375
PEH DN40	198	0	198
Ofn 11 hxl:600x1400mm	6.115	6.115	12.230
Ofn 22 hxl:600x700mm	2.537	2.537	5.074
Ofn 22 hxl:500x1200mm	3.760	3.760	7.520
Ofn Runtyl VKM hxl:200x500mm	4.256	4.256	8.512
Stopploki DN15	53	264	317
Stopploki DN20	80	402	482
Stopploki DN25	62	310	372
Tæmingarloki 1/2"	23	115	138
Einstreymisløki DN15	45	223	267
Einstreymisløki DN20	32	161	193
Öryggisløki 6 bar	23	115	138
Stilliløki DN15	46	229	275
Mismunaprýstijafnari DN15	23	115	138
Slaufuløki DN15	23	115	138
Vatnsstýrður mótørløki DN15	337	1687	2024
Mótørløki DN15	337	1687	2024
Dæla 60 kPa	698	3488	4186
Dæla 80 kPa	698	34880	4186
Loftskilja DN20	155	31	186
Pensluker 5L	177	885	1062
Þrýstimælir með 1/2"løka	87	217	304
Hitamælir	100	250	350
Samtals	27.498	31.860	59.358

Þegar niðurstöður losunar hitakerfisins eru skoðaðar, má sjá að langstærsta hluta losunarinnar verður vegna ofnanna, eða 56,5%. Líkt og með loftræsikerfið má sjá í töflu 5 að þeir vega einnig mest af öllum íhlutum. Því næst koma lagnirnar með 15,1% losunarinnar. Það skiptist þannig að PEX lagnirnar losa 8,7% af kerfinu, svarta stálið losar 5,4% og PEH lagnirnar losa 1,0%. Dælurnar losa sitt hvor 7,1% heildarlosunarinnar. Mótørløkarnir losa hvor um sig 3,4% af

heildinni og þenslukerinn 1,8%. Aðrir íhlutir losa á bilinu 0,2% - 1,8% af heildarlosun kerfisins.

8.4 Niðurstöður og næmnigreining vistferilsgreiningar

Heildarlosun koltvísýrings fyrir bæði kerfi, loftræsi- og hitakerfi, er hægt að finna í töflum 8 og 9 þar sem farið er yfir heildarlosun á líftíma, heildarlosun á ári, heildarlosun á hvern fermetra á líftímanum ásamt heildarlosun á hvern fermetra á ári. Það er ekki svo að kerfin losi þetta magn koltvísýrings á ári heldur hafa þau nú þegar losað hann við upphaflega framleiðslu (A1-A3) og munu losa koltvísýringinn vegna viðhalds (B4) þegar að endurnýjunar þeirra íhluta kemur. Er þessi framsetning aðeins til þess að einfalda samanburð við allar tegundir kerfa í öllum tegundum bygginga. Notast er við að hver íbúðareining sé 170 m² og þar sem það eru 16 íbúðareiningar fást 2.720 m².

Tafla 8: Koltvísýringslosun frá framleiðslu og viðhaldi loftræsikerfisins

	kgCO _{2eq}	kgCO _{2eq} /ári	kgCO _{2eq} /m ² 60 ár	kgCO _{2eq} /m ² ár
Upphaflegt framleiðsluferli(A1-A3)	26.689	445	9,8	0,16
Viðhald(B4)	6.115	102	2,3	0,037
Samtals	32.804	547	12,1	0,20

Fyrir loftræsikerfið fæst að heildarmagn af koltvísýringi sem losnar á hvern fermetra á ári er 0,20 kg og 12,1 kg á hvern fermetra yfir líftíma byggingarinnar, þ.e. á 60 árum. Samkvæmt skýrslu frá Byggjum grænni framtíð um mat á kolefnislosun frá íslenskum byggingariðnaði losar framleiðsla fyrir byggingu íbúðarhúsnæðis úr timbri 50 kgCO_{2eq}/m² svo samkvæmt niðurstöðum þessarar lífsferilsgreiningar er framleiðsla tækniakerfanna 24% af heildarlosun framleiðslu timburbygginga[58]. Losunin í heild er 32.804 kg af koltvísýringi sem gerir að á ári eru það 547 kg af koltvísýringi. Til samanburðar, losar meðalstór fólksbíl sem eyðir 9,5 l/100 km af bensíni með meðalkeyrslu uppá 15.000 km á ári, 3.277,5 kg af koltvísýringi á ári sem gerir 196.650,0 kg af koltvísýringi á 60 árum [59]. Er því sú losun koltvísýrings sem framleiðsla og viðhald loftræsikerfisins losar jöfn þeirri losun sem meðalstór fólksbíl eyðir á 10 árum.

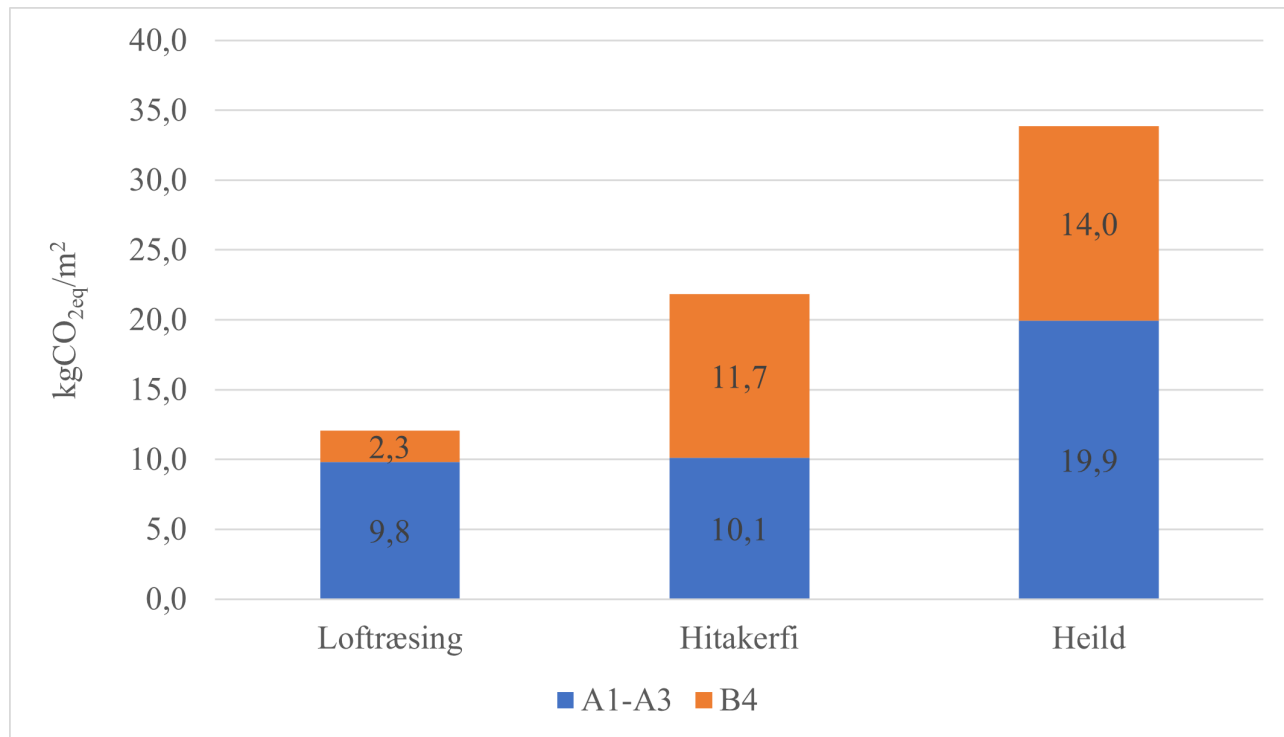
Tafla 9: Koltvísýringslosun frá framleiðslu og viðhaldi hitakerfisins

	kgCO _{2eq}	kgCO _{2eq} /ári	kgCO _{2eq} /m ² 60 ár	kgCO _{2eq} /m ² ár
Upphaflegt framleiðsluferli(A1-A3)	27.498	458	10,1	0,17
Viðhald(B4)	31.860	531	11,8	0,20
Samtals	59.358	989	21,8	0,37

Fyrir hitakerfið fæst að heildarmagn af koltvísýringi sem losnar á hvern fermetra á ári er 0,37 kg og 21,8 kg á hvern fermetra yfir líftíma byggingarinnar, þ.e. á 60 árum. Losunin í heild er 59.358 kg af koltvísýringi sem gerir að á ári eru það 989 kg af koltvísýringi sem losna.

Sé það borið saman við meðalstóra fólksbílinn sem eyðir 3.277,5 kg af koltvísýring á ári, losar framleiðsla og viðhald loftræsikerfisins jafn mikin koltvísýring og fólksbílinn gerir á rúmum 18 árum.

Á mynd 16 má sjá losun koltvísýrings á m^2 fyrir hvort lífsferilsstig fyrir sig fyrir bæði kerfi og kerfin saman.



Mynd 16: Losun CO_{2eq} á m^2

Pegar á heildina er litið losar hitakerfið meira CO_{2eq} heldur en loftræsikerfið. Íhlutir loftræsikerfisins eru flestir með langan líftíma og er því lítil losun sem á sér stað vegna viðhalds, þ.e. um 19% á móti 81% upphaflegrar efnisnotkunar. Hins vegar er það nokkuð jafnt fyrir hitakerfið en hlutfall koltvísýringslosunar vegna viðhalds er aðeins hærra heldur en upphaflegrar framleiðslu kerfisins, eða um 53% á móti 47%. Sé heildin þó skoðuð, þ.e. kerfin saman, losar upphafleg efnisnotkun meira en viðhald eða um 59% á móti 41%. Eins og áður hefur komið fram, eru þó fleiri íhlutir sem vantar í greiningu hitakerfisins heldur en loftræsikerfisins.

Byggingar hafa yfirleitt lengri líftíma heldur en 60 ár og var því gerð næmnigreining til þess að sjá þau áhrif sem líftíminn hefur á lífsferilsgreininguna. Sjá má á töflum 10 og 11 ásamt mynd 17 niðurstöðurnar þegar líftíminn var hafður 30 ár, 75 ár og 100 ár ásamt niðurstöðunum fyrir 60 ár til viðmiðunar.

Tafla 10: Næmnigreining fyrir loftræsikerfið með tilliti til líftíma [kgCO_{2eq}/m²/ár]

	30 ár	60 ár	75 ár	100 ár
Upphaflegt framleiðsluferli(A1-A3)	0,33	0,16	0,13	0,10
Viðhald(B4)	0,011	0,037	0,043	0,048
Samtals	0,34	0,20	0,17	0,15

Pegar stytt hefur verið lífaldur byggingarinnar úr 60 árum niður í 30 ár má sjá að heildarlosun loftræsikerfisins fer úr 0,20 CO_{2eq}/m²/ári í 0,34 CO_{2eq}/m²/ári sem er 70% aukning. Þegar horft er á A1-A3 verður losunin á 30 ára lífsferli rúmlega tvöfalt meiri heldur en á 60 árum á meðan fyrir B4 verður hún 70% minni. Er þessi mikli munur vegna þess hve mikil losun verður við upphaflegu framleiðslu allra íhluta sem hafa langan endingartíma en eru svo aðeins notaðir í 30 ár.

Pegar losunin á 60 ára líftíma er svo borin saman við 75 ára og 100 ára líftíma má sjá að töluvert minni breyting verður á milli þessara skeiða heldur en á milli 30 og 60 ára. Á milli 60 og 75 ára líftíma minnkar losun um 0,03 CO_{2eq}/m²/ári eða 15% og um 0,05 CO_{2eq}/m²/ári eða 25% á milli 60 og 100 ára. Fyrir A1-A3 minnkar losunin um 19% milli 60 ára og 75 ára líftíma og um 38% milli 60 og 100 ára. Fyrir B4 eykst losunin á milli 60 og 75 ára líftíma um 16% á meðan hún eykst um 30% á milli 60 og 100 ára.

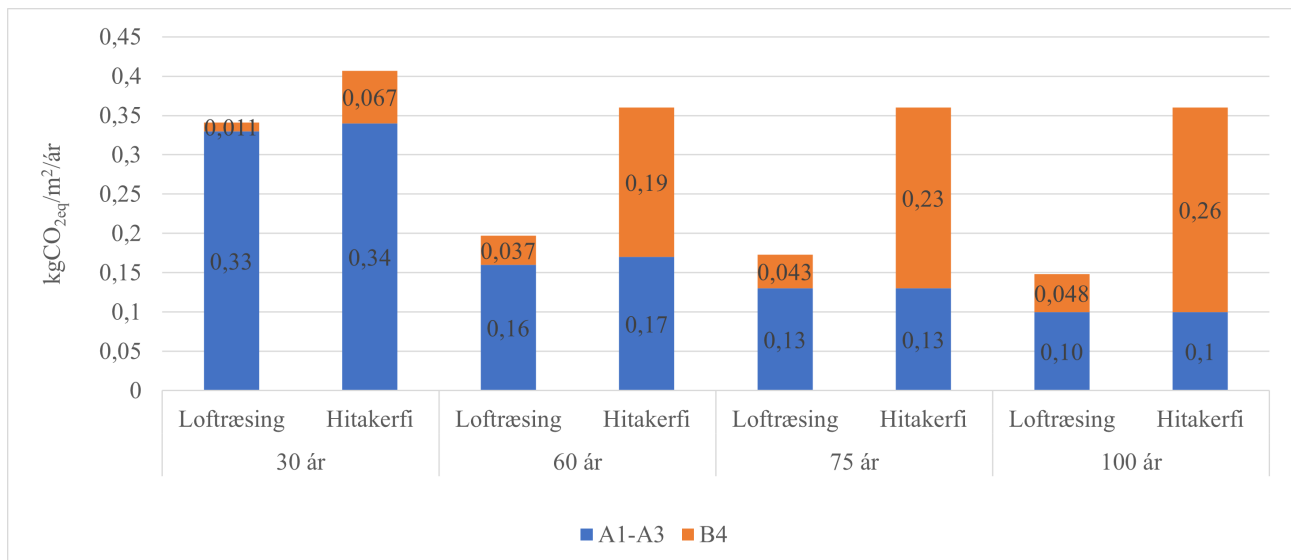
Er þessi mikli munur á A1-A3 og B4 vegna þess hve mikil losun verður við upphaflegu framleiðslu allra íhluta sem hafa langan endingartíma en eru svo aðeins notaðir í 30 ár. Í hitakerfinu er hins vegar minni losun í upphaflegu framleiðslunni en íhlutir þess hafa styttri endingartíma heldur en í loftræsikerfinu og þarf því að skipta örar út.

Tafla 11: Næmnigreining fyrir hitakerfið með tilliti til líftíma [kgCO_{2eq}/m²/ár]

	30 ár	60 ár	75 ár	100 ár
Upphaflegt framleiðsluferli(A1-A3)	0,34	0,17	0,13	0,10
Viðhald(B4)	0,067	0,19	0,23	0,26
Samtals	0,41	0,36	0,36	0,36

Líkt og með loftræsikerfið, má sjá að þegar stytt hefur verið lífaldur byggingarinnar úr 60 árum niður í 30 ár fer heildarlosun hitakerfisins hækkandi, þ.e. úr 0,36 CO_{2eq}/m²/ári í 0,41 CO_{2eq}/m²/ári, sem er 14% aukning. Þegar horft er á A1-A3 verður losunin á 30 ára lífsferli tvöfalt meiri en á 60 árum, en fyrir B4 verður hún 65% minni.

Pegar losunin á 60 ára líftíma er svo borin saman við 75 ára og 100 ára líftíma má sjá að töluvert minni breyting verður á milli þessara skeiða heldur en á milli 30 og 60 ára. Á milli bæði 60 og 75 ára líftíma og á milli 60 og 100 ára, minnkar losun um 0 CO_{2eq}/m²/ári. Fyrir A1-A3 minnkar losunin um 24% milli 60 ára og 75 ára og um 41% milli 60 og 100 ára. Fyrir B4 eykst losunin milli 60 og 75 ára líftíma um 21% og um 37% á milli 60 og 100 ára.



Mynd 17: Næmnigreining fyrir loftræsi- og hitakerfið með tilliti til líftíma

Pegar litið er á samanburð kerfanna má sjá að við 30 ára líftíma er lítill munur á kerfunum tveimur og losar hitakerfið 0,08 CO_{2eq}/m²/ári meira heldur en loftræsing. Við 60 ára líftíma eykst meira á mismun kerfanna og fer hann í 0,16 CO_{2eq}/m²/ári. Við 75 ára líftíma hægist á breytingum kerfanna og er mismunurinn þar 0,18 CO_{2eq}/m²/ári eða 0,02 CO_{2eq}/m²/ári heldur en við 60 ára lífaldur. Við 100 ára líftíma stendur mismunurinn í 0,21 CO_{2eq}/m²/ári og er þá mismunur kerfanna aftur farinn að aukast þar sem hann er 0,03 CO_{2eq}/m²/ári meira en við 75 ára lífaldur. Eins og talað er um hér að ofan er það vegna þess hversu langan líftíma hver íhlutur loftræsikerfisins hefur á meðan íhlutum hitakerfisins þarf að skipta örar út. Má sjá að greiningin er nokkuð næm fyrir líftíma, þá sérstaklega í upphafi, og breytir miklu hvort um sé að ræða 30 ára líftíma og 60 ára líftíma, þá sérstaklega fyrir loftræsikerfi.

9 Orkuútreikninar byggingar

Eins og fram hefur komið er orkunotkun bygginga í brennidepli og sífellt verið að reyna að finna lausnir til að draga úr orkunotkun. Markmið orkuútreikninga er að meta áætlaða orkunotkun miðað við hönnun og uppbyggingu húsanna og kerfanna ásamt því að meta ávinning þess að vera með loftræsikerfi. Hermt er fyrir þrjú tilfelli:

1. Vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu - niðurstöður þessa tilfellis eiga að endurspegla húsinn eins og þau eru uppbyggð í raun þar sem föstu loftmagni er blásið inn í húsinn og útsog á móti.
2. Vélrænt loftræsikerfi án varmaendurvinnslu - niðurstöður þessa tilfellis eiga að endurspegla byggingar sem loftræstar eru með vélrænu útsogi en innblæstri um ventla eða ristar, þ.e. fast loftmagn.
3. Náttúruleg loftræsing - niðurstöður þessa tilfellis eiga að endurspegla byggingu sem ekki er búin vélrænu loftræsikerfi heldur einungis loftræst gegnum opnanleg fög. Þetta tilvik er sett fram svo hægt sé að meta hvort kolefnislosun við framleiðslu sé ásættanleg miðað við orkusparnað ef notast er við loftræsikerfi með varmaendurvinnslu. Hér sé loftmagn breytlegt og forritin leytist við að herma hegðun íbúa.

Notast var við forritin IDA ICE og Simien og niðurstöður þeirra bornar saman við raunorkunotkun. Upplýsingum um raunorkunotkun var aflað frá íbúum. Með þessu er hægt að sjá hversu nákvæm hermiforritin eru samanborið við rauntölur og hvort það sé jafnvel tækifæri er til bætingar á orkunotkun með endurskoðun á því hvernig kerfin eru keyrð. Einnig hvort hægt er að bera forritin saman í virkni og í nákvæmni niðurstaða.

9.1 Uppbygging húsanna

Allar upplýsingar um stærðir útveggja, herbergja, glugga, hurða og alls sem viðkemur útliti húsanna var tekið upp af teikningum arkitekta [2]. Eins og áður hefur komið fram segir U-gildi til um hversu vel einangraður byggingarhlutinn er og hefur eininguna $W/(m^2 K)$. U-gildi útveggja, gólfa og þaks voru reiknuð út skv. ÍST 66 og út frá deilum sem gefin voru út af Eflu [2] og má sjá þá útreikninga í töflum 15, 16 og 17. Uppbyggingu byggingarhlutanna má sjá á mynd 8.

Til þess að geta reiknað út U-gildi byggingarhlutanna var varmamótstaðan, R , fyrst reiknuð út frá varmaleiðnitölu og þykkt efnisins, sjá jöfnur 1 og 2. Niðurstöður útreikninga á varmamótstöðu má sjá í töflum 12, 13 og 14

Tafla 12: Útreikningar R-gildis útveggja skv. ÍST 66

	D [mm]	K [W/(m K)]	R [m ² K/W]
Klæðning	2	1,9	0,001
Loftbil	25	-	0,08
Steinull	100	0,034	2,94
CLT veggur	100	0,13	0,77
			3,79

U-gildi útveggja er því 0,26 W/(m² K).

Tafla 13: Útreikningar R-gildis gólfs skv. ÍST 66

	D [mm]	K [W K/m]	R [m ² K/W]
Gólfefni	17	0,17	0,10
Undirlag	3	0,034	0,088
Steypt plata	130	1,95	0,067
Einangrun undir plötu (EPS)	100	0,033	3,03
Jarðvegur			1,5
			4,79

U-gildi gólfs er því 0,21 W/(m² K).

Tafla 14: Útreikningar R-gildis þaks skv. ÍST 66

	D [mm]	K [W K/m]	R [m ² K/W]
Jarðvegur	120	1	0,12
Steinull	250	0,038	6,58
CLT plata	120	0,13	0,92
			7,62

U-gildi þaks er því 0,13 W/(m² K).

Samkvæmt ÍST 66 er einangrun í einu lagi á útveggjum, gólfi og þaki, ásamt dýflum og vinklum fyrir útveggi, sem taka þarf með í reikninginn. Er því sú einangrun lögð saman við eiginlegt U-gildi byggingarhlutanna til þess að fá loka niðurstöðu.

Tafla 15: Útreikningar U-gildis útveggja skv. ÍST 66

Útveggur	0,26
Einangrað í einu lagi U'	0,01
Dýflur og vinklar U'	0,03
	0,30

Tafla 16: Útreikningar U-gildis gólfs skv. ÍST 66

Gólf	0,21
Einangrað í einu lagi U'	0,01
	0,22

Tafla 17: Útreikningar U-gildis þaks skv. ÍST 66

Þak	0,13
Einangrað í einu lagi U'	0,01
	0,14

U-gildi hurða og glugga fengust frá framleiðanda, IdealCombi (IC Frame) [28]. Samantekt U-gilda má finna í töflu 18 ásamt lágmarkskröfum reglugerðar. Kuldabryr voru skilgreindar skv. ÍST 66 [27].

Tafla 18: U-gildi þeirra byggingarhluta sem notuð voru við útreikninga og byggingarreglugerðar

Byggingarhluti	Notuð U-gildi [W/m^2]	U-gildi reglugerðar [W/m^2]
Útveggir	0,30	0,40
Gólf	0,22	0,30
Þak	0,14	0,20
Gluggar	1,32	2,00
Hurðar	0,88	3,00

Sjá má að U-gildi raunbyggingarinnar eru töluvert lægri heldur en kröfur byggingarreglugerðar segja til um og húsið því vel einangrað.

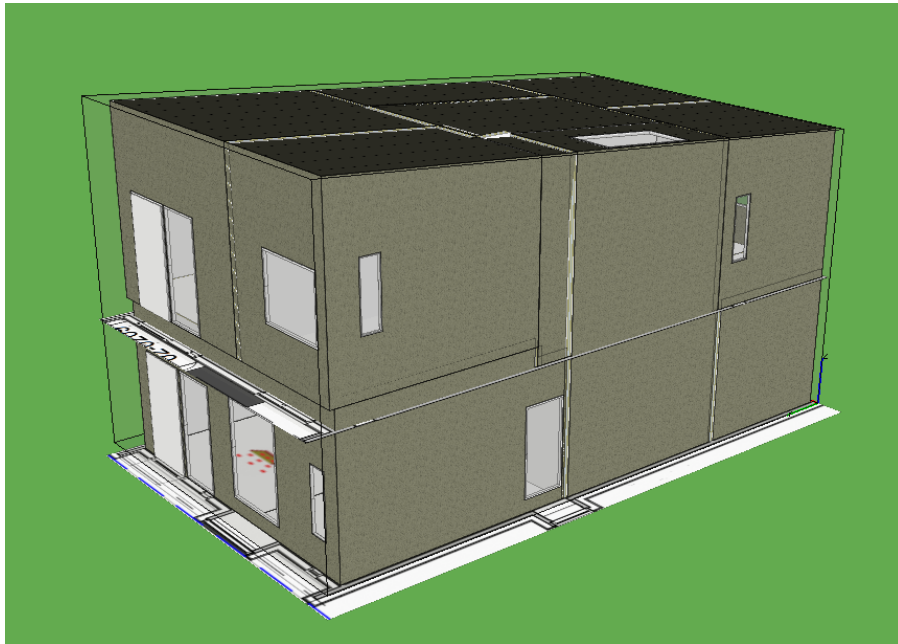
Upplýsingar um hita- og loftræsikerfi húsanna fengust af útgefnum teikningum frá Eflu [2], þ.e. fjöldi ofna og afl þeirra, slaufufjöldi og afl gólfhita, loftmagn frá loftræsistæðu og staðsetning loftræsistokka. Teikningar af þessum kerfum má sjá í kafla 7. Áætlað hitastig innlofts var 19°C og loftþéttleiki húsanna, sem var mældur af Eflu, er $0,411 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$ [28]. Byggingarreglugerð gerir þá kröfu að íbúðarhús hafi loftþéttleika minni en $3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$ og því ljóst að húsin uppfylla þá kröfu og gott betur. Þar sem loftræsikerfi húsanna er útbúið varmaendurvinnslu er notast við mestu mögulegu endurnýtingu þeirrar stæðu, R3 smart, eða 86%.

9.2 Uppsetning í IDA ICE og Simien

Þar sem raðhúsin eru tvennskonar, endahús með þrjá heila útveggi og miðjuhús með tvo heila útveggi, var sett upp eitt líkan fyrir hvora tegund. Til þess að athuga ávinning þess að vera með loftræsikerfi með varmaendurvinnslu voru líkönin einnig hermd með vélræna loftræsingu án varmaendurvinnslu og náttúrulega loftræsingu. Náttúruleg loftræsing er þegar aðeins er stuðst við glugga, en ekkert vélrænt útsog eða innblástur. Þá var loftþéttleikinn skilgreindur sem $3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$, þar sem ekki eru til mælingar fyrir loftþéttleika húsanna með náttúrulega

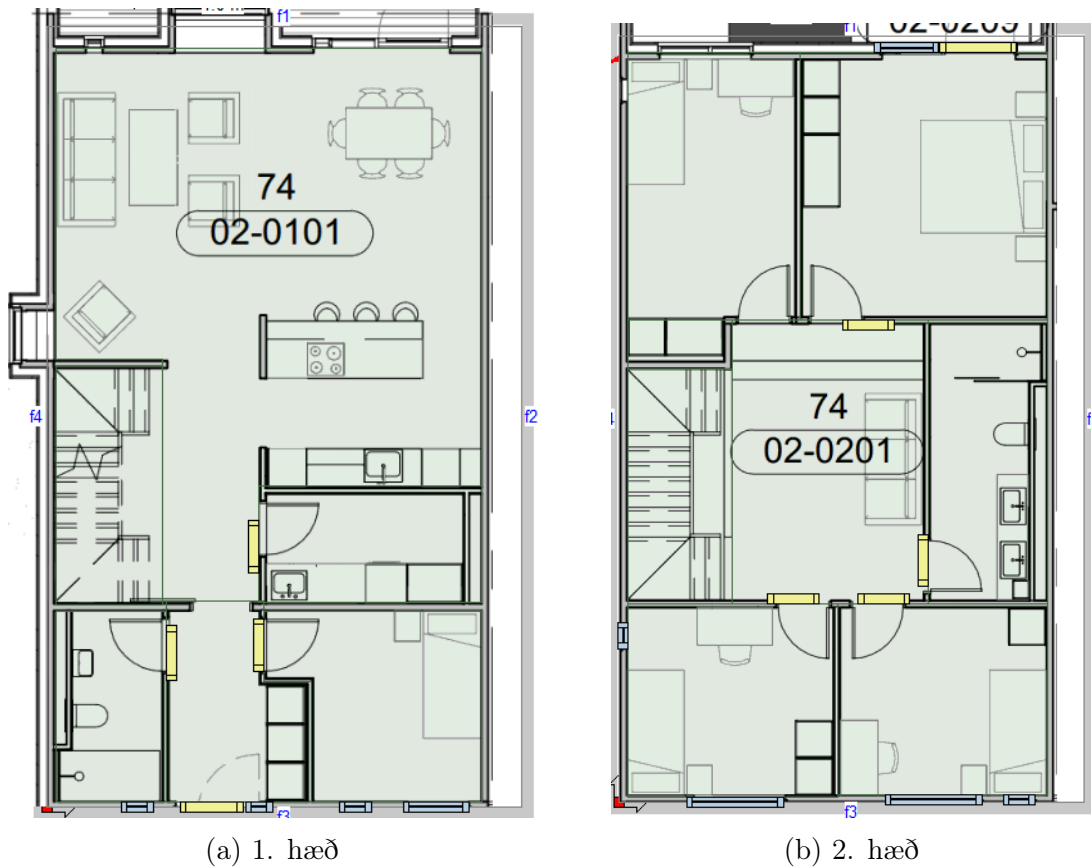
loftræsingu, en eins og fram hefur komið má loftþéttleiki ekki fara yfir það mark samkvæmt byggingarreglugerð [10]. Aðeins var hermt og niðurstöður skoðaðar með tilliti til hitaveituvatns.

Í fyrstu var sett upp líkan hússins í IDA ICE og snúningsáttir hvernar hliðar skilgreindar miðað við Urriðaholtsstræti 60-74, sjá má skjáskot af 3D líkani fyrir endahús á mynd 18.



Mynd 18: Mynd af 3D líkaninu úr IDA ICE

Húsinu var síðan skipt niður í svæði eftir stærð og lögun herbergja. Sjá má grunnmyndir á mynd 19.



Mynd 19: Grunnmyndir móðelsins í IDA ICE

Gluggar og hurðar voru merkt inn ásamt lofthæð rýmanna. Aðrar upplýsingar sem þarfar eru fyrir hermuninar voru settar inn, þ.e. staðsetning og stærð ofna og gólfhita, U-gildi hurða, glugga, veggja, þaks og gólfs, allar stillingar loftræsikerfisins settar inn og fjöldi íbúa. Ársnotkun var áætluð þar sem IDA ICE notast við árskúrfu hitastigs í Reykjavík árið 2013. Sjá má skjáskot af stillingum IDA ICE sem varða veðurfar á mynd 20 hér fyrir neðan.

Location

Location Reykjavik_040300 (ASHRAE 2013)

Position

Country Iceland

City Reykjavik

Latitude 64.13 N ° Elevation 61 m

Longitude 21.9 W ° Time zone 0 h

Climate description © ISL_REYKJAVIK_040300(IW2)

Design day data

Design data file ASHRAE 2013\040300.tbl User-defined design days

Dry-bulb min Winter -9.6 Summer 10.3 °C

Dry-bulb max -4.8 16.9 °C

Wet-bulb max -6.2 12.7 °C

Wind direction 90 350 °

Wind speed 4.0 4.9 m/s

Clear-sky tau_b 0.333 0.325

optical depth tau_d 2.372 2.405

Object

Name Reykjavik_040300 (ASHRAE 2013)

Description Data from ASHRAE Fundamentals 2013

OK Cancel Save as... Help

(a) Staðsetning

© ISL_REYKJAVIK_040300(IW2): resource object in building_endaradhus

Filename ISL_REYKJAVIK_040300_IW2.PRN View data

Wind measurement height 10.0 [m]

Position

Station REYKJAVIK

Country Iceland

Latitude 64.132 N [°] Elevation 61.0 [m]

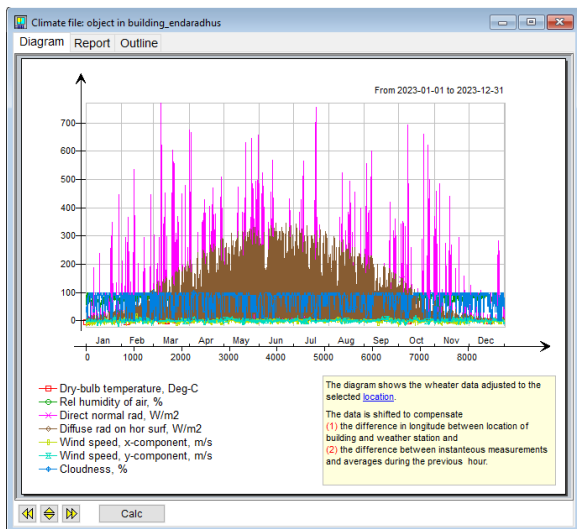
Longitude 21.9 W [°] Time zone 0 [h]

Object

Name ISL_REYKJAVIK_040300(IW2)

Description ASHRAE IWEC2 Weather File for REYKJAVIK.
(c) 2011 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA, USA
DISCLAIMER OF WARRANTIES: The program developer, ASHRAE, and the distributors of this program and data do

(b) Veðurfar



(c) Skýringarmynd veðurfars

Climate file: object in building_endaradhus

Diagram Report Outline

Climate file

IDA Indoor Climate and Energy 4.802 License: ICE40X:ICE40X:23APR/V8G9B (trial license)

Object: Climate file

Description:

Date: 2023-01-01 - 2023-12-31

Saved: 22.2.2023 09:38:42

	Dry-bulb temperature, Deg-C	Rel humidity of air, %	Direct normal rad, W/m2	Diffuse rad on hor surf, W/m2	Wind speed, x-component, m/s	Wind speed, y-component, m/s	Cloudiness, %
January	-0.2	74.7	15.2	4.2	-3.8	-0.4	73.4
February	-1.1	78.8	30.6	16.5	-0.3	0.8	78.1
March	0.4	80.0	50.2	41.1	-2.6	0.3	73.0
April	3.8	73.2	74.2	76.3	-2.7	0.0	71.5
May	6.5	74.6	76.4	108.5	-0.9	1.3	75.3
June	9.5	76.4	75.2	121.4	-0.4	-0.2	76.2
July	11.2	78.8	63.8	112.7	0.1	0.5	76.1
August	10.7	83.5	60.8	86.5	0.3	0.5	74.1
September	8.0	80.0	44.2	52.8	-0.1	1.8	76.6
October	4.9	75.9	47.9	24.2	-1.9	0.6	72.2
November	2.1	77.1	24.5	6.8	-3.6	1.6	72.3
December	0.5	83.4	5.5	1.7	-1.2	0.9	72.4
mean	4.7	78.0	47.5	54.6	-1.4	0.6	74.2
mean*8760.0 h	41367.9	683660.0	415719.0	478191.0	-12444.8	5540.6	650225.0
min	-1.1	73.2	5.5	1.7	-3.8	-0.4	71.5
max	11.2	83.5	76.4	121.4	0.3	1.8	78.1

(d) Skýrsla veðurfars

Mynd 20: Grunnmyndir móðelsins í IDA ICE

Sjá má skjáskot af öllum stillingum IDA ICE í viðauka B.

Við hönnun húsanna var sett upp líkan í Simien, svokallað viðmiðunarhús. Var það nýtt í þetta verkefni með því að aðlaga það að þeim raungildum sem nú eru þekkt eftir að húsin hafa verið byggð. Garðskúrinn var tekinn út þar sem í upphaflegum teikningum átti hann að vera upphitaður með ofni en í dag er engin ofn í skúrnum heldur eru tengigrindur óeinangraðar og nýttar til hitunnar. Breyta þurfti loftþéttleika þar sem hann hefur verið mældur og uppfæra þurfti varmaendurnýtni loftræsikerfisins. U-gildi útveggja, þaks og gólfs voru uppfærð út frá þeim útreikningum sem sjá má hér á undan. Simien notast við staðlað kuldaþrúargildi úr

norskum stöðlum. Sjá má á mynd 21 þær upplýsingar um veður sem Simien styðst við, við hermun líkananna. Aðrar stillingar og breytur úr Simien má sjá í viðauka C.

Mynd 21: Skjáskot úr Simien af upplýsingum um veðurfar í Reykjavík

9.3 Niðurstöður orkuútreikninga

Hermun beggja forrita byggðist á sömu breytum og því má áætla að um sambærilegar niðurstöður að ræða. Snjóbræðslan er útbúin innspýtingu en affall ofnakerfis er það heitt, þ.e. 35°C, svo ekki reynir á þá innspýtingu og því ekki þörf á að skilgreina hana sérstaklega í útreikningum. Sum húsanna eru útbúin heitum potti sem ekki er tekinn með í orkuútreikningana. Sjá má niðurstöður hermanna í töflu 19 hér að neðan.

Tafla 19: Orkunotkun húsanna

	IDA ICE [kW h/m ²]	Simien [kW h/m ²]
Endaraðhús		
Vélræn loftræsing með varmaendurvinnslu	80,5	80,9
Vélræn loftræsing án varmaendurvinnslu	132,7	159,7
Náttúruleg loftræsing	87,9	94,5
Miðjuraðhús		
Vélræn loftræsing með varmaendurvinnslu	74,5	70,0
Vélræn loftræsing án varmaendurvinnslu	114,1	147,1
Náttúruleg loftræsing	76,0	83,1

Sjá má að þegar notast er við vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu minnkar orkunotkun byggingarinnar um 2,0% - 8,5% samkvæmt IDA ICE og um 14,4% - 15,8% samkvæmt Simien sé hún borin saman við orkunotkun byggingarinnar þar sem notast er við náttúrulega

loftræsingum. Má þetta teljast nokkuð lágt og virðist vera að forritin geri aðeins ráð fyrir breytingum á loftlekanum. Einnig virðist vera að gert sé ráð fyrir að lítið sé loftað, þ.e. að gluggar og hurðar séu lítið sem ekkert opnaðar, þar sem mjög lítillar upphitunar á útilofti er þörf. Þetta tilfelli er því í raun ekki að endurspegla nægilegt loftmagn.

Þegar borin eru saman vélræna loftræsikerfið með og án varmaendurvinnslunnar er orkubörf kerfisins með endurvinnslunni um 35% - 40% minni samkvæmt IDA ICE og um 49% - 52% samkvæmt Simien. Hér er um fast loftmagn að ræða svo mikil orka fer í að hita upp kalda loftið sem kemur inn um ristar og túður. Má því áætla að raunverulega sé orkunotkun með náttúrulegri loftræsingum á bilinu á milli þessara tveggja tilfella, þ.e. þeirra niðurstæða sem fengust úr náttúrulegu loftræsingunni og vélrænu loftræsingunni án varmaendurvinnslu.

Þegar skoðaðar eru niðurstæður fyrir húsin útbúin náttúrulegri loftræsingum gefur IDA ICE 7,0% lægri niðurstæðu heldur en Simien fyrir endaraðhús og 8,5% lægri niðurstæður fyrir miðjuraðhús. Niðurstæður IDA ICE fyrir endaraðhús þegar gert er ráð fyrir vélrænni loftræsingum með varmaendurvinnslu er aðeins 0,49% lægri en niðurstæður Simien. Hins vegar snýst þetta við þegar um er að ræða miðjuraðhús og gefur þá Simien 6,0% lægri niðurstæður heldur en IDA ICE. Töluvert munar á niðurstæðum IDA ICE og Simien fyrir vélræna loftræsingum án varmaendurvinnslu en IDA ICE gefur 17% lægri niðurstæður heldur en Simien fyrir endaraðhús og 22% lægri niðurstæður fyrir miðjuraðhús.

Þriðja útgáfa viðmiða Svansins gerir þá kröfu að orkunotkun bygginga skuli vera undir 160 kW h/m². Það er því ljóst að forritin, IDA ICE og Simien, gefa þær niðurstæður að bæði endaraðhúsin og miðjuraðhúsin uppfylli þau skilyrði, bæði með vélrænni loftræsingum með og án varmaendurvinnslu og einnig þegar um náttúrulega loftræsingum er að ræða.

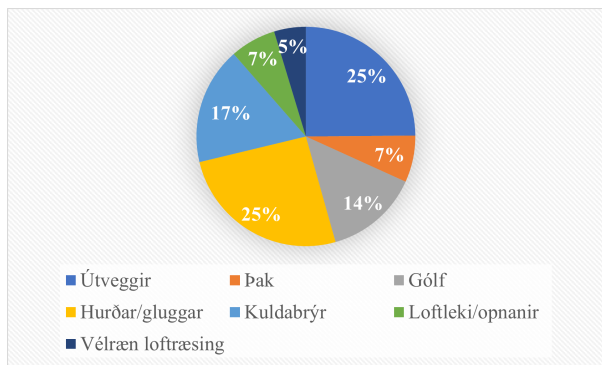
Í viðmiðunarhúsinu var notast við lágmkarkskröfur byggingarreglugerðar til þess að meta orkubörf þeirra ef húsin yrðu hönnuð þannig að aðeins væri markmiðið að standast hana. Niðurstæður þeirra hermanna má sjá í töflu 20 hér að neðan ásamt þeim gildum sem húsin þufa að uppfylla til þess að uppfylla 4. útgáfu af kröfum Svansins.

Tafla 20: Orkunotkun viðmiðunarhúss

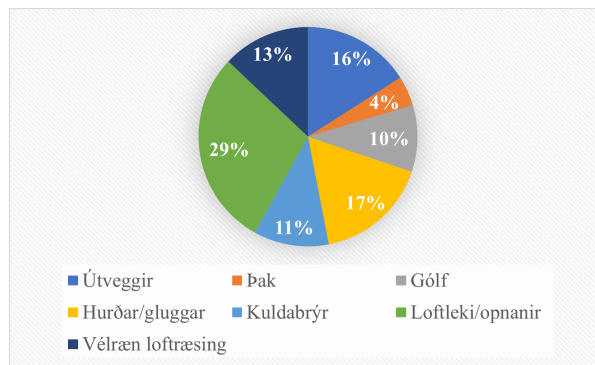
	Orkunotkun [kW h/m ²]	20% minni orkunotkun [kW h/m ²]
Endaraðhús	202,6	162,1
Miðjuraðhús	181,9	145,5

Sjá má að endaraðhús uppfyllir skilyrði 4. útgáfu af kröfum Svansins fyrir öll tilfelli loftræsingarinnar samkvæmt báðum forritum, þar sem 20% minni orkunotkun viðmiðunarhúsanna er hærri heldur en niðurstæður raunverulegu húsanna. Þegar um er að ræða miðjuraðhús uppfylla öll tilfelli loftræsingarinnar þessar kröfur samkvæmt IDA ICE. Hins vegar uppfyllir vélræn loftræsing án varmaendurvinnslu ekki kröfurnar samkvæmt Simien fyrir miðjuraðhús. Hér skal ítreka að þegar hermt er fyrir náttúrulega loftræsingum virðast forritin ekki gera raunhæfar ályktanir hvað varðar loftmagn til upphitunar og því mögulegt að ekki um marktækar niðurstæður sé að ræða.

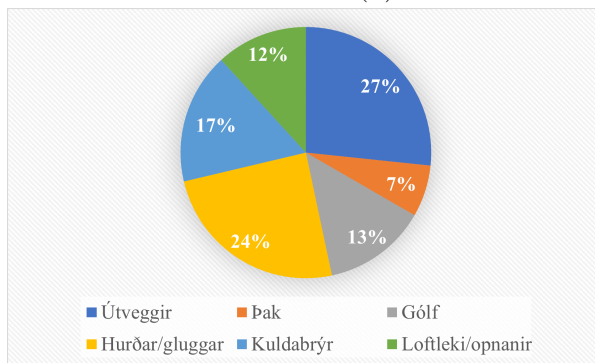
Á eftirfarandi myndum, þ.e. mynd 22, mynd 23, mynd 24 og mynd 25, má sjá hlutfall varmataps húsanna eftir þeim þáttum sem spila þar inni samkvæmt hvoru forriti fyrir sig.



(a) Vélræn loftræsing með varmaendurvinnslu

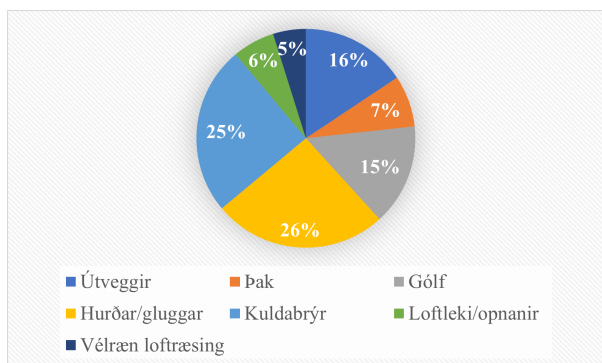


(b) Vélræn loftræsing án varmaendurvinnslu

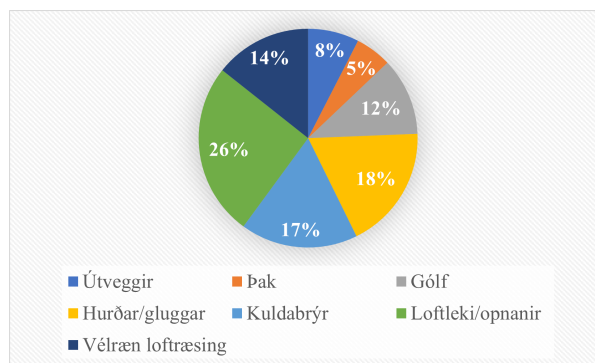


(c) Náttúruleg loftræsing

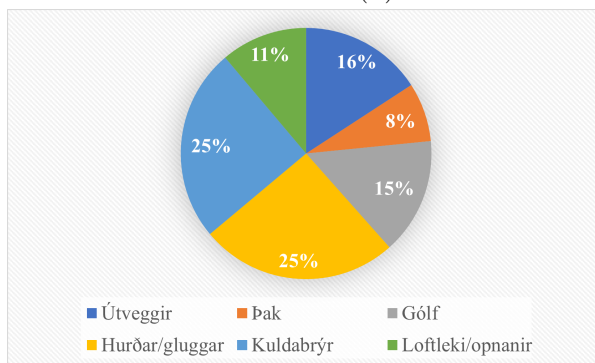
Mynd 22: Hlutfallslegt varmatap endahúss samkvæmt IDA ICE



(a) Vélræn loftræsing með varmaendurvinnslu



(b) Vélræn loftræsing án varmaendurvinnslu



(c) Náttúruleg loftræsing

Mynd 23: Hlutfallslegt varmatap miðjuhúss samkvæmt IDA ICE

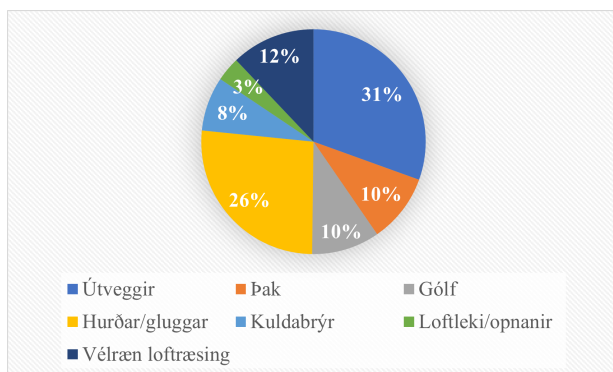
Samkvæmt IDA ICE eru það útveggir, hurðar og gluggar sem eiga stærstan þátt í varmatapi

endaradhúsa, bæði þar sem um vélræna loftræsinguna með varmaendurvinnslu og náttúrulega loftræsinguna er að ræða. Því næst eru það kuldabryr og svo gólf. Þegar skoðaðar eru niðurstöðurnar fyrir miðjuraðhúsin fyrir vélræna loftræsinguna með varmaendurvinnslu og náttúrulega má sjá að stærsti hluti varmataps verður vegna hurða, glugga og kuldabrya. Því næst er það útveggir og þar á eftir gólf.

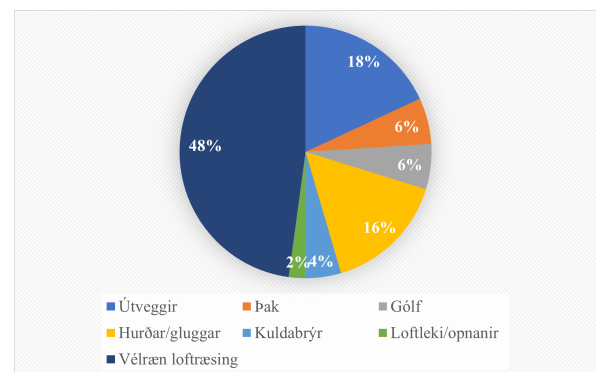
Þegar endaraðhús með vélrænni loftræsingunni án varmaendurvinnslu er skoðuð er það loftleki sem er stærsti hluti varmatapsins, eða 29%, og þar á eftir gólf, 18%, hurðar/gluggar, 17%, og útveggir, 16%. Því næst kemur varmatap vegna vélrænu loftræsingarinnar, 13%, og minnstu hlutarnir eru kuldabryr, 11% og þakið, 4%.

Í endahúsi má sjá að þegar aðeins er náttúruleg loftræsing, veldur loftleki 12% varmataps á meðan hann veldur 7% þegar um vélræna loftræsinguna með varmaendurvinnslu er að ræða sem veldur sjálf 5% varmatapsins. Er þessi hluti töluvert stærri þegar um vélræna loftræsinguna án varmaendurvinnslu er að ræða. Að sama skapi þegar niðurstöður fyrir miðjuraðhús eru skoðaðar, veldur loftleki 11% varmatapsins þegar það er náttúruleg loftræsing en 6% þegar það er vélræn sem sjálf ber ábyrgð á 5% varmatapsins. Þá einnig veldur loftleki töluvert meira varmatapi þegar húsið er útbúið vélrænni loftræsingunni án varmaendurvinnslu.

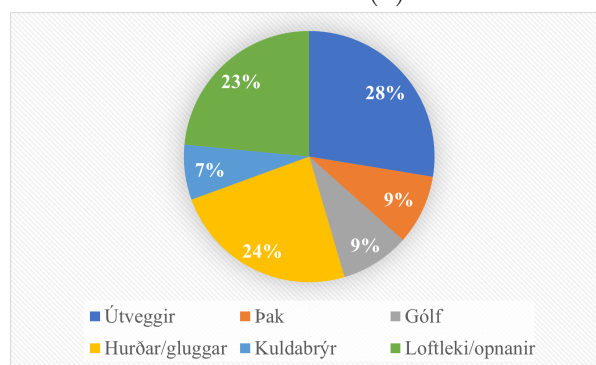
Rökstyður þetta fyrrum ályktanir, að IDA ICE gerir ekki ráð fyrir nægilega miklu loftmagni sem krefst upphitunnar þegar um náttúrulega loftræsinguna er að ræða.



(a) Vélræn loftræsing með varmaendurvinnslu

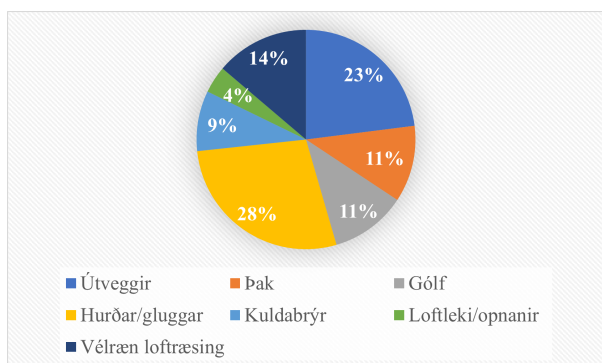


(b) Vélræn loftræsing án varmaendurvinnslu

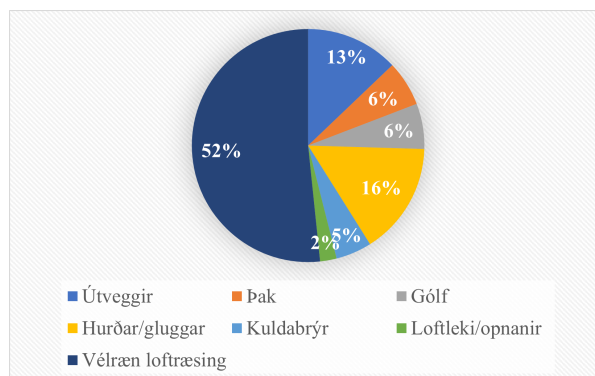


(c) Náttúruleg loftræsing

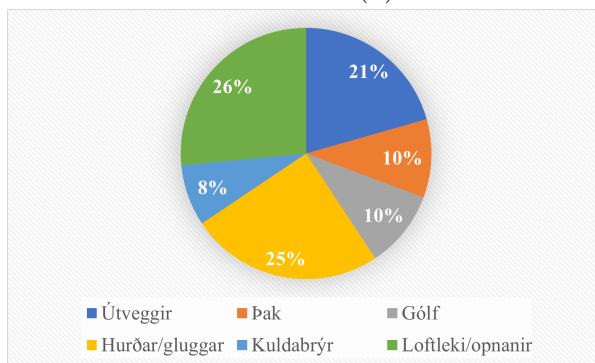
Mynd 24: Hlutfallslegt varmatap endahúss samkvæmt Simien



(a) Vélræn loftræsing með varmaendurvinnslu



(b) Vélræn loftræsing án varmaendurvinnslu



(c) Náttúruleg loftræsing

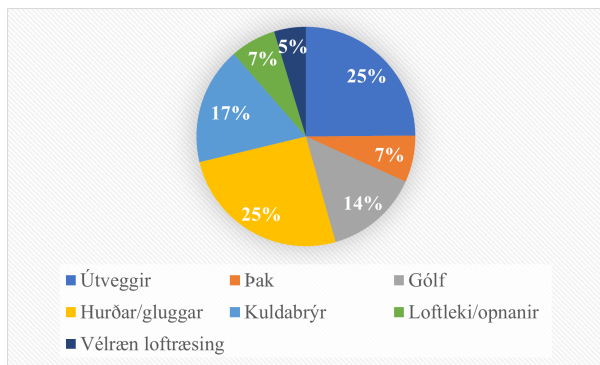
Mynd 25: Hlutfallslegt varmatap miðjuhúss samkvæmt Simien

Samkvæmt Simien eru það einnig byggingarhlutar sem bera ábyrgð á mesta varmatapinu þegar um er að ræða húsinn með vélræna loftræingu með endurvinnslu, þ.e. útveggir fyrir endahús og hurðar/gluggar fyrir miðjuhús. Minnstu áhrifin hefur síðan loftleki, eða 3% í endahúsum og 4% í miðjuhúsum, og kuldaþrýr, 8% í endahúsum og 9% í miðjuhúsum. Varmatap vegna vélrænu loftræsingarinnar er 12% í endahúsum og 14% í miðjuhúsum.

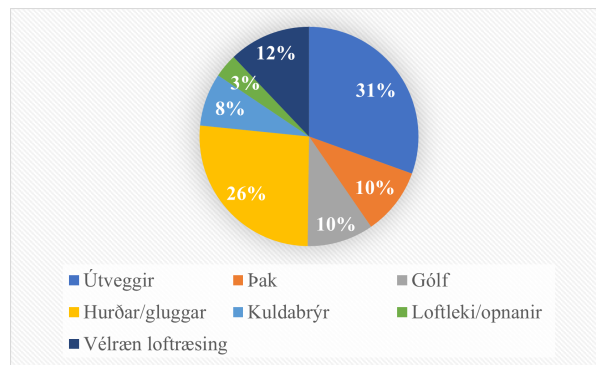
Þegar um er að ræða vélræna loftræingu án varmaendurvinnslu er það vélræna loftræsingin sem ber ábyrgð á stærstum hluta varmatapsins fyrir báðar tegundir húsa eða 48% fyrir endahús og 52% fyrir miðju. Fyrir endahús koma næst útveggir, 18% og þar á eftir hurðar/gluggar, 13%, og eru þak og gólf næst með sitt hvor 6%. Minnst eru það kuldaþrýr, 4%, og loftleki, 2%. Fyrir miðjuhús er næststærsti hlutinn vegna hurða/glugga, 16%, síðan útveggja, 13% og þar á eftir þak og gólf með sitt hvor 6%. Minnsti hlutinn er vegna kuldaþrúa, 5%, og loftleka, 2%.

Þegar skoðað er varmatapið þar sem um náttúrulega loftræingu er að ræða eru það útveggir sem bera ábyrgð á stærstum hluta varmatapsins, eða 28% í endahúsum og næst hurðar og gluggar, eða 24%. Þar á eftir kemur loftleki sem ber ábyrgð á 23%. Minnsti hlutinn eru kuldaþrýr. Hins vegar fyrir miðjuhúsin er það loftleki sem ber mesta ábyrgð á varmatapinu, eða 26%. Þar á eftir koma hurðar, gluggar og útveggir. Líkt og í endahúsum hafa kuldaþrýr minnstu áhrifin.

Á eftirfarandi myndum 26 og 27 má aftur sjá hlutfallslegt varmatap húsanna með vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu til samanburðar á milli forrita.

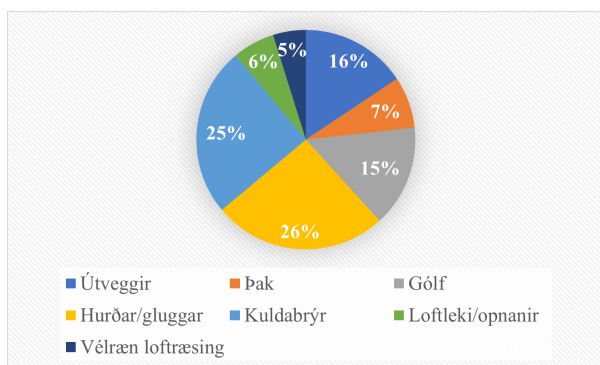


(a) IDA ICE

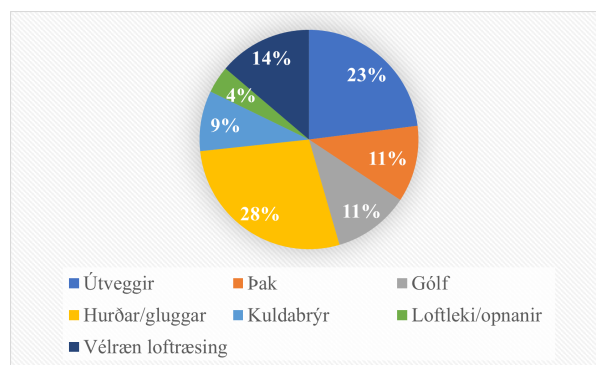


(b) Simien

Mynd 26: Hlutfallslegt varmatap endahúss samkvæmt IDA ICE og Simien



(a) IDA ICE

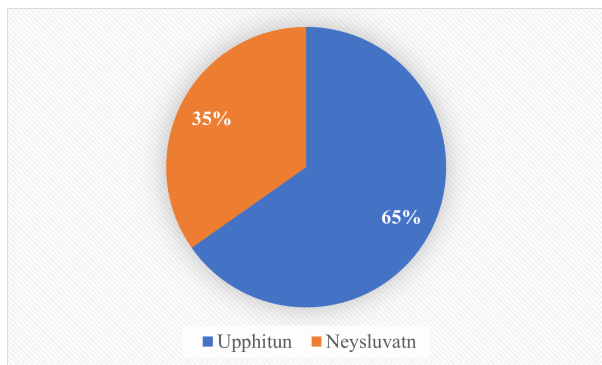


(b) Simien

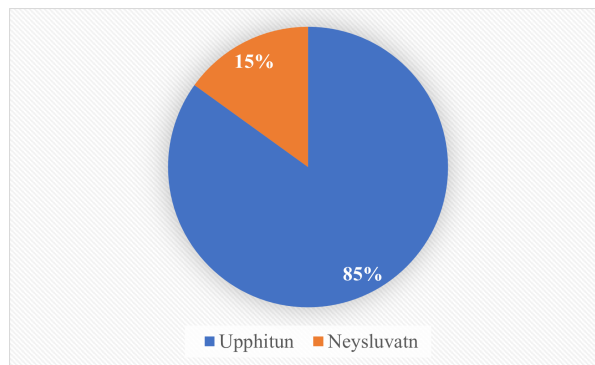
Mynd 27: Hlutfallslegt varmatap miðjuhúss samkvæmt IDA ICE og Simien

Helsti munur á niðurstöðum IDA ICE og Simien eru kuldabryr og útveggir. Niðurstöður hlutfalls varmataps vegna loftleka og varmataps vegna loftræsingar eru ólíkar. Sjá má að samkvæmt IDA ICE hafa kuldabryr töluvert meiri áhrif heldur en Simien en samkvæmt IDA ICE er varmatapið vegna þeirra fjórðungur af öllu varmatapi miðjuhúsa en Simien metur það aðeins vera 9%. Þegar skoðað er hlutfall varmataps vegna loftleka og vélrænu loftræsingarinnar er áhugvaert að sjá að IDA ICE metur loftlekan eiga stærri þátt í varmatapi heldur en vélræna loftræsingin en Simien öfugt. Niðurstöður IDA ICE sýna að 7% varmataps verður vegna loftleka og 5% vegna vélrænnar loftræsingar en samkvæmt Simien er það 3% vegna loftleka og 12% vegna vélrænnar loftræsingar.

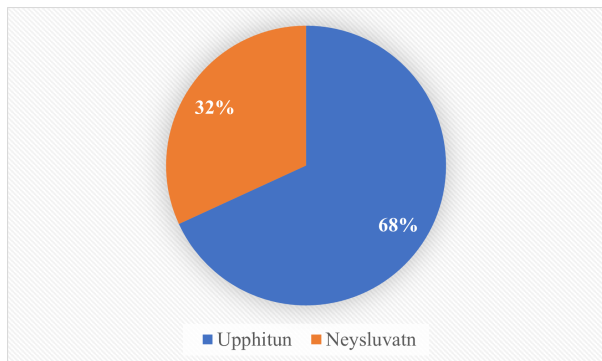
Á myndum 28 og 29 má sjá hvert hlutfall orkunotkunar er á milli hitakerfisins og neysluvatnsins, þ.e. á milli varmaskiptis hitakerfisins og varmaskiptis neysluvatnskerfisins samkvæmt IDA ICE og Simien.



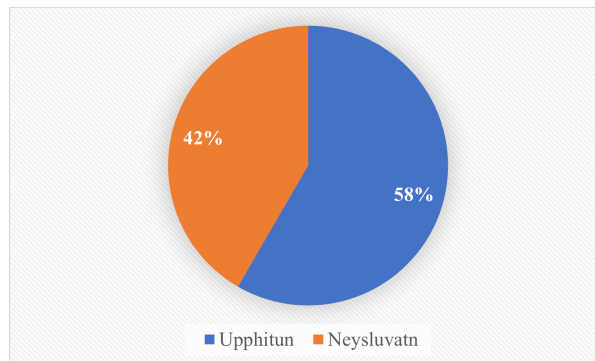
(a) Endaraðhús með vélrænni loftræsingu með varmaendurvinnslu



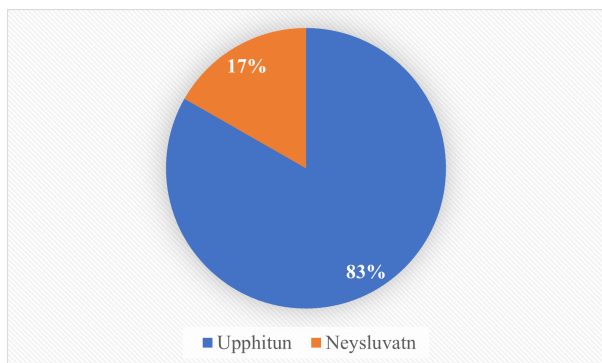
(b) Endaraðhús með vélrænni loftræsingu án varmaendurvinnslu



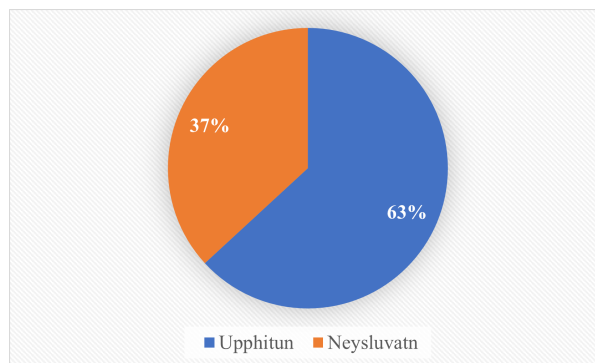
(c) Endaraðhús með náttúrulegri loftræsingu



(d) Miðjuraðhús með vélrænni loftræsingu með varmaendurvinnslu



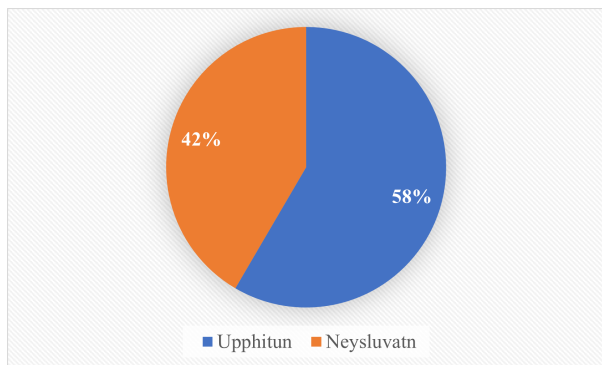
(e) Miðjuraðhús með vélrænni loftræsingu án varmaendurvinnslu



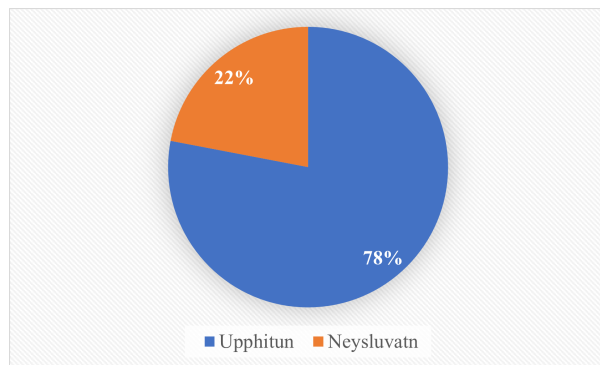
(f) Miðjuraðhús með náttúrulegri loftræsingu

Mynd 28: Hlutfallsleg notkun hitaveituvatns samkvæmt IDA ICE

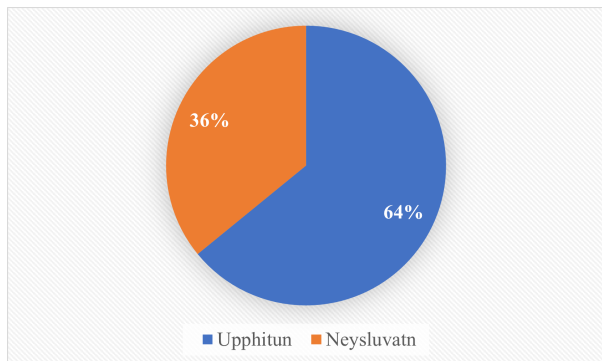
Samkvæmt IDA ICE er orkunotkun hitakerfisins 58% - 85% af orkunotkuninni. Lítil munur er á milli vélrænnar loftræsingar með varmaendurvinnslu og náttúrulegrar loftræsingar en eru niðurstöður þegar um vélræna loftræsingu án varmaendurvinnslu frábrugðnari. Fyrir endahúsin gefur IDA ICE að hitakerfið noti 65% af heildarorkunni fyrir vélræna loftræsingu með varmaendurvinnslu, 85% án varmaendurvinnslunnar og 68% með náttúrulega loftræsingu. Fyrir miðjuhúsin gefur IDA ICE að hitakerfið noti 58% af heildarorkunni fyrir vélræna loftræsingu með varmaendurvinnslu, 83% án varmaendurvinnslunnar og 63% með náttúrulega loftræsingu.



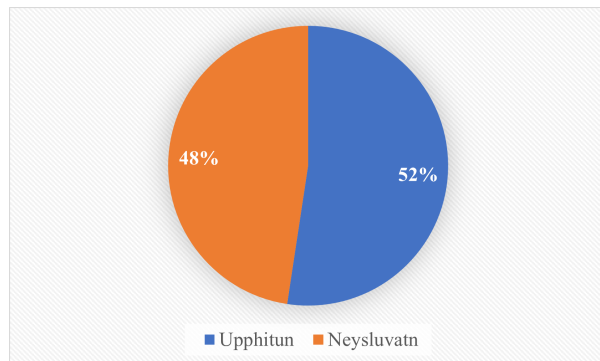
(a) Endaraðhús með vélrænni loftræsingu með varmaendurvinnslu



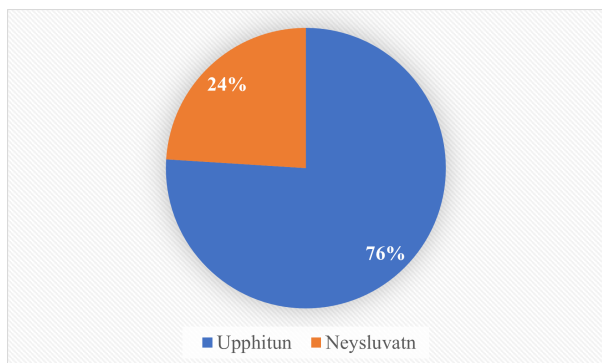
(b) Endaraðhús með vélrænni loftræsingu án varmaendurvinnslu



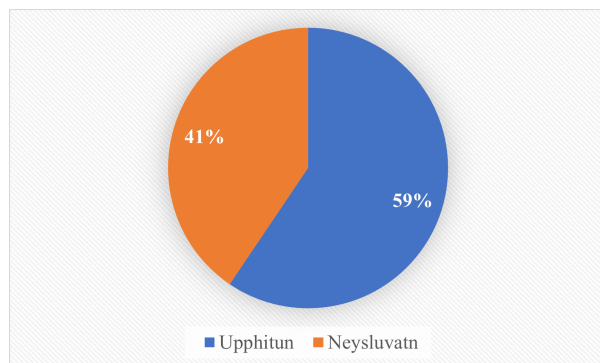
(c) Endaraðhús með náttúrulegri loftræsingu



(d) Miðjuraðhús með vélrænni loftræsingu með varmaendurvinnslu



(e) Miðjuraðhús með vélrænni loftræsingu án varmaendurvinnslu



(f) Endaraðhús með náttúrulegri loftræsingu

Mynd 29: Hlutfallsleg notkun hitaveituvatns samkvæmt Simien

Samkvæmt Simien er orkunotkun hitakerfisins 52% - 78% af orkunotkuninni. Töluverður munur er á milli vélrænnar loftræsingar með og án varmaendurvinnslu en fyrir endahús gefur Simien að hitakerfið noti 58% af heildarorkunni með vélrænni loftræsingu með varmaendurvinnslu en 78% án varmaendurvinnslu. Þá eru niðurstöður vélrænnar loftræsingar með varmaendurvinnslu og náttúrulegrar loftræsingar líkari, en fyrir endaraðhús með náttúrulega loftræsingu er hlutfall hitakerfisins 64%. Fyrir miðjuhús gefur Simien að hitakerfið noti 52% af heildarorkunni þegar um vélræna loftræsingu með varmaendurvinnslu er að ræða, 76% með vélræna loftræsingu án varmaendurvinnslu og 59% með náttúrulegri loftræsingu.

Má segja að forritin séu sammála um hvert hlutfallsleg orkunotkun hita- og neysluvatnskerfisins er.

9.4 Raunorkunotkun

Búið hefur verið í húsunum nú í að verða tvö ár og því komin reynsla á orkunotkun. Upplýsingar fengust frá íbúum nokkurra húsa, sem ekki eru útbúin heitum potti, um orkunotkun í kWh frá því mælingar hófust. Hins vegar uppgvötvaðist í desember 2022, bilun í loka á inntaksrás hitaveitu sem hefur haft áhrif á orkunotkun miðjuraðhúsanna. Lýsti bilunin sér þannig að mótorklokkinn sem stýrir flæðinu í varmaskipti hitakerfisins bilaði og gekk því heitt vatn stanslaust í gegnum varmaskiptinn sama hver notkun á hitakerfinu var. Vegna þessarar bilunar er ákveðin skekkja í notkunartölunum fyrir miðjuraðhúsin og er því óraunhæft að bera raunorkunotkun þeirra saman við reikningslega orkunotkun. Aðeins fengust áreiðanlegar tölur um orkunotkun í endaraðhúsi og því eru eingöngu sýndar niðurstöður raunorkumælinga fyrir það hús. Raunorkunotkun endaraðhússins er borin saman við áætlaða orkunotkun úr kafla 9.3 í töflu 21.

Tafla 21: Raunorkunotkun og hermd orkunotkun fyrir endaraðhús

	Orkunotkun [kW h/m ²]
Raunorkunotkun	269,2
IDA ICE	80,5
Simien	80,9

Sjá má að orkunotkun er töluvert meiri heldur en niðurstöður útreikninga sögðu til um. Samkvæmt IDA ICE og Simien er áætluð orkunotkun húsanna 30% af raunorkunotkuninni. Má því ætla að svigrúm sé til bætinga á stillingum og keyrslu kerfanna. Taka þarf einnig með í reikninginn að húsin eru það ný að það hefur mikil áhrif hvernig kerfin voru keyrð í upphafi á meðan verið var að finna jafnvægið.

9.5 Koltvísýringslosun orkunotkunar

Eins og fram hefur komið losar framleiðsla orku koltvísýring. Með því að spara orku sparast því líka losun koltvísýrings. Í töflu 22 má sjá niðurstöður koltvísýrings sem losnar við þá orku sem húsin þurfa samkvæmt IDA ICE og Simien. Reiknað er með 8,1 gCO₂/kWh.

Tafla 22: Losun koltvísýrings [gCO₂/m²] vegna orkunotkunar húsanna

	IDA ICE	Simien
Endaraðhús		
Vélræn loftræsing með varmaendurvinnslu	652,1	655,3
Vélræn loftræsing án varmaendurvinnslu	1.074,9	1.293,6
Náttúruleg loftræsing	712,0	765,5
Miðjuraðhús		
Vélræn loftræsing með varmaendurvinnslu	603,5	567,0
Vélræn loftræsing án varmaendurvinnslu	924,2	1.191,5
Náttúruleg loftræsing	615,6	673,1

Samkvæmt IDA ICE sparar vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu 422,8 gCO₂/m² á ári í endaraðhúsum og 320,7 gCO₂/m² á ári í miðjuraðhúsum sé það borið saman við vélrænt loftræsikerfi án varmaendurvinnslu og 59,9 gCO₂/m² á ári í endaraðhúsum og 12,1 gCO₂/m² á ári í miðjuraðhúsum sé borið saman við náttúrulega loftræsinguna. Samkvæmt Simien sparar vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu 638,3 gCO₂/m² á ári í endaraðhúsum og 624,5 gCO₂/m² á ári í miðjuraðhúsum borið saman við vélræna loftræsinguna án varmaendurvinnslu og 110,2 gCO₂/m² á ári í endaraðhúsum og 106,1 gCO₂/m² á ári í miðjuraðhúsum sé borið saman við náttúrulega loftræsinguna.

Í töflu 23 má sjá þá koltvísýringslosun, kgCO₂/m², sem sparast yfir líftíma bygginganna með vélræna loftræsikerfinu með varmaendurvinnslu borið saman við loftræsikerfið án varmaendurvinnslu, samkvæmt hermdri orkunotkun. Í töflu 24 má sjá þá koltvísýringslosun, kgCO₂/m², sem sparast yfir líftíma bygginganna með vélræna loftræsikerfinu með varmaendurvinnslu borið saman við náttúrulegt loftræsikerfi, samkvæmt hermdri orkunotkun.

Tafla 23: Koltvísýringslosun [kgCO₂/m²] sem sparast yfir líftíma bygginganna samanborið vélrænni loftræsinguna án varmaendurvinnslu

	IDA ICE	Simien
Endaraðhús	25,4	38,3
Miðjuraðhús	19,2	37,5

Tafla 24: Koltvísýringslosun [kgCO₂/m²] sem sparast yfir líftíma bygginganna samanborið náttúrulegri loftræsinguna

	IDA ICE	Simien
Endaraðhús	3,6	6,6
Miðjuraðhús	0,73	6,4

Út frá þessu má sjá að það er nokkur losun sem sparast með því að nota vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu og töluvert mikil samanborið við loftræsikerfi án varmaendurvinnslu. Sjá má í töflu 8 að losun vegna framleiðslu kerfisins er 9,8 kgCO₂/m² á 60 árum.

Sú koltvísýringslosun sem sparast samkvæmt IDA ICE með loftræsikerfinu með varmaendurvinnslu borið saman við kerfið án varmaendurvinnslu er því jöfn tæplega þrefaldri þeirri losun sem varð við framleiðslu kerfisins fyrir endaraðhús og tæplega tvöfaldri fyrir miðjuraðhús. Sé losunin sem sparast þegar notast er við náttúrulega loftræsinguna skoðuð er hún 37% af þeirri losun sem verður við framleiðslu kerfisins fyrir endaraðhús og 7% fyrir miðjuraðhús.

Samkvæmt Simien er sú koltvísýringslosun sem sparast með loftræsikerfinu með varmaendurvinnslu borið saman við kerfið án varmaendurvinnslu jöfn tæplega fjórfaldri þeirri losun sem varð við framleiðslu kerfisins fyrir fyrir bæði miðju- og endaraðhús. Sé losunin sem sparast þegar notast er við náttúrulega loftræsinguna skoðuð er hún 67% af þeirri losun sem verður við framleiðslu kerfisins fyrir endaraðhús og 65% fyrir miðjuraðhús.

Því er ljóst að á líftíma byggingarinnar getur loftræsikerfi með varmaendurvinnslu sparað töluvert mikla losun vegna orkusparneytni.

10 Loftgæði

Markmið mælinganna er að meta loftgæði tveggja svefnherbergja bæði með vélrænni loftræsingu og náttúrulegri loftræsingu með tilliti til koltvísýrings, hlutfallsraka og hitastigs. Með niðurstöðum þessara mælinga er hægt að sjá hvort kröfum byggingarreglugerðar sé mætt og meta hver áhrif loftræsikerfisins eru á loftgæði.

10.1 Mælingar

Loftgæðamælingar fóru fram 4. mars - 3. apríl 2023 í endahúsi í annarri raðhúsallengjunni. Notast var við mælana Awair Omni [60] sem fengust í láni hjá Eflu og afmarkaðist mælingatímabilið af þeim tímaramma sem Efla gat séð af mælunum. Awair Omni er hágæða loftgæðamælir sem býður upp á mælingar á innlofti fyrir 7 helstu umhverfisþætti sem hafa áhrif á heilsu og vellíðan, þ.e. hitastig, raka, koltvísýring, TVOCs, PM2.5, hljóð og ljós. TVOCs, sem stendur fyrir Total Volatile Organic Compounds, eru lífræn efni sem verða að gasi við stofuhita og PM2.5 er svifryk. Ekki verður þessum þáttum, ásamt hljóði og ljósi, gerð skil í þessari ritgerð. Mælirinn er sjálfvirkur og nettengdur og því hægt að fylgjast með mælingum í rauntíma. Mælarnir skráðu mælingar á 5 mínútna fresti. Mælisvið og skekkja má finna í töflu 25.

Tafla 25: Mælisvið og skekkja Awair Omni

	Mælisvið	Skekkja
CO₂ [ppm]	400-5000	± 75
Hitastig [°C]	0-90	± 0,2
Hlutfallsraki [%]	0-100	± 2%

Settir voru upp tveir mælir í húsinu. Annar í svefnherbergi, sem kallað er svefnherbergi 1, þar sem einn einstaklingar sefur og hefur tvo glugga, annan lítinn sem snýr í suður og hinn sem snýr í vestur. Hinn var staðsettur í hjónaherbergi þar sem að meðaltali tveir einstaklingar sofa, hefur það herbergi einn lítinn glugga sem snýr í suður og svalahurð með glugga sem snýr í austur. Það herbergi er kallað svefnherbergi 2. Mælunum var komið fyrir innarlega í herbergjum, þ.e. ekki of nálægt innblástursventli loftræsingar eða glugga. Aldrei var sofð með opin glugga á meðan mælingum stóð.

10.2 Úrvinnsla og niðurstöður mælinga

Að mælingum loknum voru gögn sótt í excel og sett upp í forritinu python til þess að einfalda úrvinnslu og greiningu.

10.2.1 Hitastig [°C]

Samkvæmt byggingarreglugerð skulu íbúðarhúsnæði vera með lofthita $>18^{\circ}\text{C}$ til þess að tryggja þægindi [10].

Á mynd 30 og í töflum 26 og 27 má sjá niðurstöður mælinga á hitastigi í svefnherbergjunum tveimur. Á gröfunum má sjá dregna punktalínu í kring um gögnin sem mæld voru frá eftirmiðdegi 26. mars að eftirmiðdegi 28. mars en þann tíma var slökkt á loftræsingunni.

Tafla 26: Hitastig í svefnherbergi 1

Hitastig [°C]	Tímabil	Meðaltal	Hæsta gildi	Lægsta gildi
Kveikt á loftræsingunni	4.3 - 26.3 & 28.3 - 3.4	21,5	26,7	17,5
Slökkt á loftræsingunni	26.3 - 28.3	23,1	27,8	21,0

Tafla 27: Hitastig í svefnherbergi 2

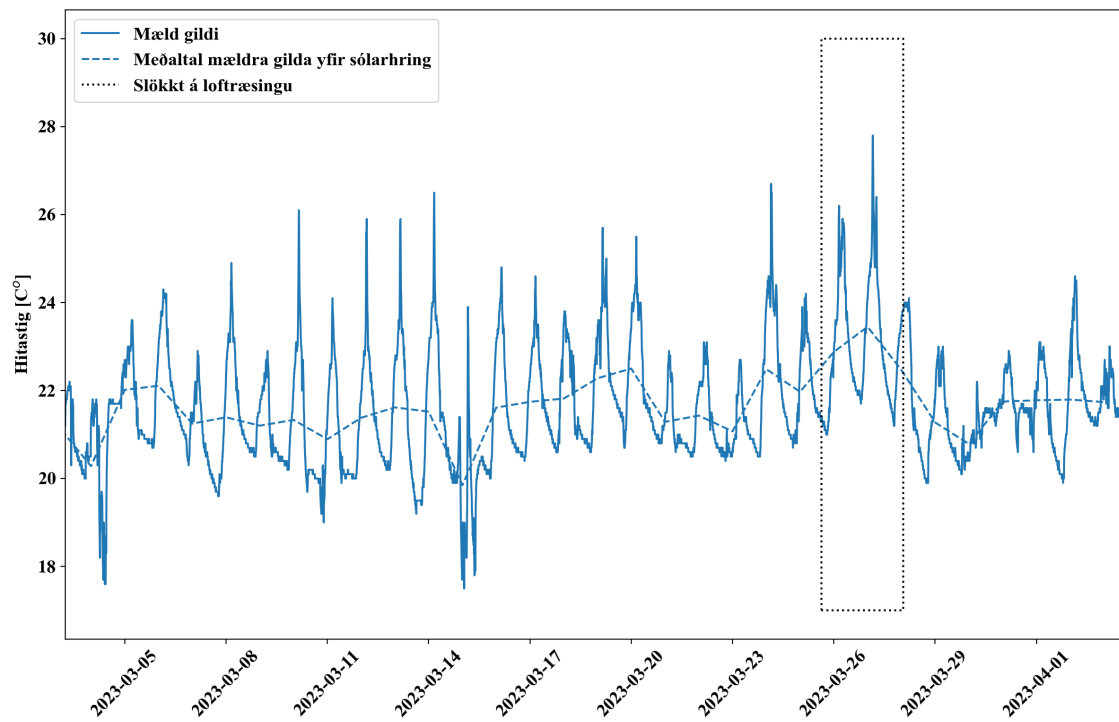
Hitastig [°C]	Tímabil	Meðaltal	Hæsta gildi	Lægsta gildi
Kveikt á loftræsingunni	4.3 - 26.3 & 28.3 - 3.4	22,6	32,7	13,2
Slökkt á loftræsingunni	26.3 - 28.3	23,4	26,2	11,0

Séu tímabilin eru borin saman í svefnherbergjunum, þegar kveikt er á loftræsingunni og þegar slökkt er á henni, er ekki hægt að sjá augljósan mun en í herbergi 2 eru mælingarnar nokkuð sveiflukenndar. Þó hækkar meðalhitastigið um 1,6 °C þegar slökkt var á loftræsingunni í svefnherbergi 1 og um 0,8 °C í svefnherbergi 2.

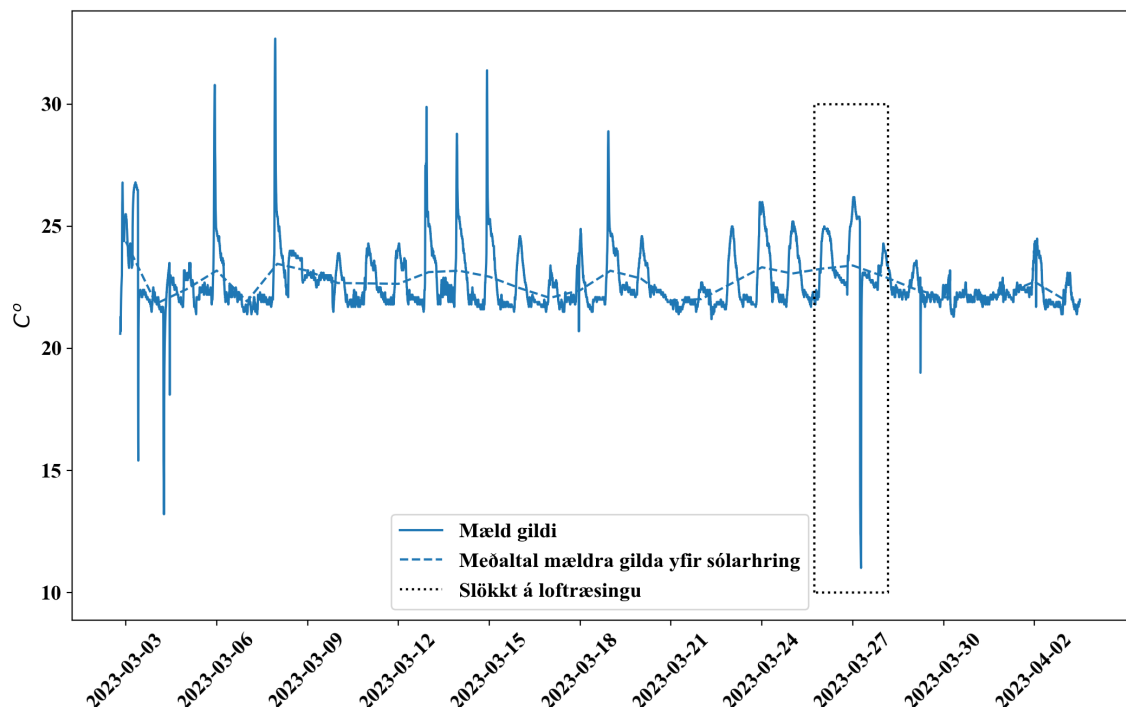
Þegar kveikt er á vélrænu loftræsingunni fer hitastigið hæst í 26,7 °C og lægst í 17,5 °C í svefnherbergi 1 en þegar slökkt er á henni fer hitastigið hæst í 27,8 °C og lægst í 21,0 °C. Út frá því má sjá að mismunurinn á hæsta og lægsta gildi er 9,2 °C þegar kveikt er á loftræsingunni og 6,8 °C þegar slökkt er á henni. Þá er hitastigið aðeins hærra þegar slökkt er á vélrænu loftræsingunni.

Meiri munur er á hæstu og lægstu gildum fyrir svefnherbergi 2 en hitastigið fer hæst í 32,7 °C og lægst í 13,2 °C þegar kveikt er á vélrænu loftræsingunni, sem er 13 °C mismunur, og fer hæst í 26,2 °C og fer lægst í 11,0 °C þegar slökkt er á henni, sem er 15,2 °C mismunur.

Ekki er hægt að segja til um hvort þessar breytingar stafi af því að slökkt var á loftræsingunni vegna þess hve stutt tímabil mælinga með slökkt á loftræsingunni var og eru fleiri þættir sem hafa áhrif eins og til dæmis útihitastig. Þann tíma sem slökkt var á vélrænu loftræsingunni fannst íbúum þungt loft vera á heimilinu og fundu fyrir óútskýranlegri þreytu. Voru þá opnaðir gluggar og svalahurð en það að opna svalahurðina getur snöggkælt rýmið sem getur verið ástæðan fyrir lægstu gildum mælinganna með náttúrulegri loftræsingunni.



(a) Svefnherbergi 1



(b) Svefnherbergi 2

Mynd 30: Hitastig í svefnherbergjunum á tímabilinu

Meðaltal hitastigsins í svefnherbergi 1 yfir hvern dag þegar kveikt er á vélrænu loftræsingunni er á bilinu 19,9 °C - 23,44 °C. Þann 27. mars, sem var eini heili dagurinn sem slökkt var á henni,

var meðaltal hitastigsins 23,4 °C, svo bæði tilfelli uppfylla því kröfu byggingarreglugerðar um að hitastig skuli vera hærra en 18 °C.

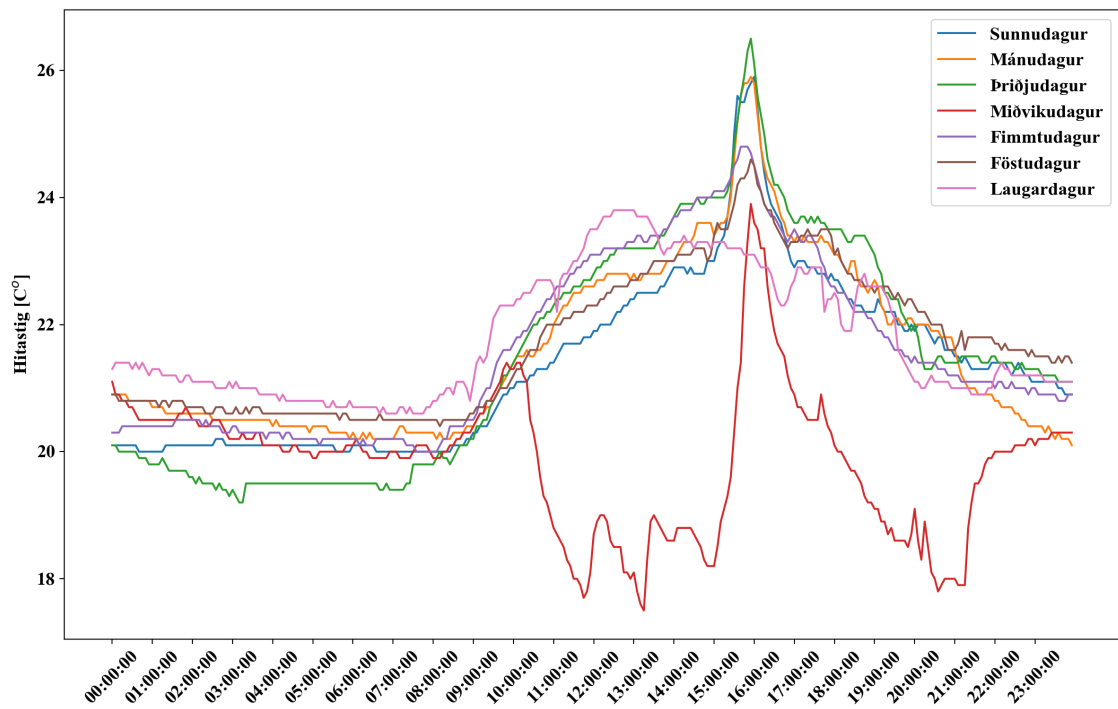
Meðaltal hitastig í svefnherbergi 2 yfir hvern dag þegar kveikt er á loftræsingunni er á bilinu 21,8 °C - 22,9 °C. Eina heila daginn sem slökkt var á loftræsingunni var meðaltal hitastigsins 23,0 °C. Svo líkt og í herbergi 1 uppfylla bæði tilfelli byggingarreglugerð.

Til þess að skoða áhrif íbúa á hitastig í rýminu má sjá á mynd 31 hitastig í svefnherbergjunum eftir tíma sólarhringsins vikuna 12. - 19. mars. Á því tímabili var kveikt á loftræsingunni.

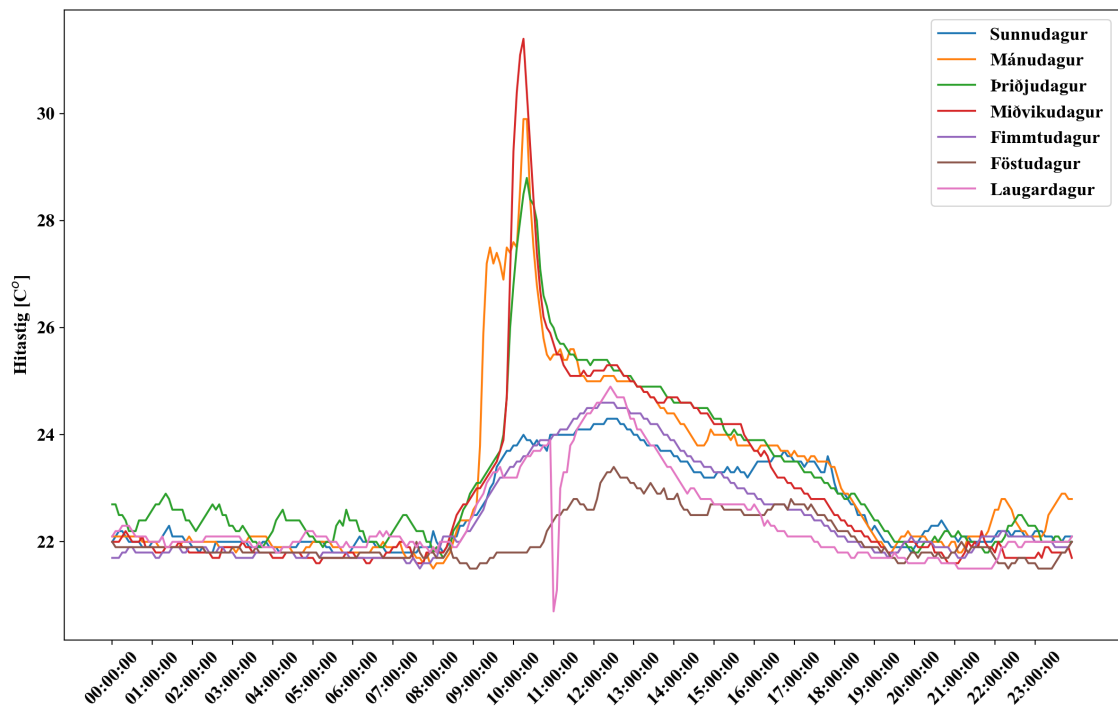
Sjá má að hitastig í herbergjunum er nokkuð stöðugt yfir næturna en frá klukkan 23:00 og fram undir morgun er hitastigið í herbergi 1 á milli 19°C - 22°C og frá klukkan 19:00 og fram undir morgun er hitastigið í herbergi 2 á milli 21°C - 23°C. Alla daga tekur gildið svo að hækka á milli klukkan 08:00 og 09:00 í svefnherbergi 1 og á milli klukkan 07:00 og 08:00 í svefnherbergi 2 en þá má ætla að sólin sé farin að skína inn um glugga herbergjanna en annar glugginn í herbergi 1 snýr til suðurs og hinn til vesturs en í svefnherbergi 2 snýr gluggi ásamt svalahurð til austurs og hinn glugginn til suðurs.

Flesta daga nær hitastigið hámarki á milli klukkan 15:00 og 16:00 og tekur svo gildið að lækka aftur eftir klukkan 16:00 og til klukkan 23:00 í svefnherbergi 1. Þrjá daga ná mælingar hámarki um klukkan 09:00 í svefnherbergi 2 og tekur svo gildið að lækka aftur eftir klukkan 10:00.

Líklegt er að hámarkið sé vegna þess að þetta hafa verið sólríkir morgnar og sólarálag því mikið eða að sólin hafi náð að skína beint á mælinn þennan tíma sem hitastigið verður sem hæst. Þar sem hitastig tekur svo að lækka með lakkandi sól má áætla að mestu skiptir sólarálagið þegar kemur að hitastigi innilofts.



(a) Svefnherbergi 1



(b) Svefnherbergi 2

Mynd 31: Hitastig í svefnherbergjunum eftir tíma sólhringsins

Út frá þessum mælingum er erfitt að segja til um hvort loftræsikerfið hafi áhrif á hitastig herbergja. Hitastig í herbergjunum standast alla jafna kröfur byggingarreglugerðar. Einnig má

ætla að íbúar hafi lítil áhrif á hitastig herbergisins þar sem þann tíma sem þeir eru í rýminu í lengri tíma, þ.e. um nóttina, er hitastigið lægst og stöðugast.

10.2.2 Koltvísýringur CO₂

Eins og fram hefur komið getur mengun í innilofti verið skaðleg heilsu fólks. Getur til dæmis mikið magn CO₂ valdið hausverk, þreytu, öndunarerfiðleikum og í miklu magni, köfnun. Það magn koltvísýrings sem talið er geta verið skaðlegt fólki er á bilinu 500-5000 ppm þó að mörkin séu yfirleitt skilgreind á bilinu 2500-5000 ppm. Þegar gildin eru hins vegar komin á bilið 20.000 - 100.000 ppm og hærri, getur fólk fengið alvarlegri einkenni líkt og uppköst, yfirlið og í alvarlegustu tilfellunum getur fólk dáið [61]. Einnig hefur komið fram að byggingarreglugerð gerir kröfu um að meðaltal koltvísýrings í íverurýmum fari ekki yfir 800ppm að jafnaði og fari ekki yfir 1.000 ppm í stuttan tíma. Í útilofti er magn koltvísýrings í kring um 400 ppm [62].

Á mynd 32 og í töflum 28 og 29 má sjá niðurstöður mælinga á koltvísýringi í svefnherbergjum um tveimur ásamt meðaltölum og hæstu og lægstu gildum. Í þessum gögnum má sjá töluverða breytingu verða á mælingum frá seinni parti 26. mars - seinni parts 28. mars þegar slökkt var á loftræsingunni. Það tímabil er merkt með punktalínu inná gröf mælinganna.

Tafla 28: Gildi koltvísýrings í andrúmslofti svefnherbergis 1

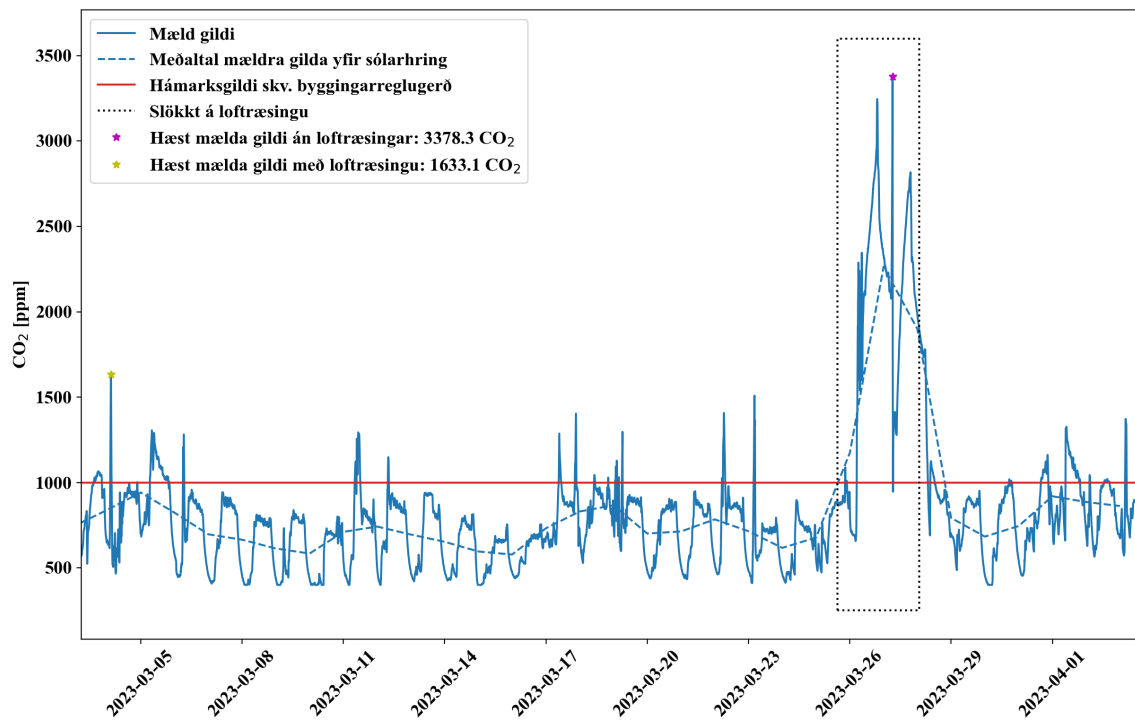
CO ₂ [ppm]	Tímabil	Meðaltal	Hæsta gildi	Lægsta gildi
Kveikt á loftræsingunni	4.3 - 26.3 & 28.3 - 3.4	748,6	1.633,1	400,0
Slökkt á loftræsingunni	26.3 - 28.3	1.902,2	3.378,3	657,1

Tafla 29: Gildi koltvísýrings í andrúmslofti svefnherbergis 2

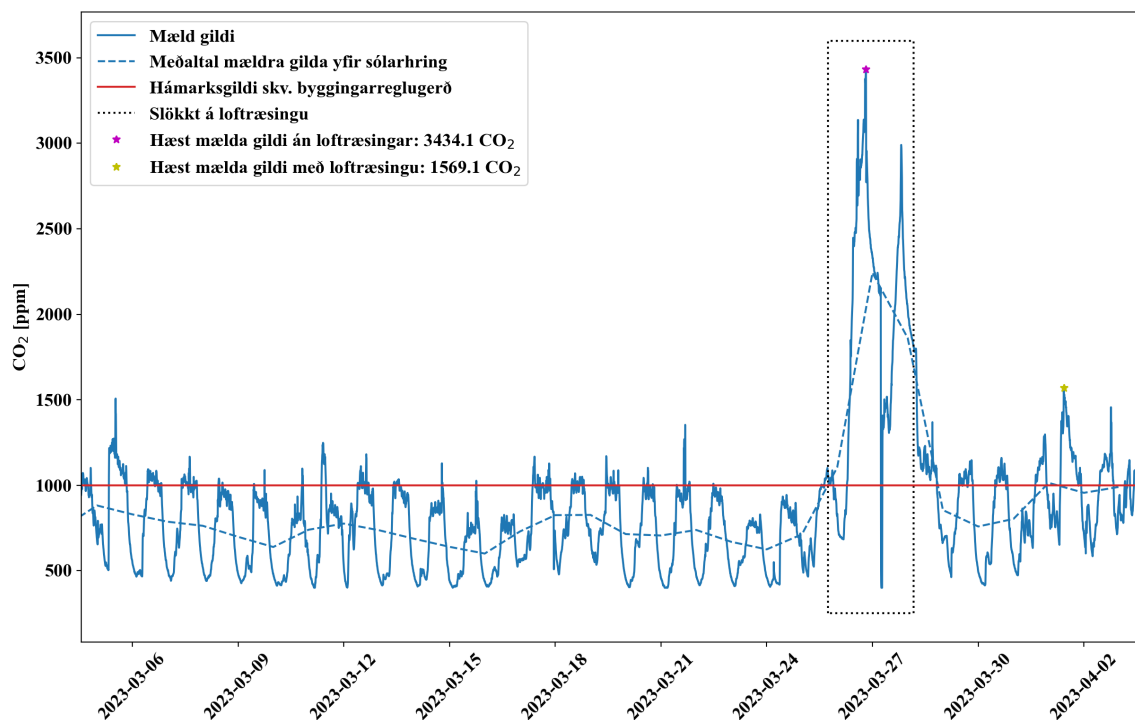
CO ₂ [ppm]	Tímabil	Meðaltal	Hæsta gildi	Lægsta gildi
Kveikt á loftræsingunni	4.3 - 26.3 & 28.3 - 3.4	770,9	1.569,1	400,0
Slökkt á loftræsingunni	26.3 - 28.3	1.858,7	3.434,1	400,0

Sjá má að mikill munur er á meðaltali styrks koltvísýrings í inniloftinu með vélrænni og náttúrulegri loftræsingunni í báðum svefnherbergjum. Meðaltalið þegar kveikt er á loftræsingunni er þó fyrir neðan 800 ppm sem er hámarksstyrkur samkvæmt byggingarreglugerð. Meðaltalið með náttúrulegri loftræsingunni er töluvert yfir 800 ppm, eða um 1.100 ppm hærri. Þá er meðaltal koltvísýringsins þegar slökkt er á loftræsingunni 254% meiri heldur en þegar kveikt er á henni í svefnherbergi 1 og 241% meiri í svefnherbergi 2.

Mikill munur er á hæstu gildum með vélrænni loftræsingunni og náttúrulegri, en öll gildin fara vel yfir 1.000 ppm sem byggingarreglugerð krefst að styrkur í innilofti fari aldrei yfir. Hæstu gildi náttúrulegrar loftræsingar er hins vegar það hátt í báðum svefnherbergjum, yfir 3.300 ppm, að það telst hættulegt fólki. Lægsta gildi nær svo aldrei að fara niður í 400 ppm í svefnherbergi 1, sem er sá styrkur sem er í útilofti að meðaltali.



(a) Svefnherbergi 1



(b) Svefnherbergi 2

Mynd 32: Styrkur koltvísýrings í svefnherbergjunum á tímabilinu

Ef skoðuð eru tímabilin þegar kveikt er á loftræsikerfinu er meðaltal styrks koltvísýrings á dag í svefnherbergi 1 á bilinu 578,1 ppm - 941,5 ppm og í svefnherbergi 2 á bilinu 600,0 ppm -

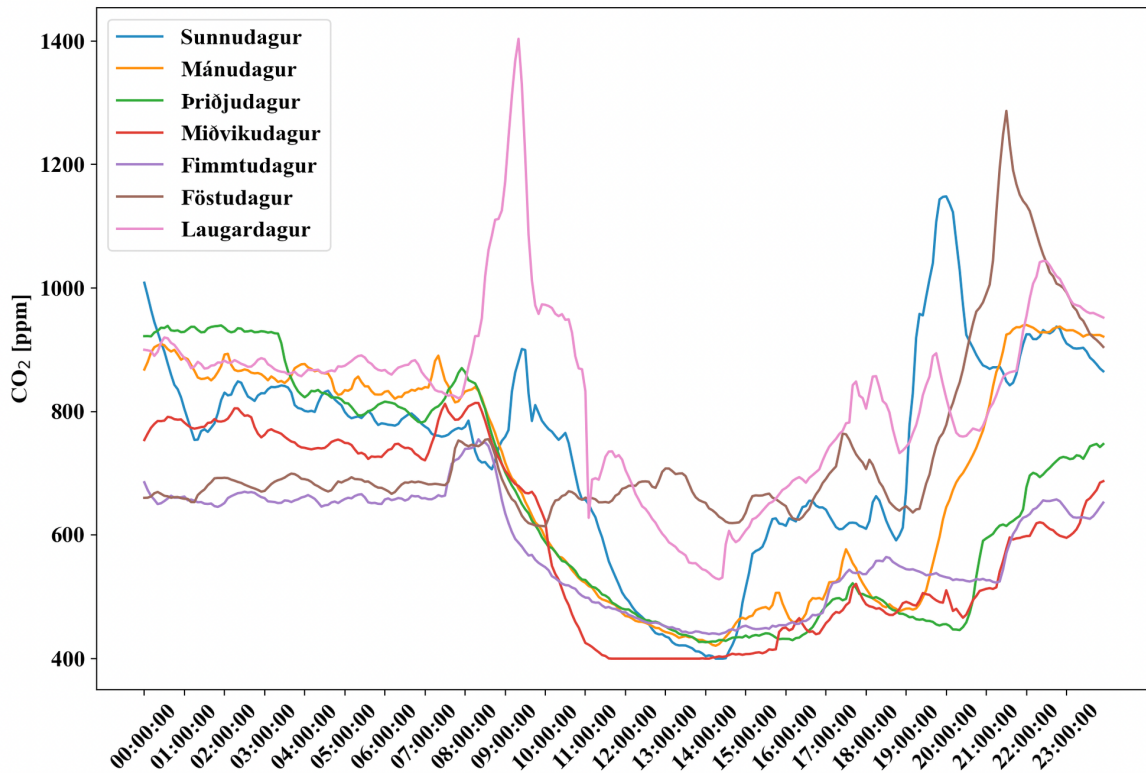
1.013,8 ppm.

32% tímans sem kveikt var á loftræsingunni var styrkur koltvísýrings í loftinu á milli 800 ppm - 1.000 ppm í svefnherbergi 1 og 10% tímans var hann yfir 1.000 ppm. 26% tímans sem kveikt var á loftræsingunni var styrkur koltvísýrings í loftinu á milli 800 ppm - 1.000 ppm í svefnherbergi 2 og 20% tímans var hann yfir 1.000 ppm. Það er því ljóst að loftgæði standast ekki kröfur byggingarreglugerða í 42% tímans í svefnherbergi 1 og í 46% tímans í svefnherbergi 2 þrátt fyrir að loftræsikerfið blási inn 7 l/s á hverja manneskju.

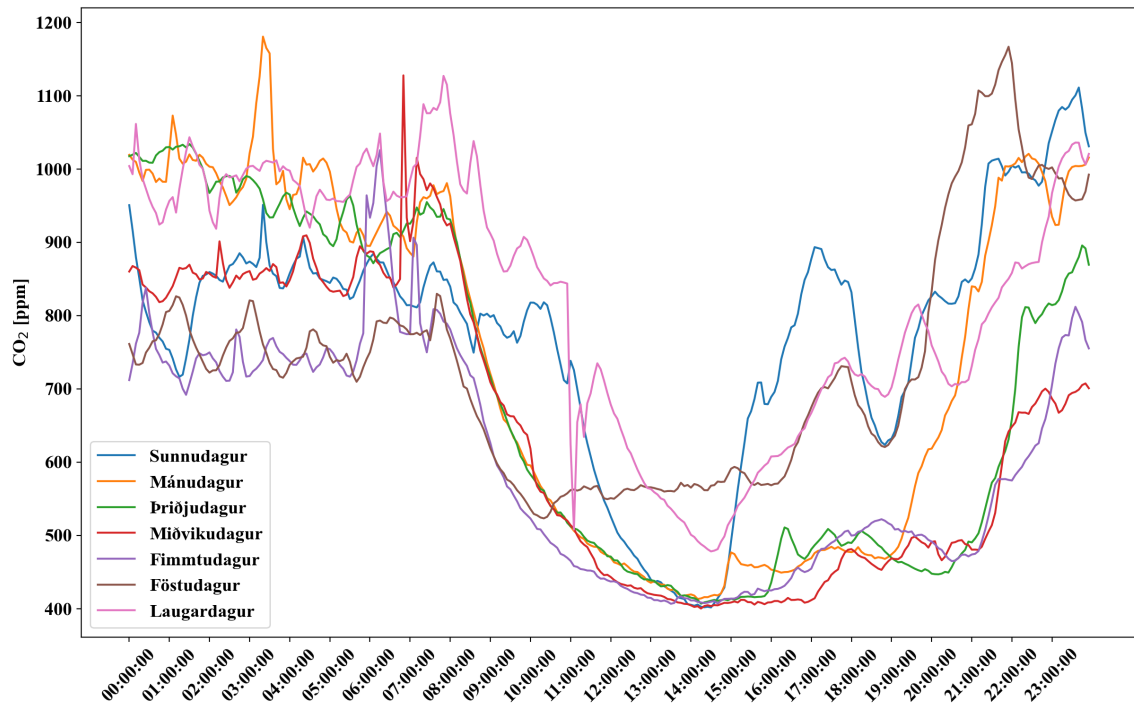
Meðaltal koltvísýringsstyrks þann 27. mars, sem var eini heili sólahringurinn sem slökkt var á loftræsikerfinu, var 2.263,6 ppm í svefnherbergi 1 og eins og sjá má á grafinu er styrkur CO₂ yfir 1.000 ppm meiri hluta tímans, eða 77%. Í svefnherbergi 2 var meðaltal koltvísýringsstyrks 2.242,9 ppm og var styrkurinn yfir 1.000 ppm meiri hluta tímans, eða 83%.

Til þess að skoða áhrif íbúa á koltvísýringsmyndun í svefnherbergjunum má sjá á mynd 33 koltvísýringsmagn í loftinu eftir tíma sólarhringsins fyrir vikuna 12.-19. mars. Á því tímabili var kveikt á loftræsingunni.

Sjá má að eftir miðnætti og fram undir morgun er koltvísýringurinn í herbergjunum oft fremur hár, eða á milli 600 ppm og 1200 ppm. Flesta daga tekur gildið svo að lækka á milli klukkan 07:00 og 08:00 og oftast fer það niður í 400 ppm. Seinni part dags tekur svo gildið að hækka aftur, eða um klukkan 16:00 og hækkar stöðugt upp í 600-1200 ppm, þar sem það stendur í stað til morguns. Þar sem íbúar eru yfirleitt ekki heima yfir daginn, má greinilega sjá að áhrif íbúa á koltvísýringsmagn herbergisins eru töluverð.



(a) Svefnherbergi 1



(b) Svefnherbergi 2

Mynd 33: Styrkur koltvísýrings í svefnherbergjunum eftir tíma dags

Út frá þessum mælingum má sjá að áhrif vélræns loftræsikerfis eru mikil á magn koltvísýrings í andrúmslofti svefnherbergja, en án þess eru kröfur byggingarreglugerðar um loftgæði ekki

uppfylltar. Undirstrikar þetta einnig að niðurstöður hermanna IDA ICE og Simien í kafla 9.3 geri ráð fyrir of litlu loftmagni þegar um náttúrulega loftræsingu er að ræða því ekki er raunhæft að fólk opni glugga svona lítið miðað við þessar niðurstöður. Einnig er ljóst að fólk hefur mikil áhrif á koltvísýringismagn innilofts.

10.2.3 Hlutfallsraki

Rakamagn í lofti er gefið upp sem hlutfall raka af hámarksrakamagni sem loft getur innihaldið, HR, og hvert það magn getur verið, fer eftir hitastigi loftsins. Í útilofti hérlandis er að meðaltali 78% - 82% HR en getur verið frá 40%HR, þegar þurr og hlýtt er í veðri, og uppí 100%HR þegar það rignir. Rakamagn í innilofti getur verið mjög breytilegt og er háð aðstæðum hverju sinni, þ.e. þeim aðstæðum sem eru innandyra á borð við úti- og innihitastigs, loftraka í útilofti og rakagjöf til innilofts. Miðað er við að halda hlutfallsraka innilofts vel undir 80%HR þar sem við það mark er orðin veruleg hætt á sveppavexti en almennt líður fólki vel við tiltölulega háan loftraka. Hins vegar þegar kalt er úti er iðulega miðað við að inniloftraki eigi ekki að fara yfir 40% - 45%HR en annars á bilinu 30-60%HR. Ekki telst það hættulegt heilsunni fari rakamagn undir það, en fólki líður oft verr í þurru lofti vegna til dæmis þurrks í augum og öndunarferum. Helstu uppsprettur raka í húsnæði eru til dæmis vatn utan frá, rigning og snjór og athafnir sem mynda raka í húsnæðinu eins og þvottur [63][64].

Á tímabili mælinganna, 4. mars - 3. apríl, var óvenju þurr í Reykjavík. Var mars næst þurrasti marsmánuður í Reykjavík frá upphafi mælinga en aðeins rigndi 7 daga frá 4. - 31. mars og fór úrkoman yfir 0,2 mm aðeins einn dag af þeim. Það var 31. mars og þá fór hún í 3,0 mm. Fyrstu þrjá daga apríl mánaðar rigndi [65].

Á mynd 34, töflu 30 og töflu 31 má sjá niðurstöður mælinga á hlutfallsraka í innilofti í svefnherbergjunum tveimur ásamt meðaltölum og hæstu og lægstu gildum. Tekið skal fram að eins og áður, frá seinni parti 26. mars - seinni parts 28. mars, var slökkt á loftræsingunni.

Tafla 30: Hlutfallsraki í svefnherbergi 1

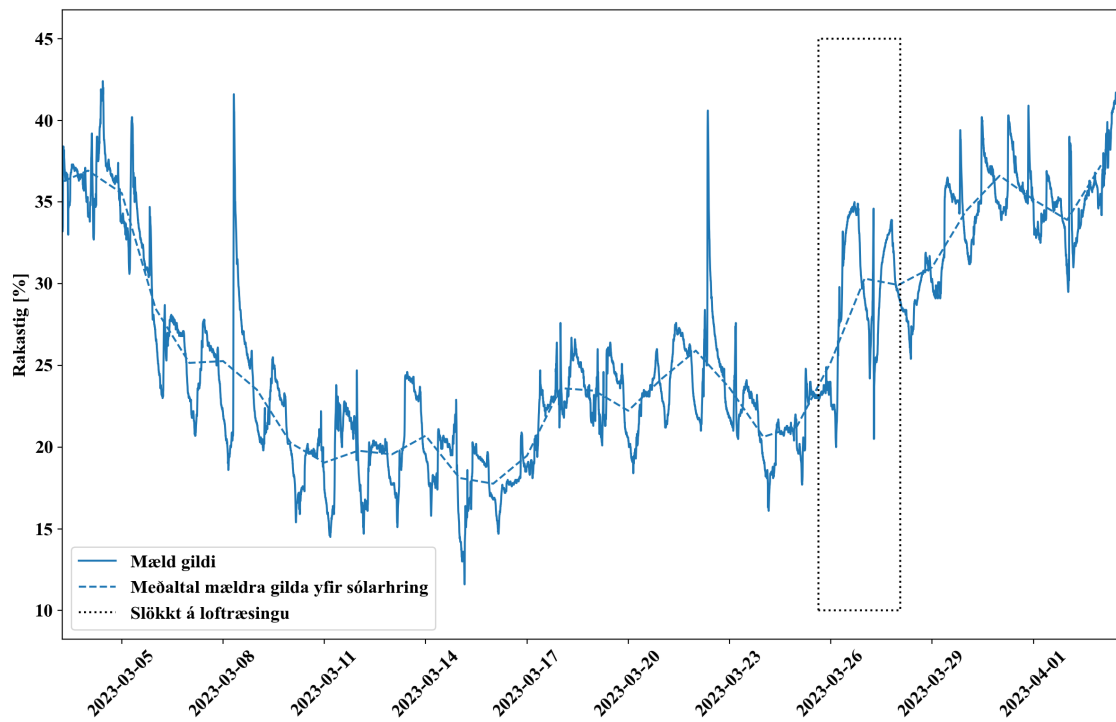
Hlutfallsraki [%]	Tímabil	Meðaltal	Hæsta gildi	Lægsta gildi
Kveikt á loftræsingunni	4.3 - 26.3 & 28.3 - 3.4	26,6	42,4	11,6
Slökkt á loftræsingunni	26.3 - 28.3	28,9	35,0	20,0

Tafla 31: Hlutfallsraki í svefnherbergi 2

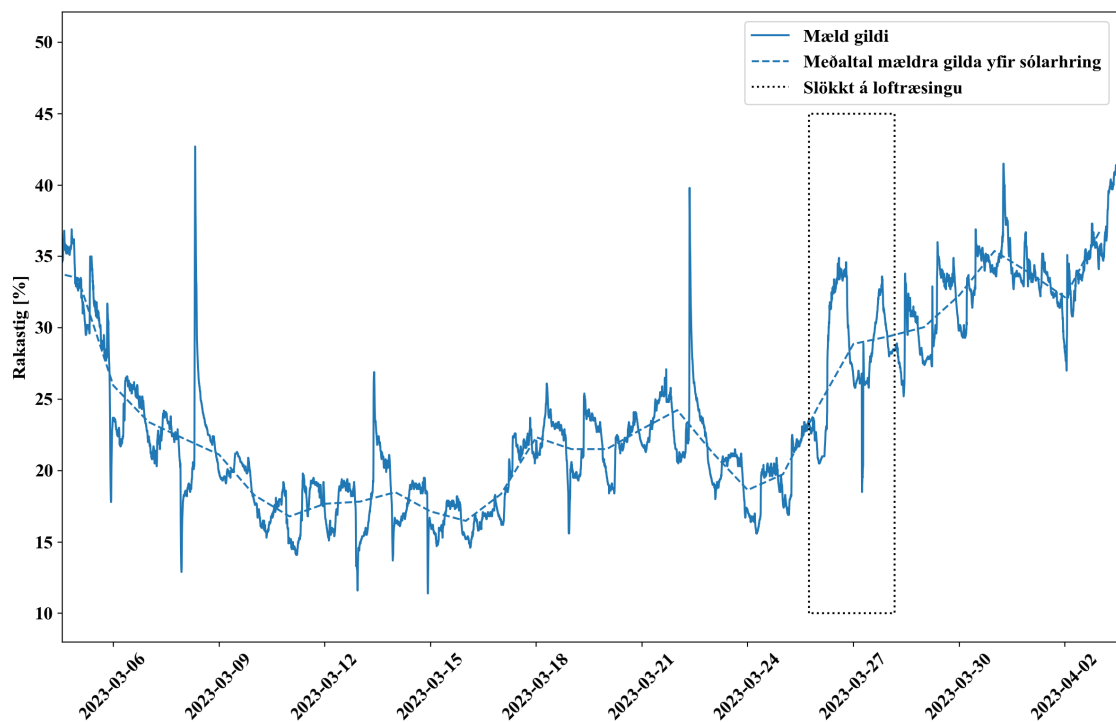
Hlutfallsraki [%]	Tímabil	Meðaltal	Hæsta gildi	Lægsta gildi
Kveikt á loftræsingunni	4.3 - 26.3 & 28.3 - 3.4	24,2	50,1	11,4
Slökkt á loftræsingunni	26.3 - 28.3	28,0	34,9	18,5

Þegar skoðaðar eru mælingar hlutfallsraka innilofts í svefnherbergjunum má sjá að ekki mikill munur er á meðaltali þegar kveikt er á loftræsingunni og þegar slökkt er á henni. Meðaltöl beggja tilfella fyrir bæði svefnherbergin eru þó aðeins of lág, eða undir 30%. Sjá má að hæsta

gildi hlutfallsraka þegar kveikt er á loftræsingunni er hærra en hæsta gildi þegar slökkt er á henni fyrir bæði herbergi. Að sama skapi má sjá að lægsta gildi hlutfallsraka þegar kveikt er á loftræsingunni er lægra en lægsta gildi þegar kveikt er á henni. Hlutfallsrakinn er því á breiðara bili þegar kveikt er á vélrænu loftræsingunni heldur en þegar slökkt er á henni.



(a) Svefnherbergi 1



(b) Svefnherbergi 2

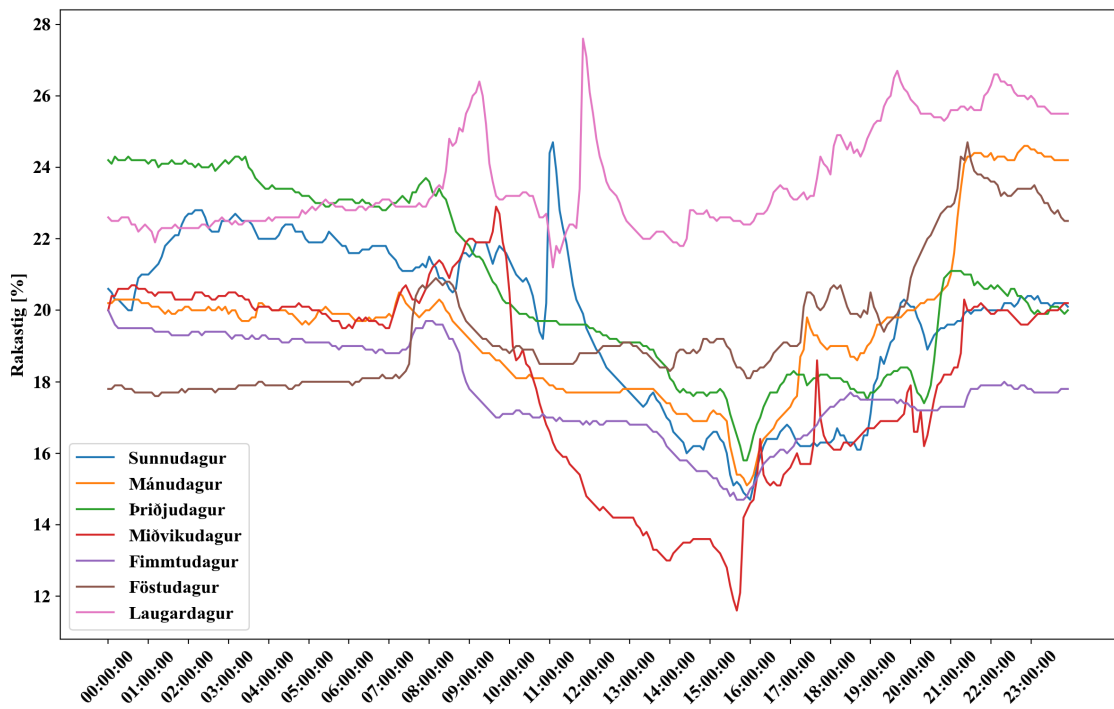
Mynd 34: Hlutfallsraki í svefnherbergjunum á tímabilinu

Ef skoðuð eru tímabilin þegar kveikt er á loftræsikerfinu er meðaltal hlutfallsrakans á dag í svefnherbergjunum á bilinu 16,5% - 37,6%. Meðaltal hlutfallsrakans í innloftinu þann 27. mars,

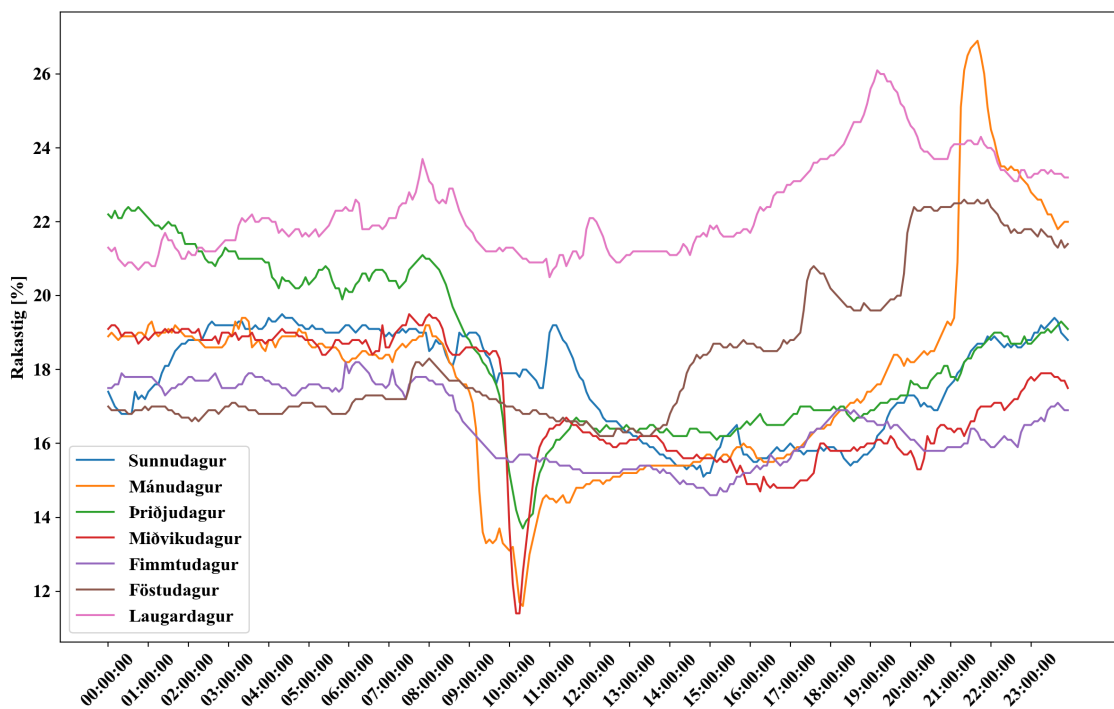
sem var eini heili sólarhringurinn sem slökkt var á loftræsikerfinu, var 30,3% í svefnherbergi 1 og 28,9% í svefnherbergi 2. Um 33% tímans í svefnherbergi 1 og um 26% tímans í svefnherbergi 2 er hlutfall hlutfallsrakans yfir 30% þegar kveikt er á loftræsingunni. Hlutfall tímans sem rakastigið er yfir 30% það tímabil sem slökkt er á loftræsingunni er um 43% tímans í svefnherbergi 1 og um 36% tímans í svefnherbergi 2. Vert er að hafa í huga að um sérstaklega þurrt veður var að ræða á mælingartímabilinu.

Til þess að skoða áhrif íbúa á hlutfallsraka í svefnherbergjunum má sjá á mynd 35 hlutfallsraka í loftinu eftir tíma sólahringsins fyrir vikuna 12.-19. mars. Á því tímabili var kveikt á loftræsingunni.

Sjá má að ekki er afgerandi munstur hlutfallsraka í herbergjum eftir tíma dags. Þó virðist vera að frá klukkan 22:00 og fram undir morgun sé rakastig í herbergjum nokkuð stöðugt, eða á milli 16% - 24%. Um klukkan 07:00 fer svo rakastigið að hækka lítillega flesta daga í svefnherbergi 1 á meðan það fer lækkandi í svefnherbergi 2. Hlutfallsrakinn fer svo að lækka eftir klukkan 09:00 í svefnherbergi 1 þar til um klukkan 16:00 fer svo rakastigið aftur vaxandi eða þar til um klukkan 22:00 þar sem það staðnar. Um klukkan 11:00 fer rakastigið að hækka í svefnherbergi 2. Mikill munur er á hlutfallsraka í loftinu á milli daga og suma virðist vera að hlutfallsraki í inniloftinu hegði sér í takt við viðveru íbúa á meðan aðra haldist það nokkuð stöðugt yfir daginn.



(a) Svefnherbergi 1



(b) Svefnherbergi 2

Mynd 35: Hlutfallsraki í svefnherbergjunum eftir tíma dags

Greinilegt er að loftræsikerfið hefur áhrif á loftgæði íverurýma og þá sérstaklega með tilliti til koltvísýrings. Samkvæmt niðurstöðum þessarar rannsóknar uppfylla bæði vélræn og náttúruleg

loftræsikerfi kröfur byggingarreglugerðar með tilliti til hitastigs en aðeins meðaltal vélrænu loftræsingarinnar uppfyllir kröfurnar sem gerðar eru til koltvísýringsstyrks. Þó koma of háir toppar þegar notast er við vélræna loftræsinguna sem ekki teljast innan marka byggingarreglugerðar.

11 Umræða um niðurstöður

Niðurstöður lífsferilsgreininga hita- og loftræsikerfisins eru þær að á 60 ára æviskeiði, þegar horft er til flokka A1-A3 og B4, losar loftræsikerfið $12,1 \text{ kgCO}_{2eq}/\text{m}^2$ og hitakerfið $21,8 \text{ kgCO}_{2eq}/\text{m}^2$ sem gerir að á ári losi loftræsikerfið $0,20 \text{ kgCO}_{2eq}/\text{m}^2$ og hitakerfið $0,37 \text{ kgCO}_{2eq}/\text{m}^2$. Það er því ljóst að hitakerfið losar meira heldur en loftræsikerfið þó að fleiri íhluti vanti í greiningu hitakerfisins vegna gagnaskorts. Eins og fram hefur komið er losun koltvísýringsígilda á fermeter vegna framleiðslu loftræsikerfisins því 24% af heildarlosun framleiðslu fyrir uppbyggingu timburhúss. Er það tæplega fjórðungur og því ljóst að um stóran hluta losunar að ræða sem mikilvægt er að tekin séu með inn í lífsferilsgreiningar bygginga almennt.

Sé losun kerfanna borin saman við losun meðalstórs fólksbíls sem eyðir $9,5 \text{ l}/100 \text{ km}$ af bensíni með meðalkeyrslu uppá 15.000 km á ári, losar framleiðsla og viðhald loftræsikerfisins jafn mikið og einn bíll gerir á 10 árum og hitakerfisins jafn mikið og bíllinn gerir á rúmum 18 árum.

Þegar á heildina er litið, þ.e. kerfin saman, er það framleiðsluferlið (A1-A3) sem ber ábyrgð á stærri hluta losunarinnar, eða 59%. Þegar litið er á kerfin í sitthvoru lagi er það viðhaldið (B4) sem er stærri hluti af losuninni hjá hitakerfinu en framleiðsluferlið (A1-A3) hjá loftræsikerfinu. Er það vegna endingartíma íhluta loftræsikerfisins sem er almennt lengri en íhluta hitakerfisins. Stokkakerfið sjálft vegur mest, eða tæp 58,6%, af losun frá framleiðslu íhluta loftræsikerfisins en er það einnig lang stærsti og þyngsti hluti þess. Lífaldur þeirra er hins vegar langur eða að minnsta kosti 60 ár og því litið sem ekkert viðhald. Næst mestu áhrifin hefur loftræsisamstæðan, en hún ber ábyrgð á rúmum 32,0% losunarinnar og hefur lífaldur uppá 25 ár svo hana þarf að endurnýja nákvæmlega 1,4 sinnum.

Tekið skal fram að mat á viðhaldi íhluta eftir að líftími þeirra hefur runnið sitt skeið er ofmetinn þar sem gert er ráð fyrir að öllum hlutum sé skipt út á meðan oft er raunin sú að hægt sé að endurnýta einhvern hluta af honum. Einnig er gert ráð fyrir því að íhlutirnir séu nákvæmlega eins og framleiddir á sama hátt og í dag, þ.e. ekki eru teknar til greina þær tækni framfarir sem er að vænta að verði á næstu árum og áratugum. Einnig er vert að nefna að yfirleitt endast hlutir töluvert lengur en framleiðandi gefur til kynna.

Næmnigreiningin sýnir að þegar lífaldur bygginganna er stytur niður í 30 ár eykst losunin um 70% frá loftræsikerfinu og um 14% frá hitakerfinu. Hins vegar þegar líftími bygginganna er lengdur í 75 ár má sjá minni breytingar. Losunin minnkar um 15% frá loftræsikerfinu en losun frá hitakerfinu breytist ekkert í heild, en losun vegna framleiðslu lækkar og losun vegna viðhalds hækkar um jafn mikið á móti. Þegar litið er til lífaldursins 100 ár minnkar losun um 25% fyrir loftræsikerfið þar sem losun vegna upphaflegs framleiðsluferlis (A1-A3) minnkar um 38% en losun vegna viðhalds (B4) eykst um 30%. Losun frá hitakerfinu breytist líkt og við 75 árin ekkert í heild. Það að stytta lífaldurinn hefur því meiri áhrif heldur en að lengja hann þar sem stærri hlutir kerfanna hafa lengri líftíma og umhverfisvænna er að geta nýtt þá út líftíma þeirra. Byggingar eru almennt með lengri lífaldur heldur en 60 ár og sjaldan skemmri, en þar sem niðurstöður haldast nokkuð jafnar eftir þann tíma má ætla að 60 ára líftími sé ásættanlegt viðmið.

Í upphafi verkefnavinnunnar var ætlunin að gera LCA greininguna alla í forritinu OneClick LCA með raungögnum um þá íhluti sem notaðir voru í hita- og loftræsikerfið. Átti að nota ákveðið Add-in í Revit sem tengist One-Click LCA beint og er notað til þess að sækja öll gögn um íhluti sem teiknaðir hafa verið inn í BIM módelið. Hefði þá forritið sjálfkrafa leitað í, eftir upplýsingunum frá BIM módelinu, gagnagrunn sinn og sett upp í greininguna. Hins vegar gekk þetta ekki upp fyrir þetta verkefni vegna þess hvernig BIM módelið hafði verið sett upp og því farið í að magntaka handvirkt. Einnig náðist ekki að útvega raungögn og því ákveðið að nota þá íhluti sem fyrirskrifaðir voru af hönnuðum eða sambærilega. Lítið er til af umhverfislýsingum fyrir íhluti þessara tækniherfa og því þurfti að sleppa nokkrum úr greiningunni. Því er hægt að bæta greininguna þegar gefið hafa verið út fleiri umhverfislýsingar íhluta þessara kerfa. Einnig er hægt að bæta við fleiri flokkum í lífsferilsgreininguna, þ.e. flutning (A4), losun við byggingu (A5), hina flokkana úr losun á notkunartíma (B1-B7) og losun vegna förgunar (C1-C4).

Niðurstöður orkuútreikninga forritanna IDA ICE og Simien gefa til kynna að húsin standist nýjar kröfur Svansins til orkumála, þ.e. 4. útgáfu viðmiða Svansins en þegar húsin voru byggð var 3. útgáfa viðmiða Svansins í gildi. Samkvæmt IDA ICE er orkunotkun endaraðhúsanna 80,5 kW h/m² og miðjuraðhúsanna 74,5 kW h/m². Samkvæmt Simien er orkunotkun endaraðhúsanna 80,9 kW h/m² og miðjuraðhúsanna 70,0 kW h/m². Þau gildi sem 4. útgáfa Svansins krefst að húsin séu undir er 162,1 kW h/m² fyrir endaraðhúsin og 145,5 kW h/m² fyrir miðjuraðhúsin. Eru útreiknuð gildi samkvæmt báðum forritum því vel fyrir neðan þau mörk og því má telja að húsin séu hagkvæm þegar kemur að orkunotkun. Ljóst að húsin eru vel einangruð og orkusparneytin, en einnig sýna U-gildi byggingarinnar fram á það.

Þegar skoðaðar eru niðurstöður forritanna með tilliti til vélrænnar loftræsingar án varmaendurvinnslu og náttúrulegrar loftræsingar má sjá að töluverður munur er þar á. Ljóst er að forritin vanmeti það loftmagn sem þarf upphitun þegar um náttúrulega loftræsingu er að ræða. Samkvæmt Simien eru aðeins opnaðir gluggar ef hitastigið fer yfir 24 °C og á tímabilinu frá maí til september og því ljóst að upphitun á útilofti sé lítil og ekki raunhæf. Áhugavert væri að skoða nánar hvaða loftmagni IDA ICE gerir ráð fyrir. Þegar um vélræna loftræsingu án varmaendurvinnslu er að ræða er gert ráð fyrir að föstu loftmagni sé blásið inn og þar með frábrugðið náttúrulegri loftræsingu þar sem margir þættir koma að því hvenær og hvort gluggar séu opnaðir.

IDA ICE gefur 0,49% lægri niðurstöður fyrir endahús heldur en Simien en fyrir miðjuhús gefur Simien tæpum 6,0% lægri niðurstöðu heldur en IDA ICE. Þegar skoðuð er orkunotkun húsanna þar sem gert er ráð fyrir náttúrulegri loftræsingu gefur IDA ICE tæpum 7,0% lægri niðurstöðu heldur en Simien fyrir endahús og 8,5% lægri niðurstöðu fyrir miðjuhús. Fyrir vélræna loftræsingu án varmaendurvinnslu er töluverður munur á niðurstöðum IDA ICE og Simien, en IDA ICE gefur 17% lægri niðurstöður heldur en Simien fyrir endaraðhús og 22% lægri niðurstöður fyrir miðjuraðhús. IDA ICE gerir ráð fyrir að vélræn loftræsing með varmaendurvinnslu spari um 2,0% - 8,5% orkunotkunar samanborið við náttúrulega loftræsingu en Simien 14,4% - 15,8%. Sparast þá koltvísýringslosun vegna minni orkunotkunar sem jafnast á við 7% - 37% af þeirri losun sem varð við framleiðslu kerfisins samkvæmt IDA ICE og 65%-67% samkvæmt Simien. Sé vélræn

loftræsing með varmaendurvinnslu borin saman við vélræna loftræsingu án varmaendurvinnslu sparast 35% - 40% orka samkvæmt IDA ICE með varmaendurvinnslunni og um 49% - 52% samkvæmt Simien. Gerir þetta að sú losun sem sparast er jöfn tvöfaldri til þrefaldri þeirrar losunar sem verður við framleiðslu kerfisins samkvæmt IDA ICE og tæplega fjórfaldri þeirrar losunar samkvæmt Simien. Má áætla að raunverulegur ávinningur þess að vera með vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu miðað við náttúrulega loftræsingu sé því einhverstaðar á milli niðurstaðanna sem fengust með náttúrulegri loftræsingu og vélrænu loftræsingunni án varmaendurvinnslu. Erfitt er að herma hegðun fólks og þar af leiðandi erfitt að meta hversu miklu loftmagni á að gera ráð fyrir en má áætla að það sé í minnsta lagi það loftmagn sem hermanir náttúrulegu loftræsingarinnar gerðu ráð fyrir og í mesta lagi það loftmagn sem vélræn loftræsing án varmaendurvinnslu gerir ráð fyrir.

Ljóst er að Simien geri ráð fyrir að loftræsikerfi með endurvinnslu spari meiri orku heldur en IDA ICE gerir ráð fyrir. Sá ávinningur sem hlýst af því að vera með vélræna loftræsingu með varmaendurvinnslu er því töluverður, sérstaklega samkvæmt Simien, og getur breytt miklu þegar sækja á um umhverfissvottun.

Þegar skoðað er hlutfallslegt varmatap húsanna samkvæmt forritunum, má sjá að munur er á því hversu stór hluti sé vegna loftræsingar og loftleka þegar þau eru útbúin vélrænu loftræsikerfi með varmaendurvinnslu. Einnig eru niðurstöður um hversu stór hluti varmataps verður vegna kuldabréa frábrugðnar þegar um náttúrulega loftræsingu er að ræða. Þá eru forritin einnig með mjög ólíkar niðurstöður fyrir hlutfall varmataps vélrænnar loftræsingar og loftleka þegar um vélræna loftræsingu án varmaendurvinnslu er að ræða. Gefa niðurstöður Simien til kynna að meiri loftleki sé í húsunum þegar um er að ræða náttúrulega loftræsingu heldur en niðurstöður IDE ICE gera. Eiga forritin það sameiginlegt að hlutfall varmataps vegna loftleka minnkar á kostnað vélræna loftræsikerfisins þegar borið er saman náttúrulega loftræsingu og vélræna með varmaendurvinnslu, bara mismikið. Þegar skoðaðar eru niðurstöður forritanna með vélrænni loftræsingu án varmaendurvinnslu má sjá að mikill munur er á hvernig þau meta varmatap vegna loftræsingarinnar og loftleka, en Simien telur varmatapið vegna vélrænu loftræsingarinnar töluvert meiri en IDA ICE, en öfugt fyrir loftleka.

Tekið skal fram að bæði forritin eru mjög næm fyrir þeim breytum sem koma innihitastigi og innblásturshitastigi við, væri hægt að nýta þetta til þess að gera hermanirnar með öðrum gildum en notast var við í þessu verkefni til þess að sjá hvort önnur hitastig sem uppfylla kröfur gefi betri niðurstöður orkunotkunar. Einnig er IDA ICE með marga möguleika á stillingum fyrir loftræsikerfið sem hægt væri að breyta og prófa sig áfram með, jafnvel til þess að sjá út hvað það er nákvæmlega sem gerir þær niðurstöður frábrugðnar niðurstöðum Simien.

Raunorkunotkun endaraðhúsa er töluvert meiri heldur en orkuútreikningar gefa til kynna eða 269,22 kW h/m². Athugavert er að svo vel hönnuð, loftræst og einangruð hús skuli nota svo mikla orku. Hefur að öllum líkindum tekið einhvern tíma að koma loftræsikerfinu í jafnvægi og gæti því verið að fyrstu mánuðir mælinga gefi ekki rétta mynd af notkuninni. Þó óvissuþættir og breytur séu margar eru þó niðurstöðurnar áhugaverðar þar sem þetta sýnir mikilvægi þess að gera orkuútreikninga við hönnun bygginga. Er með þeim hægt að besta keyrslu kerfanna þegar

þau eru komin upp og stuðla þar með að hámarks orkunýtingu bygginga.

Niðurstöður loftgæðamælinga í svefnherbergjunum sýna að loftgæði haldast innan marka og uppfylla að meðaltali byggingarreglugerð. Hitastig er 21,5 °C, koltvísýringsstyrkur 748,6 ppm og hlutfallsraki 26,6% að meðaltali í svefnherbergi sem einn sefur í og hitastigið er 22,6 °C, koltvísýringsstyrkur 770,9 ppm og hlutfallsraki 24,2% í svefnherbergi sem tveir sofa í. Áætlað er að 7 l/s sé blásið inn í svefnherbergi á mann. Hæstu gildi koltvísýrings eru þó of há og uppfylla ekki viðmið byggingarreglugerðar, en fara þeir töluvert yfir 1000 ppm. Í svefnherbergi 1 fer styrkurinn mest í 1.633,1 ppm og mest í 1.569,1 ppm í svefnherbergi 2. Það er því ljóst að viðmiðið 7 l/s á mann dugir ekki til þess að tryggja að loftgæði fari aldrei í stuttan tíma yfir 1000 ppm. Hvað hitastigið varðar hélst það nokkuð jafnt í báðum herbergjum þó koma reglulega toppar í svefnherbergi 2 sem fara jafnvel yfir 30 °C og mest fer það í 32,7 °C. Hefur það herbergi svalahurð og glugga sem snúa í austur og annan glugga sem snýr í suður. Sólarálagið á það herbergi er því töluvert. Að sama skapi koma líka lágir punktar en lægst fer það í 13,2 °C. Getur það stafað af notkun svalanna en ef hurðin er opin kólnar hratt í herberginu. Mælirinn var staðsettur innarlega í herberginu, langt frá opnanlegum fögum og innblástursventli, en hugsanlegt er að á sólrikum dögum hafi sólin skinið beint á mælin. Í svefnherbergi 1 er lítið um háar og lágar mælingar en mest fer hitastigið í 26,7 °C og minnst í 17,5 °C. Þar er ekki jafn mikið sólarálag og ekki jafn stór opnanleg fög. Mælirinn var staðsettur innarlega í herberginu svo það má áætla að mælingar séu áreiðanlegar. Í báðum herbergjum hækkar hitastigið á daginn, fyrr í herbergi 2 vegna snúningsátta glugga. Meðaltal hlutfallsraka í inniloftinu var heldur lágur, eða að meðaltali 26,6% í herbergi 1 og 24,2% í herbergi 2. Það að lítið sem ekkert rigndi á mælingatímabilinu getur útskýrt það. Ljóst er þegar mælingarnar eru skoðaðar, að íbúar hafa töluverð áhrif á inniloftið þegar kemur að koltvísýringi.

Þann stutta tíma sem slökkt var á loftræsingunni, eða tvo sólahringa, má sjá að koltvísýringsmagn í lofti hækkar töluvert og er meðaltal styrksins 1.902,23 ppm í svefnherbergi 1 og 1.858,7 ppm í svefnherbergi 2. Eru þessi gildi töluvert hærri en kröfur byggingarreglugerðar segja til um. Hæst fer koltvísýringsstyrkurinn í 3.378,3 ppm í herbergi 1 og í 3.434,1 ppm í herbergi 2, telst þessi styrkur skaðlegur heilsu fólks. Yfir daginn fundu íbúar fyrir miklum mun á líðan, fannst þau vera þreytt og andrúmsloftið þungt. Voru því gluggar og svalahurð opnuð. Hitastigið í svefnherbergi 1 hækkaði og var meðaltal þess í herberginu yfir þessa tvo sólahringa 23,1 °C og í svefnherbergi 2 var meðaltalið 23,4 °C. Þar sem gluggi og svalahurð í svefnherbergi 2 voru opnuð snöggkólnaði í herberginu og fór niður í 11 °C. Út frá þessu má því áætla að þegar um náttúrulega loftræsinguna er að ræða, sveiflist hitastig meira þar sem opnaðir eru gluggar og rýmið kólnar þá hraðar og jafnvel mun meira en áætlað er. Engin augljós áhrif frá loftræsikerfinu virðast vera á hlutfallsraka í innilofti. Erfitt er að segja til um nákvæmlega hvaða áhrif loftræsingin hefur á alla þá þætti sem teknir hafa verið til skoðunar þar sem aðeins var slökkt á loftræsingunni í stuttan tíma og því ekki hægt að meta langtímaáhrifin. Gefa þessar niðurstöður þó góða vísbendingu um virkni loftræsingarinnar. Þessar snöggu breytingar sem urðu á koltvísýringsstyrk í rýminu eru áhugaverðar og vert er að skoða þetta nánar með tilliti til loftmagns sem blásið er inn í rýmið.

12 Samantekt og niðurlag

Markmið verkefnisins var að meta loftræsikerfið í Urriðaholtsstræti 44-74 með tilliti til kolefnislosunnar framleiðslu þess og viðhalds, orkunotkunar bygginganna og loftgæða í svefnherbergjum til þess að svara eftirfarandi rannsóknarspurningum:

1. Hversu mikil áhrif hafa tækniakerfin á niðurstöðu LCA greiningar bygginga?
2. Hver er ávinningur vélræns loftræsikerfis með varmaendurvinnslu þegar kemur að orkunotkun?
3. Bætir vélræn loftræsing loftgæði íbúa?

Notast var við Revit líkan bygginganna til þess að afla upplýsinga um íhluti kerfanna. Við gagnaöflunina var leitast eftir nákvæmlega þeim íhlutum sem fyrirskrifaðir voru eða sambærilegum og sett upp í lífsferilsgreiningu. Fengust þær niðurstöður að loftræsikerfið losar 12,1 kgCO_{2eq}/m² yfir líftíma bygginganna og hitakerfið 21,8 kgCO_{2eq}/m². Loftræsikerfið losar því um 46% minna kgCO_{2eq}/m² heldur en hitakerfið. Viðhald hitakerfisins vegur þungt vegna stutts lífaldur íhluta þess. Lífaldur íhluta er þó varfærnislega ákvarðaður og endast þeir oft lengur en framleiðandi áætla. Hvað loftræsikerfið varðar er það framleiðsla kerfisins sem er stærri hluti losunarinnar og eru það loftræsilagnir þess og loftræsisamstæða sem vega þar þyngst. Væri því mikill ávinningur í því ef hægt væri að framleiða þá hluti á umhverfisvænni hátt. Losun framleiðslu loftræsikerfisins er 24% af heildarlosun framleiðslu fyrir uppbyggingu timburhúss sem er stór hluti eða tæplega fjórðungur. Því er því ljóst að mjög mikilvægt er að loftræsikerfi séu tekin með í lífsferilsgreiningar bygginga.

Til þess að meta áætlaða orkunotkun húsanna voru líkön af endaraðhús og miðjuraðhús sett upp í forritunum IDA ICE og Simien, með vélrænni loftræsing með og án varmaendurvinnslu og náttúrulegri loftræsing. Gaf IDA ICE þá niðurstöðu að vélræn loftræsing með varmaendurvinnslu sparar 2,0% - 8,5% orku á meðan Simien gefur þær niðurstöður að hún spari 14,4% - 15,8% samanborið náttúrulegri loftræsing. Sparast þá koltvísýringslosun vegna minni orkunotkunar sem jafnast á við 7% - 37% af þeirri losun sem varð við framleiðslu kerfisins samkvæmt IDA ICE og 65% - 67% samkvæmt Simien. Þegar vélræna loftræsikerfið með varmaendurvinnslu er borið saman við vélrænt loftræsikerfi án varmaendurvinnslu sparast tvöföld til þreföld sú losun sem verður við framleiðslu kerfisins samkvæmt IDA ICE og tæðlega fjórfjöld sú losun samkvæmt Simien. Metur því Simien ávinninginn af því að vera með vélrænt loftræsikerfi meiri heldur en IDA ICE gerir. Er allur ávinningur þó mikilvægur og getur skipt miklu máli, til dæmis þegar sækja á um vistvottun en þennan ávinning má líta svo á að með tímanum bæti hann upp fyrir þá losun sem verður við framleiðslu kerfisins. Má áætla að raunverulegur ávinningur þess að vera með vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu miðað við náttúrulega loftræsing sé því einhverstaðar á milli niðurstaðanna sem fengust með náttúrulegri loftræsing og vélrænu loftræsingunni án varmaendurvinnslu. Erfitt er að herma hegðun fólks og þar af leiðandi erfitt að meta hversu miklu loftmagni á að gera ráð fyrir en má áætla að það sé í

minnsta lagi það loftmagn sem hermanir náttúrulegu loftræsingarinnar gerðu ráð fyrir og í mesta lagi það loftmagn sem vélræn loftræsing án varmaendurvinnslu gerir ráð fyrir.

Mæld voru loftgæði í tveimur svefnherbergjum með tilliti til hitastigs, koltvísýringsstyrks og hlutfallsraka. Bæði voru gerðar mælingar með kveikt á vélræna loftræsikerfinu og slökkt á því, en aðeins var slökkt á kerfinu í skamman tíma og því niðurstöður þeirra mælinga ekki afgerandi fyrir alla þætti. Mátti greinilega sjá ávinning loftræsikerfisins þegar kom að koltvísýringsmagni í svefnherbergjunum. Meðaltal koltvísýrings í svefnherbergi sem tveir einstaklingar sofa í var 770,9 ppm þegar kveikt var á loftræsingunni en 1.858,7 ppm þegar slökkt var á henni, sem uppfyllir ekki kröfur byggingarreglugerðar. Hámarksgildi mælinga þegar kveikt var á loftræsingunni var 1.569,1 ppm en þegar slökkt var á henni 3.434,1 ppm sem er talið skaðlegt heilsu fólks. Ekki eru jafn afgerandi niðurstöður fyrir hitastig og hlutfallsraka en með langtímamælingum væri hægt að meta betur hver áhrif loftræsikerfisins eru á þá tvo þætti. Það er þó ljóst að vélræna loftræsikerfið hefur veruleg áhrif á loftgæði þegar kemur að koltvísýringsmagni.

Séu allir þessir þættir teknir saman og metnir má sjá á að loftræsikerfi hafa áhrif á alla þætti rannsóknarinnar. Losun við framleiðslu og viðhald kerfisins er $12,1 \text{ kgCO}_{2eq}/\text{m}^2$ yfir líftíma byggingarinnar en athuga skal að við notkun sparast losun koltvísýrings vegna framleiðslu á orku þökk sé orkusparneytni kerfisins. Því má réttlæta þá losun koltvísýrings sem verður vegna framleiðslu kerfisins með þeim jákvæðu áhrifum sem loftræsikerfið hefur á orkunotkun og loftgæði húsanna.

Heimildir

- [1] What is BREEAM and why is it important? Stonecycling, Sótt: 21. september 2022. [Online]. Available: <https://www.stonecycling.com/news/what-is-breeam/>
- [2] Garðabær. Kortavefur garðabæjar. Sótt: 15. febrúar 2023. [Online]. Available: <https://map.is/gardabaer/@358625,399364,z5.882924397786459,0>
- [3] “Skuldbindingar Íslands,” *Umhverfisstofnun*, Sótt: 10. maí 2023. [Online]. Available: <https://ust.is/loft/losun-grodurhusalofttegunda/skuldbindingar-islands/>
- [4] “Vegvísir að vistvænni mannvirkjagerð 2030,” *Byggjum grænni framtíð*, Sótt: 10. maí 2023. [Online]. Available: <https://byggjumgraenniframtid.is/>
- [5] Tanguy De Bienassis, Timothy Goodson, Kevin Lane, Jean-Baptiste Le Marois, Rafael Martinez-Gordon, Martin Husek, “Buildings,” iEA 2022, Sótt: 6. október 2022. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/buildings>
- [6] “Orkunotkun húsa - ástandskönnun 2005,” *Orkustofnun og Iðnaðarráðuneyti*, Sótt: 10. maí 2023. [Online]. Available: <https://gamli.hms.is/media/11566/orkunotkun-husa-astandskonnun-2005.pdf>
- [7] P. M. Cuce and S. Riffat, “A comprehensive review of heat recovery systems for building applications,” vol. 47, pp. 665–682. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115002403>
- [8] W. Z. Huang, M. Zaheeruddin, and S. Cho, “Dynamic simulation of energy management control functions for hvac systems in buildings,” *Energy Conversion and Management*, vol. 47, no. 7, pp. 926–943, 2006. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890405001664>
- [9] World health organization. WHO guidelines for indoor air quality. WHO 2010, Sótt: 8. apríl 2022. [Online]. Available: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf
- [10] Byggingarreglugerð. Húsnæðis- og mannvirkjastofnun, Sótt: 5. desember 2022. [Online]. Available: <https://www.byggingarreglugerd.is/>
- [11] Vistvottunarkerfi. Grænni Byggð, Sótt: 21. september 2022. [Online]. Available: <https://www.graennibyggd.is/vistvottunarkerfi>
- [12] BREEAM. Grænni Byggð, Sótt: 21. september 2022. [Online]. Available: <https://www.graennibyggd.is/breeam>
- [13] B. Tryggvadóttir, B. Q. Hu, and Þórhildur Fjóla Kristjánsdóttir, “Orkukröfur - breeam kröfur og reynslan af að uppfylla þær í íslenskum verkefnum,” Grænni Byggð,

- Tech. Rep., 2019. [Online]. Available: https://www.graennibyggd.is/_files/ugd/54e708_ee0e811646024a38976cb16eac0ed4f0.pdf
- [14] The official ecolabel of the nordic countries. Nordic Ecolabelling, Sótt: 29. september 2022. [Online]. Available: <https://www.nordic-ecolabel.org/nordic-swan-ecolabel/>
- [15] Byggingar. Umhverfismerkið Svanurinn, Sótt: 29. september 2022. [Online]. Available: <https://svanurinn.is/voruflokkar/byggingar/>
- [16] F. Sveinsson, “Reynslan af umhverfissvottuninni svanurinn fyrir byggingar, hluti i,” Grænni byggð, Tech. Rep., 2019.
- [17] —, “Reynslan af umhverfissvottuninni svanurinn fyrir byggingar, hluti ii,” Grænni byggð, Tech. Rep., 2019.
- [18] European Commission. Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability., *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook :general guide for life cycle assessment : detailed guidance*. Publications Office. [Online]. Available: <https://data.europa.eu/doi/10.2788/38479>
- [19] D. Mu, C. Xin, and W. Zhou, “Chapter 18 - life cycle assessment and techno-economic analysis of algal biofuel production,” in *Microalgae Cultivation for Biofuels Production*, A. Yousuf, Ed. Academic Press, pp. 281–292. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128175361000187>
- [20] Start a conversation with one click LCA. [Online]. Available: <https://oneclicklca.drift.click/building-lca-ebook>
- [21] D. Rochlitzer and T. Lützkendorf, “Management and communication of HVAC-specific life cycle-related information - filling the gaps for sustainability assessment of buildings,” vol. 1078, no. 1, p. 012104. [Online]. Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1078/1/012104>
- [22] T. Ahmad and M. J. Thaheem, “LCIA parameters and the role of BIM towards sustainability: Regional and temporal trends,” vol. 12, no. 5, p. 700, number: 5 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/5/700>
- [23] Umhverfisyfirlýsing vöru (EPD). [Online]. Available: <https://www.graennibyggd.is/epd-umhverfisyfirlýsing-voeru>
- [24] What is BIM | building information modeling | autodesk. [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/industry/aec/bim>
- [25] M. Röck, A. Hollberg, G. Habert, and A. Passer, “LCA and BIM: Visualization of environmental potentials in building construction at early design stages,” vol. 140,

- pp. 153–161. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013231830266X>
- [26] World’s fastest building life cycle assessment software - one click LCA. One Click LCA, Sótt: 10. október 2022. [Online]. Available: <https://www.oneclicklca.com/>
- [27] Staðlaráð, “Íst 66, varmatap húsa - Útreikningur,” *Staðlaráð Íslands*, 2. útgáfa, 2016.
- [28] EFLA, “Orkunotkun: Urriðaholtsstræti 44-74,” *Hermun á orkunotkun, Efla Verkfræðistofa, Reykjavík, Ísland*, 2020 (óbirt).
- [29] Jón Sigurjónsson, “Einangrunarefni - gerðir og eiginleikar,” nýsköpunarmiðstöð Íslands, 2017, Sótt: 24. apríl 2023. [Online]. Available: https://hms-web.cdn.prismic.io/hms-web/71d90949-47c2-46c4-ab74-76c1e921704b_K.001+Einangrunarefni_2017.pdf
- [30] IDA ICE - simulation software | EQUA. Sótt: 14. nóvember 2022. [Online]. Available: <https://www.equa.se/en/ida-ice>
- [31] Energy calculation program | sim energy. Sótt: 14. nóvember 2022. [Online]. Available: <https://simenergi.no/produkt/>
- [32] P. P. Pomorski, “Energy efficiency simulation of two types of decentralised ventilation system in a rehab residential building,” Master’s thesis, OsloMet-storbyuniversitetet, 2022.
- [33] M. Metlid, “Simulation-based building integration of a multifunctional heat pump system: Case of otto nielsens vei 12e,” Master’s thesis, NTNU, 2019.
- [34] “Varmanotkun á Íslandi 2020 eftir eftir veitusvæðum,” *Orkustofnun*, 22. apríl 2022, Sótt: 11. maí 2023. [Online]. Available: <https://orkustofnun.is/gogn/Talnaefni/OS-2022-T002-01.pdf>
- [35] H. Íslands, “Heildarnotkun orku eftir uppruna 1940-2020,” *Hagstofa Íslands 2020*, Sótt: 31. maí 2023.
- [36] “Losunarstuðlar,” *Umhverfisstofnun*, 5. útgáfa 2022, Sótt: 11. maí 2023. [Online]. Available: https://ust.is/library/sida/Loft/Losunarstudlar_UST_5.0.2.pdf
- [37] EPA, “Power profiler,” *United States Environmental Protection Agency 2021*, Sótt: 31. maí 2023.
- [38] EEA, “Greenhouse gas emission intensity of electricity generation,” *European Environment Agency 2021*, Sótt: 31. maí 2023.
- [39] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, and C. Pout, “A review on buildings energy consumption information,” vol. 40, no. 3, pp. 394–398. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778807001016>

- [40] I. Blom, L. Itard, and A. Meijer, “LCA-based environmental assessment of the use and maintenance of heating and ventilation systems in dutch dwellings,” vol. 45, no. 11, pp. 2362–2372. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132310001198>
- [41] M. Nyman and C. J. Simonson, “Life cycle assessment of residential ventilation units in a cold climate,” vol. 40, no. 1, pp. 15–27. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132304001532>
- [42] I. Kjekken, “Embodied carbon of technical installations in a norwegian office and teaching building an LCA-based study of the ocean space center,” accepted: 2021-11-16T18:19:39Z Publisher: NTNU. [Online]. Available: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2829947>
- [43] P. Ylmén, D. Peñaloza, and K. Mjörnell, “Life cycle assessment of an office building based on site-specific data,” *Energies*, vol. 12, no. 13, 2019. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/13/2588>
- [44] W. W. Che, C. Y. Tso, L. Sun, D. Y. Ip, H. Lee, C. Y. Chao, and A. K. Lau, “Energy consumption, indoor thermal comfort and air quality in a commercial office with retrofitted heat, ventilation and air conditioning (hvac) system,” *Energy and Buildings*, vol. 201, pp. 202–215, 2019. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778819303640>
- [45] S. Taheri and A. Razban, “Learning-based co2 concentration prediction: Application to indoor air quality control using demand-controlled ventilation,” *Building and Environment*, vol. 205, p. 108164, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132321005655>
- [46] A. Mardiana-Idayu and S. B. Riffat, “Review on heat recovery technologies for building applications,” vol. 16, no. 2, pp. 1241–1255. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211100476X>
- [47] Y. Yau, “The use of a double heat pipe heat exchanger system for reducing energy consumption of treating ventilation air in an operating theatre—a full year energy consumption model simulation,” *Energy and Buildings*, vol. 40, no. 5, pp. 917–925, 2008. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778807002010>
- [48] L. Wang, D. Curcija, and J. Breshears, “The energy saving potentials of zone-level membrane-based enthalpy recovery ventilators for vav systems in commercial buildings,” *Energy and Buildings*, vol. 109, pp. 47–52, 2015. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815303236>
- [49] M. Nasif, R. AL-Waked, G. Morrison, and M. Behnia, “Membrane heat exchanger in hvac energy recovery systems, systems energy analysis,” *Energy and Buildings*, vol. 42, no. 10,

- pp. 1833–1840, 2010. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810001829>
- [50] M. Fehrm, W. Reiners, and M. Ungemach, “Exhaust air heat recovery in buildings,” *International Journal of Refrigeration*, vol. 25, no. 4, pp. 439–449, 2002. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700701000354>
- [51] M. W. Liddament, “A guide to energy efficient ventilation.” [Online]. Available: https://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/Guides/GU03%20GUIDE%20TO%20ENERGY%20EFFICIENT%20VENTILATION.pdf
- [52] Staðlaráð, “Íst en iso 7730, ergonomics of the thermal environment - analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the pmv and ppd indices and local thermal comfort criteria,” *Staðlaráð Íslands*, 2006.
- [53] A. Þór Sævarsson, “Loftræsing íbúðarhúsnæðis mælingar á koltvísýringi og rakaíbætingu,” háskólinn í Reykjavík, 2021. [Online]. Available: https://skemman.is/bitstream/1946/40166/1/LoftrAesing%20%C3%ADbAzhAarhAžsnAeAris_Arnar_lokaskil.pdf
- [54] Andrew K. Persily, “Evaluating building IAQ and ventilation with indoor carbon dioxide,” aSHRAE, Sótt: 3. apríl 2023. [Online]. Available: https://www.aivc.org/sites/default/files/airbase_10530.pdf
- [55] Ólafur Ingi Bjarnason, “Loftræsing íbúða á Íslandi,” háskólinn í Reykjavík, 2019. [Online]. Available: <https://skemman.is/bitstream/1946/34900/1/Aflafur%20Ingi%20Bjarnason%20LoftrAesing%20%C3%ADbAzhAa%20Aa%20AIslandi.pdf>
- [56] P. Batog and M. Badura, “Dynamic of changes in carbon dioxide concentration in bedrooms,” *Procedia Engineering*, vol. 57, pp. 175–182, 2013, modern Building Materials, Structures and Techniques. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705813007558>
- [57] Swegon. R3 smart. Sótt: 5. mars 2023. [Online]. Available: <https://www.swegon.com/products/air-handling/casa/r3-smart/>
- [58] S. Bjarnadóttir and B. Marteinsson, “I. hluti - mat á kolefnislosun frá íslenskum byggingariðnaði,” *Vegvísir að vistvænni mannvirkjagerð 2030 - Byggjum grænni framtíð 2022*, Sótt: 31. maí 2023.
- [59] A. H. Ingólfssdóttir and R. H. Jónsdóttir, “Hvað mengar eitt álver mikið í samanburði við bíl?” *Vísindavefurinn*, 28. júní 2005, Sótt: 4. apríl 2023. [Online]. Available: <https://www.visindavefur.is/svar.php?id=5096>
- [60] Getawair. Awair omni. Sótt: 26. apríl 2023. [Online]. Available: <https://www.getawair.com/products/omni>

- [61] Tom Greiner. Indoor air quality: Carbon monoxide and carbon dioxide (AEN-125).
- [62] Alan Buis. The atmosphere: Getting a handle on carbon dioxide. Nasa, 2019, Sótt: 2. apríl 2023. [Online]. Available: <https://climate.nasa.gov/news/2915/the-atmosphere-getting-a-handle-on-carbon-dioxide/>
- [63] Björn Marteinnsson. Hvaða rakastig er æskilegt að hafa innandyra og hvað er það vanalega hér á Íslandi? Vísindavefurinn, 2013, Sótt: 26. apríl 2023. [Online]. Available: <https://www.visindavefur.is/svar.php?id=51233#>
- [64] Umhverfisstofnun, “Inniloft, raki og mygla í híbýlum, 2015,” Sótt: 26. apríl 2023. [Online]. Available: https://ust.is/library/Skrar/utgefing/Annad/Inniloft,%20raki%20og%20mygla_2015%20KH.pdf
- [65] “Tíðarfar í mars 2023,” *Veðurstofa Íslands*, 4. apríl 2023, Sótt: 26. apríl 2023. [Online]. Available: <https://www.vedur.is/um-vi/frettir/tidarfar-i-mars-2023>

*

Viðaukar

A Viðauki - Magnskrár

A.1 Magnskrá loftræsikerfis

Loftræsikerfi		
Loftræsistokkar		
Stokkar, tengistykki, einangrun og frágangur		
<i>Lagnir úr galvaniseruðu stáli</i>		
Sívalir stokkar ø100	265	lm
Sívalir stokkar ø125	340	lm
Sívalir stokkar ø160	146	lm
<i>Plastbarkar</i>		
ø75 (76x6) Sívalir plastbarkar úr PE. Til viðmiðunar er Uniflexplus+ frá Comair.	645	lm
ø160 (76x6) Sívalir plastbarkar úr PE. Til viðmiðunar er Uniflexplus+ frá Comair.	48	lm
<i>Tengistykki/breytistykki</i>		
Beygja ø100 - 15° til 90°	126	stk
Beygja ø125 - 15° til 90°	336	stk
Beygja ø160 - 15° til 90°	94	stk
Sóðull ø100	48	stk
Sóðull ø125	33	stk
Sóðull ø160	32	stk
Minnkun ø125 / ø160	64	stk
Minnkun ø160 / ø200	64	stk
Botnlök ø125	16	stk
Dreifibox úr plasti með 2x75 mm stútum í ø125 mm. Til viðmiðunar er Uniflexplus+ frá Comair	96	stk
Dreifibox úr plasti með 8x75 mm stútum í ø125 mm. Til viðmiðunar er Uniflexplus+ frá Comair	16	stk
Hljóðeinangrandi barki ø160 Lengd = 1000 mm (hljóðgildra)	64	stk
Hljóðgildra ø125, lengd 600, þykkt 50	32	stk
<i>Plastbarkar (lagnir í jörðu)</i>		
ø75 (76x6) Sívalir plastbarkar úr PE. Til viðmiðunar er Uniflexplus+ frá Comair.	265	lm
<i>Einangrun</i>		
20 mm varmaeinangrun með álfilmu á sívala stokka. Rúmpýngd 70 kg/m³	35	m²
Lokur		
Spjald- og stillilokur		
Stilliloka IRIS ø125	34	stk

Mynd 36: Fyrri hluti magnskrár loftræsikerfis

Blásarar og samstæður

Inn- og útblásturssamstæða með varmaendurvinnslu og sjálfstæðri stýringu.

Til viðmiðunar er "Save VTR 500 L" frá systemair eða sambærileg

16 stk

Inntak og útkast

Lofinntak/loftútkast, box úr áli í sama lit og þakkantur u.þ.b.

300x500x300 (b x l x h) með kastventli, veðurheldur ristum 100 mm háum á öllum hliðum og inntaki með fuglheldu neti.

Með boxi skal koma álplata sem 160 mm álrör ganga í gegnum og skulu þau vera soðin við plötuna. Ganga skal frá þakpappa yfir plötuna og upp á rörin.

Botn í boxi skal vera með vatnshalla út. Sjá nánar á deiliteikningu af loftræsingu.

Frágangur og þétting á lögnum í gegnum þak (bæði þétting við neðra þakpappalag og efra þakpappalag) skal innifalin í

einingarverði fyrir lofinntak/loftútkast

16 stk

Lofinntaksrist 125 (á skúr)

16 stk

Ventlar, dreifarar og ristar

Hljóðeinangraður innblástursventill 100, Lindab KI eða sambærilegt

16 stk

Hljóðeinangraður innblástursventill 125, Lindab KI eða sambærilegt

64 stk

Hljóðeinangraður útsogsventill 125, Lindab KSU eða sambærilegt

64 stk

Innblástursrist með bakstilling b x h = 200x100

32 stk

Mynd 37: Seinni hluti magnskrár loftræsikerfis

A.2 Magnskrá hitakerfis

Hitaveitukerfi		
Lagnir og tengistykki		
<i>Gólfhitalagnir</i>		
ø16 (16x2,0) Pex-a. Gólfhitalagnir skulu vera með 50 ára endingartíma við stöðugan notkunarhita 55°C og notkunarþrýsting 6 bar.	6.800	lm
<i>Hitalagnir</i>		
DN10 Svart stál m. ádragseinangrun. Lagnir skulu vera með 50 ára endingartíma við stöðugan notkunarhita 70°C og notkunarþrýsting 10 bar.	1.100	lm
DN15 Svart stál m. ádragseinangrun. Lagnir skulu vera með 50 ára endingartíma við stöðugan notkunarhita 70°C og notkunarþrýsting 10 bar.	15	lm
DN20 Svart stál m. ádragseinangrun. Lagnir skulu vera með 50 ára endingartíma við stöðugan notkunarhita 70°C og notkunarþrýsting 10 bar.	70	lm
DN25 Svart stál m. ádragseinangrun. Lagnir skulu vera með 50 ára endingartíma við stöðugan notkunarhita 70°C og notkunarþrýsting 10 bar.	180	lm
D32 PEH lagnir í jörðu/undir plötu	330	lm
DN40 PEH lagnir í jörðu/undir plötu	100	lm
<i>Snjóbræðslulagnir</i>		
ø25 (25x2,3) Pex-a. Snjóbræðslulagnir skulu vera með 50 ára endingartíma við stöðugan notkunarhita 50°C og notkunarþrýsting 5 bar.	3.500	lm
Ofnar		
Vegghengdur miðstöðvarofn, gerð 11, Hæð: 600 mm, Lengd: 1400.		
Heildarvarmagjöf 809 W við dT = 35°C (70/40/20) málaðir í lit skilgreindum af arkitekt	32	stk
Vegghengdur miðstöðvarofn, gerð 22, Hæð: 600 mm, Lengd: 700		
Heildarvarmagjöf 671 W við dT = 35°C (70/40/20) málaðir í lit skilgreindum af arkitekt	16	stk
Vegghengdur miðstöðvarofn, gerð 22, Hæð: 500 mm, Lengd: 1200		
Heildarvarmagjöf 995 W við dT = 35°C (70/40/20) málaðir í lit skilgreindum af arkitekt	16	stk
Vegghengdur miðstöðvarofn, runtýl, gerð VKM, Hæð: 200 mm, Lengd: 500		
Heildarvarmagjöf 1126 W við dT = 35°C (70/40/20) málaðir í lit skilgreindum af arkitekt	16	stk
Lokar, tæki og tengibúnaður		
Stopploki DN 15	32	stk
Stopploki DN 20	160	stk
Stopploki DN 25	16	stk
Tæmingarloki 1/2"	16	stk
Einstreymisloki DN 15	32	stk
Einstreymisloki DN 20	16	stk
Öryggisloki, 6 bar, 0,2 m3/klst	16	stk
Stílliloki (TA) STAD DN 15	32	stk
Mismunaþrýstijafnari AVP, DN15 kvs 1,0, svið 0,3-2,0 bar	16	stk
Slaufuloki AVP, DN15 kvs 1,0 svið 1,0-4,5 bar	16	stk
Vatnshitastýrður mótorkloki, HSL01, DN15, kvs = 0,63, stillisvið 20-60°C. Loki skal geta lokað á móti 3 bar mismunaþrýsting yfir loka	16	stk
Mótorkloki, ML01, DN15, kvs = 0,63, með actuator. Loki skal vera með stöðuvísi og geta lokað á móti 3 bar mismunaþrýsting yfir loka. Með loka skal koma stýring og vatnshitaneini. Til viðmiðunar er ECL rafeindastýrð stjórnstöð frá Danfoss. Miðað er við að lokum og stýringu sé skilað fulluppsettum og tilbúnum til notkunar.	16	stk
Dæla, lyftihæð 60 kPa við 0,2 m3/klst D/Æ01 dæla skal koma með innbyggðri álagsstýringu/hraðastýringu sem skal vera þrýstistýrð eftir mismunaþrýsting	16	stk
Dæla, lyftihæð 80 kPa við 0,8 m3/klst D/Æ02 dæla skal koma með innbyggðri álagsstýringu/hraðastýringu	16	stk
Varmaskiptir, hitaveita 75°-35°C, upphitað vatn 30°-70°C afl = 15 kW, hámarksþrýstifall 25 kPa, hámarksrennsli 1,5 m/s, VSK01	16	stk
Loftskilja DN20	16	stk
Þensluker, ÞK01, Rúmmál 5 Ltr, forþrýstingur 1,5 bar	16	stk

Mynd 38: Fyrri hluti magnskrár hitakerfis

Lagnir og tengistykki		
Þrýstimælir 0-10 bar 1/2" með 1/2" loka	96	stk
Hitamælir 0-100°C 1/2"	112	stk
Lagnaefni í tengigrind í útgeymslu, sjá nánar á teikningu XX_2_92_01 og í verklýsingu. Innifalið í einingarverði skal vera allt lagnaefni og vinna sem þarf til uppsetningar og frágangs tengigrindar eins og hún er skilgreind á kerfismyndum.	16	heild
Gólfhitakista fyrir 6 slaufur (fram- og bakrás) ásamt flæðiglösum og stíllilokum, range 0-5 l/min Kista skal koma með dælu, mótorkloka til uppblöndunar með actuator sem gerður er fyrir 0-10V stýrimerki, loftskrúfu og stopplokum (2 stk.) inn á kistu		
Kista skal koma með hæglokandi hitastýrðum mótorklokum á öllum slaufum eins og lýst er í verklýsingu, stýrimerki skal vera 0-10V. Kista skal vera með einstreymisloka eins og sýnt er á kerfismynd	16	stk
Deiligrind snjóbræðslu á vegg fyrir 2 slaufur (fram- og bakrás) ásamt flæðiglösum og stíllilokum, range 0-10 l/min		
Kista skal koma með loftskrúfu og stopplokum (2 stk.) inn á kistu	16	stk

Mynd 39: Seinni hluti magnskrár hitakerfis

B Viðauki - IDA ICE

B.1 Stillingar byggingarhluta

The screenshot shows the 'Building defaults' window in IDA ICE. It is divided into several sections:

- Elements of Construction:** A list of building components with their default settings.
 - External walls: Útveggur úr krossvið
 - Internal walls: Interior wall with insulation
 - Internal floors: Concrete floor 150mm
 - Roof: Concrete joist roof
 - External floor: Gólf 250mm1
 - Basement wall towards ground: Rendered concrete wall 200
 - Slab towards ground: Concrete floor 250mm
 - Glazing: 3 pane glazing, clear, 4-12-4-12-4
 - Door construction: Hurð
 - Integrated window shading: No integrated shading
- Generator Efficiencies for Standard Plant and Ideal Heaters and Coolers:** A table showing COP values for different energy carriers.

	Electric	Fuel	District
Heating	COP 1	0.9	1
Cooling	COP (EER) 3	1	1
Domestic hot water	COP 1	0.9	1
- Energy meters:** A table mapping usage to energy carrier and district.

Usage	Electric	Fuel	District
Heating	Electric heating	Fuel heating	District heating
Cooling	Electric cooling	Fuel cooling	District cooling
Domestic hot water	Heating, tenant	Domestic hot water	District heating
Fans	HVAC aux		
Pumps	HVAC aux		
Humidification	HVAC aux		
HVAC - other	HVAC aux		
Equipment	Equipment, tenant	<undefined>	District heating
Lighting	Lighting, facility		
- Other:**
 - Zone model fidelity: Energy
 - Zone cooling coil temperature: 15 °C

At the bottom right, there are links for [IDA Resources](#) and [Database](#).

Mynd 40: Byggingarhlutar

Thermal bridges: object in building_endaradhus

Envelope area definition

☒ Internal
 ☐ Overall internal
 ☐ External
 ☐ External incl. floor slab
 ☐ Preserve wall volume

Thermal bridges

	Good	Typical	Poor	Very poor	Value	Unit
External wall / internal slab					0.054	W/K/(m joint)*
External wall / internal wall					0.0686	W/K/(m joint)*
External wall / external wall					0.0576	W/K/(m joint)
External windows perimeter					0.22	W/K/(m perim)
External doors perimeter					0.22	W/K/(m perim)
Roof / external walls					0.048	W/K/(m joint)
External slab / external walls					0.0	W/K/(m joint)
Balcony floor / external walls					0	W/K/(m joint)
External slab / Internal walls					0	W/K/(m joint)*
Roof / Internal walls					0.0	W/K/(m joint)*
External walls, inner corner					0.0	W/K/(m joint)
External slab / external walls, inner corner					0	W/K/(m joint)
Roof / external walls, inner corner					0	W/K/(m joint)
Total envelope (incl. roof and ground) (alternatively enter W/K/(m2 floor area))					0	W/K/(m2 envelope)

NB! When the area definition is changed here, envelope areas and U-values will also change. Make sure to verify, under Loss factor for thermal bridges in the zone form, that the final computation of thermal bridge losses matches your intentions. The reference construction (construction without thermal bridge losses) is visible in the 3D view when Wall thickness has been activated.

* total for both adjacent zones

Mynd 41: Kuldabryr

Extra energy and losses: object in building_endaradhus_anlofttr_2

Extra energy and losses

Domestic hot water use

Average hot water use: kWh/m2 floor area and year

[Distribution of hot water use](#)

☒ House living (example)

[T_DHW = 55°C (incoming 5°C); find further details in [Plant](#) and Boiler; DHW can, optionally or additionally, also be defined at the zone level]

[The curve is automatically rescaled to render given average total usage]

Distribution System Losses

Domestic hot water circuit: W/(m2 floor area) % to zones*

Heat to zones: % of heat delivered by plant (incl. delivered to ideal heaters) % to zones*

Cold to zones: W/m2 floor area % to zones*

Supply air duct losses: W/m2 floor area, at dT_duct to_zone 7 °C % to zones*

[*Share of loss deposited in zones according to floor area]

Plant Losses

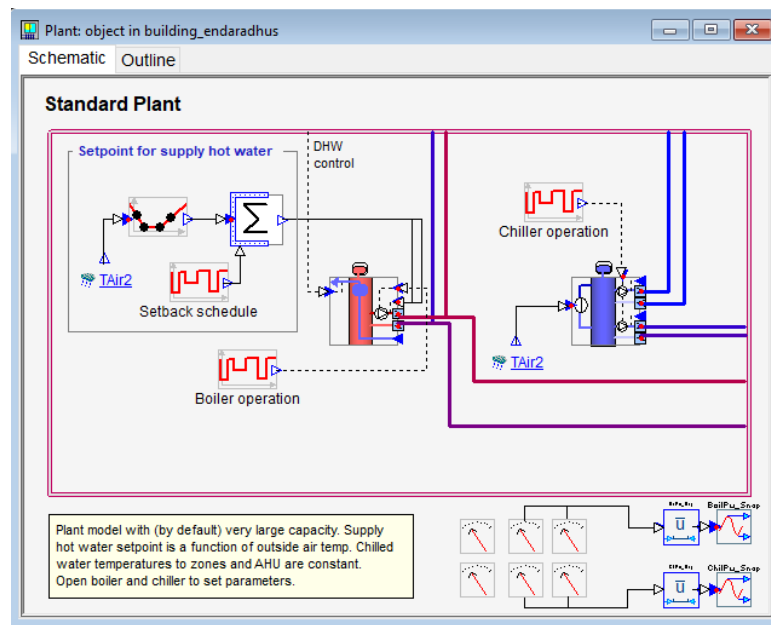
Chiller idle consumption: W Boiler idle consumption: W

Additional Energy Use

Name	Nominal power, kW	Nominal power, W/m2	Nominal power, total [kW]	Schedule	Energy meter	Yearly total, kWh

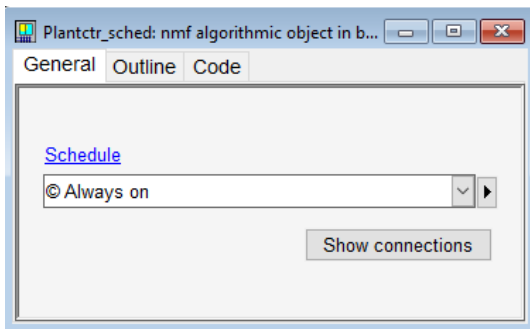
Mynd 42: Auka orku- og varmataps stillingar

B.2 Hitaveita

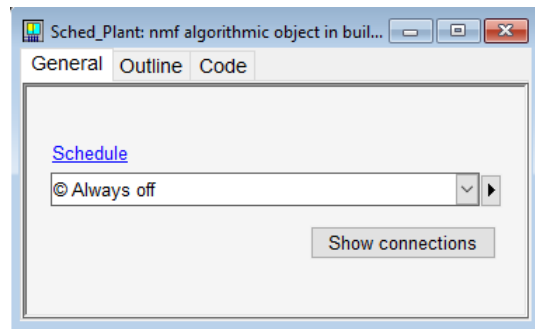


Mynd 43: Kerfi inntaks hitaveitu

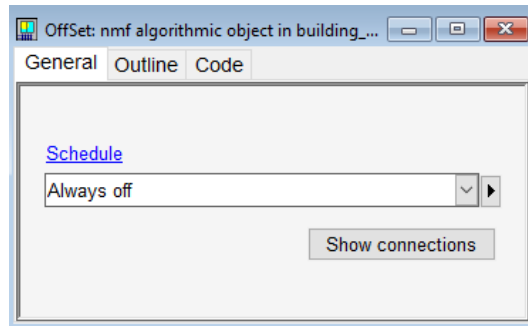
Mynd 44: Varmaskiptir hitaveitu



(a) Stillingar varmaskiptis hitaveitu



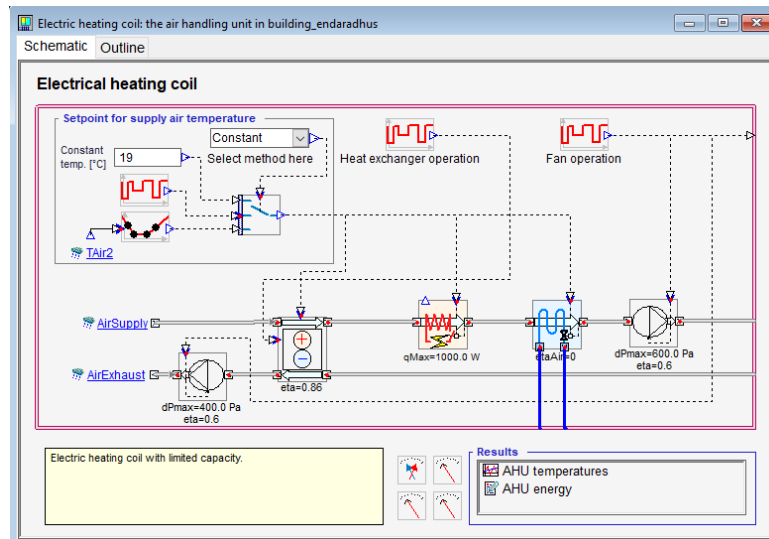
(b) Stillingar kælikerfis



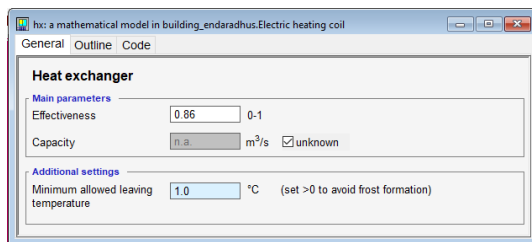
(c) Stillingar "setbacks"

Mynd 45: Stillingar íhluta kerfisins

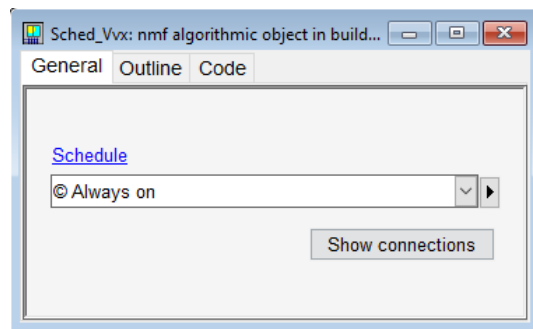
B.3 Loftræsikerfi



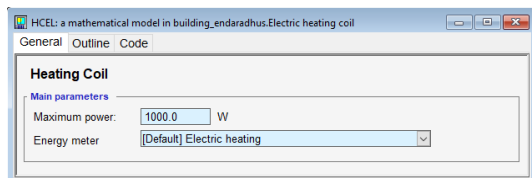
Mynd 46: Loftræsikerfið



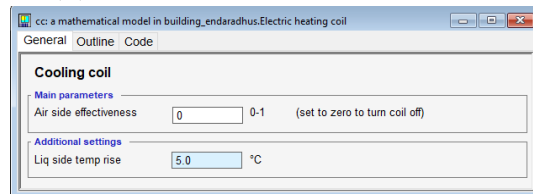
(a) Eiginleikar varmaskiptis kerfisins



(b) Stillingar varmaskiptis kerfisins

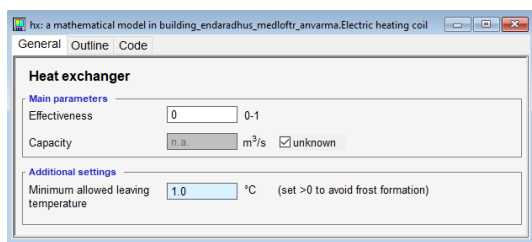


(c) Stillingar upphitunarspólu

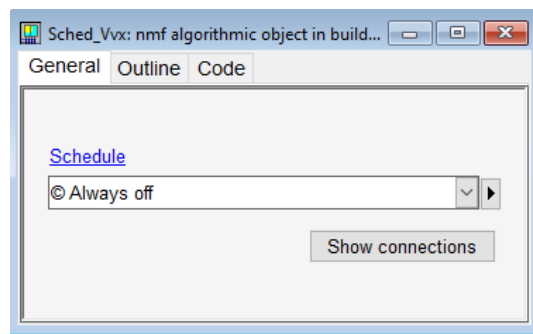


(d) Stillingar kælisþólu

Mynd 47: Stillingar íhluta loftræsikerfisins með varmaendurvinnslu



(a) Eiginleikar varmaskiptis kerfisins



(b) Stillingar varmaskiptis kerfisins

Mynd 48: Stillingar íhluta kerfisins án varmaendurvinnslu

B.4 Loftþéttleiki

Infiltration

Method

Infiltration units: m3/(h.m2 ext. surf.)

Wind driven flow

Air tightness: 0.41 m3/(h.m2 ext. surf.)
at pressure difference: 50 Pa
[Pressure coefficients](#)

Fixed infiltration

Flow: n.a. m3/(h.m2 ext. surf.)

Zone Distribution

Distribute proportional to: External surface area

Wind driven flow

Air tightness in zones: 0.11389 L/(s.m2 ext. surf.)
at pressure difference: 50 Pa

Fixed infiltration

Fixed flow in zones: n.a. L/(s.m2 ext. surf.)

Building leakage can be modelled either depending on actual wind pressure or as a given fixed in/exfiltration.
For fixed flow, select Fixed infiltration and specify the flow.
For wind dependent infiltration, select Wind driven flow, set Air tightness for the building envelope and [specify pressure coefficients](#) for external surfaces. Internal leakage paths must be defined in partitions between zones. Add doors or leaks in internal walls.
The infiltration data is automatically transferred to zones and overwrites present zone "Leak area ..." but does not alter leaks that have been defined separately on surfaces.
ACH = Air Changes per Hour

Mynd 49: Stillingar loftþéttleika með vélrænt loftræsikerfi

Infiltration

Method

Infiltration units: m3/(h.m2 ext. surf.)

Wind driven flow

Air tightness: 3 m3/(h.m2 ext. surf.)
at pressure difference: 50 Pa
[Pressure coefficients](#)

Fixed infiltration

Flow: n.a. m3/(h.m2 ext. surf.)

Zone Distribution

Distribute proportional to: External surface area

Wind driven flow

Air tightness in zones: 0.83333 L/(s.m2 ext. surf.)
at pressure difference: 50 Pa

Fixed infiltration

Fixed flow in zones: n.a. L/(s.m2 ext. surf.)

Building leakage can be modelled either depending on actual wind pressure or as a given fixed in/exfiltration.
For fixed flow, select Fixed infiltration and specify the flow.
For wind dependent infiltration, select Wind driven flow, set Air tightness for the building envelope and [specify pressure coefficients](#) for external surfaces. Internal leakage paths must be defined in partitions between zones. Add doors or leaks in internal walls.
The infiltration data is automatically transferred to zones and overwrites present zone "Leak area ..." but does not alter leaks that have been defined separately on surfaces.
ACH = Air Changes per Hour

Mynd 50: Stillingar loftþéttleika með náttúrulegt loftræsikerfi

B.5 Yfirlit húsanna

building_endaradhús: C:\Users\thn\OneDrive - EFLA hf., verkfræðistofa\Desktop\Mastersverkefni\building_endaradhús.idm

General | Floor plan | 3D | Simulation | Daylight | Outline | Summary | Details

Project building_endaradhús Project data

Global Data

Location

© Reykjavík_040300 (ASHRAE 2013)

Climate

[Default] © ISL_REYKJAVIK_040300(IW2)

Wind Profile

[Default urban]

Holidays

<value not set>

Defaults

Site shading and orientation

Thermal bridges

Ground properties

Infiltration

Pressure coefficients

Extra energy and losses

System parameters

HVAC Systems

Plant

Electric heating coil

Add AHU...

Replace...

Supervisory control

<value not set>

Energy Meters

Lighting, facility

Lighting, tenant

Equipment, facility

Equipment, tenant

Electric cooling

Fuel cooling

District cooling

HVAC aux

Electric heating

Fuel heating

District heating

Details Report Expand table

☒ Zones

☐ Zone totals

☐ Zone setpoints

☐ Surfaces

☐ Windows

☐ Openings

☐ Leaks

☐ Internal gains

☐ Wall constructions

☐ Time schedules

☐ Materials

☐ Room units

More

Name	Group	Floor height, m	Room height, m	Floor area, m2	Heat setp, °C	Cool setp, °C	AHU	System	Supply air, L/(s.m2)	Return air, L/(s.m2)	Occup., no./m2	Lights, W/m2	Lights, kWh/m2	Equipme nt, W/m2	Equipme nt, kWh/m2	Ext win. area, m2	Occup. schedule	Light schedule	Equipm. schedule
Baðherbergi 1h		0.0	2.733	5.125	20.0	22.0	Electri...	CAV	0.0	2.83	0.0	9.756	35.61	0.0	0.0	0.2967	© Hou...		
Svefnherb 1h		0.0	2.733	8.724	20.0	22.0	Electri...	CAV	0.98	0.0	0.0	9.743	35.56	0.0	0.0	2.473	© Hou...		
Forstofa		0.0	2.733	6.163	20.0	22.0	Electri...	CAV	0.0	0.0	0.0	9.736	35.53	0.0	0.0	0.862	© Hou...		
Þvottahús		0.0	2.733	6.278	20.0	22.0	Electri...	CAV	0.0	2.95	0.0	8.761	31.98	31.86	212.8	0.0	© Hou...	© Hou...	© Hou...
Svefnherb 2h uth		3.092	6.049	16.8	20.0	22.0	Electri...	CAV	0.85	0.0	0.119	5.952	21.73	0.0	0.0	2.166	© Hou...	© Hou...	© Hou...
Baðherb 2h		2.733	6.049	8.643	20.0	22.0	Electri...	CAV	0.0	2.05	0.0	9.256	33.78	0.0	0.0	0.0	© Hou...	© Hou...	© Hou...
Svefnherb 2h ntv		2.733	6.049	10.25	20.0	22.0	Electri...	CAV	0.85	0.0	0.09756	9.756	35.61	0.0	0.0	2.458	© Hou...	© Hou...	© Hou...
Svefnherb 2h nth		2.733	6.049	10.13	20.0	22.0	Electri...	CAV	0.86	0.0	0.09872	9.872	36.03	0.0	0.0	2.23	© Hou...	© Hou...	© Hou...
Borðstofa gang...	direct-I...	0.0	2.951	44.83	20.0	22.0	Electri...	CAV	0.49	0.37	0.0	10.04	36.64	4.461	29.8	7.113	© Hou...	© Hou...	© Hou...
Stigi-merged	direct-I...	0.0	4.297	20.32	20.0	22.0	Electri...	CAV	0.0	0.0	0.0	9.843	86.22	9.843	86.22	2.0	© Hou...	© Hou...	© Hou...
Zone 1-merged	direct-I...	2.733	3.511	12.96	20.0	22.0	Electri...	CAV	0.7	0.0	0.07716	10.03	87.87	0.0	0.0	2.458	© Hou...	© Hou...	© Hou...
Totalm2									0.4746	0.4482	0.03328	9.387	45.48	3.994	29.45	3.355			

Mynd 51: Yfirlit yfir rými og stillingar endaraðhúss með vélrænt loftræsikerfi

building_endaradhús_anoft_2

Users\thn\OneDrive - EFLA hf., verkfræðistofa\Desktop\Mastersverkefni\building_endaradhús_anoft_2.idm

General

Floor plan

3D

Simulation

Daylight

Outline

Summary

Details

Project

building_endaradhús_anoft_2

Project data

Global Data

Location

Reykjavík_040300 (ASHRAE 2013)

Climate

[Default] © ISL_REYKJAVIK_040300(IW2)

Wind Profile

[Default urban]

Holidays

<value not set>

Defaults

Site shading and orientation

Thermal bridges

Ground properties

Infiltration

Pressure coefficients

Extra energy and losses

System parameters

HVAC Systems

Plant

Add AHU...

Replace...

Supervisory control

<value not set>

Energy Meters

Usage

Lighting, facility

Lighting, tenant

Equipment, facility

Equipment, tenant

Electric cooling

Fuel cooling

District cooling

HVAC aux

Electric heating

Fuel heating

District heating

Details

Report

Expand table

Zones

Zone totals

Zone setpoints

Surfaces

Windows

Openings

Leaks

Internal gains

Wall constructions

Time schedules

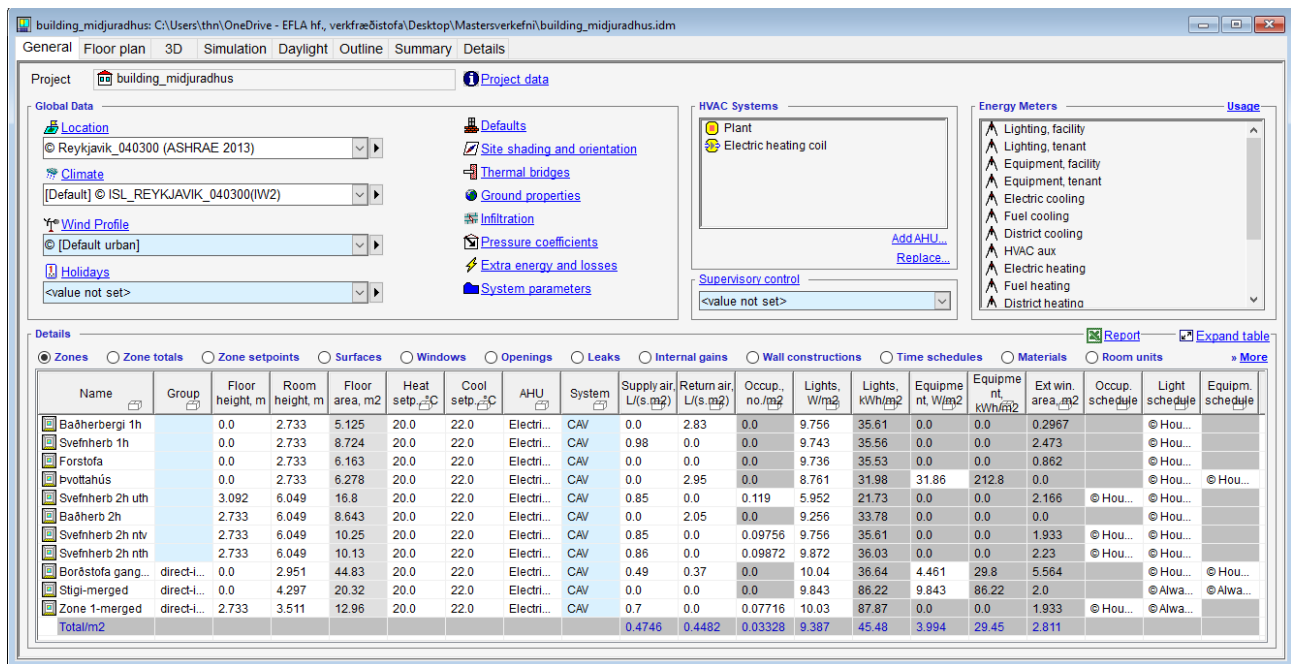
Materials

Room units

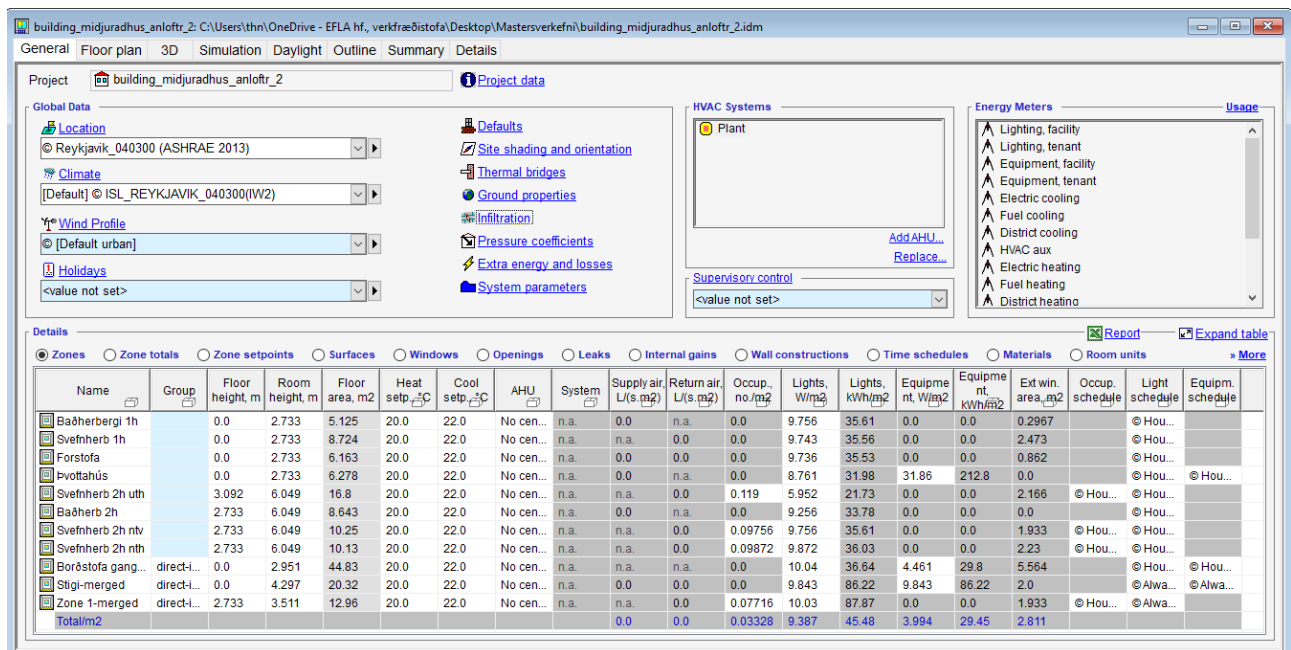
More

Name	Group	Floor height, m	Room height, m	Floor area, m2	Heat setp, °C	Cool setp, °C	AHU	System	Supply air, L/(s.m2)	Return air, L/(s.m2)	Occup., no./m2	Lights, W/m2	Lights, kWh/m2	Equipme nt, W/m2	Equipme nt, kWh/m2	Ext win. area, m2	Occup. schedule	Light schedule	Equipm. schedule
Baðherbergi 1h		0.0	2.733	5.125	20.0	22.0	No cen...	n.a.	0.0	n.a.	0.0	9.756	35.61	0.0	0.0	0.2967	© Hou...		
Svefnherb 1h		0.0	2.733	8.724	20.0	22.0	No cen...	n.a.	n.a.	0.0	0.0	9.743	35.56	0.0	0.0	2.473	© Hou...		
Forstofa		0.0	2.733	6.163	20.0	22.0	No cen...	n.a.	0.0	0.0	0.0	9.736	35.53	0.0	0.0	0.862	© Hou...		
Þvottahús		0.0	2.733	6.278	20.0	22.0	No cen...	n.a.	0.0	n.a.	0.0	8.761	31.98	31.86	212.8	0.0	© Hou...	© Hou...	© Hou...
Svefnherb 2h uth		3.092	6.049	16.8	20.0	22.0	No cen...	n.a.	n.a.	0.0	0.119	5.952	21.73	0.0	0.0	2.166	© Hou...	© Hou...	
Baðherb 2h		2.733	6.049	8.643	20.0	22.0	No cen...	n.a.	0.0	n.a.	0.0	9.256	33.78	0.0	0.0	0.0	© Hou...		
Svefnherb 2h ntv		2.733	6.049	10.25	20.0	22.0	No cen...	n.a.	n.a.	0.0	0.09756	9.756	35.61	0.0	0.0	2.458	© Hou...	© Hou...	
Svefnherb 2h nth		2.733	6.049	10.13	20.0	22.0	No cen...	n.a.	n.a.	0.0	0.09872	9.872	36.03	0.0	0.0	2.23	© Hou...		
Borðstofa gang...	direct-I...	0.0	2.951	44.83	20.0	22.0	No cen...	n.a.	n.a.	n.a.	0.0	10.04	36.64	4.461	29.8	7.113	© Hou...		© Hou...
Stigi-merged	direct-I...	0.0	4.297	20.32	20.0	22.0	No cen...	n.a.	0.0	0.0	0.0	9.843	86.22	9.843	86.22	2.0	© Hou...		© Hou...
Zone 1-merged	direct-I...	2.733	3.511	12.96	20.0	22.0	No cen...	n.a.	n.a.	0.0	0.07716	10.03	87.87	0.0	0.0	2.458	© Hou...	© Alwa...	
Totalm2									0.0	0.0	0.03328	9.387	45.48	3.994	29.45	3.355			

Mynd 52: Yfirlit yfir rými og stillingar endaraðhúss með náttúrulegt loftræsikerfi

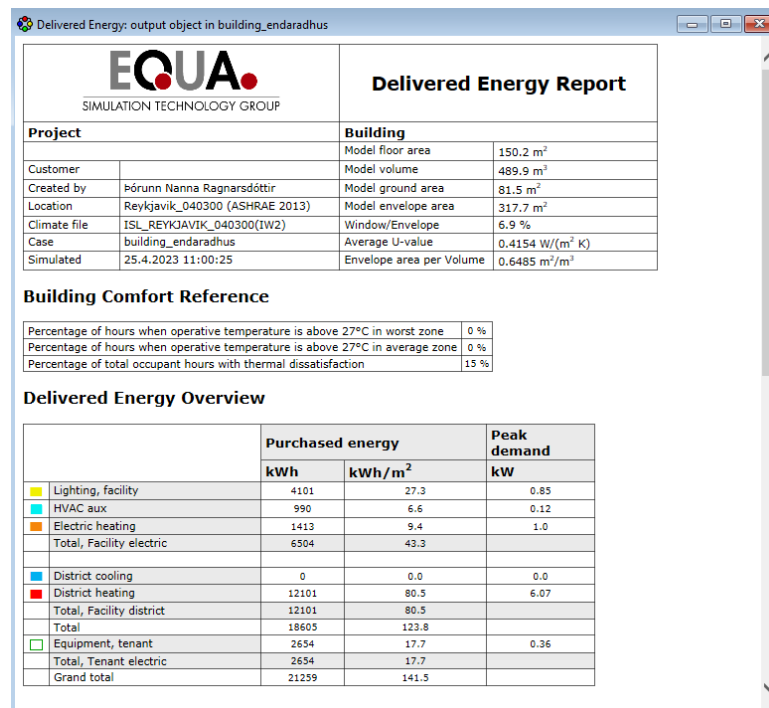


Mynd 53: Yfirlit yfir rými og stillingar miðjuraðhúss með vélrænt loftræsikerfi

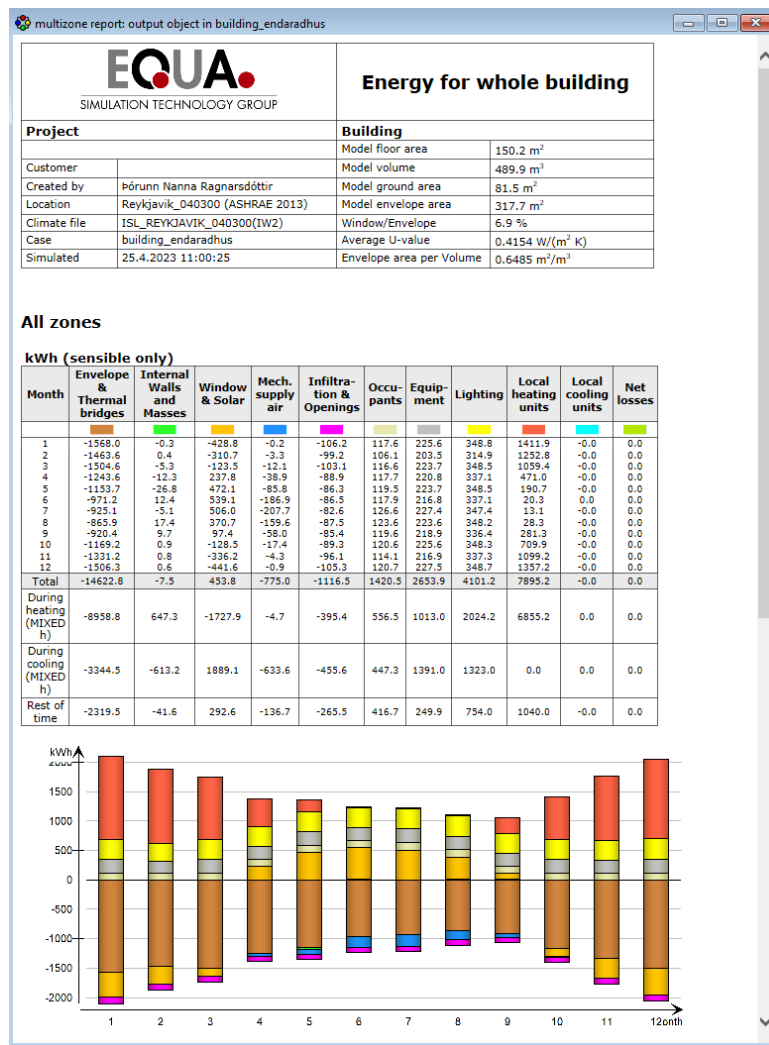


Mynd 54: Yfirlit yfir rými og stillingar miðjuraðhúss með náttúrulegt loftræsikerfi

B.6 Niðurstöður hermanna



Mynd 55: Niðurstöður orkunotkunar fyrir endaradhús með vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu

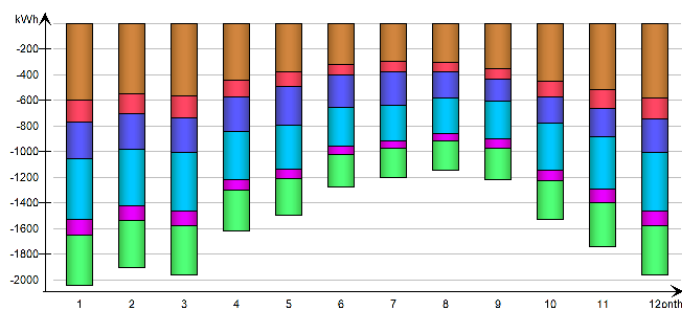


Mynd 56: Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers hluta fyrir endaraðhús með vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu

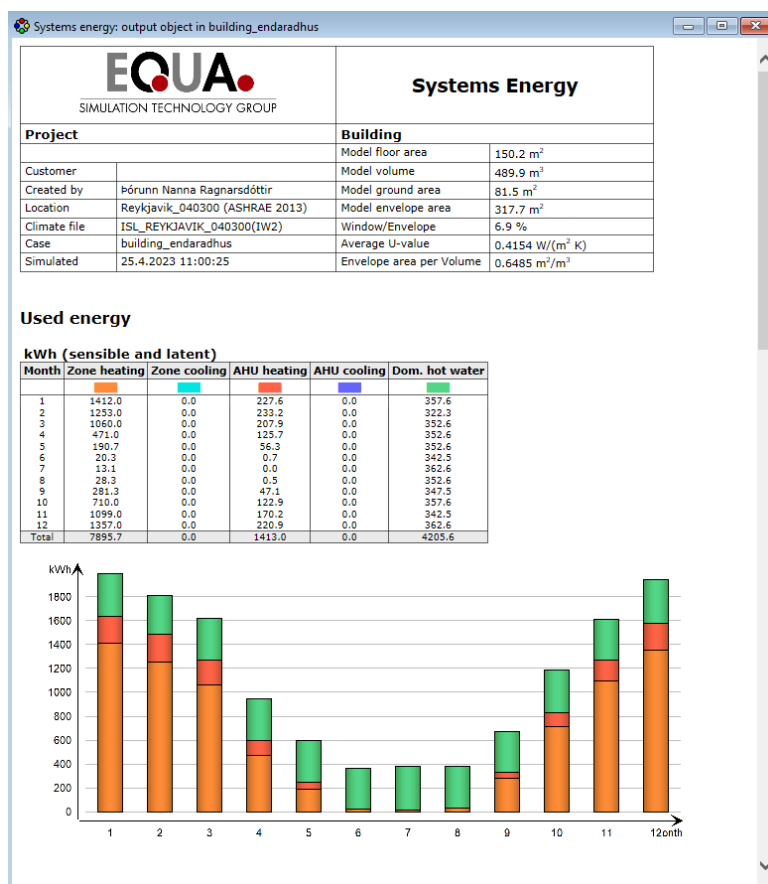
Envelope transmission

kWh

Month	Walls	Roof	Floor	Windows	Doors	Thermal bridges
1	-599.4	-173.7	-280.6	-473.1	-121.4	-392.9
2	-549.7	-153.9	-277.5	-442.8	-111.2	-371.4
3	-570.0	-165.9	-270.8	-458.7	-111.4	-386.5
4	-444.0	-129.1	-269.2	-375.9	-84.8	-316.6
5	-378.9	-115.8	-297.0	-344.5	-72.4	-289.7
6	-322.0	-78.0	-257.5	-303.1	-60.7	-253.0
7	-297.9	-81.4	-238.5	-280.4	-55.6	-231.8
8	-307.0	-67.0	-206.9	-276.9	-57.0	-228.1
9	-350.6	-84.1	-174.7	-294.3	-67.3	-243.6
10	-448.5	-126.8	-205.4	-361.5	-87.9	-300.5
11	-517.5	-148.2	-222.5	-409.5	-103.8	-339.3
12	-580.6	-163.2	-262.3	-456.5	-118.1	-380.1
Total	-5366.2	-1489.0	-2982.9	-4476.2	-1051.5	-3733.4
During heating	-3444.6	-761.6	-1801.6	-2607.6	-708.0	-2243.2
During cooling	-1046.6	-371.6	-978.7	-980.6	-171.8	-775.4
Rest of time	-875.0	-355.8	-202.6	-888.0	-171.7	-714.8



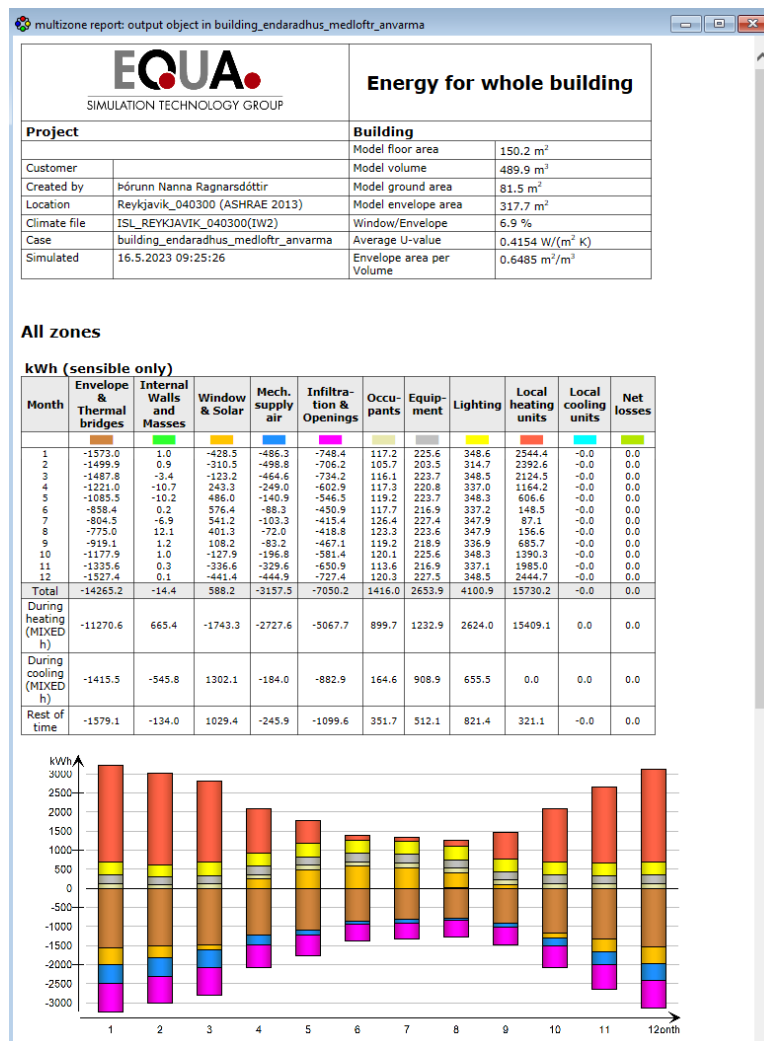
Mynd 57: Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers byggingarhluta fyrir endaraðhús með vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu



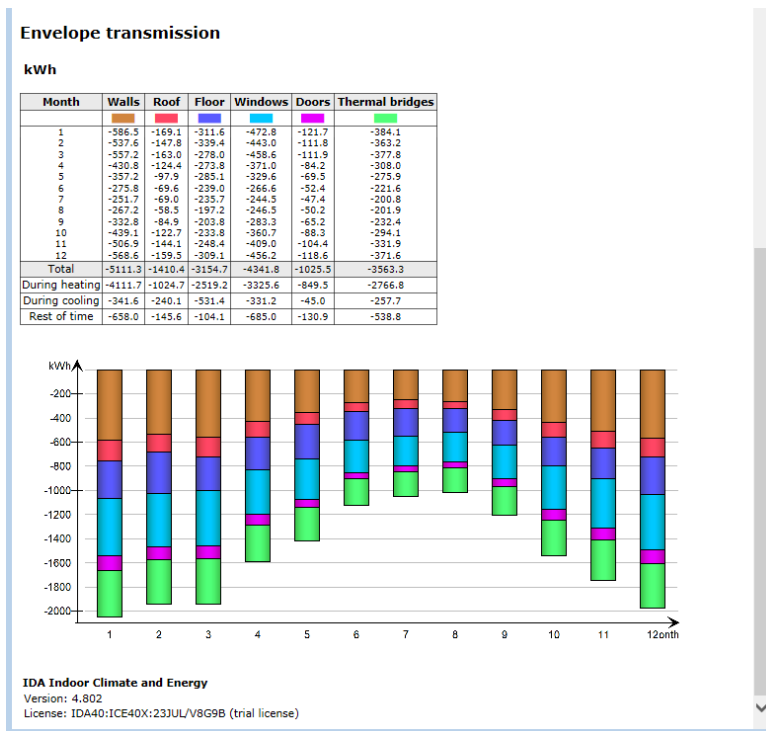
Mynd 58: Niðurstöður orkunotkunar endaraðhúss með vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu eftir kerfi

Delivered Energy: output object in building_endaradhus_medloftr_anvarma			
		Delivered Energy Report	
Project		Building	
Customer	Þórunn Nanna Ragnarsdóttir	Model floor area	150.2 m ²
Created by	Reykjavik_040300 (ASHRAE 2013)	Model volume	489.9 m ³
Location	ISL_REYKJAVIK_040300(IW2)	Model ground area	81.5 m ²
Climate file	building_endaradhus_medloftr_anvarma	Model envelope area	317.7 m ²
Case	16.5.2023 09:25:26	Window/Envelope	6.9 %
Simulated		Average U-value	0.4154 W/(m ² K)
		Envelope area per Volume	0.6485 m ² /m ³
Building Comfort Reference			
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone			0 %
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone			0 %
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction			20 %
Delivered Energy Overview			
	Purchased energy		Peak demand
	kWh	kWh/m ²	kW
Lighting, facility	4101	27.3	0.85
HVAC aux	1035	6.9	0.12
Electric heating	7979	53.1	1.0
Total, Facility electric	13115	87.3	
District cooling	0	0.0	0.0
District heating	19937	132.7	8.78
Total, Facility district	19937	132.7	
Total	33052	220.0	
Equipment, tenant	2654	17.7	0.36
Total, Tenant electric	2654	17.7	
Grand total	35706	237.7	

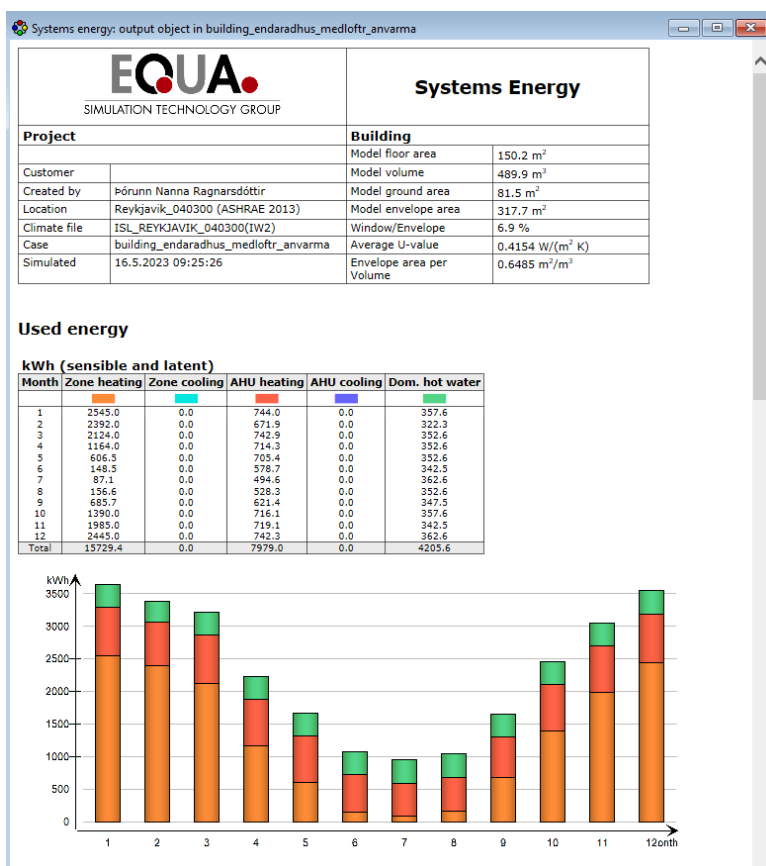
Mynd 59: Niðurstöður orkunotkunar fyrir endaraðhús með vélrænt loftræsikerfi án varmaendurvinnslu



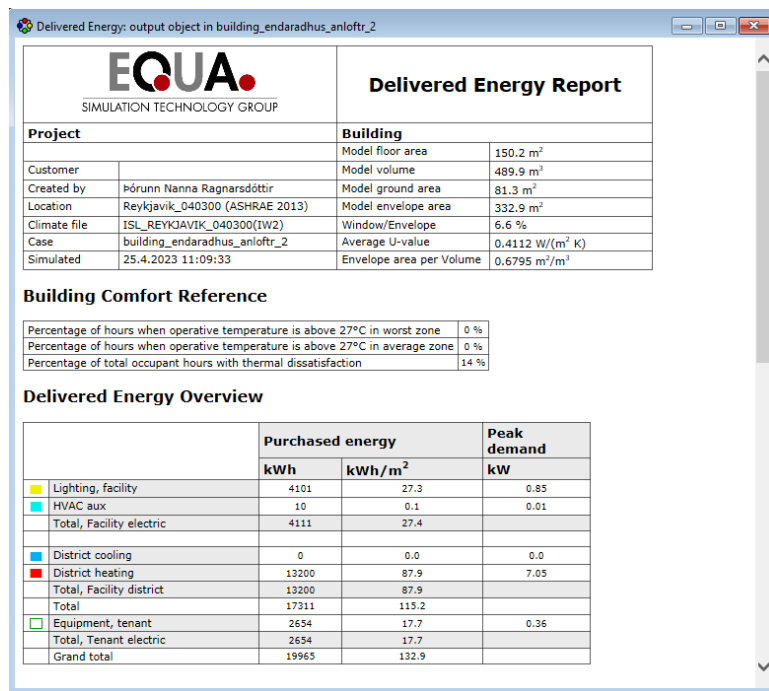
Mynd 60: Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers hluta fyrir endaraðhús með vélrænt loftræsikerfi án varmaendurvinnslu



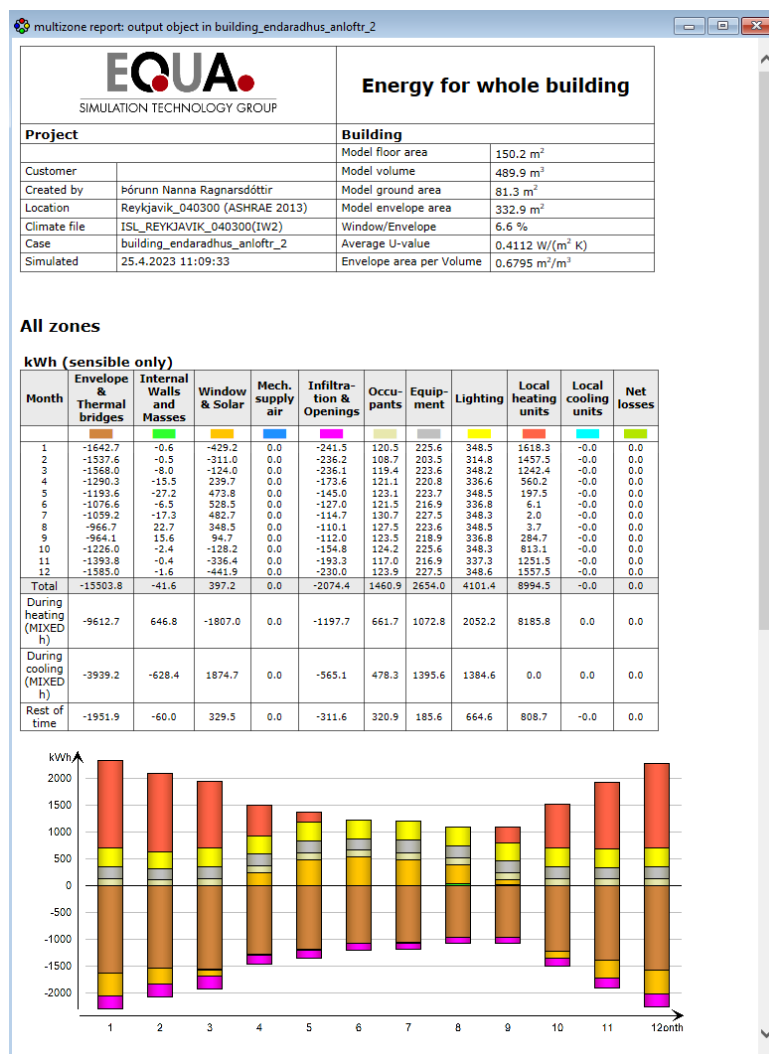
Mynd 61: Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers byggingarluta fyrir endaraðhús með vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu



Mynd 62: Niðurstöður orkunotkunar endaraðhúss með vélrænt loftræsikerfi án varmaendurvinnslu eftir kerfi



Mynd 63: Niðurstöður orkunotkunar fyrir endaraðhús með náttúrulegt loftræsikerfi

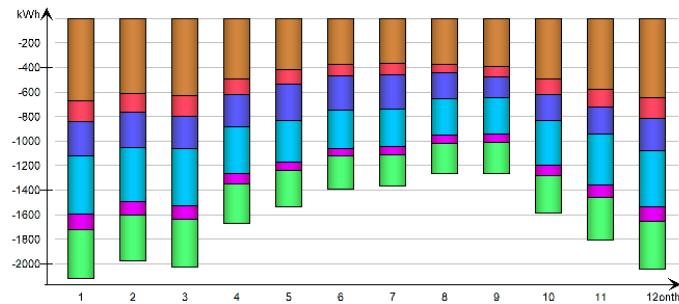


Mynd 64: Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers hluta fyrir endaraðhús með náttúrulegt loftræsikerfi

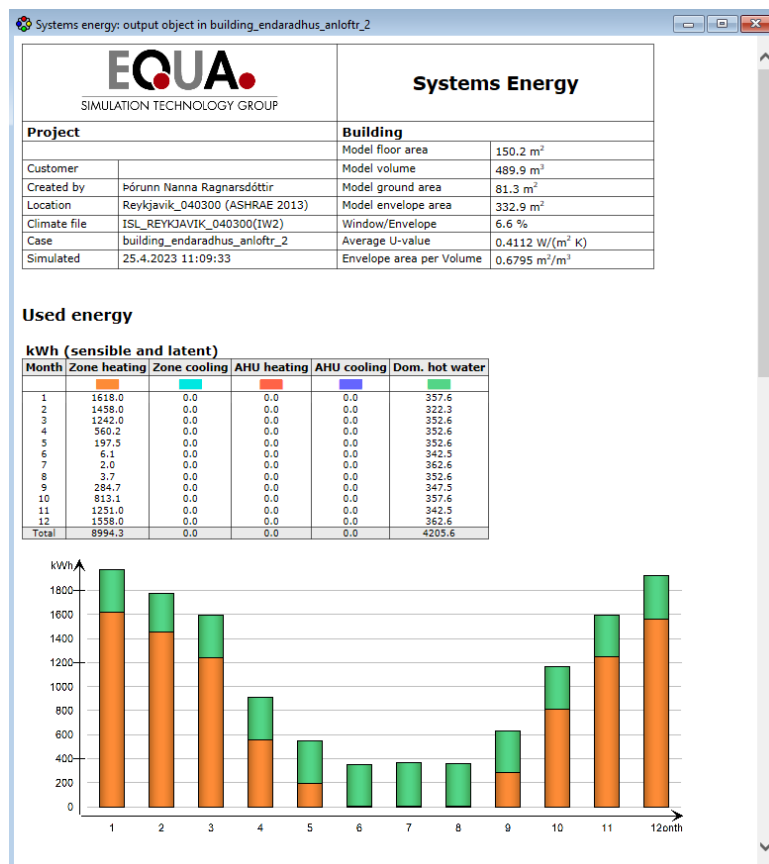
Envelope transmission

kWh

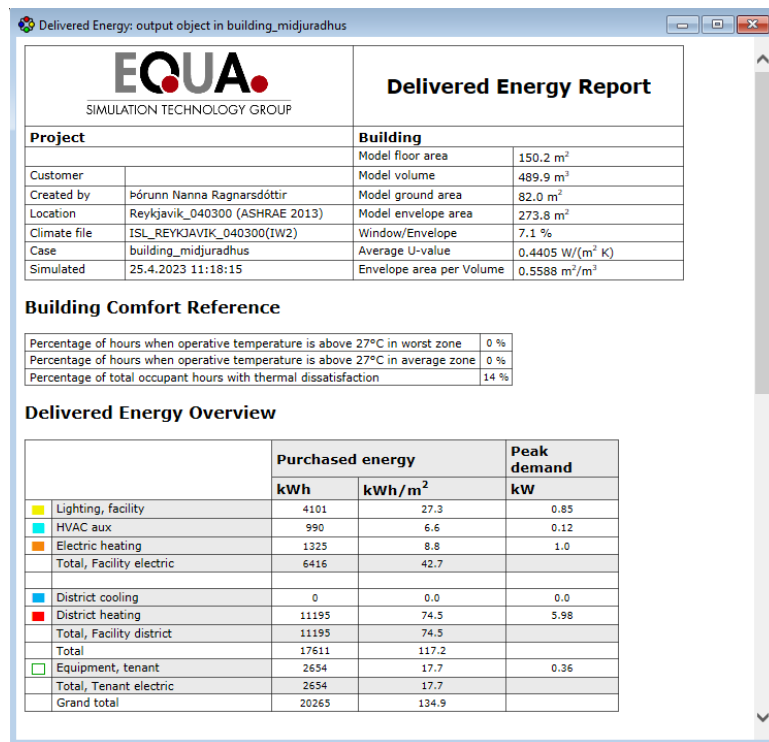
Month	Walls	Roof	Floor	Windows	Doors	Thermal bridges
1	-668.1	-173.0	-283.0	-473.5	-121.2	-397.4
2	-611.3	-153.3	-286.3	-443.4	-111.2	-375.7
3	-632.9	-166.1	-266.4	-459.1	-111.4	-391.1
4	-491.7	-129.8	-264.1	-374.7	-84.4	-320.5
5	-420.6	-115.1	-293.1	-342.1	-71.7	-293.1
6	-377.3	-91.6	-275.6	-314.3	-63.5	-268.7
7	-366.6	-94.8	-278.5	-303.4	-61.5	-257.7
8	-371.4	-70.3	-210.8	-298.2	-62.3	-251.9
9	-393.8	-79.5	-172.9	-296.9	-67.7	-250.2
10	-497.7	-127.1	-209.1	-361.3	-87.7	-304.5
11	-575.6	-147.7	-223.5	-408.6	-103.6	-343.2
12	-648.4	-164.8	-269.3	-456.7	-118.0	-384.5
Total	-6055.4	-1513.2	-3032.5	-4532.3	-1064.2	-3838.3
During heating	-3916.1	-783.4	-1858.2	-2698.4	-728.2	-2326.8
During cooling	-1322.8	-395.9	-1083.3	-1121.3	-211.2	-925.9
Rest of time	-816.5	-333.9	-91.0	-712.6	-124.8	-585.6



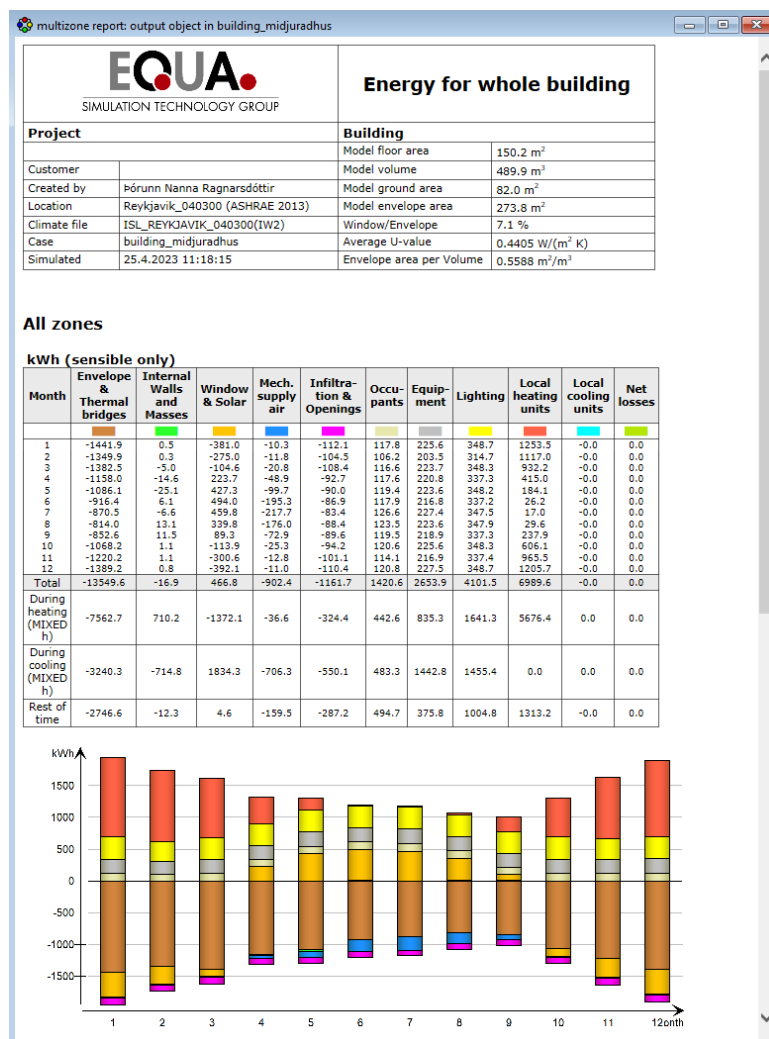
Mynd 65: Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers byggingarhluta fyrir endaraðhús með náttúrulegt loftræsikerfi



Mynd 66: Niðurstöður orkunotkunar endaraðhúss með náttúrulegt loftræsikerfi eftir kerfi



Mynd 67: Niðurstöður orkunotkunar fyrir miðjuraðhús með vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu

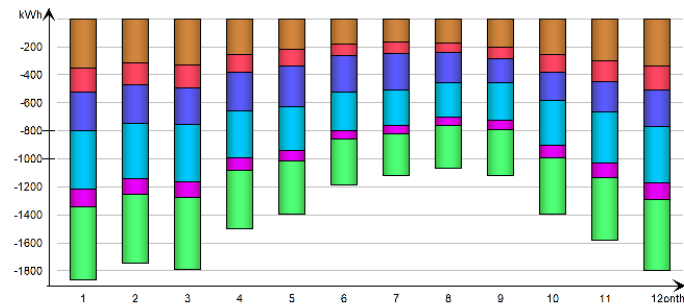


Mynd 68: Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers hluta fyrir miðjuraðhús með vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu

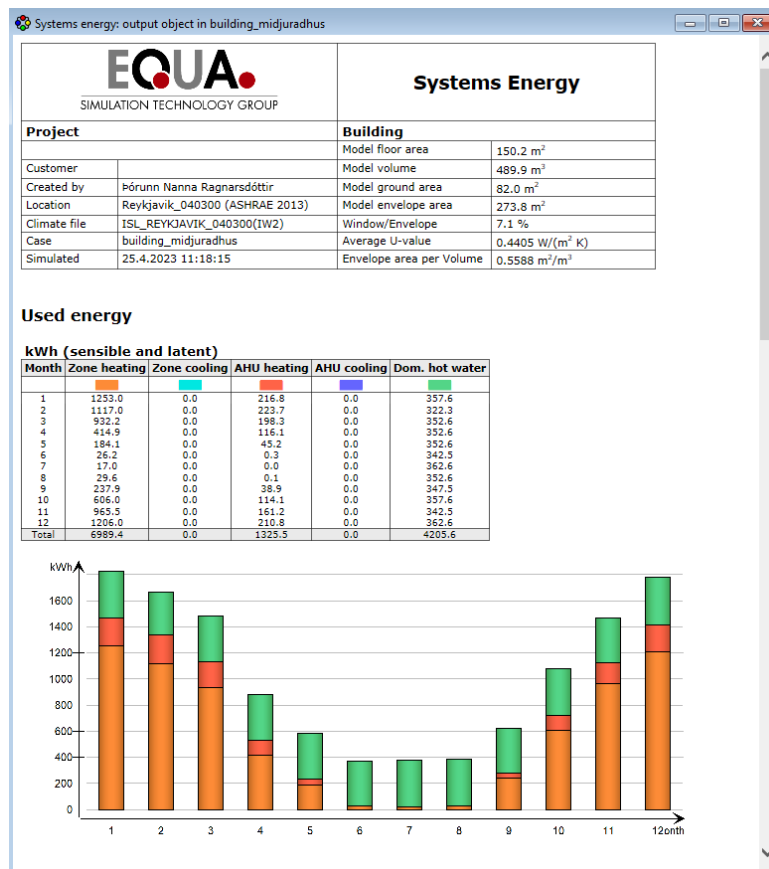
Envelope transmission

kWh

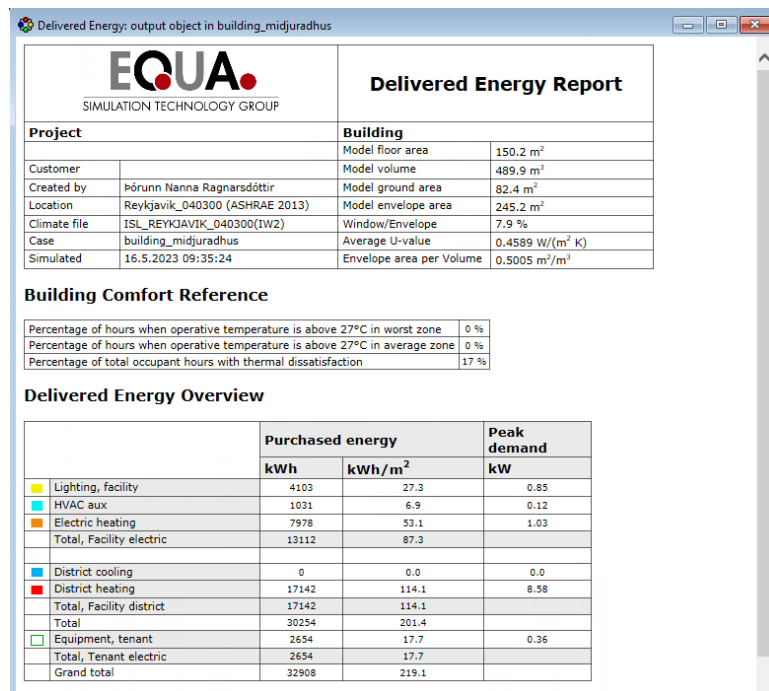
Month	Walls	Roof	Floor	Windows	Doors	Thermal bridges
1	-350.4	-174.0	-274.4	-419.8	-121.5	-521.6
2	-318.1	-153.7	-271.3	-393.5	-112.0	-492.7
3	-328.1	-166.6	-263.1	-409.2	-112.8	-511.8
4	-252.7	-131.2	-269.5	-337.6	-86.5	-418.1
5	-217.9	-115.8	-296.4	-310.6	-74.1	-382.0
6	-182.4	-81.1	-263.1	-270.9	-60.9	-328.9
7	-168.8	-82.6	-260.4	-251.4	-56.3	-302.2
8	-173.6	-69.8	-211.6	-250.9	-58.8	-300.2
9	-200.9	-85.0	-174.1	-266.8	-69.5	-323.0
10	-256.5	-127.0	-197.4	-324.0	-89.8	-397.5
11	-300.5	-148.2	-216.8	-364.3	-104.7	-449.9
12	-340.1	-166.6	-259.8	-405.1	-118.1	-504.7
Total	-3090.1	-1503.8	-2957.9	-4004.1	-1065.0	-4932.7
During heating	-1609.1	-565.9	-1703.2	-1966.0	-769.5	-2915.3
During cooling	-606.5	-416.4	-1023.2	-969.4	-172.3	-1021.1
Rest of time	-874.5	-521.5	-231.5	-1068.7	-123.2	-996.3



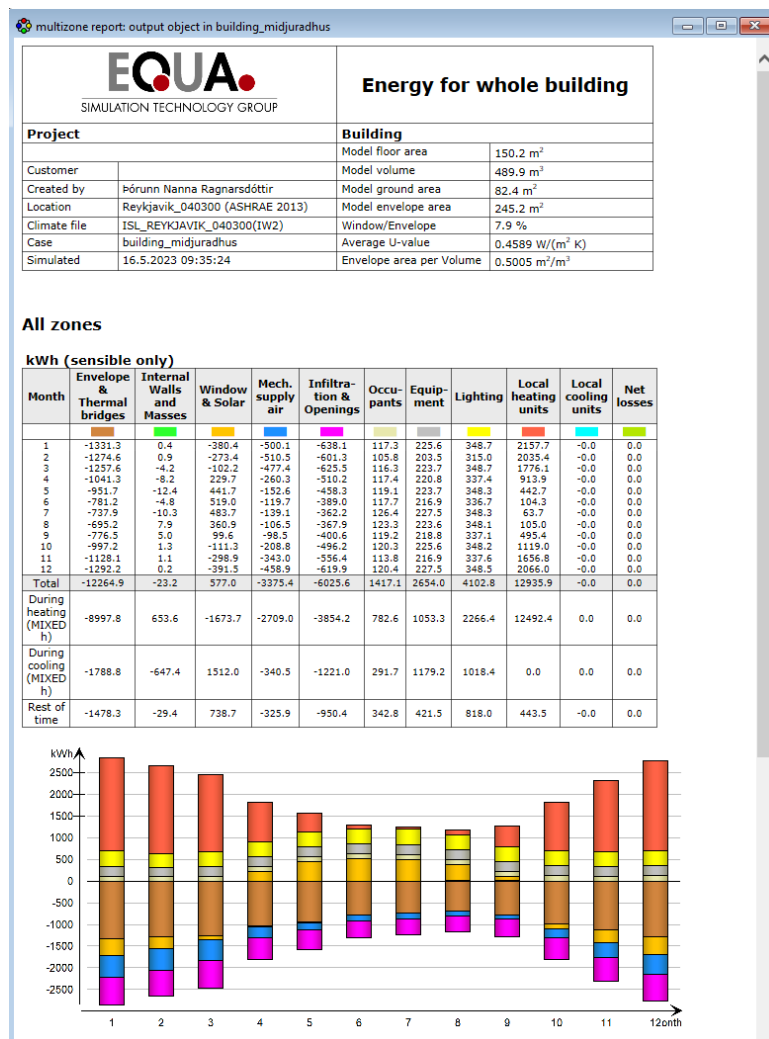
Mynd 69: Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers byggingarhluta fyrir miðjuraðhús með vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu



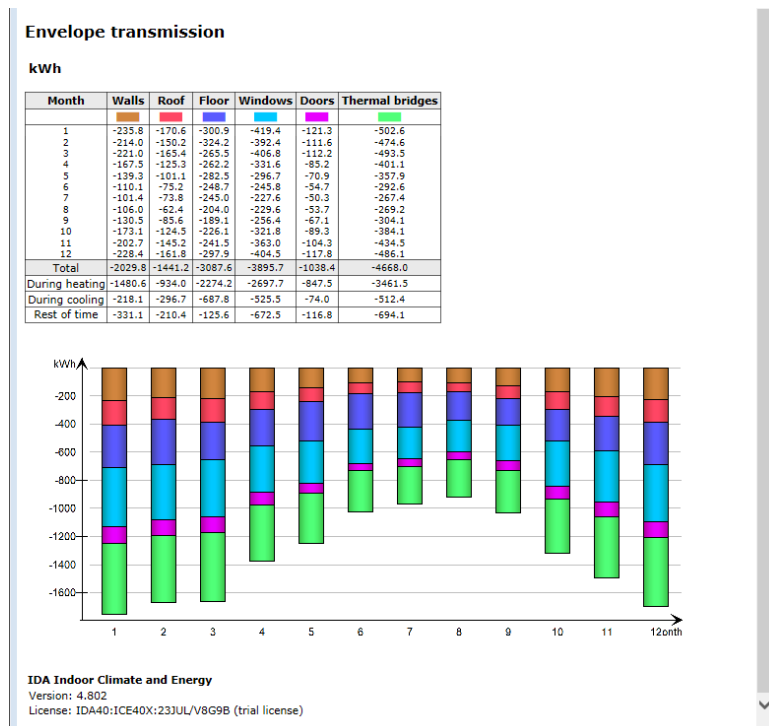
Mynd 70: Niðurstöður orkunotkunar miðjuraðhúss með vélrænt loftræsikerfi með varmaendurvinnslu eftir kerfi



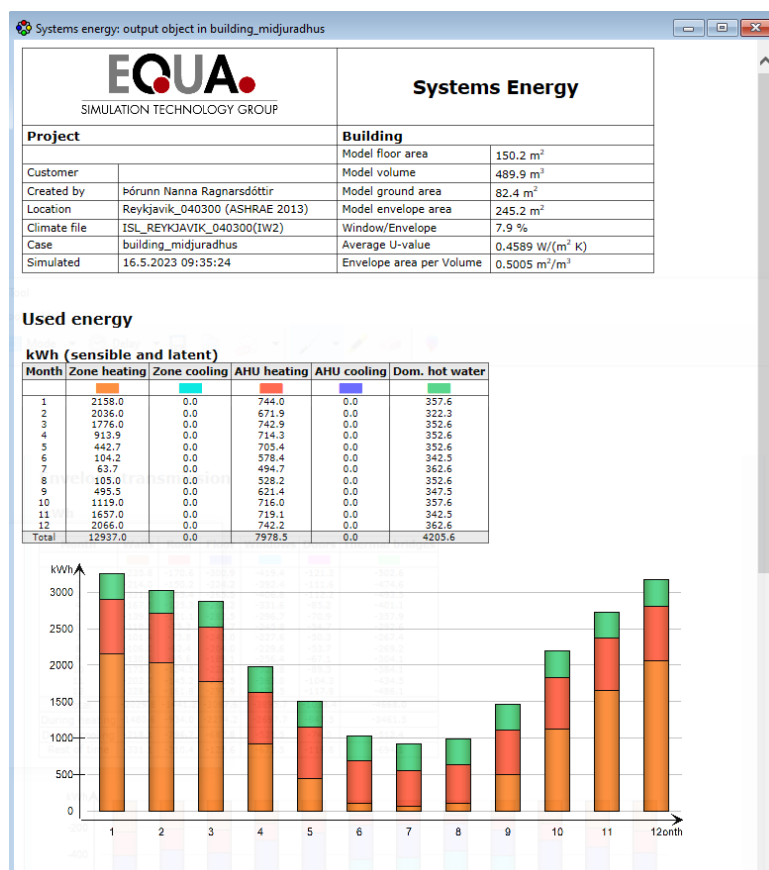
Mynd 71: Niðurstöður orkunotkunar fyrir miðjuraðhús með vélrænt loftræsikerfi án varmaendurvinnslu



Mynd 72: Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers hluta fyrir miðjuraðhús með vélrænt loftræsikerfi án varmaendurvinnslu



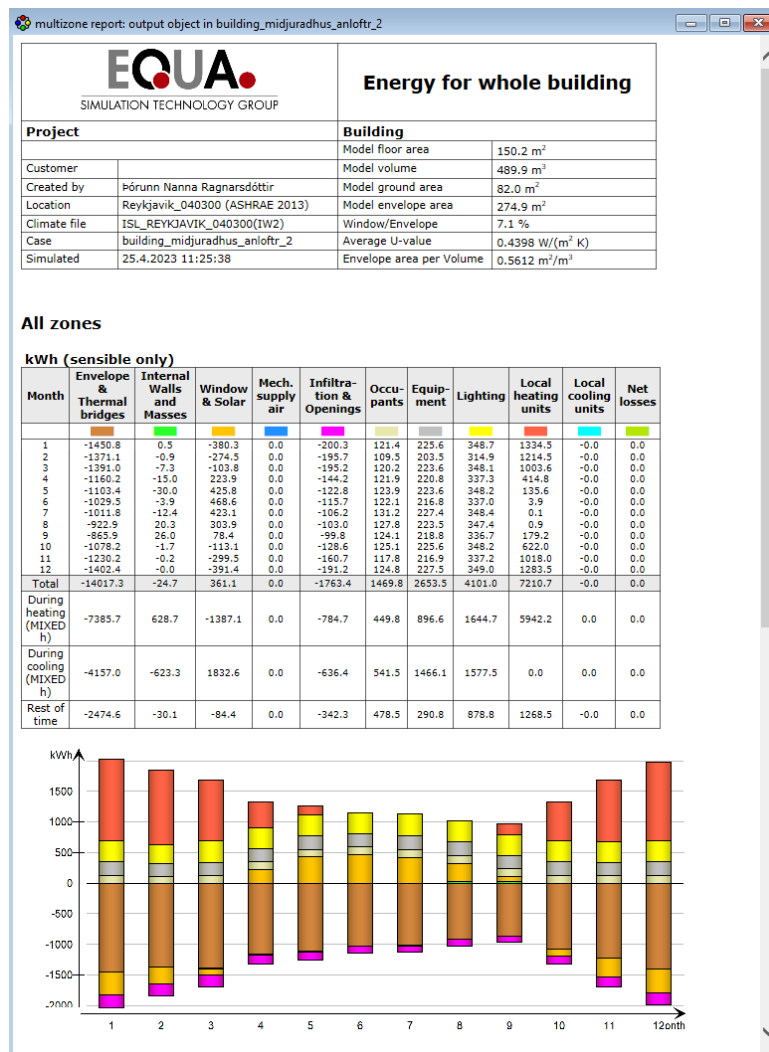
Mynd 73: Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers byggingarluta fyrir miðjuraðhús með vélrænt loftræsikerfi án varmaendurvinnslu



Mynd 74: Niðurstöður orkunotkunar miðjuraðhúss með vélrænt loftræsikerfi án varmaendurvinnslu eftir kerfi

Delivered Energy: output object in building_midjuradhus_anofttr_2			
		Delivered Energy Report	
Project		Building	
Customer		Model floor area	150.2 m ²
Created by	Þórunn Nanna Ragnarsdóttir	Model volume	489.9 m ³
Location	Reykjavík_040300 (ASHRAE 2013)	Model ground area	82.0 m ²
Climate file	ISL_REYKJAVIK_040300(IW2)	Model envelope area	274.9 m ²
Case	building_midjuradhus_anofttr_2	Window/Envelope	7.1 %
Simulated	25.4.2023 11:25:38	Average U-value	0.4398 W/(m ² K)
		Envelope area per Volume	0.5612 m ² /m ³
Building Comfort Reference			
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone			4 %
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone			2 %
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction			12 %
Delivered Energy Overview			
	Purchased energy		Peak demand
	kWh	kWh/m ²	kW
Lighting, facility	4101	27.3	0.85
HVAC aux	8	0.1	0.01
Total, Facility electric	4109	27.4	
District cooling	0	0.0	0.0
District heating	11416	76.0	7.44
Total, Facility district	11416	76.0	
Total	15525	103.3	
Equipment, tenant	2654	17.7	0.36
Total, Tenant electric	2654	17.7	
Grand total	18179	121.0	

Mynd 75: Niðurstöður orkunotkunar fyrir miðjuraðhús með náttúrulegt loftræsikerfi

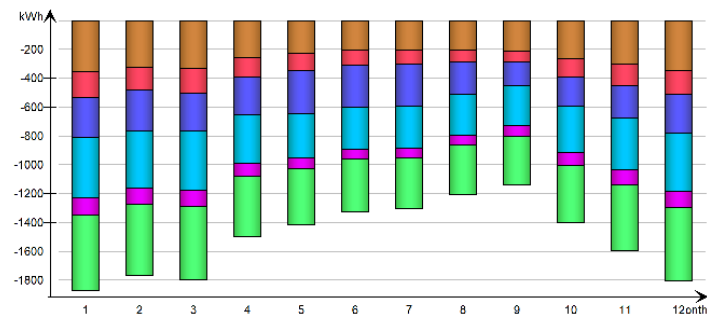


Mynd 76: Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers hluta fyrir miðjuraðhús með náttúrulegt loftræsikerfi

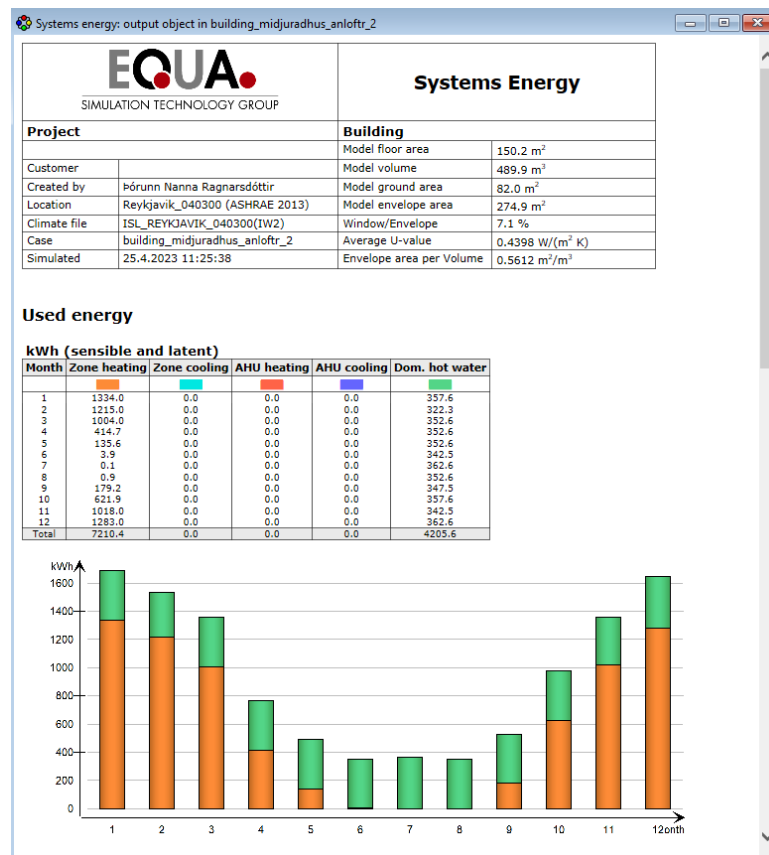
Envelope transmission

kWh

Month	Walls	Roof	Floor	Windows	Doors	Thermal bridges
1	-355.7	-173.9	-277.7	-419.0	-121.3	-522.0
2	-323.1	-155.5	-287.6	-392.7	-111.8	-493.2
3	-333.7	-166.9	-264.7	-408.6	-112.7	-513.0
4	-287.2	-131.7	-265.6	-337.4	-86.3	-419.6
5	-223.2	-120.2	-300.1	-312.3	-74.3	-385.6
6	-206.7	-99.7	-292.2	-296.8	-67.9	-362.9
7	-202.0	-101.0	-292.0	-288.5	-66.5	-350.5
8	-205.1	-79.1	-225.2	-285.7	-68.3	-345.2
9	-212.9	-78.4	-165.6	-277.8	-72.1	-337.0
10	-260.9	-127.6	-201.4	-323.5	-89.6	-398.6
11	-305.0	-148.3	-222.0	-363.4	-104.4	-450.6
12	-345.3	-166.7	-267.4	-404.2	-117.9	-505.1
Total	-3230.8	-1548.9	-3061.5	-4110.0	-1093.2	-5083.4
During heating	-1574.2	-551.9	-1705.1	-1924.5	-741.7	-2813.0
During cooling	-821.0	-477.6	-1230.4	-1216.5	-247.6	-1381.1
Rest of time	-835.6	-519.4	-126.0	-969.0	-103.9	-889.3



Mynd 77: Niðurstöður orkunotkunar þar sem kynnt er varmatap hvers byggingarluta fyrir miðjuraðhús með náttúrulegt loftræsikerfi



Mynd 78: Niðurstöður orkunotkunar miðjuraðhúss með náttúrulegt loftræsikerfi eftir kerfi

B.7 Aðrar stillingar

System parameters: object in building_endradhus

Here are some key tolerances and other standard settings. Most of these should not be changed unless you have a good reason and know the consequences.

Main parameters

Degree of automatic schedule smoothing: 5 (0 = no smoothing, 5 = ± 1 h)

P-band for proportional temperature controllers: deadband for on-off controllers: 2.0 °C (a small number may cause numerical problems)

Setpoint offset for water based cooling room units when there is temperature controlled VAV: 2.0 °C (positive value means air is used before water)

Solar radiation level at which integrated shadings are drawn: 100 W/m2 (measured when the shading device is not drawn)

Side on window where the solar radiation level for shading control is measured: Outside

Solar radiation incident angle, below which solar shading may be automatically drawn: 90 °

PMV (Fanger) level at which occupant wears maximum clothing: -1 [-3, -0.1] (a proportional controller is used to 'dress' occupants; controller offset error is used to represent the fact that occupants will not immediately change dress)

PMV (Fanger) level at which occupant wears minimum clothing: 1 [0.1, 3]

Method for measurement of daylight level: At first occupant (Average over floor or point measurement at first occupant)

Physical parameters

Ambient air CO2 level: 400.0 ppm (vol)

Window frame absorptance: 0.5 0 - 1

Exponent in leak power law when ELA is given: 0.6 -

Cd factor in flow(pressure) for large openings: 0.65 -

Post processing

Building time constant for determining "memory" for when a casual gain or loss is useful or harmful: 24 h (used for "during heating/cooling" reporting; ideally, make a simulation experiment to estimate)

Sliding average length for calculation of result table scalars: 15 min (measures of, e.g., max and min temperatures are not instantaneous)

Operative temperature level for count of hours in Summary table (lower level column): 25 °C

Ditto (higher level column): 27 °C

Temperature tolerance above (or below) setpoint where an Unmet Load Hour is recorded: 1 °C (ULH is a measure from ASHRAE 90.1 for when a zone is out of its control band)

Mynd 79: Aðrar kerfisbreytur

Wind Profile

Wind Profile: Default urban

Wind Profile

[Default urban]

Parameters

Name	Value	Unit	Description
a0	0.67		
a_exp	0.25		

OK Cancel Save as... Help

Mynd 80: Stillingar fyrir vind

C Viðauki - Simien

C.1 Stillingar byggingarhluta

Listebasert redigering av byggningskonstruksjoner

Velg elementtype som skal redigeres:

☒ Fasader ☐ U-verdi vinduer/ytterdører ☒ Vis både normale elementer og elementer i tiltak

☐ Gulv ☐ Solskjerming/solkfaktor vinduer ☐ Vis bare normale elementer

☐ Tak ☐ Vis bare elementer i tiltak

Navn	Sone/tiltak	Areal [m ²]	Konstruksjon	U-verdi [W/m ² K]	Spesifikt varmetap [W/K]	Varmekapasitet [W/K]
Útveggur 015	Jarðhæð - Alrými	24.6	Egendefinert	0.30	7.4	
Útveggur 105	Jarðhæð - Alrými	9.7	Egendefinert	0.30	2.9	
Útveggur 195	Jarðhæð - Alrými	7.3	Egendefinert	0.30	2.2	
Útveggur 285	Jarðhæð - Alrými	12.8	Egendefinert	0.30	3.8	
Útveggur 015	Jarðhæð - Herb...	9.4	Egendefinert	0.30	2.8	
Útveggur 105	Jarðhæð - Herb...	6.4	Egendefinert	0.30	1.9	
Útveggur 015	Efri hæð - Alrými	13.2	Egendefinert	0.30	4.0	
Útveggur 015	Efri hæð - Hjórn...	13.8	Egendefinert	0.30	4.1	
Útveggur 285	Efri hæð - Hjórn...	9.4	Egendefinert	0.30	2.8	
Útveggur 285	Efri hæð - Herb...	7.7	Egendefinert	0.30	2.3	
Útveggur 105	Efri hæð - Herb...	7.5	Egendefinert	0.30	2.2	
Útveggur 105	Efri hæð - Herb...	7.5	Egendefinert	0.30	2.2	
Sum/snitt		129.3		0.30	38.8	

Velg alle elementer Rediger valgte elementer... Slett valgte elementer Importer elementer fra tekstfil... Kopier data til utklippstavle

Avslutt Hjelp...

Mynd 81: Útveggir

Listebasert redigering av byggningskonstruksjoner

Velg elementtype som skal redigeres:

☐ Fasader ☐ U-verdi vinduer/ytterdører ☒ Vis både normale elementer og elementer i tiltak

☐ Gulv ☐ Solskjerming/solkfaktor vinduer ☐ Vis bare normale elementer

☒ Tak ☐ Vis bare elementer i tiltak

Navn	Sone/tiltak	Areal [m ²]	Konstruksjon	U-verdi [W/m ² K]	Spesifikt varmetap [W/K]	Varmekapasitet [W/K]
Þak	Efri hæð - Alrými	30.0	Egendefinert	0.15	4.5	
Þak	Efri hæð - Hjórn...	17.5	Egendefinert	0.15	2.6	
Þak	Efri hæð - Herb...	12.7	Egendefinert	0.15	1.9	
Þak	Efri hæð - Herb...	11.6	Egendefinert	0.15	1.7	
Þak	Efri hæð - Herb...	12.1	Egendefinert	0.15	1.8	
Sum/snitt		83.9		0.15	12.6	

Velg alle elementer Rediger valgte elementer... Slett valgte elementer Importer elementer fra tekstfil... Kopier data til utklippstavle

Avslutt Hjelp...

Mynd 82: Þak

Listebasert redigering av bygningskonstruksjoner

Velg elementtype som skal redigeres:

☐ Fasader
 ☐ U-verdi vinduer/ytterdører
 ☒ Vis både normale elementer og elementer i tiltak

☒ Gulv
 ☐ Solskjerming/sokfaktor vinduer
 ☐ Vis bare normale elementer

☐ Tak
 ☐ Vis bare elementer i tiltak

Navn	Sone/tiltak	Areal [m²]	Konstruksjon	U-verdi [W/m²K]	Ekv. U-verdi [W/m²K]	Spesifikt varmetap [W/K]
Gólfplata	Jarðhæð - Alrími	72.0	Egendefinert	0.22	0.15	10.9
Gólfplata	Jarðhæð - Herb...	9.0	Egendefinert	0.22	0.18	1.6
Sum/innitt		81.0		0.22	0.2	12.5

Mynd 83: Gólf

Listebasert redigering av bygningskonstruksjoner

Velg elementtype som skal redigeres:

☐ Fasader
 ☒ U-verdi vinduer/ytterdører
 ☒ Vis både normale elementer og elementer i tiltak

☐ Gulv
 ☐ Solskjerming/sokfaktor vinduer
 ☐ Vis bare normale elementer

☐ Tak
 ☐ Vis bare elementer i tiltak

Navn	Fasade	Sone/tiltak	Antall	Bredde [m]	Høyde [m]	Areal [m²]	Type	U-verdi [W/m²K]
Gluggi 860x1770 (v...	Útveggur 015	Jarðhæð - Alrími	1	0.86	1.77	1.52	Egendefinert	1.32
Gluggi 1460x1945 (v...	Útveggur 285	Jarðhæð - Alrími	1	1.46	1.95	2.85	Egendefinert	1.32
Gluggi 450x635 (vindu)	Útveggur 285	Jarðhæð - Alrími	1	0.45	0.63	0.28	Egendefinert	1.32
Gluggi 1170x2165 (v...	Útveggur 285	Jarðhæð - Alrími	1	1.17	2.16	2.53	Egendefinert	1.32
Gluggahurð 1000x21...	Útveggur 285	Jarðhæð - Alrími	1	1.17	2.16	2.53	Egendefinert	1.32
Gluggi 400x1270 (v...	Útveggur 015	Jarðhæð - Herbergi	1	0.40	1.27	0.51	Egendefinert	1.32
Gluggi 1000x2165 (v...	Útveggur 105	Jarðhæð - Herbergi	1	1.00	2.16	2.16	Egendefinert	1.32
Gluggi 450x635 (vindu)	Útveggur 105	Jarðhæð - Herbergi	1	0.45	0.63	0.28	Egendefinert	1.32
Gluggi 1170x2165 (v...	Útveggur 285	Efri hæð - Hjónaher...	1	1.17	2.16	2.53	Egendefinert	1.32
Gluggahurð 1000x21...	Útveggur 285	Efri hæð - Hjónaher...	1	1.17	2.16	2.53	Egendefinert	1.32
Gluggi 1500x1270 (v...	Útveggur 285	Efri hæð - Herbergi 1	1	1.50	1.27	1.90	Egendefinert	1.32
Gluggi 1500x1270 (v...	Útveggur 105	Efri hæð - Herbergi 2	1	1.50	1.27	1.90	Egendefinert	1.32
Gluggi 1500x1270 (v...	Útveggur 105	Efri hæð - Herbergi 3	1	1.50	1.27	1.90	Egendefinert	1.32
Úthurð - inngangur (...)	Útveggur 105	Jarðhæð - Alrími	1	-	-	3.08	Usolert dør	0.88
Sum/innitt						26.5		1.27

Mynd 84: Gluggar og hurðar

Listebasert redigering av bygningskonstruksjoner

Velg elementtype som skal redigeres:

☐ Fasadur
☐ Gulv
☐ Tak

☐ U-verdi vinduer/ytterdører
☒ Solskjerming/solfaktor vinduer

☒ Vis både normale elementer og elementer i tiltak
☐ Vis bare normale elementer
☐ Vis bare elementer i tiltak

Navn	Fasade	Sone/tiltak	Areal [m ²]	Solskjerming	Solfaktor
Glugg 860x1770	Útveggur 015	Jarðhæð - Alrými	1.52	To lag glass, hvorav det indre er en...	0.55
Glugg 1460x1945	Útveggur 285	Jarðhæð - Alrými	2.85	To lag glass, hvorav det indre er en...	0.55
Glugg 450x635	Útveggur 285	Jarðhæð - Alrými	0.28	To lag glass, hvorav det indre er en...	0.55
Glugg 1170x2165	Útveggur 285	Jarðhæð - Alrými	2.53	To lag glass, hvorav det indre er en...	0.55
Gluggahurð 100...	Útveggur 285	Jarðhæð - Alrými	2.53	To lag glass, hvorav det indre er en...	0.55
Glugg 400x1270	Útveggur 015	Jarðhæð - Herb...	0.51	To lag glass, hvorav det indre er en...	0.55
Glugg 1000x2165	Útveggur 105	Jarðhæð - Herb...	2.16	To lag glass, hvorav det indre er en...	0.55
Glugg 450x635	Útveggur 105	Jarðhæð - Herb...	0.28	To lag glass, hvorav det indre er en...	0.55
Glugg 1170x2165	Útveggur 285	Efri hæð - Hjón...	2.53	To lag glass, hvorav det indre er en...	0.55
Gluggahurð 100...	Útveggur 285	Efri hæð - Hjón...	2.53	To lag glass, hvorav det indre er en...	0.55
Glugg 1500x1270	Útveggur 285	Efri hæð - Herb...	1.90	To lag glass, hvorav det indre er en...	0.55
Glugg 1500x1270	Útveggur 105	Efri hæð - Herb...	1.90	To lag glass, hvorav det indre er en...	0.55
Glugg 1500x1270	Útveggur 105	Efri hæð - Herb...	1.90	To lag glass, hvorav det indre er en...	0.55
Sum/snitt			23.4		0.55

Velg alle elementer Rediger valgte elementer... Slett valgte elementer Importer elementer fra tekstfil... Kopier data til utdøpstavle

Avslutt Hjelp...

Mynd 85: Sólarfaktor glugga

Infiltrasjon Mobler/interior Driftsdager Kuldebroer Kommentar

☒ Normalisert kuldebroverdi [W/(m²K)]: Typiske kuldebroverdier...

☐ Spesifiserte kuldebroer:

Legg inn ny kuldebro
 Oppdater kuldebro
 Slett kuldebro

Mynd 86: Kuldabryr



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Hermun - heilt ár
Tid/dato simulering: 11:33 27/4-2023
Programversjon: 6.017
Simuleringsansvarlig: KAB
Firma: EFLA
Inndatafil: C:\...\Urriðaholtstræti_endaraðhús_actual_tnr.smi
Prosjekt: Urriðaholtstræti 44-74
Sone: Alle soner

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m²]:	129	
Areal tak [m²]:	84	
Areal gulv [m²]:	81	
Areal vinduer og ytterdører [m²]:	27	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m²]:	165	
Oppvarmet luftvolum [m³]:	476	
U-verdi yttervegger [W/m²K]	0,30	
U-verdi tak [W/m²K]	0,15	
U-verdi gulv [W/m²K]	0,15	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m²K]	1,27	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	16,1	
Normalisert kuldebroverdi [W/m²K]:	0,06	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m²K]	76	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0,41	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	85	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	85,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m²/s]:	2,00	
Luftmengde i driftstiden [m³/hm²]	1,89	
Luftmengde utenfor driftstiden [m³/hm²]	0,00	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,89	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m²]:	80	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,0	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m²]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	16,0	

Mynd 87: Gildi byggingarhluta úr húsunum með vélræna loftræsingu með og án varmaendurvinnslu



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Hermun - heilt ár
Tid/dato simulering: 11:38 27/4-2023
Programversjon: 6.017
Simuleringsansvarlig: KAB
Firma: EFLA
Inndatafil: C:\...\Urriðaholtstræti_endaraðhús_actual__anloft_rn.smi
Prosjekt: Urriðaholtstræti 44-74
Sone: Alle soner

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m²]:	129	
Areal tak [m²]:	84	
Areal gulv [m²]:	81	
Areal vinduer og ytterdører [m²]:	27	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m²]:	165	
Oppvarmet luftvolum [m³]:	476	
U-verdi yttervegger [W/m²K]	0,30	
U-verdi tak [W/m²K]	0,15	
U-verdi gulv [W/m²K]	0,15	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m²K]	1,27	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	16,1	
Normalisert kuldebroverdi [W/m²K]:	0,06	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m²K]	76	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	3,00	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	0,0	
Spesifikk vitteeffekt (SFP) [kW/m²/s]:	0,00	
Luftmengde i driftstiden [m³/hm²]	0,00	
Luftmengde utenfor driftstiden [m³/hm²]	0,00	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,88	
Installert effekt romoppv. og varmbatt. [W/m²]:	80	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,0	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m²]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmbatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	16,0	

Mynd 88: Gildi byggingarhluta úr húsunum með náttúrulega loftræsing

C.2 Loftræsikerfi

<< Föregående side Inndata for ventilasjon (avtrekk eller balansert) Neste side >>

Navn:

Type: ☒ Balansert ventilasjon
☐ Avtrekksventilasjon
☐ Naturlig ventilasjon

Luftmengde Tølluftstemp. Driftstid Komponenter Avtrekksvp. Nattkjøling Kommentar

☐ Varmebatteri

Maks. kapasitet [W/m²]:
Effekt med gitt gulvareal: 2.2 kW
☐ Vannbærent varmbatteri

Delta-T vannside [K]:
Sp. pumpeeffekt [kW/(l/s)]:

☐ Kjølebatteri

Maks. kapasitet [W/m²]:
Effekt med gitt gulvareal: 2.2 kW
☒ Vannbærent kjølebatteri

Delta-T vannside [K]:
Sp. pumpeeffekt [kW/(l/s)]:

☐ Varmegjenvinning av ventilasjonsluft medfører risiko for spredning av forurensning/smitte

Vifter

SFP faktor i driftstiden [kW/m³/s]:
SFP utenfor driftstiden [kW/m³/s]:
Tølluftsvifte: ☐ Etter varmegjenvinner
Avtrekksvifte: ☐ Etter varmegjenvinner

☒ Varmegjenvinner

Temperaturvirkningsgrad:
☒ Frostsikringstemperatur [°C]:
☒ Hygroskopisk fuktvirkningsgrad:

Hjelp

(a) Stillingar fyrir vélræna loftræsikerfið með varmaendurvinnslu

<< Föregående side Inndata for ventilasjon (avtrekk eller balansert) Neste side >>

Navn:

Type: ☒ Balansert ventilasjon
☐ Avtrekksventilasjon
☐ Naturlig ventilasjon

Luftmengde Tølluftstemp. Driftstid Komponenter Avtrekksvp. Nattkjøling Kommentar

☐ Varmebatteri

Maks. kapasitet [W/m²]:
Effekt med gitt gulvareal: 0.5 kW
☐ Vannbærent varmbatteri

Delta-T vannside [K]:
Sp. pumpeeffekt [kW/(l/s)]:

☐ Kjølebatteri

Maks. kapasitet [W/m²]:
Effekt med gitt gulvareal: 0.5 kW
☒ Vannbærent kjølebatteri

Delta-T vannside [K]:
Sp. pumpeeffekt [kW/(l/s)]:

☐ Varmegjenvinning av ventilasjonsluft medfører risiko for spredning av forurensning/smitte

Vifter

SFP faktor i driftstiden [kW/m³/s]:
SFP utenfor driftstiden [kW/m³/s]:
Tølluftsvifte: ☐ Etter varmegjenvinner
Avtrekksvifte: ☐ Etter varmegjenvinner

☒ Varmegjenvinner

Temperaturvirkningsgrad:
☒ Frostsikringstemperatur [°C]:
☒ Hygroskopisk fuktvirkningsgrad:

Hjelp

(b) Stillingar fyrir vélræna loftræsikerfið án varmaendurvinnslu

<< Föregående side Inndata for ventilasjon (avtrekk eller balansert) Neste side >>

Navn:

Type: ☐ Balansert ventilasjon
☐ Avtrekksventilasjon
☒ Naturlig ventilasjon

Luftmengde Tølluftstemp. Driftstid Komponenter Avtrekksvp. Nattkjøling Kommentar

☐ Varmebatteri

Maks. kapasitet [W/m²]:
Effekt med gitt gulvareal: 2.2 kW
☐ Vannbærent varmbatteri

Delta-T vannside [K]:
Sp. pumpeeffekt [kW/(l/s)]:

☐ Kjølebatteri

Maks. kapasitet [W/m²]:
Effekt med gitt gulvareal: 2.2 kW
☒ Vannbærent kjølebatteri

Delta-T vannside [K]:
Sp. pumpeeffekt [kW/(l/s)]:

☐ Varmegjenvinning av ventilasjonsluft medfører risiko for spredning av forurensning/smitte

Vifter

SFP faktor i driftstiden [kW/m³/s]:
SFP utenfor driftstiden [kW/m³/s]:
Tølluftsvifte: ☐ Etter varmegjenvinner
Avtrekksvifte: ☐ Etter varmegjenvinner

☒ Varmegjenvinner

Temperaturvirkningsgrad:
☒ Frostsikringstemperatur [°C]:
☒ Hygroskopisk fuktvirkningsgrad:

Hjelp

(c) Stillingar fyrir náttúrulega loftræsikerfið

C.3 Loftþéttleiki

Infirrasjon | Mabler/interior | Driftsdager | Kuldebroer | Kommentar

Luftskifte ved 50Pa
Lekkasjetall (N50) [1/h]:

Lekkasjetallet angir antall luftskifter med en trykkforskjell på 50 Pa over klimaskjemen.

Luftskifte ved normaltstand
Infirrasjon [oms/h]:

Infirrasjonen beregnes ut fra lekkasjetall, skjemingsklasse og fasadestuasjon. Avtrekksventilasjon og ubalanserte luftmengder vil også påvirke infirrasjonen.

Skjemingsklasse

☐ Ingen skjeming; bygninger i åpent landskap, høyblokker i bysentre

☒ Moderat skjeming; bygninger på landet med trær eller andre bygninger rundt, forsteder

☐ Høy skjeming; bygninger av middels høyde i bysentre, bygninger i skogsområder

Fasadestuasjon

☐ En vindutsatt fasade

☒ Mer enn en vindutsatt fasade

(a) Stillingar loftþéttleika með vélræna loftræsingum með og án varmaendurvinnslu

Infirrasjon | Mabler/interior | Driftsdager | Kuldebroer | Kommentar

Luftskifte ved 50Pa
Lekkasjetall (N50) [1/h]:

Lekkasjetallet angir antall luftskifter med en trykkforskjell på 50 Pa over klimaskjemen.

Luftskifte ved normaltstand
Infirrasjon [oms/h]:

Infirrasjonen beregnes ut fra lekkasjetall, skjemingsklasse og fasadestuasjon. Avtrekksventilasjon og ubalanserte luftmengder vil også påvirke infirrasjonen.

Skjemingsklasse

☐ Ingen skjeming; bygninger i åpent landskap, høyblokker i bysentre

☒ Moderat skjeming; bygninger på landet med trær eller andre bygninger rundt, forsteder

☐ Høy skjeming; bygninger av middels høyde i bysentre, bygninger i skogsområder

Fasadestuasjon

☐ En vindutsatt fasade

☒ Mer enn en vindutsatt fasade

(b) Stillingar loftþéttleika með náttúrulega loftræsingum

C.4 Niðurstöður hermanna

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	6281 kWh	38,1 kWh/m²
1b El. til varmepumpesystem	0 kWh	0,0 kWh/m²
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m²
4 Fjernvarme	13341 kWh	80,9 kWh/m²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m²
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m²
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kWh	-0,0 kWh/m²
Totalt levert energi, sum 1-7	19622 kWh	119,0 kWh/m²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m²
Netto levert energi	19622 kWh	119,0 kWh/m²

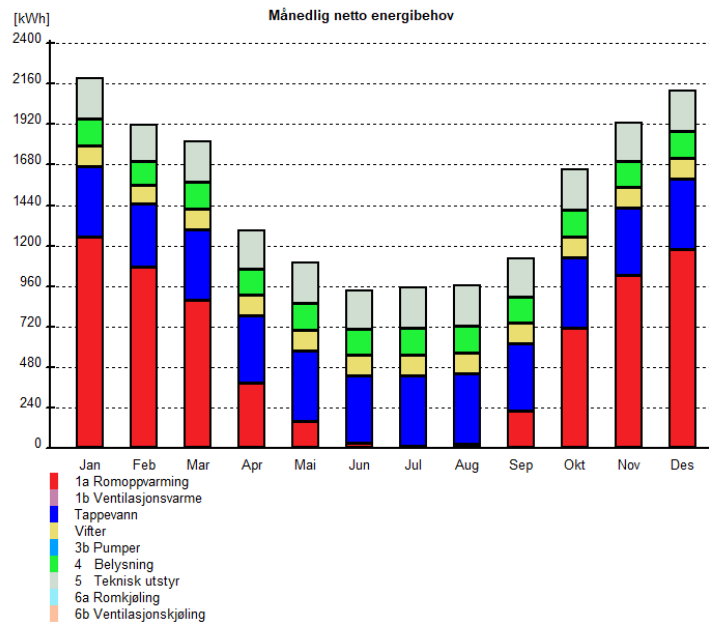
Mynd 91: Orkunotkun endaraðhúss með vélræna loftræsingum með varmaendurvinnslu

SIMIEN	
Resultater årssimulering	
Simuleringsnavn: Hermun - heilt ár	
Tid/dato simulering: 11:33 27/4-2023	
Programversjon: 6.017	
Simuleringsansvarlig: KAB	
Firma: EFLA	
Inndatafil: C:\...Umboholtsstræti_endaraðhús_actual_tnr.smi	
Prosjekt: Umboholtsstræti 44-74	
Sone: Alle soner	

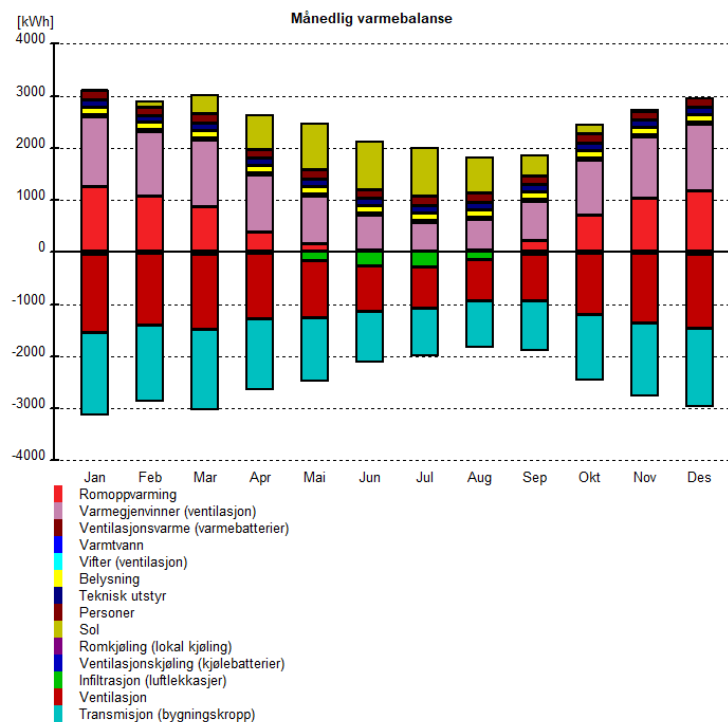
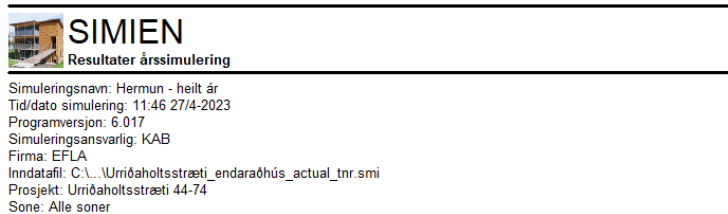
Dekning av energibudsjett fordelt på energikilder					
Energikilder	Romoppv.	Varmebatterier	Varmtvann	Kjølebatterier	Romkjøling
El.	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	38,1 kWh/m²
Olje	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Gass	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Fjernvarme	41,9 kWh/m²	0,0 kWh/m²	29,8 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Biobrensel	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Varmpumpe	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Sol	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Annen	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Sum	41,9 kWh/m²	0,0 kWh/m²	29,8 kWh/m²	0,0 kWh/m²	38,1 kWh/m²

Mynd 92: Niðurstöður orkunotkunar eftir kerfum fyrir endaraðhús með vélræna loftræsingum með varmaendurvinnslu

Simuleringsnavn: Hermun - heilt ár
 Tíð/dato simulering: 11:46 27/4-2023
 Programversjon: 6.017
 Simuleringsansvarlig: KAB
 Firma: EFLA
 Inndatafil: C:\...\Umiðaholtsstræti_endaraðhús_actual_tnr.smi
 Prospekt: Umiðaholtsstræti 44-74
 Sone: Alle soner



Mynd 93: Niðurstöður orkunotkunar eftir mánuðum fyrir endaraðhús með vélræna loftræsingu með varmaendurvinnslu



Mynd 94: Orkunotkun endaraðhúss með vélræna loftræsingu með varmaendurvinnslu eftir mánuðum

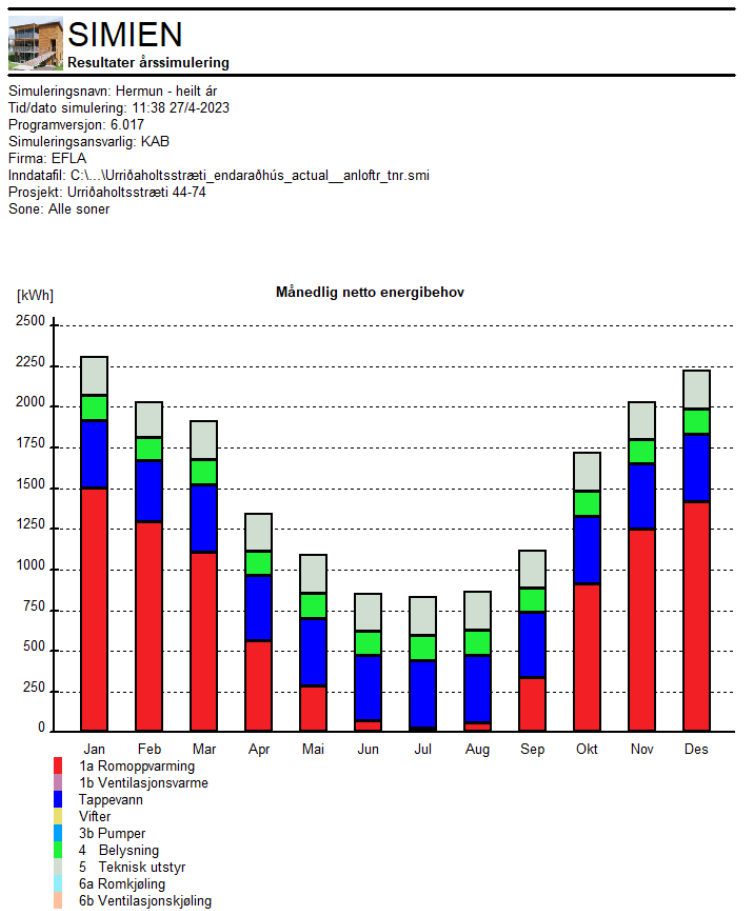
Energivare	Levert energi til bygningen (beregnet)	
	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	4767 kWh	28,9 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	15588 kWh	94,5 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-7	20355 kWh	123,4 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto levert energi	20355 kWh	123,4 kWh/m ²

Mynd 95: Orkunotkun endaraðhúss með náttúrulega loftræsingu

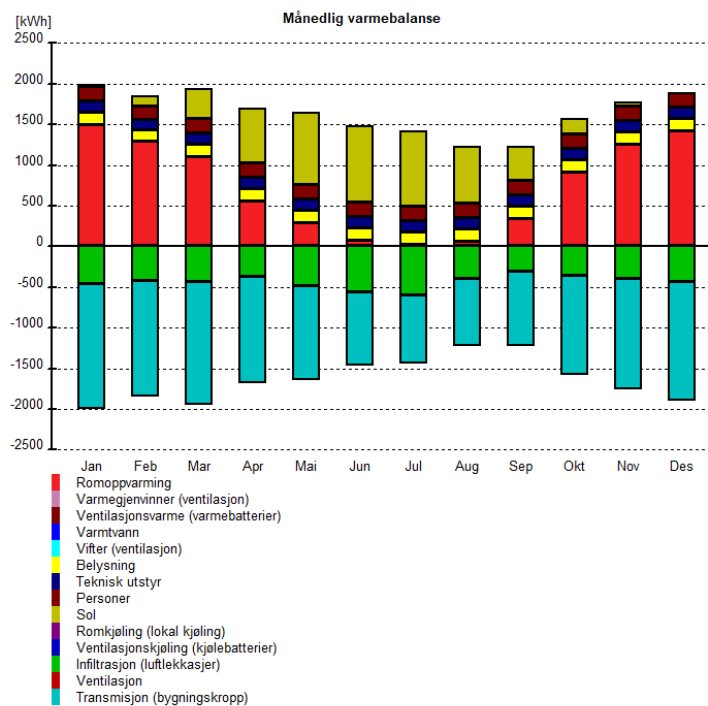
	SIMIEN Resultater årssimulering
Simuleringsnavn: Hermun - heilt ár Tid/dato simulering: 11:38 27/4-2023 Programversjon: 6.017 Simuleringsansvarlig: KAB Firma: EFLA Inndatafil: C:\...\\Umrðaholtsstræti_endaraðhús_actual__anloft_r_tnr.smi Prosjekt: Umrðaholtsstræti 44-74 Sone: Alle soner	

Energikilder	Dekning av energibudsjett fordelt på energikilder					
	Romoppv.	Varmebatterier	Varmtvann	Kjølebatterier	Romkjøling	Ei spesifikt
El.	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	28,9 kWh/m²
Olje	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Gass	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Fjernvarme	53,2 kWh/m²	0,0 kWh/m²	29,8 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Biobrensel	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Varmpumpe	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Sol	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Annen	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Sum	53,2 kWh/m²	0,0 kWh/m²	29,8 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	28,9 kWh/m²

Mynd 96: Niðurstöður orkunotkunar eftir kerfum fyrir endaraðhús með náttúrulega loftræsingu



Mynd 97: Niðurstöður orkunotkunar eftir mánuðum fyrir endaraðhús með náttúrulega loftræsingu



Mynd 98: Orkunotkun endaraðhúss með náttúrulega loftræsingu eftir mánuðum

Energivare	Levert energi til bygningen (beregnet)	
	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	6281 kWh	38,1 kWh/m²
1b El. til varmepumpesystem	0 kWh	0,0 kWh/m²
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m²
4 Fjernvarme	26334 kWh	159,7 kWh/m²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m²
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m²
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kWh	-0,0 kWh/m²
Totalt levert energi, sum 1-7	32615 kWh	197,8 kWh/m²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m²
Netto levert energi	32615 kWh	197,8 kWh/m²

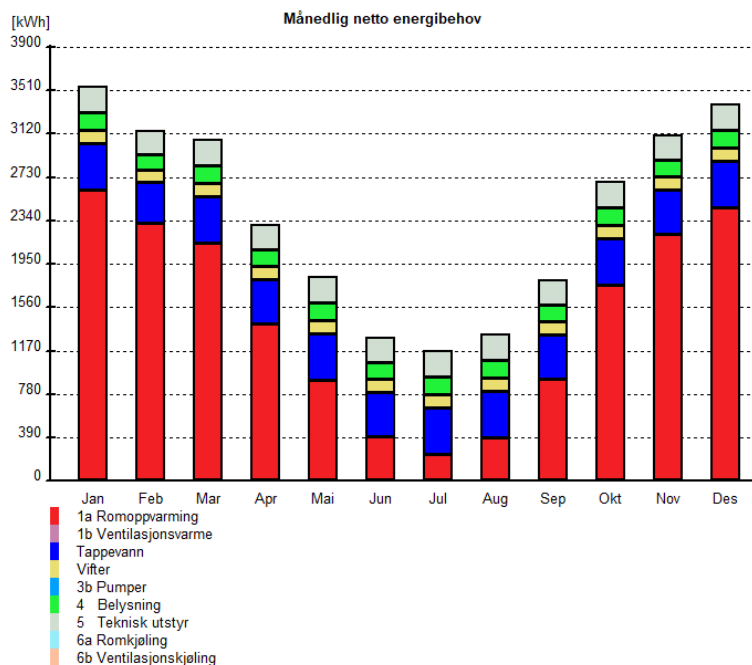
Mynd 99: Orkunotkun endaraðhúss með vélræna loftræsingu án varmaendurvinnslu

Simuleringsnavn: Hermun - heilt ár
Tid/dato simulering: 22:07 15/5-2023
Programversjon: 6.017
Simuleringsansvarlig: KAB
Firma: EFLA
Inndatafil: C:\...\Umrðaholtsstræti_endaraðhús_actual_anendurnyti_tnr.smi
Prosjekt: Umrðaholtsstræti 44-74
Sone: Alle soner

Energikilder	Dekning av energibudsjett fordelt på energikilder					
	Romoppv.	Varmedbatterier	Varmtvann	Kjøledbatterier	Romkjøling	El. spesifikt
El.	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	38,1 kWh/m²
Olje	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Gass	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Fjernvarme	107,2 kWh/m²	0,0 kWh/m²	29,8 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Biobrensel	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Varmpumpe	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Sol	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Annen	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Sum	107,2 kWh/m²	0,0 kWh/m²	29,8 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	38,1 kWh/m²

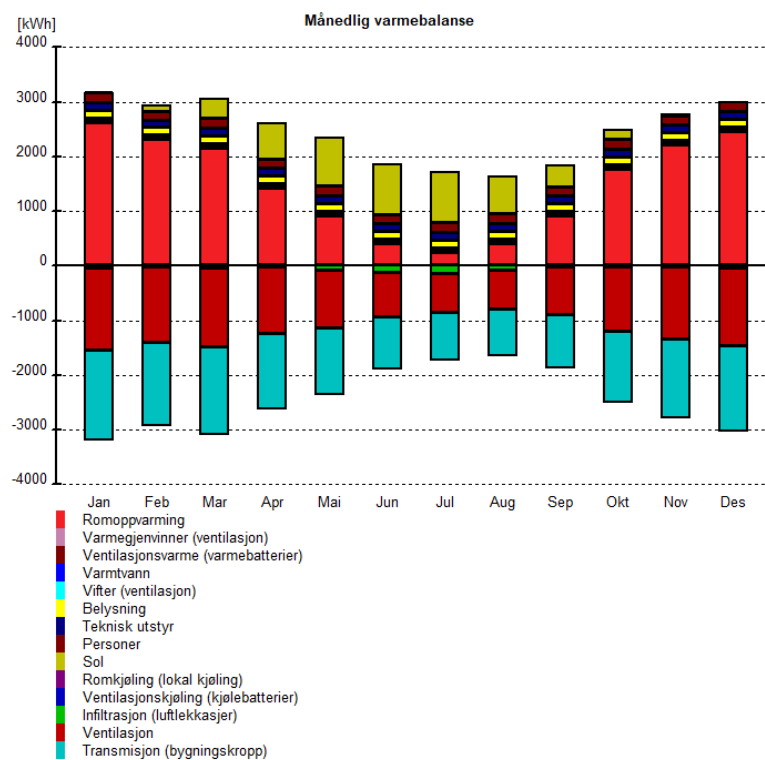
Mynd 100: Niðurstöður orkunotkunar eftir kerfum fyrir endaraðhús með vélræna loftræsingu án varmaendurvinnslu

Simuleringsnavn: Hermun - heilt ár
Tid/dato simulering: 22:07 15/5-2023
Programversjon: 6.017
Simuleringsansvarlig: KAB
Firma: EFLA
Inndatafil: C:\...\Umrðaholtsstræti_endaraðhús_actual_anendurnyti_tnr.smi
Prosjekt: Umrðaholtsstræti 44-74
Sone: Alle soner



Mynd 101: Niðurstöður orkunotkunar eftir mánuðum fyrir endaraðhús með vélræna loftræsingu án varmaendurvinnslu

Simuleringsnavn: Hermun - heilt ár
Tid/dato simulering: 22:07 15/5-2023
Programversjon: 6.017
Simuleringsansvarlig: KAB
Firma: EFLA
Inndatafil: C:\...\Urriðaholtssstræti_endaraðhús_actual_anendurnytni_tnr.smi
Prosjekt: Urriðaholtssstræti 44-74
Sone: Alle soner



Mynd 102: Orkunotkun endaraðhúss með vélræna loftræsingu án varmaendurvinnslu eftir mánuðum

Leverert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Leverert energi	Spesifikk leverert energi
1a Direkte el.	6281 kWh	38,1 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	11545 kWh	70,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6 Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Totalt leverert energi, sum 1-7	17825 kWh	108,1 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto leverert energi	17825 kWh	108,1 kWh/m ²

Mynd 103: Orkunotkun miðjuraðhúss með vélræna loftræsingu með varmaendurvinnslu



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Hermun - heilt ár

Tid/dato simulering: 11:54 27/4-2023

Programversjon: 6.017

Simuleringsansvarlig: KAB

Firma: EFLA

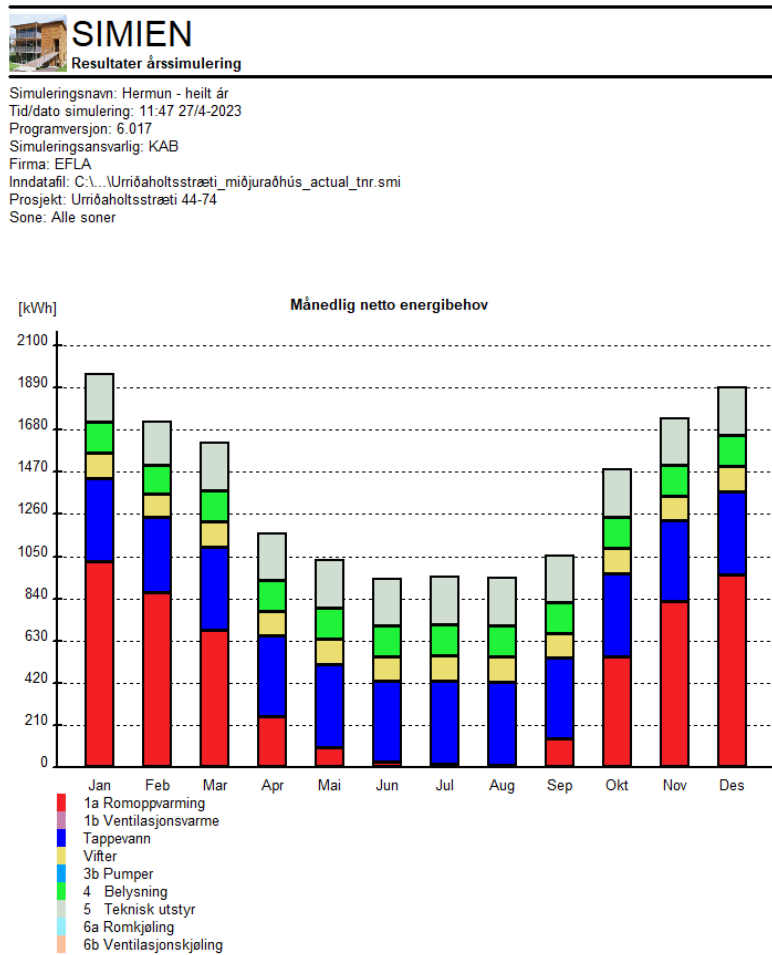
Inndatafil: C:\...\\Urriðaholtsstræti_miðjuraðhús_actual_tnr.smi

Prosjekt: Urriðaholtsstræti 44-74

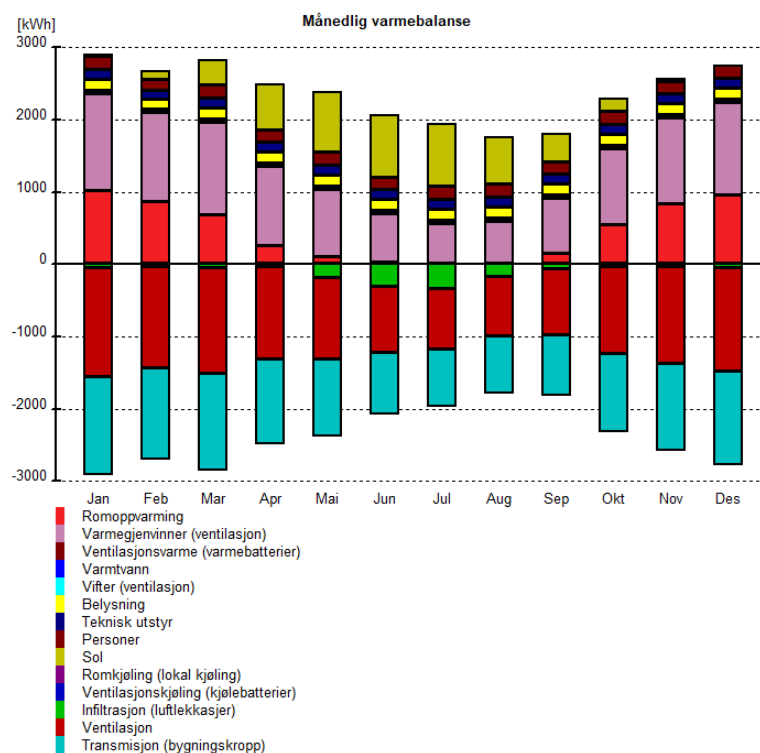
Sone: Alle soner

Dekning av energibudsjett fordelt på energikilder						
Energikilder	Romoppv.	Varmebatterier	Varmtvann	Kjølebatterier	Romkjøling	El. spesifikt
El.	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	38,1 kWh/m²
Olje	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Gass	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Fjernvarme	32,8 kWh/m²	0,0 kWh/m²	29,8 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Biobrensel	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Varmepumpe	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Sol	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Annen	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Sum	32,8 kWh/m²	0,0 kWh/m²	29,8 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	38,1 kWh/m²

Mynd 104: Niðurstöður orkunotkunar eftir kerfum fyrir miðjuraðhús með vélræna loftræsingu með varmaendurvinnslu



Mynd 105: Niðurstöður orkunotkunar eftir mánuðum fyrir miðjuraðhús með vélræna loftræsingu með varmaendurvinnslu



Mynd 106: Orkunotkun miðjuraðhúss með vélræna loftræsingu með varmaendurvinnslu eftir mánuðum

Leverert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Leverert energi	Spesifikk leverert energi
1a Direkte el.	6281 kWh	38,1 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	24251 kWh	147,1 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Totalt leverert energi, sum 1-7	30532 kWh	185,2 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto leverert energi	30532 kWh	185,2 kWh/m ²

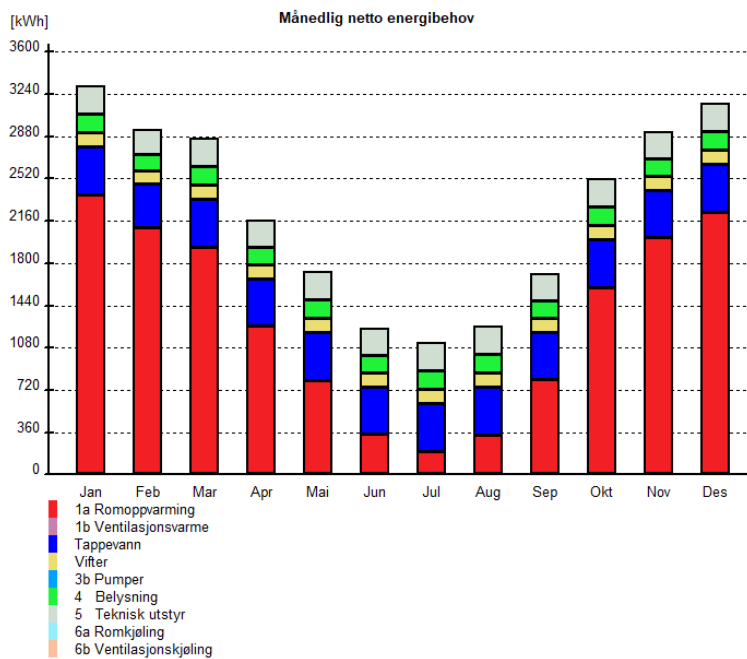
Mynd 107: Orkunotkun miðjuraðhúss með vélræna loftræsingu án varmaendurvinnslu

Simuleringsnavn: Hermun - heilt ár
Tid/dato simulering: 22:33 15/5-2023
Programversjon: 6.017
Simuleringsansvarlig: KAB
Firma: EFLA
Inndatafil: C:\...Urriðaholtsstræti_miðjuraðhús_actual_anendurnytni_tnr.smi
Prosjekt: Urriðaholtsstræti 44-74
Sone: Alle soner

Dekning av energibudsjett fordelt på energikilder						
Energikilder	Romoppv.	Varmebatterier	Varmtvann	Kjølebatterier	Romkjøling	El. spesifikt
El.	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	38,1 kWh/m²
Olje	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Gass	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Fjernvarme	96,7 kWh/m²	0,0 kWh/m²	29,8 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Biobrensel	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Varmerpumpe	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Sol	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Annen	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Sum	96,7 kWh/m²	0,0 kWh/m²	29,8 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	38,1 kWh/m²

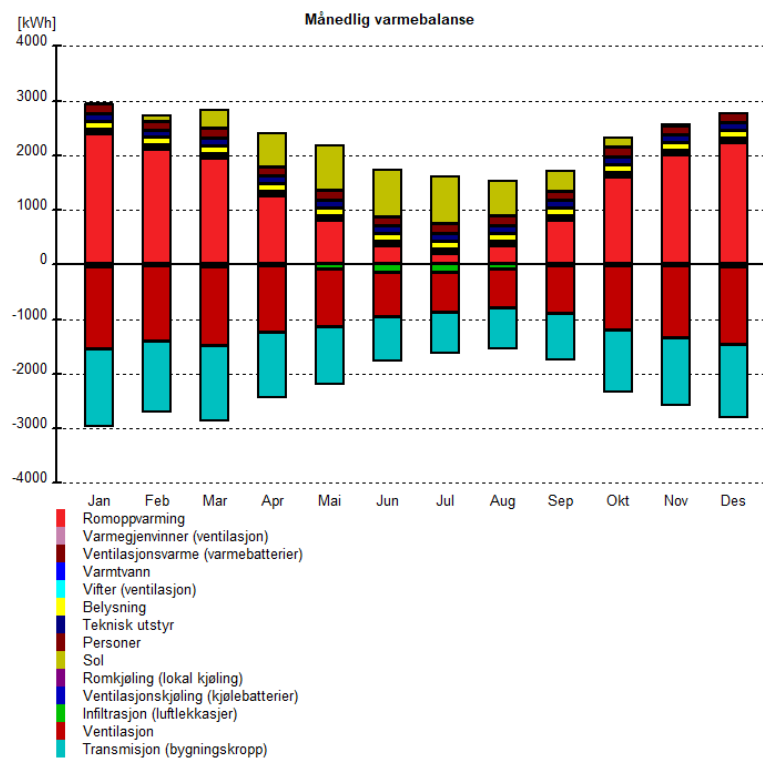
Mynd 108: Niðurstöður orkunotkunar eftir kerfum fyrir miðjuraðhús með vélræna loftræsingu án varmaendurvinnslu

Simuleringsnavn: Hermun - heilt ár
Tid/dato simulering: 22:33 15/5-2023
Programversjon: 6.017
Simuleringsansvarlig: KAB
Firma: EFLA
Inndatafil: C:\...Urriðaholtsstræti_miðjuraðhús_actual_anendurnytni_tnr.smi
Prosjekt: Urriðaholtsstræti 44-74
Sone: Alle soner



Mynd 109: Niðurstöður orkunotkunar eftir mánuðum fyrir miðjuraðhús með vélræna loftræsingu án varmaendurvinnslu

Simuleringsnavn: Hermun - heilt ár
Tid/dato simulering: 22:33 15/5-2023
Programversjon: 6.017
Simuleringsansvarlig: KAB
Firma: EFLA
Inndatafil: C:_Urriðaholtsstræti_miðjuraðhús_actual_anendurnyti_tnr.smi
Prosjekt: Urriðaholtsstræti 44-74
Sone: Alle soner



Mynd 110: Orkunotkun miðjuraðhúss með vélræna loftræsingu án varmaendurvinnslu eftir mánuðum

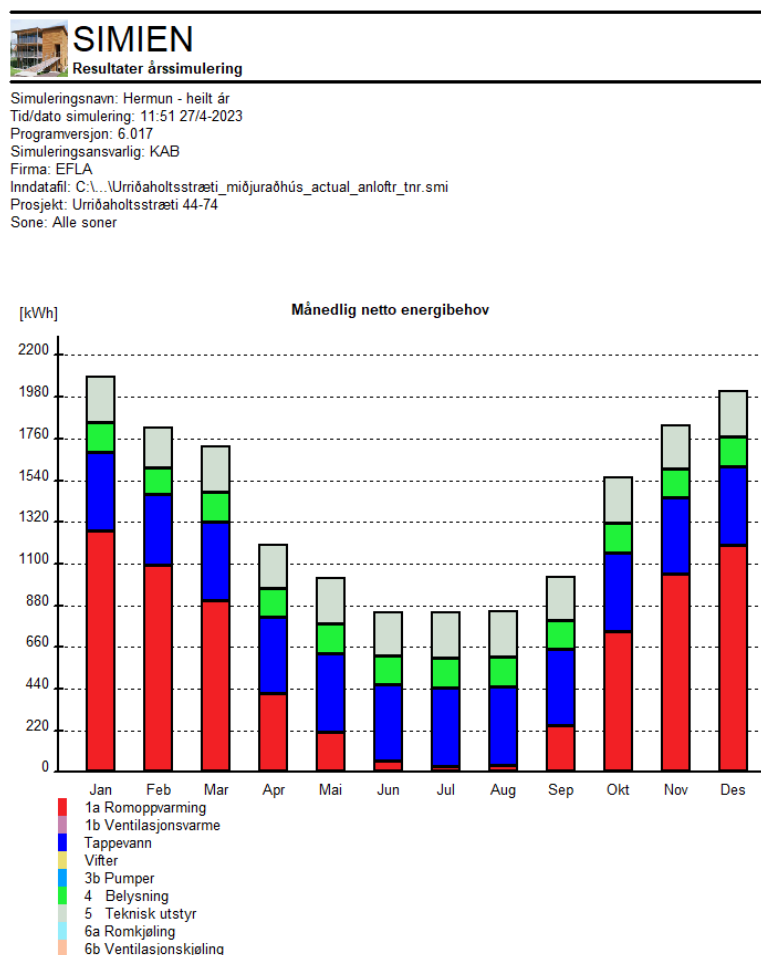
Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	4767 kWh	28,9 kWh/m²
1b El. til varmepumpesystem	0 kWh	0,0 kWh/m²
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m²
4 Fjernvarme	13699 kWh	83,1 kWh/m²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m²
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m²
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kWh	-0,0 kWh/m²
Totalt levert energi, sum 1-7	18466 kWh	112,0 kWh/m²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m²
Netto levert energi	18466 kWh	112,0 kWh/m²

Mynd 111: Orkunotkun miðjuraðhúss með náttúrulega loftræsingu

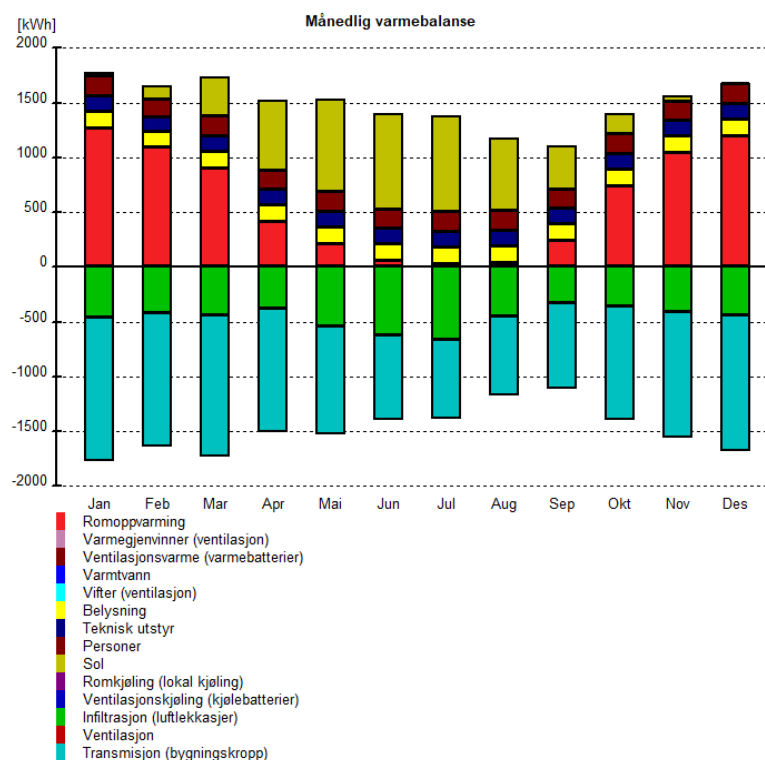
	SIMIEN
Resultater årssimulering	
Simuleringsnavn: Hermun - heilt ár	
Tid/dato simulering: 11:51 27/4-2023	
Programversjon: 6.017	
Simuleringsansvarlig: KAB	
Firma: EFLA	
Inndatafil: C:\...Urriðaholtsstræti_miðjuraðhús_actual_anloft_tnr.smi	
Prosjekt: Urriðaholtsstræti 44-74	
Sone: Alle soner	

Energikilder	Dekning av energibudsjett fordelt på energikilder					
	Romoppv.	Varmebatterier	Varmtvann	Kjølebatterier	Romkjøling	El. spesifikt
El.	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	28,9 kWh/m²
Olje	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Gass	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Fjernvarme	43,7 kWh/m²	0,0 kWh/m²	29,8 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Biobrensel	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Vardepumpe	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Sol	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Annen	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²
Sum	43,7 kWh/m²	0,0 kWh/m²	29,8 kWh/m²	0,0 kWh/m²	0,0 kWh/m²	28,9 kWh/m²

Mynd 112: Niðurstöður orkunotkunar eftir kerfum fyrir miðjuraðhús með náttúrulega loftræsing



Mynd 113: Niðurstöður orkunotkunar eftir mánuðum fyrir miðjuraðhús með náttúrulega loftræsing



Mynd 114: Orkunotkun miðjuraðhúss með vélræna loftræsingu með náttúrulega loftræsingu eftir mánuðum

C.5 Aðrar stillingar

Infiltrasjon
Møbler/interiør
Driftsdager
Kuldebroer
Kommentar

Middels møblert rom

☐ Egendefinert varmekapasitet [Wh/m²K]:
 4,0

Det er kun varmekapasiteten til møbler og innredning som skal legges inn her. Skillevegger og etasjeskillere internt i sonen skal legges inn som skillekonstruksjoner mot rom/soner med samme temperatur.

Mynd 115: Stilling fyrir innbú