

**Jarðhitanotkun til raforkuvinnslu og beinna
nota til ársins 2009**

**Ingimar G. Haraldsson
Jónas Ketilsson**

Jarðhitanotkun til raforkuvinnslu og beinna nota til ársins 2009

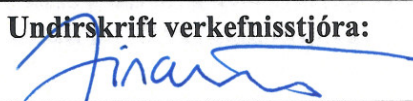
**Ingimar G. Haraldsson
Jónas Ketilsson**

OS-2010/02

ISBN 978-9979-68-276-9

**ORKUSTOFNUN**

Lykilsíða

Skýrsla nr.: 2010/02	Dags.: 21. desember 2010	Dreifing: Opin X Lokuð ☐
		Skilmálar:
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Jarðhitanotkun til raforkuvinnslu og beinna nota til ársins 2009		Upplag: 20 Fjöldi síðna: 62
Höfundar: Ingimar G. Haraldsson Jónas Ketilsson		Verkefnisstjóri: Jónas Ketilsson
Gerð skýrslu / Verkstig:		Verknúmer: 3033203
Unnið fyrir:		
Samvinnuaðilar:		
Útdráttur: Í skýrslunni er gerð grein fyrir jarðhitanotkun til raforkuvinnslu og beinna nota frá 1990 til 2009. Stiklað er á stóru í sögu notkunar. Innlend og alþjóðleg flokkunarkerfi jarðhitanotkunar eru kynnt og borin saman. Aðferðarfræði við mat á jarðhitanotkun ólíkra notkunarflokka er kynnt og henni beitt við mat á notkun ársins 2008. Bakgrunnsupplýsingar um tilhögun nýtingar eru settar fram þar sem við á. Gerð er grein fyrir niðurstöðum og bent á mögulegar úrbætur í matsaðferðum. Dreifing jarðhitanotkunar á landinu og orkuflæði jarðhita árið 2008 eru sýnd á myndrænan hátt. Bein notkun jarðhita árið 2008 nam 25,1 PJ. Þar af fóru 18,8 PJ til húsnota, 1,7 PJ til snjóbræðslu, 1,7 PJ til fiskeldis, 1,4 PJ til sundlauga, 0,8 PJ til iðnaðar og 0,7 PJ til ylræktar. Raforkuvinnsla nam 4.038 GWh (14,5 PJ). Jarðhitanotkun fyrir 2009 er svo áætluð.		
Lykilorð: Jarðhitanotkun, frumorkunotkun, orkuflæði, jarðvarmavirkjun, hitaveita, jarðhiti, jarðvarmi, húsnotkun, húshitun, snjóbræðsla, fiskeldi, sundlaug, iðnaður, ylrækt.		ISBN-númer: 978-9979-68-276-9
		Undirskrift verkefnisstjóra: 
		Yfirfarið af: GAJ, ÞJ, HEGG

EFNISYFIRLIT

1	INNGANGUR.....	7
2	UPPHAF JARÐHITANOTKUNAR.....	8
3	FLOKKUN JARÐHITANOTKUNAR.....	9
4	JARÐHITANOTKUN TIL RAFORKUVINNSLU.....	12
5	JARÐHITI TIL HÚSNOTA.....	13
5.1	Skipting á milli hitunar og neysluvatns.....	13
5.2	Matsaðferð og gagnasöfnun.....	16
5.3	Úrvinnsla og niðurstöður.....	17
5.4	Tillögur og ábendingar.....	19
6	JARÐHITANOTKUN TIL SNJÓBRÆÐSLU.....	21
6.1	Matsaðferð og gagnasöfnun.....	21
6.2	Úrvinnsla og niðurstöður.....	22
6.3	Tillögur og ábendingar.....	23
7	JARÐHITANOTKUN Í FISKELDI.....	24
7.1	Matsaðferð og gagnasöfnun.....	26
7.2	Úrvinnsla og niðurstöður.....	27
7.3	Tillögur og ábendingar.....	27
8	JARÐHITANOTKUN SUNDLAUGA.....	28
8.1	Tilhögun.....	29
8.2	Matsaðferð og gagnasöfnun.....	31
8.3	Úrvinnsla og niðurstöður.....	38
8.4	Tillögur og ábendingar.....	43
9	JARÐHITANOTKUN Í IÐNAÐI.....	45
9.1	Matsaðferð og gagnasöfnun.....	46
9.2	Úrvinnsla og niðurstöður.....	46
9.3	Tillögur og ábendingar.....	46
10	JARÐHITANOTKUN Í YLRÆKT.....	48
10.1	Tilhögun.....	49
10.2	Matsaðferð og gagnasöfnun.....	51
10.3	Úrvinnsla og niðurstöður.....	52
10.4	Tillögur og ábendingar.....	54
11	JARÐHITANOTKUN EFTIR FLOKKUM 1990-2009.....	55
12	ORKUFLÆÐI JARÐHITA.....	58
13	SAMANTEKT.....	60
	HEIMILDIR.....	61

MYNDASKRÁ

Mynd 1: Raforkuvinnsla jarðvarmavirkjana 1969-2009 á Íslandi.....	12
Mynd 2: Þróun húsnotkunar á landsvísu og húsnotkunar á íbúa frá 1970.	13
Mynd 3: Húsnotkun sem fall af bakrásahitastigi	17
Mynd 4: Húsnotkun m.v. nýtingu orku í neysluvatni.....	17
Mynd 5: Hitunarþörf bygginga (Björn Marteinnsson, 2001).	20
Mynd 6: Starfræktar fiskeldisstöðvar á Íslandi árið 2008 sem nýta jarðhita.	24
Mynd 7: Hlutfallsleg skipting jarðhitanotkunar í fiskeldi árið 2008.	27
Mynd 8: Sundlaugar á Íslandi árið 2008.....	28
Mynd 9: Fjöldi og flatarmál lauga sem starfræktar voru árið 2009 eftir byggingaráratug (1923-2009).	29
Mynd 10: Opið sundlaugarkerfi með yfirfallsrennum og jöfnunartanki.	30
Mynd 11: Lokað sundlaugarkerfi með yfirfallsrennum.	31
Mynd 12: Mánaðarmeðalafl Vesturbæjarlaugar 1995.....	36
Mynd 13: Mánaðarmeðalafl Vesturbæjarlaugar 1996.....	36
Mynd 14: Loftmynd af Vesturbæjarlaug á vef Þjóðskrár Íslands.....	37
Mynd 15: Heitavatnsnotkun Vesturbæjarlaugar árið 1996. Hliðrun.	39
Mynd 16: Heitavatnsnotkun Vesturbæjarlaugar árið 1996. Skölun.	39
Mynd 17: Iðnaðarnotkun með jarðhita á Íslandi árið 2008.	45
Mynd 18: Gróðurhús á Íslandi sem nýta jarðhita árið 2008.	48
Mynd 19: Skipting flatarmáls gróðurhúsa sem nýta jarðhita eftir framleiðsluvörum. ..	54
Mynd 20: Skipting jarðhitanotkunar eftir flokkum 2008.	55
Mynd 21: Jarðhitanotkun á Íslandi árið 2008.	55
Mynd 22: Þróun jarðhitanotkunar milli ára, flokkar yfir 2 PJ/a.	57
Mynd 23: Þróun jarðhitanotkunar, flokkar undir 2 PJ/a.	57
Mynd 24: Orkuflæði jarðhita fyrir árið 2008.....	59

TÖFLUSKRÁ

Tafla 1: Áætluð skipting raforku frá jarðvarmavirkjunum eftir flokkum.....	12
Tafla 2: Áætluð meðalaflþörf snjóbræðslukerfa á flatarmálseiningu á ári.	22
Tafla 3: Lægsta ferningssummukvaðratrót mismunar mánaðarlegrar massanotkunar og áætlaðrar massaþarfar frá Vesturbæjarlaug.	38
Tafla 4: Orkunotkun Vesturbæjarlaugar á árabílinum 1995-1999 og 2005-2008.	40
Tafla 5: Áætluð orkunotkun Grafarvogslaugar á árabílinu 2005-2008.	40
Tafla 6: Forsendur um orkunotkun sundlauga.....	41
Tafla 7: Áætluð orkunotkun sundlauga árið 2008.	42
Tafla 8: Fjöldi sumarhúsa árið 2008 eftir landshlutum..	42
Tafla 9: Áætluð jarðhitanotkun til hitunar potta við sumarhús árið 2008.	42
Tafla 10: Jarðhitanotkun gróðurhúsa á Flúðum til upphitunar.	53
Tafla 11: Jarðhitanotkun eftir flokkum 1990-2009..	56

1 INNGANGUR

Í þessari skýrslu er fjallað um jarðhitanotkun á Íslandi. Megináhersla er lögð á notkunina eins og hún var árið 2008 og gerð grein fyrir þeim aðferðum sem beitt er við matið. Jafnframt er stiklað á stóru í sögu jarðhitanotkunar og upplýsingasöfnunar um notkunina, sem hefur aukist mjög að umfangi og fjölbreytni á síðustu öld.

Skýrslan er unnin samhliða skýrslu um frumorkunotkun jarðvarmavirkjana og hitaveitna á Íslandi til ársins 2009 (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010). Saman gefa þessar tvær skýrslur yfirsýn yfir stöðu vinnslu og notkunar jarðvarma á Íslandi árið 2008, en einnig stöðu fyrri ára eins og efni og upplýsingar gefa tilefni til. Niðurstöður beggja skýrslna eru teknar saman í kafla 12 um orkuflæði jarðhita á Íslandi árið 2008.

Umfjöllunin tekur að hluta til sama efnis og jarðvarmaspár hafa gert, nú síðast Jarðvarmaspá 2003-2030 (Orkuspárnefnd, 2003) sem var höfð til hliðsjónar við söfnun og úrvinnslu gagna. Í framhaldinu verður ráðist í endurnýjun jarðvarmaspár með hliðsjón af niðurstöðum þessarar úttektar.

Í upphafi skýrslunnar er farið stuttlega yfir sögu jarðhitanotkunar og þau flokkunarkerfi sem notuð eru hér á landi og í alþjóðlegu samstarfi til að halda utan um jarðhitanotkun. Í framhaldinu er gerð grein fyrir jarðhitanotkun samkvæmt hinu íslenska flokkunarkerfi þar sem notkunarflokkar eru raforkuvinnsla, húsnotkun, snjóbræðsla, fiskeldi, sundlaugar, iðnaður og ylækt. Kaflar eru flestir byggðir þannig upp að fyrst er gefið stutt sögulegt ágríp af notkun og því næst farið yfir tilhögun notkunar, aðferðafræði, gagnasöfnun og úrvinnslu. Að endingu eru settar fram niðurstöður ásamt tillögum og ábendingum þar sem við á. Í lok skýrslunnar er jarðhitanotkun tekin saman fyrir tímabilið 1990-2008 og niðurstöður settar fram á myndrænan hátt í kafla um orkuflæði á Íslandi.

2 UPPHAF JARÐHITANOTKUNAR

Jarðhitanotkun á sér langa sögu á Íslandi. Í upphafi byggðar töluðu landnámsmenn um reyki er þeir sáu gufubólstra stíga til himins og bera mörg örnefni þess merki. Líklegt má teljast að þeir hafi snemma fært sér jarðhitann í nyt, enda er talið að hveravatn hafi verið notað til fataþvottar allt frá öndverðu og að laugar hafi verið útbúnar við jarðhitauppsprettur allt frá 10. öld.

Notkunin virðist þó ekki hafa breyst að marki fyrr en á ofanverðri 19. öld þegar Hvervellingar í Reykjahverfi tóku til við kerfisbundna nýtingu til kartöflu- og grænmetisráktar undir áhrifum frá Evrópu (Lúðvík S. Georgsson o.fl., 2005). Á 20. öldinni hófst síðan stórfelld sókn inn á gnægtarlendur jarðhitans, bæði hvað varðar umfang og fjölbreytni nýtingar. Einn af fjölmörgum frumkvöðlum í upphafi aldarinnar var Stefán B. Jónsson bóndi á Reykjum í Mosfellssveit sem varð fyrstur manna til að leggja jarðhitalagnir í hús sín frá hveralaug árið 1908 eins og hann lýsir sjálfur í grein sem birtist í ritinu *Reykjavík* í júní 1910 (Sveinn Þórðarson, 1998):

Hér á Reykjum hefi ég síðastliðin 2 ár hitað upp íbúðarhúsið, með heitu vatni, sem tekið er úr heitri laug, er liggur jafnhátt þakskeggi hússins. Það er leitt eftir 1 þml. pípu, 1.500 feta vegalengd, og hefir það dugað, bæði til upphitunar, og til fjóssins og allra annarra heimilisnota.

Í framhaldinu lýsir Stefán aðstæðum frekar og viðrar jafnframt hugmyndir sínar um það hvernig Reykjavatnið gæti nýst Reykvíkingum. Lýkur hann máli sínu á eftirfarandi orðum (Sveinn Þórðarson, 1998):

Og þó að þessi 2 ára reynsla mín í þessu efni sé í smáum stíl, og alveg einstök, og fyrsta tilraunin á landinu í þá átt, þá hygg ég þó, að hún geti nægt til að sýna hverjum sem vill kynnast henni, það, að mál þetta sé ekki óframkvæmanlegur hugarburður, - og til þess hefi ég sagt hér stuttlega frá henni.

Upp úr þessu tók jarðhitanotkun til húshitunar að aukast, hægt í fyrstu, en svo með meiri hraða eftir því sem á leið á öldina. Svipað má segja um sundlaugar, en m.a. létu ungmennafélög landsins til sín taka við uppbyggingu þeirra. Á seinni hluta aldarinnar jukust vinsældir snjóbræðslu mikið og upp úr 1985 varð mikill uppgangur í fiskeldi sem leiddi til aukinnar jarðhitanotkunar í greininni (Árni Ragnarsson, 2006). Stórfelld iðnaðarnotkun jarðhita hófst árið 1967 þegar Kísiliðjan tók til starfa.

Jarðhitanotkun hefur því vaxið að umfangi og fjölbreytileika alla síðustu öld og leitt til aukinna lífsgæða íbúa landsins. Í eftirfarandi umfjöllun verður farið yfir sviðið eins og það leit út árið 2008 og fjallað sérstaklega um alla helstu notkunarflokkka.

3 FLOKKUN JARÐHITANOTKUNAR

Líkt og gildir um vinnslu hitaveitna eru gögn um jarðhitanotkun af skörum skammti framan af, en áhersla á gagnasöfnun hefur þó farið vaxandi með tímanum (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010). Árið 1994 hóf Orkustofnun markvissa söfnun upplýsinga um vinnslu, notkun og aðra mikilsverða þætti rekstrar sérleyfisveitna¹ og var vatnssölu skipt í eftirfarandi notkunarflokka; húshitun og neysluvatn, sundlaugar, ylærkt, iðnaður, snjóbræðsla, fiskeldi, heildsala og annað.

Upplýsingarnar voru birtar í ritinu Orkumál á árabílinu 1994-2001 og eftir það á vef Orkustofnunar. Gögnum var safnað á þar til gerð eyðublöð sem send voru árlega út til veitna og hefur það fyrirkomulag haldist fram á þennan dag. Mikil eftirfylgni reyndist þörf til að heimtur teldust ásættanlegar, en með nýlegum samningi Orkustofnunar um upplýsingaskil úr orkureikningakerfi Vigor Orku má búast við að gagnasöfnun um notkun verði eftirleiðis einfaldari og skilvirkari þar sem 16 af 22 sérleyfisveitum² nýta þjónustu Vigor. Unnið er að flokkun magnmæla eftir eðli notkunar innan Orkustofnunar í samvinnu við Vigor samkvæmt eftirfarandi flokkunarkerfi:

Húshitun og neysluvatn

- Almenn sala: íbúðarhús
- Almenn sala: sumarhús
- Almenn sala: önnur hús
- Kranavatn
- Blæðing

Snjóbræðsla

- Hefðbundin snjóbræðsla
- Gervigras

Sundlaugar

- Almenningsundlaugar
- Aðrar sundlaugar (einkalaugar)
- Ylströndin
- Bláa lónið
- Hestasundlaugar

Gróðurhús

Iðnaður

- Bein iðnaðarnotkun
- Iðnaður og húshitun (þar sem ekki er hægt að aðgreina magn sem selt er til húshitunar og til iðnframleiðslunnar sjálfrar)

Fiskeldi

Heildsala

Hlunnindi

Annað

Orkustofnun mun árlega berast útkeyrsla gagna úr orkureikningakerfi Vigor, þar sem notkun er flokkuð samkvæmt þessu kerfi. Ítarlegri flokkun en áður eykur á gildi gagnanna þar sem greiningarmöguleikum fjölga.

¹ Sérleyfisveitur eru þær hitaveitur sem hafa einkaleyfi til starfsemi á sínu veitusvæði og starfa samkvæmt sérstakri reglugerð iðnaðarráðuneytis.

Vegna aðildar Íslands að Efnahags- og þróunarsamvinnustofnun Sameinuðu Þjóðanna (OECD) og Evrópska efnahagssvæðinu (EEA) hefur Orkustofnun um langt skeið látið Alþjóða Orkumálastofnuninni (IEA) og Tölfræðistofnun Evrópusambandsins (Eurostat) í té upplýsingar um orkunotkun á landinu. Samkvæmt núverandi fyrirkomulagi er upplýsingum skilað árlega í gegnum sérstaka sameiginlega vefgátt IEA og Eurostat. Þar sem þessar stofnanir styðjast við annað flokkunarkerfi jarðhitanotkunar en gert er hér á landi, auk þess sem orkuinnihald jarðhitavökva er skilgreint á annan hátt, kallar samstarfið á frekari úrvinnslu fyrirbyggjandi gagna. Hér á eftir verður gerð grein fyrir helstu þáttum sem frábrugðnir eru í meðferð og framsetningu upplýsinga um vinnslu og notkun jarðhita:

Samkvæmt reglugerð nr. 1099/2008 um orkutölfræði hefur Evrópusambandið (ESB) skilgreint jarðvarma á eftirfarandi hátt:

Orka sem er aðgengileg sem varmi sem jarðskorpan gefur frá sér, venjulega í formi heits vatns eða gufu. Þessi orkuframleiðsla er mismunurinn á milli vermis vökva sem unninn er úr borholu og vermis þess vökva sem notandi hendir frá sér. Hún er nýtt:

- til raforkuvinnslu með því að nota þurra gufu eða hávermisjarðsjó eftir skiljun.
- beint sem varmi fyrir hitaveitur, landbúnað o.fl.

Orkustofnun skilgreinir frumorku jarðvarma hinsvegar á eftirfarandi máta:

Frumorka jarðvarma er sú orka sem losnar úr jarðhitavökva á leið hans úr upphafsástandi í viðmiðunarástand. Hér er viðmiðunarástand tekið sem 15°C við 1bar_a.

Skilgreiningin er notuð til grundvallar útreikningum á frumorkuvinnslu og frumorkunotkun (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010).

Notorka er einnig mikilvægt hugtak sem mikið er notað í skýrslunni, en hana má skilgreina á eftirfarandi hátt:

Notorka er mismunur orku til og frá notanda.

Árið 2008 gáfu Sameinuðu Þjóðirnar (SP) og Framkvæmdastjórn Evrópusambandsins samhliða út endurskoðaða flokkunarstaðla fyrir iðnaðar- og efnahagsstarfsemi (Sameinuðu Þjóðirnar, 2008; Evrópusambandið, 2008). Jafnframt var útbúin sameiginleg vefgátt í samvinnu beggja aðila sem miðaði að því að aðildarlönd þyrftu einungis að skila gögnum á einn stað. Samkvæmt þessum flokkunarkerfum er notorku jarðhita skipt niður í eftirfarandi flokka:

Heimili (*residential*)
Verslunar- og almenningsþjónusta (*commercial and public services*)
Landbúnaður og skógrækt (*agriculture and forestry*)
Fiskveiðar og eldi (*fishing*)
Iðnaður (*industry*)

Þetta er svipuð flokkun og viðhöfð er á Nýja Sjálandi þar sem jarðhitanotkun er mikil (Efnahagsþróunarráðuneyti Nýja Sjálands, 2009):

Heimili (*residential*)
Verslun (*commercial*)
Landbúnaður (*agriculture*)
Iðnaður (*industry*)
Annað (*unallocated*)

Eins og sjá má er hið íslenska flokkunarkerfi jarðhitanotkunar byggt upp á annan hátt en kerfi SÞ og ESB, ólíkt því sem gerist t.d. með flokkun raforkunotkunar þar sem notast er við sambærileg kerfi. Þannig byggist íslenska kerfið fyrst og fremst á því hvernig notkun er háttað, en hið alþjóðlega byggir fremur á því hvaða hópi notandinn tilheyrir eða innan hvaða geira notkunin fer fram. Því er ekki í öllum tilfellum um beina samsvörun að ræða á milli flokka hins íslenska kerfis og hins alþjóðlega. Sem dæmi má nefna að flokkurinn „Húshitun og neysluvatn“ í íslenska kerfinu skiptist á milli flokkanna „Heimili“ og „Verslunar- og almenningsþjónusta“ eftir því hvert eðli notkunar húsnæðisins er. Þar sem niðurbrot gagna frá hitaveitum leyfir ekki slíka aðgreiningu sem stendur þarf hún að fara fram á öðrum forsendum, s.s. með hliðsjón af gögnum um skiptingu húsnæðis frá Þjóðskrá Íslands. Hið sama má segja um flokkinn „Snjóbræðsla“ sem skiptist á milli flokkanna „Heimili“ og „Verslunar- og almenningsþjónusta“. Flokkurinn „Sundlaugar“ færist hinsvegar í heild í flokkinn „Verslunar- og almenningsþjónusta“ sem þannig er byggður á þremur flokkum í hinu íslenska kerfi. Vegna ófullnægjandi forsendna við uppskiptingu flokka hins íslenska kerfis til útdeilingar í hið alþjóðlega flokkakerfi verður óvissa í uppgefnum tölum til umræddra stofnana öllu meiri en sú sem til staðar er í tölum sem notaðar eru innanlands.

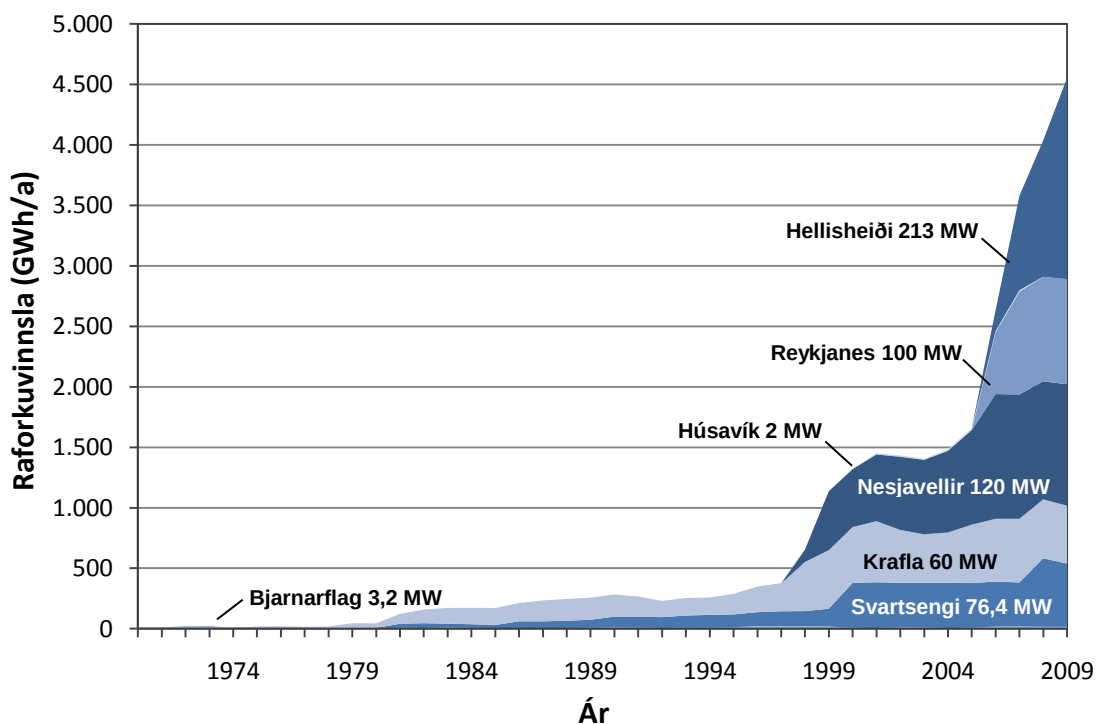
4 JARÐHITANOTKUN TIL RAFORKUVINNSLU

Jarðhitanotkun til raforkuvinnslu er metin jafngild raforkuvinnslunni þar sem horft er til þeirrar orku sem skilar sér áleiðis til neytenda í þessu orkuformi. Frumorkunotkun til vinnslunnar er þó margfalt hærri þar sem frumorkunýtni flestra íslenskra jarðvarmavirkjana liggur á bilinu 10-15%. Þar sem hámarks fræðileg frumorkunýtni háhitavökva til raforkuvinnslu liggur á bilinu 30-40% er iðorkunýtnin hinsvegar mun hærri, um 50% fyrir nýjar jarðvarmavirkjanir. Á Íslandi eru starfræktar sjö jarðvarmavirkjanir með 575 MW_e í uppsettu rafafli (mynd 1) og 580 MW_{th} í uppsettu varmaafli. Þar af eru 150 MW_{th} í uppsettu varmaafli í Svartsengi, 300 MW_{th} í Nesjavallavirkjun og 130 MW_{th} í Hellisheiðarvirkjun. Íðorðkunýtni þeirra hefur verið metin á bilinu 20%-65% með heitavatnsvinnslu (Rut Bjarnadóttir, 2010). Árið 2008 nam raforkuframleiðsla jarðvarmavirkjana 4.038 GWh, sem jafngildir 14.534 TJ.

Ef gert er ráð fyrir að orkan skiptist niður í sömu hlutföllum og heildarraforkuframleiðsla á landinu er skiptingin eins og sýnt er í töflu 1.

Tafla 1: Áætluð skipting raforku frá jarðvarmavirkjunum eftir flokkum.

Áætluð raforkunotkun [TJ]	
Iðnaður	11.525
Þjónusta	930
Heimili	756
Veitur	581
Landbúnaður	203
Sjávarútvegur	29
Töp	509
Heild	14.534



Mynd 1: Raforkuvinnsla jarðvarmavirkjana 1969-2009 á Íslandi.

5 JARÐHITI TIL HÚSNOTA

Jarðhitanotkun til húshitunar og annarra húsnóta jókst mikið fram eftir allri síðustu öld. Gögn um notkunina liggja ekki fyrir framan af, en frá 1970 jókst hún úr 5,0 PJ í 18,8 PJ árið 2008 (mynd 2). Stærstur hluti húsnótkunar fer til upphitunar húsnæðis, en einnig fer nokkur hluti í not á borð við matseld, böð og þvotta. Flokkurinn húsnótkun tekur jafnt til íbúðarhúsnæðis sem annarra tegunda húsnæðis.

5.1 Skipting á milli hitunar og neysluvatns

Notast er við þumalputtareglur þegar jarðhitanotkun er skipt á milli hitunar og neysluvatns. Í Jarðvarmaspá hefur verið gengið út frá því að orka í neysluvatni af heildarorku jarðhitavats til húsnóta sé 20% og vatnið nýtt niður í 5°C (Orkuspárnefnd, 2003). Verkfræðistofur gera hinsvegar í einhverjum tilfellum ráð fyrir að um 10% af rúmmáli vatns sem selt er til húsnótkunar fari til neyslu. Það er því nokkurs vert að bera þessi tvö hlutföll saman.

Ef gert er ráð fyrir því að hlutfall orku í neysluvatni af heildarorku hitaveituvats til húsnóta sé y er hlutfall massa neysluvatns af heildarmassa hitaveituvats til húsnóta:

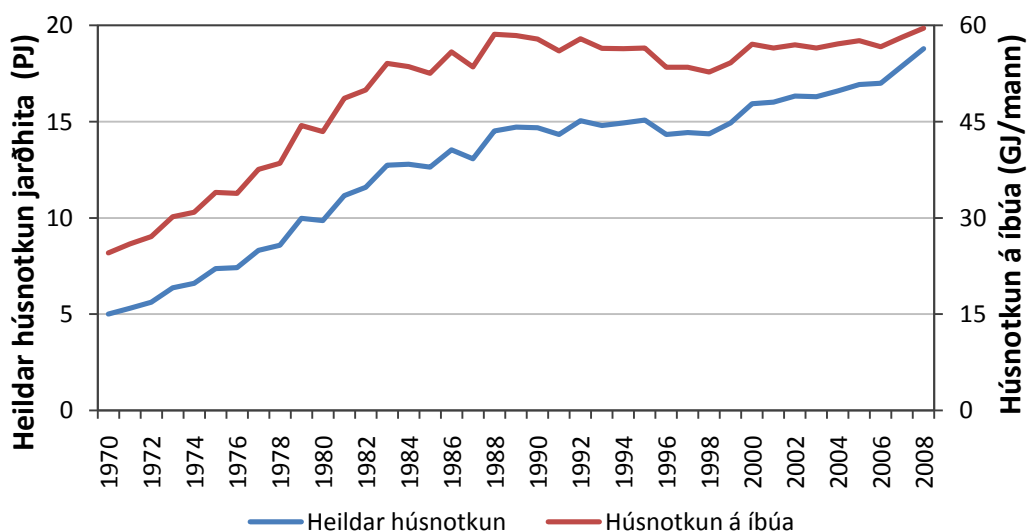
$$x = \frac{1}{1 + \left(\frac{1-y}{y}\right) \left(\frac{T_{\text{inntak}} - T_{\text{viðmið}}}{T_{\text{inntak}} - T_{\text{bakrás}}}\right)} \quad (1)$$

þar sem tákn hafa eftirfarandi merkingu:

T_{inntak} = inntakshitastig hitaveituvats í húsnæði;

$T_{\text{bakrás}}$ = bakrásarhitastig frá húsnæði;

$T_{\text{viðmið}}$ = viðmiðunarhitastig til útreiknings á orkuinnihaldi neysluvatns.



Mynd 2: Þróun húsnótkunar á landsvísu og húsnótkunar á íbúa frá 1970.

Á veitusvæði Orkuveitu Reykjavíkur á höfuðborgarsvæðinu er miðað við að meðalinntakshitastig sé um 75°C og bakrásarhitastig um 35°C. Ef gert er ráð fyrir að neysluvatn sé nýtt niður í 5°C líkt og gert er í Jarðvarmaspá er því hlutfall massa hitaveituvatns til beinnar neyslu 12,5% sem ber ágætlega saman við fyrrgreinda þumalputtareglu verkfræðistofa. Eins og ávallt þegar um mat á orkuinnihaldi hitaveituvatns er að ræða má velja mismunandi hitastig til viðmiðunar. Í Jarðvarmaspá eru forsendurnar þær að ef hitaveituvatns nyti ekki við og hita þyrfti upp kalt vatn til húsnota myndi raforka sú sem þyrfti til að hita vatnið upp í neysluhitastig jafngilda orkuinnihaldi hitaveituvatnsins niður að inntakshitastigi kalda vatnsins, þ.e. um 5°C. Einnig má nálgast málið frá hinni hliðinni og taka aðgengileika hitaveituvatns sem gefnum og meta hversu mikill varmi er nýttur úr vatninu, en þá er vert að huga að eftirfarandi notum:

1. **Sturtur og böð:** Notkunarhitastig baðvatns markast af hitastigi mannslíkamans og má ætla að algengt sé að fólk velji hitastig á bilinu 30-40°C. Hitaveituvatn er því blandað köldu vatni í blöndunartækjum og kælt niður um 35-45°C ef miðað er við 75°C inntakshitastig. Því má halda því fram að hluti orku hitaveituvatnsins nýtist til að hita upp kalt vatn í tækjunum. Þegar farið er í sturtu er raunveruleg orkunotkun þó sáralítill þar sem vatnið kólnar lítið við fall frá sturtuhaus niður að sturtubotni. Svipuð blöndun á sér stað þegar látið er renna í baðkar, en í því tilfelli kann vatn að kólna heldur meira en gerist í sturtum ef fólk liggur lengi í vatninu og notorka á massaeiningu hitaveituvatns er þá meiri. Eftir sem áður er raunveruleg orkunotkun tiltölulega lítil og fer því stærsti hluti orkunnar niður í frárennsli að lokinni notkun vatnsins. Þetta verður að teljast eðlilegt í ljósi þess að þegar um eiginleg böð til þvotta er að ræða er fyrst og fremst verið að nota eiginleika vatns sem efnis, þ.e. til að skola burt óhreinindi, en orkuinnihald á massaeiningu er stillt af þannig að ekki hljóti óþægindi af. Vissulega er einnig algengt að fólk sæki í heit böð vegna þeirra þæginda sem af rétt stilltu orkuinnihaldi vatnsins hljótaskast, sérstaklega þar sem kalt er í veðri, en eins og áður segir er þó einungis brot af orku heita vatnsins nýtt í slíkum tilvikum.

Ef gengið er út frá jöfnu (1) gildir um hlutfall kalds vatns á móti heitu:

$$\frac{m_{kalt}}{m_{heitt}} = \frac{T_{inntak,heitt} - T_{bað}}{T_{bað} - T_{inntak,kalt}} \quad (2)$$

Ef miðað er við aðstæður á höfuðborgarsvæðinu og gert ráð fyrir að kjörhitastig baðvatns sé 35°C fæst því:

$$\frac{m_{kalt}}{m_{heitt}} = \frac{75 - 35}{35 - 5} = \frac{4}{3} \approx 1,33$$

Nú lætur manneskja renna í baðkar og liggur í vatninu þar til vatnið hefur kólnað niður í 30°C. Orkan sem tapast við það úr vatninu með varmaleiðni og varmaburði nýtist til upphitunar þess rýmis sem baðkarið er staðsett í og uppgufunarvarmi nýtist einnig að einhverju marki, sérstaklega ef gufan þéttist aftur á kaldari flötum á borð við spegla, glugga og veggflísar.

Fyrir hverja massaeiningu hitaveituvatns sem notuð er fást 2,33 einingar af baðkarsvatni. Setjum nú 15°C sem viðmiðunarhitastig fyrir hitaveituvatnið eins og gert hefur verið þegar horft er til vinnslu. Þá er hlutfall notorku af orkuinnihaldi hitaveituvatns eftirfarandi:

$$x_{notorka} = \frac{2,33(35 - 30)}{1(75 - 15)} = 0,194$$

Því nýtist einungis um fimmtungur frumorku heita vatnsins til upphitunar í þessu tilfalli, en það sem út af stendur fer í frárennsli.

2. **Uppvask:** Í þeim tilfellum þar sem vaskað er upp undir bunu er orkunýting með svipuðu móti og þegar farið er í sturtu. Ef uppvaskið er mikið má hugsanlega spara orku með því að láta renna í vask og vaska upp úr honum þar sem massanotkunin kann þannig að verða minni þegar upp er staðið. Ekki er þó líklegt að vatnið kólni mikið nema uppvaskið taki langan tíma og því má ætla að raunveruleg notorka sé ekki stór hluti orkuinnihalds vatnsins. Í þessu tilfalli er fyrst og fremst verið að nota eiginleika vatns sem efnis, en orkuinnihald vatnsins er stillt af þannig að vatnið vinni sem best á óhreinindum og virkni sápuafna verði sem mest án þess þó að valda þeim sem vaskar upp óþægindum.
3. **Matseld:** Heitt kranavatn kann að vera notað til suðu matar í tilvikum þar sem vatnið er ekki innbyrt til neyslu nema í mjög litlum mæli. Með því að nota heita vatnið á þennan hátt má spara töluverða raforku við upphitun vatnsins að suðumarki miðað við upphitun kalds kranavatns. Þeirri orku sem eftir stendur að suðu lokinni er yfirleitt hent í frárennsli með vatnsmassanum, en hugsanlega eru pottar látnir standa um stund í einhverjum tilvikum og nýtist þá varmaorkan að einhverju marki til upphitunar rýmisins umhverfis pottinn.
4. **Þvotta- og uppþvottavélar:** Í einhverjum tilvikum kunna þvotta- og uppþvottavélar að taka inn á sig heitt vatn, sem minnkar eða kemur í veg fyrir raforkunotkun til upphitunar kalds vatns á svipaðan hátt og þegar heitt vatn er nýtt til suðu matar. Orkan skilar sér að mestu út í frárennsli að notkun lokinni.

Að teknu tilliti til liða 1-4 að ofan má telja að inntakshitastig kalds vatns í hús sé í lægri kantinum sem viðmiðun þegar meta á orkuinnihald hitaveituvatns til neyslu. Hér er talið heppilegast að notast við 15°C sem viðmið fyrir lægstu nýtingarmörk eins og gert hefur verið þegar frumorka vinnsluvökva er metin. Ef gert er ráð fyrir að massahlutfall neysluvatns af heildarheitavatnsnotkun sé eftir sem áður það sama á veitusvæði OR á höfuðborgarsvæðinu og reiknaðist að framan, þ.e. 12,5%, er hlutfall orku í neysluvatni af heildarorku 17,6% eins og sést með umsnúningi jöfnu (1):

$$y = \frac{1}{1 + \left(\frac{1-x}{x}\right) \left(\frac{T_{inntak} - T_{bakrás}}{T_{inntak} - T_{viðmið}}\right)} \quad (3)$$

Ef hinsvegar er miðað við að 10% heitavatnsmassans fari til neyslu, er hlutfall orku í neysluvatni af heildarorku 14,3%.

Þegar horft er til skiptingar orkunotkunar á hitaveituvatni á milli húshitunar og neyslu verður hér miðað við eftirfarandi forsendur:

Skipting húsnotkunar hitaveituvatns á milli hitunar og neyslu

Inntakshitastig:	Samkvæmt upplýsingum veitna.
Bakrásarhitastig:	35°C
Viðmiðunarhitastig fyrir neysluvatn:	15°C
Orka í neysluvatni af heildarorku:	17,5%

Þar sem meðalhitastig til notenda er misjafnt eftir veitum er massahlutfall vatns sem fer til upphitunar á bilinu 86-91% miðað við ofangefnar forsendur og upplýsingar frá veitum.

5.2 Matsaðferð og gagnasöfnun

Við mat á orkunotkun jarðhitavatns til húsnota er notast við eftirfarandi jöfnu:

$$E = mc_p \Delta T \quad (4)$$

þar sem tákn hafa eftirfarandi merkingu:

E	= orka;
m	= vatnsmassi;
c _p	= eðlisvarmi við fastan þrýsting; og
ΔT	= hitastigsfall.

Líkt og undangengin ár bárust Orkustofnun upplýsingar um sölu margra veitna eftir notkunarflokkum á þar til gerðum eyðublöðum. Í mörgum tilfellum komu einnig fram upplýsingar um meðalhitastig til notenda, en í þeim tilvikum sem svo var ekki var notast við upplýsingar frá fyrri árum þar sem ekki er gert ráð fyrir að hitastig í dreifikerfum breytist að marki frá ári til árs. Hluti af söluupplýsingum barst í gegnum orkusölukerfi Vigor. Massanotkun var metin út frá rúmmálssölu og eðlismassa við meðal-inntakshitastig til notenda í dreifikerfum veitna. Gert var ráð fyrir 35°C meðalbakrásarhitastigi yfir landið eins og tíðkast hefur frá því að útgáfa töflu 5 í Orkumálum hófst árið 1994 og gert var í Jarðvarmaspá 2003-2030, og að sá hluti vatnsins sem fer til neyslu sé nýttur niður í 15°C eins fram kemur í kaflanum á undan. Við útreikninga var notast við meðalvarmarýmd yfir hitastigsbilið frá inntaki niður að 35°C eða 15°C eftir því sem við átti, en lítil skekkja er þó fólgin í því að líta á varmarýmdina sem fasta.

Margar hitaveitur selja vatn eftir hemlum að einhverju marki en af stórum veitum eru það Hitaveita Suðurnesja og Skagafjarðarveitur á Sauðárkróki sem nota þessa aðferð fyrir stærstan hluta sölu. Einnig fer um helmingur sölu Hitaveitu Ólafsfjarðar í gegnum hemla. Uppgefin hemlasala er áskriftarmagn, en fátítt er að það sé nýtt að fullu nema yfir stutt tímabil. Því er miðað við að 55% áskriftarmagns fari til húsnotkunar eins og gert hefur verið frá því að útgáfa töflu 5 hófst í Orkumálum og byggist það hlutfall á úttekt Orkustofnunar á þeim tíma. Haft var samband við HS Veitur til að kanna hvort

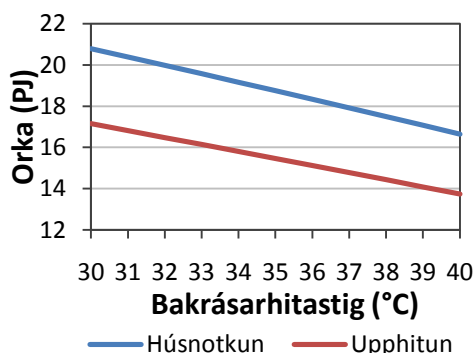
breytingar hafi orðið á þessu hlutfalli síðastliðin 15 ár, en svo var ekki talið vera. Undantekning er þó gerð fyrir Skagafjarðarveitur þar sem nýting áskriftarmagns hemla er um 70% samkvæmt upplýsingum frá veitunni.

Einkaveitur eru hátt í 200 talsins á landinu og sjá þær mest litlum byggðum, sveitabæjum og sumarhúsum fyrir hitaveituvatni til húsnotkunar. Samkvæmt samantekt Orkustofnunar árið 2007 bjuggu 275.323 landsmanna af 312.872 á veitusvæðum sérleyfisveitna, þ.e. 88,0%, en um 2.951 bjuggu á svæðum einkaveitna, 0,9%. Því nutu um 89% þjóðarinnar jarðhitans í híbýlum sínum árið 2007 og er talið að hlutfallið hafi verið komið upp í 90% árið 2008. Gengið var út frá því að meðalnotkun íbúa á svæðum einkaveitna væri sú sama og meðalnotkun íbúa á svæðum sérleyfisveitna og fékkst þannig áætluð húsnotkun á þessum svæðum. Gera má ráð fyrir að á svæðum einkaveitna sé töluvert af sumarhúsum, þ.e. aukahíbýlum sem fólk hefst ekki við í að staðaldri, og því kann að vera vanmat að áætla húsnotkun eingöngu útfrá fjölda þeirra sem hafa fasta búsetu á svæðunum. Á hinn bóginn má benda á að töluvert er af sumarhúsasvæðum í tölum sérleyfisveitna, sem eykur meðalhúsnotkun á íbúa þeirra svæða. Ef hlutfall á milli venjubundinna híbýla og sumarbústaða er það sama í báðum tilvikum má gera ráð fyrir að ásættanlegt sé að miða við sömu húsnotkun á íbúa á svæðunum og er það gert hér. Ennfremur kann að vera að húsakostur sem hitaður er upp með einkaveitum sé stærri að flatarmáli og rúmmáli en meðal íbúðarhúsnæði á svæðum sérleyfisveitna, t.d. þar sem um sveitabæi og útihús er að ræða. Á móti kemur hinsvegar iðnaðar- og atvinnuhúsnæði á svæðum sérleyfisveitnanna.

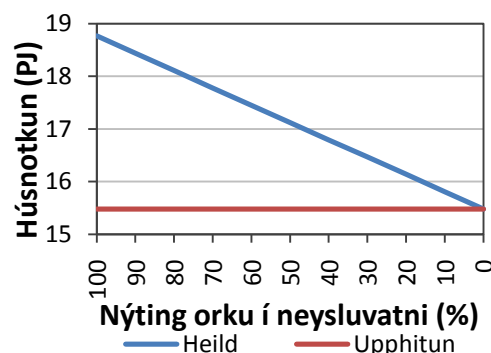
5.3 Úrvinnsla og niðurstöður

Húsnotkun sérleyfisveitna árið 2008, samkvæmt fyrrgreindum forsendum, nam um 18,6 PJ. Til viðbótar er húsnotkun á svæðum einkaveitna áætluð hafa numið 0,2 PJ og heildarnotkunin því um 18,8 PJ sem er um 5% aukning frá fyrra ári. Þar af er talið að um 15,5 PJ hafi verið nýtt til upphitunar.

Óvissa í matinu er töluverð. Í nokkrum tilvikum skiluðu fullnægjandi sölutölur sér ekki frá veitum og var salan í þeim tilvikum metin út frá sölutölum fyrri ára. Notkun sem metin var á þennan hátt var þó ekki stór hluti af heildarsölu og skekkja af þeim sökum því vart mikil. Óvissa vegna bakrásarhitastigs er hinsvegar nokkur (mynd 3) og að öðrum forsendum óbreyttum hækkar mat á húsnotkun um 0,4 PJ við 1°C lækkun á



Mynd 3: Húsnotkun sem fall af bakrásarhitastigi



Mynd 4: Húsnotkun m.v. nýtingu orku í neysluvatni. Miðað er við að 12,5% massans fari til beinnar neyslu áhæð inntakshitastigi.

bakrásarhitastigi. Ljóst er að bæta mætti matið ef upplýsingar um bakrásarhitastig væru aðgengilegar hjá veitum, en í flestum tilvikum liggja slíkar upplýsingar ekki fyrir, enda er bakrásarhitastig nokkuð breytilegt frá notanda til notanda og lítið um mælingar á þeim enda kerfa.

Ef gert er ráð fyrir að 12,5% hitaveituvatns sé nýtt til beinnar neyslu yfir landið líkt og gert er fyrir veitusvæði Orkuveitu Reykjavíkur á höfuðborgarsvæðinu, óháð inntakshitastigi til notanda, hefur ágiskun um hlutfall raunorkunotkunar af frumorku vatnsins einnig mikið að segja um hver reiknuð heildarhúsnotkun verður. Ef gert er ráð fyrir að frumorkan sé nýtt að fullu í neysluvatni reiknast heildarnotkunin 18,8 PJ sem er nánast sama tala og fæst þegar miðað er við fast hlutfall orku í neysluvatni af heildarorku, þ.e. 17,5% eins og gert er að ofan.

Dó að framan af hafi þeirri hefð verið fylgt að gera ráð fyrir að frumorka hitaveituvatns sem fer til beinnar neyslu nýtist mun betur en frumorka þess vatns sem rennur í gegnum ofnakerfi, er hið gagnstæða líklega raunin. Ef gert er ráð fyrir að einungis nýtist um 10% orku neysluvatns, lækkar heildarhúsnotkun niður í 15,8 PJ sem er um 89% af framangreindu mati. Upphitun er eftir sem áður metin 15,5 PJ.

Ef gengið er út frá því að massanotkun til húshitunar sé 87,5% af seldum massa hefur húsnotkun árið 2008 verið á bilinu 15,5–18,8 PJ (mynd 4). Slík framsetning er að sumu leyti ákjósanlegri en framsetning einnar tölu þar sem bein neysla miðar fyrst og fremst að því að nýta massaeiginleika vatnsins fremur en orkuna. Umfang notkunar orku neysluvatns er túlkunatriði á meðan upphitun húsa er stærð sem fræðilega er hægt að mæla.

Eins og fram kemur að ofan hefur húsnotkun aukist úr 5,0 PJ árið 1970 í 18,8 PJ árið 2008. Fyrri helming tímabilsins jókst notkunin að meðaltali um 5,8% á milli ára, en frá 1989 fram til 2008 var meðalvöxturinn einungis um 1,3%. Á seinni helmingi tímabilsins nam meðalfjölgun íbúa landsins um 1,2% á milli ára og vöxtur í húsnotkun jarðhita því einungis lítilliga meiri. Árið 1970 var meðalhúsnotkun á íbúa 24,5 GJ þegar horft er yfir landið í heild, árið 1989 hafði hún aukist í 58,4 GJ en eftir það hefur aukningin aðeins numið að meðaltali 0,1% á milli ára og stóð í 59,6 GJ árið 2008. Aukin notkun á íbúa getur stafað af útpenslu og fjölgun hitaveitna þ.a. veitunar náí til íbúa sem áður nutu ekki jarðhita, flutningi íbúa frá svæðum án jarðhita til svæða sem hafa upp á jarðhita að bjóða, aukinni notkun á jarðhitasvæðum s.s. vegna stærra húsnæðis eða aukningu á notkun framrásarvatns til snjóbræðslu við heimahús, eða samblandi af þessum þáttum. Sú litla aukning sem orðið hefur á húsnotkun m.v. höfðatölu á síðustu tveimur áratugum bendir til þess að markaðurinn sé orðinn mettaður.

Fjölmönnum byggðum sem staðsettar eru í færi við jarðhita hefur þegar verið séð fyrir vatni og framlag nýrra veitna á köldum svæðum er hlutfallslega lítið. Með tímanum má búast við að aukning í húsnotkun haldist að mestu í hendur við mannfjöldaþróun, þó margvíslegir aðrir þættir, s.s. byggðapróun, verðlagning hitaveituvatns, einangrun húsa og takmörk jarðhitakerfa geti einnig haft áhrif.

5.4 Tillögur og ábendingar

Ef upplýsingar liggja fyrir um varmatap húsa á grundvelli inni- og útihitastigs og gerðar eða stærðar húsanna má hugsanlega nota upplýsingar frá Þjóðskrá, s.s. flatarmál eða rúmmál húsa ásamt gerð og byggingarári, til að meta heildarorkunotkun til húshitunar á landinu. Á árabílinu 1979-1981 fór fram rannsókn á ástandi og orkunotkun húsa á vegum iðnaðarráðuneytisins, Orkustofnunar og Rannsóknarstofnunar byggingar-iðnaðarins sem miðaði m.a. að því að meta orkuþörf húsa eftir byggingarár og var sú vinna nýtt áfram í orkusparnaðaráttaki iðnaðarráðuneytisins sem sett var af stað árið 1984 (Björn Marteinsson, 2001). Skoðaður var fjöldi húsa sem byggður var allt frá aldamótum fram til þess tíma er rannsóknin var gerð. Niðurstöður sýndu að þrátt fyrir að meðalorkunotkun til upphitunar virtist lækka með tímanum var orkuþörfin mjög dreifð (mynd 5) og þurftu orkufrekustu húsinn allt að fjórfalda orku til upphitunar á við þau hús sem minnsta orku þurftu.

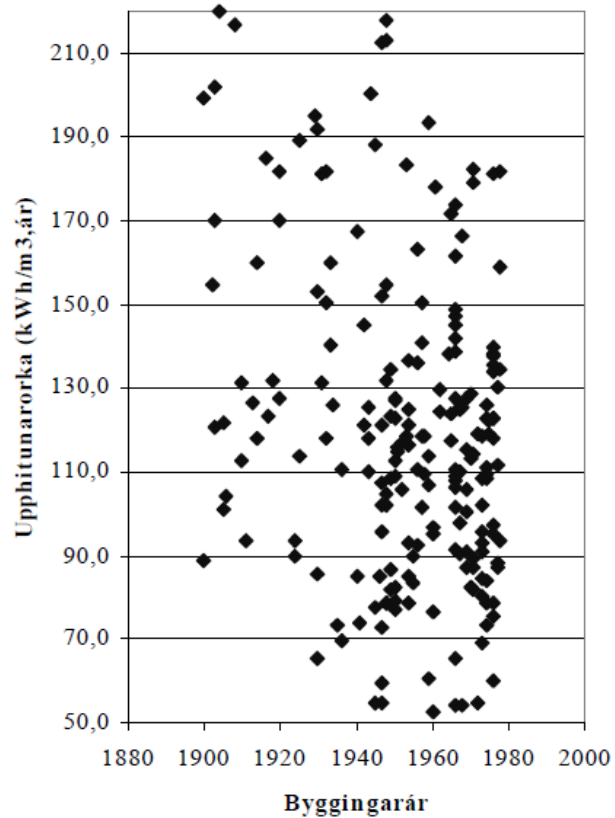
Ef nota á flatarmál eða rúmmál húsa til grundvallar mati á orkunotkun þurfa því að liggja fyrir mjög ítarlegar upplýsingar sem byggjast á stóru úrtaki sem hugsanlega mætti keyra saman við gagnagrunn Þjóðskrár til að meta orkunotkun yfir landið eða í einstökum landshlutum. Grunnrannsókn á orkunotkun til upphitunar myndi þó að líkindum byggja á sömu aðferð og notuð er að ofan, þ.e. mælingum á massastreymi í gegnum ofnkerfi húsa, framrásar- og bakrásarhitastigi. Hér er því lagt til að sama aðferðafræði og lögð er til grundvallar núverandi mati verði notuð áfram. Þá er æskilegt að bæta upplýsingaöflun og vitneskju um aðstæður í dreifikerfum og hjá notendum til að draga úr óvissu. Æskilegt er því að

- Lokið verði við flokkun sölu og mæla veitna samkvæmt fyrrgreindu flokkunarkerfi Orkustofnunar. Veitur sinni því að flokka nýja mæla eftir flokkunarkerfinu og upplýsa viðeigandi starfsmenn Vigor. Jafnframt er mikilvægt að breyta flokkun mæla í samræmi við breytingar á eðli notkunar. Orkustofnun berist upp færðar upplýsingar um ársnotkun veitna innan tiltekinnar dagsetningar fyrir árið á undan, þ.e. raunupplýsingar sem ekki byggja á áætlunum.
- Orkustofnun búi yfir sem bestum upplýsingum um framrásar- og bakrásarhitastig í dreifikerfum veitna á hverjum tíma og sé veitum skylt að halda stofnuninni upplýstri.

Að auki yrðu úttektir á eftirfarandi þáttum til að minnka óvissu í matinu:

- Hemlanýtingu: talsvert er síðan úttekt var gerð á hemlanýtingu og hugsanlegt að hún hafi breyst. Samkvæmt fyrirliggjandi gögnum Orkustofnunar má ætla að um 13% hitaveituvatns til húsnota sé selt í gegnum hemla ef miðað er við 55% nýtingu áskriftarafls.
- Beinni neyslu.

Ein möguleg leið til að bæta við vitneskju um bakrásarhitastig og afdrif vatns er greining á gögnum úr kerfisráði Orkuveitu Reykjavíkur. Sá möguleiki kann einnig að vera fyrir hendi að tengja einstaka mæla við flatarmál og rúmmál húsa með því að keyra saman gögn úr orkusölukerfi Vigor og gögn frá Þjóðskrá. Ef jafnframt fylgja upplýsingar um eðli húsnæðis frá Þjóðskrá, s.s. hvort um er að ræða einbýli, tvíbýli, fjölbýli, iðnaðar- og þjónustuhúsnæði eða annað, opnast miklir greiningarmöguleikar



Mynd 5: *Hitunarþörf bygginga (Björn Marteinnsson, 2001).*

sem gefa kost á mun ítarlegri og aðgreindari tölfræðiupplýsingum en nú er mögulegt að gefa út. Samkeyrsla við gögn frá Hagstofunni um íbúafjölda á tilteknum hitaveitusvæðum myndi enn bæta greiningarmöguleika.

6 JARÐHITANOTKUN TIL SNJÓBRÆÐSLU

Notkun affallsvatns til snjóbræðslu eykur nýtingu heita vatnsins til muna, enda er töluverður varmi eftir í vatninu þegar húshitun sleppir. Algengt er að hitastig affallsvatns sé í kringum 35°C, en sé miðað við að nýta megi vatnið niður í 15°C jafngildir það ráðstöfunarvarma sem nemur um 84 kJ/kg. Ágæt þumalputtaregla er að fyrir hverja 100 m² húsnæðis á höfuðborgarsvæðinu falli til nægilegt heitt vatn fyrir 16 m² snjóbræðslu (Orkuveita Reykjavíkur, 2008). Þar sem ofankoma og frost eru meiri yfir veturinn, s.s. á Norðurlandi, þarf meira vatn fyrir minni fleti og ekki gefið að alls staðar séu forsendur fyrir snjóbræðslu vegna mikillar orkuþarfar. Yfir sumartímann dregur jarðvegur einhvern hluta orku affallsvatnsins til sín og byggir þannig upp varmaforða fyrir veturinn, en nýtingin er þó lítil.

Notkun snjóbræðslukerfa hefur aukist töluvert á síðustu árum og áratugum, sérstaklega á suðvesturhorni landsins. Mörg nýta einungis affallsvatn, en einnig er algengt að bæta megi við fullheitu framrásarvatni þegar þörfin er mikil yfir háveturinn og þá yfirleitt um sjálfvirkar stýringar að ræða. Stór snjóbræðslukerfi hafa verið sett upp á almenningssvæðum á vegum sveitarfélaga. Dreifikerfi Hitaveitu Reykjavíkur í miðbænum var endurnýjað og tvöfaldað árið 1989 þ.a. affallsvatni frá húsum á svæðinu var safnað til snjóbræðslu á götum og gangstígum, en að auki var sá möguleiki fyrir hendi að bæta við fullheitu framrásarvatni þegar þörf var á (Þorleikur Jóhannesson). Í framhaldinu hafa snjóbræðslukerfi verið lögð víðsvegar í borginni og er talið að kerfi Framkvæmdasviðs nái nú yfir 154.000 m². Í öðrum bæjarfélögum á höfuðborgarsvæðinu hefur vöxtur snjóbræðslukerfa á almenningssvæðum einnig verið mikill á síðustu árum. Stórum snjóbræðslukerfum er yfirleitt stjórnað með fullkomnum stýrikerfum sem skynja veðurfar og snjó og veita vatni inn á kerfin í samræmi við þörf hverju sinni, auk þess að senda upplýsingar um stöðuna til umsjónarmanna kerfanna. Til viðbótar við hefðbundna snjóbræðslu við húsnæði, skóla og sundlaugar, í götum og gangstígum, hefur umfang snjóbræðslukerfa undir sparkvöllum og fótboltavöllum með gervigrasi aukist talsvert upp á síðkastið.

6.1 Matsaðferð og gagnasöfnun

Þar sem engar mælingar eru gerðar á notkun affallsvatns til snjóbræðslu er töluverðum erfiðleikum bundið að meta umfang orkunotkunar kerfanna. Hitaveitur halda utan um rennsli fullheits framrásarvatns inn á kerfin líkt og gildir um aðra sölu, en slíkt kemur að takmörkuðu gagni þar sem framrásarvatn leggur einungis til hluta orkunnar. Því er stuðst við reynslu hönnunaraðila af aflþörf á grundvelli yfirborðsflatarmáls til að meta orkuþörfina yfir árið.

Verkfræðistofan Verkís var fengin til þess að meta umfang snjóbræðslu yfir landið á svipaðan máta og gert var árið 2003 í aðdraganda Jarðvarmaspár 2003-2030 (Andri Ægisson og Þorleikur Jóhannesson, 2010). Í matinu kemur fram að flestar snjóbræðslur nýta eingöngu bakvatn frá hitakerfum húsa.

Gert er ráð fyrir að varmaorkan úr bakvatninu nýtist í 180 daga á ári. Reiknað er með að snjóbræðslur sem nýta bakvatn með einum eða öðrum hætti fái að meðaltali 2,5 l/m² á klukkustund yfir vetrarmánuðina. Bakvatnið kólnar um 20°C í kerfunum og fást þannig 60 W/m² að meðaltali. Árleg orkunotkun er 260 kWh/m² á ári úr bakvatninu (sjá töflu 2).

Tafla 2: Áætluð meðalaflþörf snjóbræðslukerfa á flatarmálseiningu á ári.

Opinberir aðilar	180 W/m ²
Orkuver og flugstöðvar	250 W/m ²
Almennar bræðslur	80 W/m ²

Snjóbræðsla við orkuverið í Svartsengi nýtir 30-35°C kælivatn og snjóbræðsla við orkuverið á Reykjanesi nýtir kælisjó á sama hitastigsbili. Þessir vökvar streyma um kerfin allt árið án stýringa og er reiknað með að orkunotkun þeirra sé um 500 kWh/m² á ári.

Meðalvatnsnotkun kerfa í eigu opinberra stofnana, sem nýta framvatn til viðbótar við bakvatn er talin nema 4 m³/m² á ári af 80°C framvatni. Ef reiknað er með að þetta vatn kólni að meðaltali úr 80°C niður í 15°C fást úr því um 300 kWh/m² á ári.

Meðalvatnsnotkun kerfa í eigu opinberra stofnana, sem nýta framvatn eingöngu til snjóbræðslu er talin nema 6 m³/m² á ári af 80°C framvatni. Ef reiknað er með að þetta vatn kólni að meðaltali úr 80°C niður í 15°C fæst úr því um 450 kWh/m² á ári.

Meðalvatnsnotkun kerfa einkaaðila sem nýta framvatn til viðbótar við bakvatn er talin nema 0,7 m³/m² á ári af 80°C framvatni. Ef reiknað er með að þetta vatn kólni að meðaltali úr 80°C niður í 15°C fást úr því um 50 kWh/m² á ári.

Heildarflatarmál snjóbræðslukerfa á almenningssvæðum, við fyrirtæki, verslanir og verslanakjarna, íbúðarhús, jarðvarmavirkjanir og Flugstöð Leifs Eiríkssonar var metið með hliðsjón af gagnasafni Verkís og á grundvelli upplýsinga frá tæknideildum bæjarfélaga.

6.2 Úrvinnsla og niðurstöður

Í janúar 2010 voru snjóbræðslur taldar ná yfir 1.208.000 m² sem kallaði á 1.690 TJ varmanotkun á ári. Þar af er talið að um 1.080 TJ fáiist úr bakrásarvatni og 610 TJ úr framrásarvatni. Uppsett afl er áætlað 176 MW.

Um mikla aukningu er að ræða frá sambærilegu mati sem unnið var í mars árið 2003, en þá voru snjóbræðslur taldar ná yfir 740.000 m² sem kallaði á 1.150 TJ varmanotkun á ári. Þar af er talið að um 610 TJ hafi fengist úr bakrásarvatni og 540 TJ úr framrásarvatni. Uppsett afl var þá áætlað 100 MW.

Miðað við þetta hefur flatarmál snjóbræðslu aukist um 63% á síðustu 7 árum, varmanotkun um 47% og uppsett afl um 76%. Varmagjöf bakrásarvatns hefur aukist mun meira en varmagjöf framrásarvatns, þ.e. 77% á móti 13%. Kemur þetta vel saman við aukinn fjölda byggðra sérbýlishúsa á tímabilinu, en einnig hefur orðið töluverð aukning í fjölda upphitaðra sparkvalla.

Ef gert er ráð fyrir jafnri aukningu frá upphafi árs 2003 til upphafs árs 2010 nemur hún um 5,6% á ári. Vegna þeirrar stöðnunar sem ríkt hefur í byggingariðnaði frá hruni íslensks hagkerfis seinni hluta árs 2008 má þó telja að megnið af aukningunni hafi verið komið fram fyrir þann tíma og því er áætlað að notkunin árið 2008 hafi numið um eða yfir 1.650 TJ.

6.3 Tillögur og ábendingar

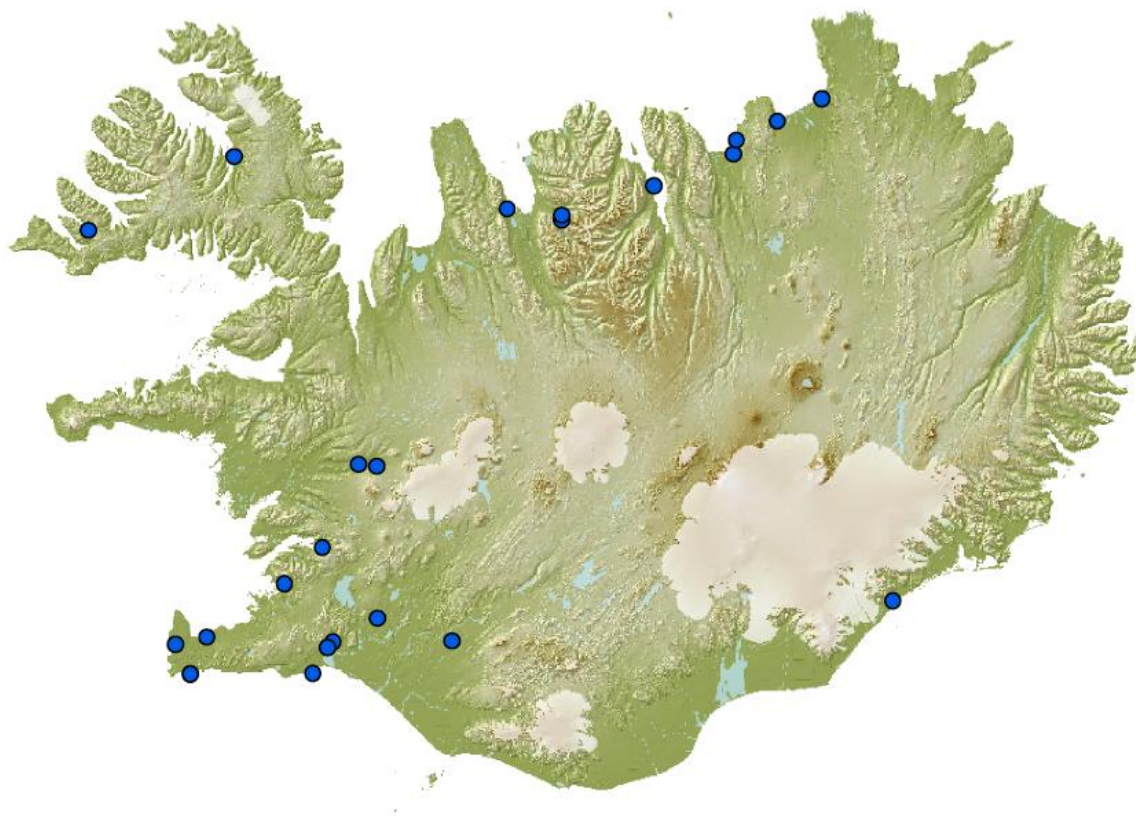
Erfitt er að sjá að rennslismiðuðu mati verði við komið þar sem snjóbræðsla er annars vegar. Hvorki fara fram mælingar á bakrásarhitastigi frá húsum né innrennsli í einkasnjóbræðslukerfi sem nýta bakrennslisvatn. Því eru nægileg gögn til grundvallar slíku mati ekki fyrir hendi. Jafnframt má búast við því að hitastig frá snjóbræðslukerfum breytist með veðurfari og árstíma. Því er að líkindum vænlegast að styðjast áfram við reynslutölur og flatarmál sem grundvöll fyrir mati á orkunotkun.

Til að afmarka flatarmál snjóbræðslukerfa betur má hugsanlega beita fleiri aðferðum en hingað til hefur verið gert. Þar hefur verið nefndur sá möguleiki að notast við loftmyndir sem teknar eru skömmu eftir ofankomu, þar sem mögulegt kann að reynast að greina auð svæði frá snæviþöktum með myndgreiningu og þar með áætla flatarmál snjóbræðslukerfa á myndsvæðinu. Ef innrauðar loftmyndir eru aðgengilegar í nægilegri upplausn kann einnig að vera mögulegt að nýta þær til greiningar á flötum sem eru heitari en umhverfið, þ.á.m. snjóbræðsluflötum. Slíkar aðferðir eru sérstaklega vænlegar til að bæta mat á umfangi snjóbræðslukerfa við íbúðarhúsnæði, þar sem einna mest óvissa ríkir um þau. Þá er hugsanlegt að nýta megi magntölur selds lagnaefnis til að meta umfang nýlagðra kerfa og fylgjast þannig með þróuninni, en slíkt er háð því að ítarlegar upplýsingar fáiist frá söluaðilum og hægt sé að aðgreina mögulega aðra notkun sama efnis.

7 JARÐHITANOTKUN Í FISKELDI

Á fyrstu áratugum íslensks fiskeldis voru byggðar klakstöðvar til framleiðslu kviðpokaseiða til sleppingar í ár og vötn. Klaki laxfiska var fyrst komið á um 1884. Árið 1951 hófst matfiskeldi með regnbogasilung að Laxalóni í Reykjavík og árið eftir hóf Rafmagnsveita Reykjavíkur sumareldi á laxaseiðum í eldisstöð við Elliðaár. Framleiðsla laxaseiða allt upp í göngustærð hófst í Laxeldisstöð ríkisins á árinu 1961 (Landssamband fiskeldisstöðva, 2009).

Um miðjan níunda áratuginn jókst áhugi fyrir fiskeldi mikið og var fjöldi fiskeldisstöðva reistur í framhaldinu. Varð það til þess að framleiðsla jókst úr um 150 tonnum árið 1985 í um 3.000 tonn árið 1990. Á þessum árum byggðist framleiðslan einkum á laxi og regnbogasilungi en rekstur eldistöðvanna gekk almennt illa. Á tíunda áratugnum ríkti stöðnun í greininni og flest árin var heildarframleiðslan á bilinu 3.000-4.000 tonn. Sú grein fiskeldis sem var í mestum vexti á þessum árum var eldi á bleikju og fór framleiðslan úr um 70 tonnum árið 1990 upp í um 900 tonn árið 1999. Í byrjun aldarinnar jókst áhugi á fiskeldi á ný og leiddu stóru sjávarútvegsfyrirtækin þá þróun. Á árinu 2006 fór framleiðslan yfir 10.000 tonn sem er mesta framleiðsla í íslensku fiskeldi á einu ári. Þar af komu tæp 7.000 tonn úr laxeldi, en það lagðist því sem næst af skömmu síðar vegna rekstrarerfiðleika. Heildarframleiðslan var um 5.000 tonn árin 2007 og 2008 og var meginuppistaðan bleikja (Landssamband fiskeldisstöðva, 2009). Sjá staðsetningu fiskeldisstöðva sem nýta jarðhita á mynd 6.



Mynd 6: Starfræktar fiskeldisstöðvar á Íslandi árið 2008 sem nýta jarðhita.

Mikilvægi jarðhita í fiskeldi er mismikið eftir tegundum. Í bleikjueldi er jarðhiti nýttur bæði við seiðaframleiðslu og áframeldi í landkvíum, en bæði laxeldi og þorskeldi byggja að mestu leyti á eldi í sjókvíum og þar liggur mikilvægi jarðhitans fyrst og fremst í seiðaframleiðslu (Árni Ragnarsson, 2006). Í upphafi var gjarnan notast við varmaskipta til að hita upp ferskvatn þar sem súrefnisinnihald í jarðhitavatni er yfirleitt mun minna en í ferskvatni. Með tímanum hefur reynslan hinsvegar sýnt að fiskurinn þolir í flestum tilvikum ágætlega beina blöndun jarðhitavatns við ferskvatn og því hefur notkun varmaskipta minnkað töluvert. Á sumum stöðum er vatn endurunnið með hringrásum í gegnum hreinsisíur eða net og lofti blásið í eða hrært saman við til að auka súrefnisinnihald, en við það má minnka vatnsnotkun og kostnað.

Jarðhitavatn er nýtt í eldi allra helstu tegunda á fyrstu þroskaskeiðum, en á seinni skeiðum er einungis hægt að koma nýtingunni við í strandeldisstöðvum sem helst ala bleikju, en einnig lax að einhverju marki. Með því að hækka hitastig á hrognum, seiðum og matfiski eykst vaxtarhraði fiskjarins. Notkun jarðhitavatns í greininni leiðir því til aukinnar framleiðni. Helstu eldistegundir eru eftirfarandi (Landssamband fiskeldisstöðva, 2009):

1. **Bleikja:** jarðhiti er nýttur á öllum þroskaskeiðum. Hitastig er gjarnan á bilinu 8-14°C, hæst á fyrstu skeiðum en fer lækkandi eftir því sem fiskurinn vex.
2. **Regnbogasilungur:** Eldi á regnbogasilungi á sér langa sögu á landinu, en eldið hefur gengið í gegnum hæðir og lægðir. Engin skráð framleiðsla var árið 2008, en búist er við að framleiðslan muni aukast mikið á næstu árum.
3. **Lax:** um tvenns konar eldi á laxi er að ræða.
 - a) **Uppbygging veiðistofna í ám:** villtum laxi er safnað til hrognatöku að hausti og seiðin klekjast út í maí/júní. Með því að hækka hitastig í eldinu með jarðhitavatni og halda ljósi á seiðunum byrja þau að éta í febrúar og er sleppt að vori. Ferlið tekur því um 1,5 ár og nær einungis yfir 1 sumar í stað 3ja í náttúrunni. Notkun jarðhitavatns með hæfilegu ljósi hraðar því uppvaxtarferlinu til muna.
 - b) **Ræktun til manneldis:** hrogn og seiði eru ræktuð til útflutnings og einnig áfram til manneldis innanlands. Sú ræktun fer fram bæði í strandeldisstöðvum og sjókvíum. Í fyrra tilfellinu fara 50 g seiði til áframeldis og er hitastigi haldið við 10°C árið um kring, en í því seinna eru 100 g seiði flutt í sjókvíar til áframhaldandi vaxtar.
4. **Þorskur:** jarðhitavatn er notað til að hækka hitastig á hrognum og seiðum í strandeldisstöðvum þar til seiðin eru 100-150 g, en þá eru þau flutt í sjókvíar. Í strandeldisstöðvunum er jarðhitavatni blandað við sjó og er kjörhitastig seiða herra eftir því sem þau eru smærri.
5. **Lúða:** Fiskey á Hjalteyri er eina stöðin á landinu sem framleiðir lúðuseiði og fást þrjár hrygningar á ári með því að stjórna hrygningartímanum með ljóslotu. Fiskey nýtir jarðhita í sínu eldi. Íslandslax starfrækti lúðueldi á Stað í Grindavík um og fyrir 1990.
6. **Sandhverfa:** Hafrannsóknarstofnun framleiðir sandhverfuseiði og strandeldisstöð Silfurstjörnunnar í Öxarfirði framleiðir matfisk.

Kjörhitastig fer eftir tegundum. Algengt er að hitastig á laxfiskum sé á bilinu 6-14°C eftir þroskaskeiði, en hitastig á lúðu er herra (10-14°C) og enn herra á sandhverfu (14-20°C). Þar sem ýmis sníkjudýr þrífast betur með hækkandi hitastigi og aukinni þéttni fiska er nauðsynlegt að taka tillit til þess þegar körum er valið hitastig. Sníkjudýrið *costia* (*Ichthyobodo necator*) er einn versti skaðvaldurinn, en það leggst á tálkn fiska, sérstaklega seiða. Um svipudýr er að ræða sem finnst alls staðar í náttúrunni, en gæta verður að því að hækka hitastig á seiðum ekki úr hófi fram til að sporna við því að sníkjudýrin nái sér á strik og valdi verulegum afföllum á seiðunum (Gísli Jónsson og Sigurður Helgason, 2006).

Búið er við aukningu í fiskeldi á næstu árum og má gera ráð fyrir því að aukið bleikjueldi og framleiðsla á laxahrognum og seiðum leiði til vaxandi notkunar jarðhita í greininni.

7.1 Matsaðferð og gagnasöfnun

Hitaveita Dalvíkur, HS Veitur, Orkuveita Húsavíkur, OR-Ölfusveita og Skagafjarðarveitur selja vatn til fiskeldis og berast Orkustofnun upplýsingar um sölu flestra þeirra á eyðublöðum þeim sem send eru árlega út til veitna. Talsvert af fiskeldisfyrirtækjum sem nýta jarðhita starfrækja hinsvegar eigin holur og því var sú leið farin við gagnasöfnun að hafa beint samband við fyrirtækin.

Fiskistofa gefur út rekstrarleyfi í fiskeldi, hefur eftirlit með starfsemi og safnar skýrslum um framleiðslu. Eftirlit með heilbrigði fiska og heilnæmi eldisafurða er hins vegar á vegum Matvælastofnunar og eftirlit með starfsleyfum fiskeldisstöðva hjá heilbrigðisnefndum sveitafélaga eða Umhverfisstofnun eftir því sem við á. Umhverfisstofnun hefur gefið út samræmd starfsleyfisskilyrði fyrir fiskeldi og seiðældi á landi og fyrir fiskeldi í sjó og hefur umsjón og eftirlit með grænu bókhaldi, en samkvæmt lið 6.10 í 9. grein Fylgiskjals II við lög nr. 7/1998 um hollustuhætti og mengunarvarnir og lið 6.9 í Fylgiskjali með reglugerð nr. 851/2002 um grænt bókhald segir að starfsemi skuli færa grænt bókhald ef um er að ræða „eldi sjávar- og ferskvatnslífvera þar sem ársframleiðsla er meiri en 200 tonn og fráveita til sjávar eða ársframleiðsla er meiri en 20 tonn og fráveita í ferskvatn“. Á vef Umhverfisstofnunar má því finna grænt bókhald stærstu fiskeldisfyrirtækja og er þeim ætlað að tilkynna um notkun jarðhitavatns og jarðgufu í lið 2.7 á þar til gerðu eyðublaði sem fylgir með bókhaldsskýrslunum.

Fiskistofa er sá aðili sem fyllsta yfirsýn á að hafa yfir starfandi fiskeldisfyrirtæki og var því leitað til hennar um upplýsingar varðandi tengiliði. Að auki var haft samband við Landssamband fiskeldisstöðva til að afla upplýsinga um fyrirtæki sem starfa innan vébanda sambandsins. Hringt var í forsvarsmenn fyrirtækja og þeir ynnir eftir jarðhitanotkun. Viðbrögð voru almennt góð, þó í nokkrum tilvikum reyndist torsótt að ná til fyrirtækja. Í þeim tilvikum sem eldisstöðvar starfrækja eigin holur er óalgengt að magn sé mælt nákvæmlega, en besta nálgun er þá mat aðila sem gjörþekkja rekstur stöðvanna.

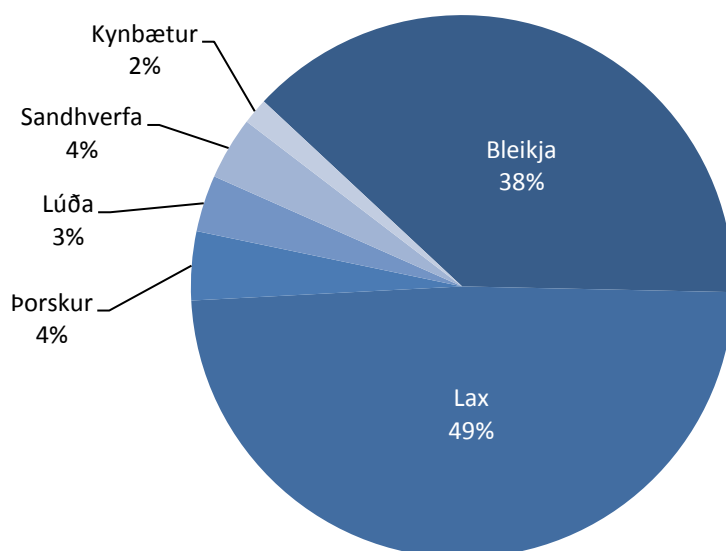
Við útreikning á orkunotkun var miðað við 10°C í eldiskerjum og er það eina tilvikið þar sem jarðhiti er nýttur niður fyrir 15°C frumorkuviðmið (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010).

7.2 Úrvinnsla og niðurstöður

Alls var haft samband við um 55 fyrirtæki og fiskeldisstöðvar, en nokkur fyrirtæki starfrækja fleiri en eina stöð. Af þeim reyndust 25 stöðvar nýta jarðhita við framleiðsluna og starfræktu 13 eigin holur, en hinar keyptu jarðhitavatn frá hitaveitum. Hitastig vatnsins á holutoppi spannar mjög breitt svið og er allt frá því að vera 17°C upp í 100°C, en lágt hitastig er yfirleitt vegið upp með meira rennsli. Miðað við magnnotkun og 10°C hitastig í körum reyndist orkunotkun þeirra fyrirtækja sem starfrækja eigin holur um 77% af heildarnotkun jarðvarma í greininni, þ.e. um 1290 TJ, en orkunotkun þeirra fyrirtækja sem kaupa vatn frá sérleyfisveitum reyndist hinsvegar vera um 390 TJ. Skýring á mismun í hlutfallslegum fjölda fyrirtækja sem starfrækja eigin holur annars vegar og hlutfallslegri orkunotkun þeirra hinsvegar liggur í því að flest stærri fyrirtækin hafa yfir eigin holum að ráða. Hlutfallslega skiptingu jarðhitanotkunar í fiskeldi árið 2008 má sjá á mynd 7.

7.3 Tillögur og ábendingar

Vandséð er að aðrar leiðir séu færar við mat á jarðhitanotkun í fiskeldi en að safna upplýsingum beint frá fiskeldisstöðvum og hitaveitum þar sem við á. Sem stendur er sömu upplýsingum að einhverju leyti safnað hjá tveimur stofnunum: Orkustofnun og Umhverfisstofnun, en skilum á jarðhitanotkun í grænu bókhaldi virðist þó vera að einhverju leyti ábótavant.



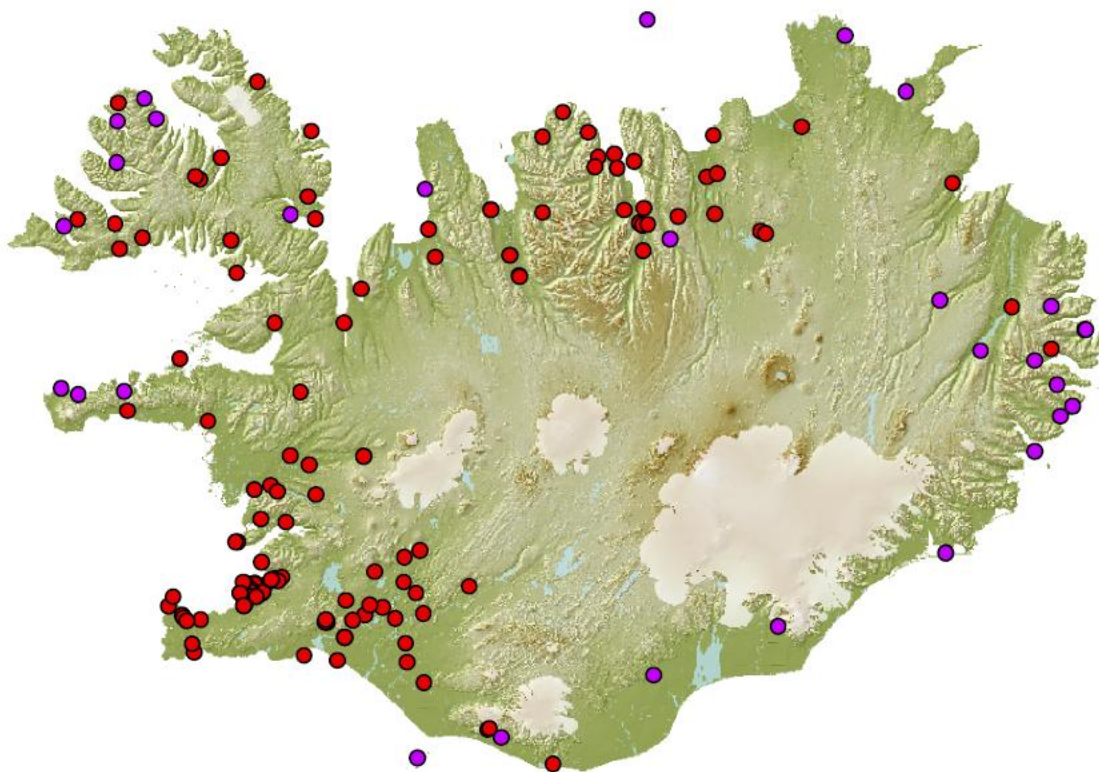
Mynd 7: Hlutfallsleg skipting jarðhitanotkunar í fiskeldi árið 2008.

8 JARÐHITANOTKUN SUNDLAUGA

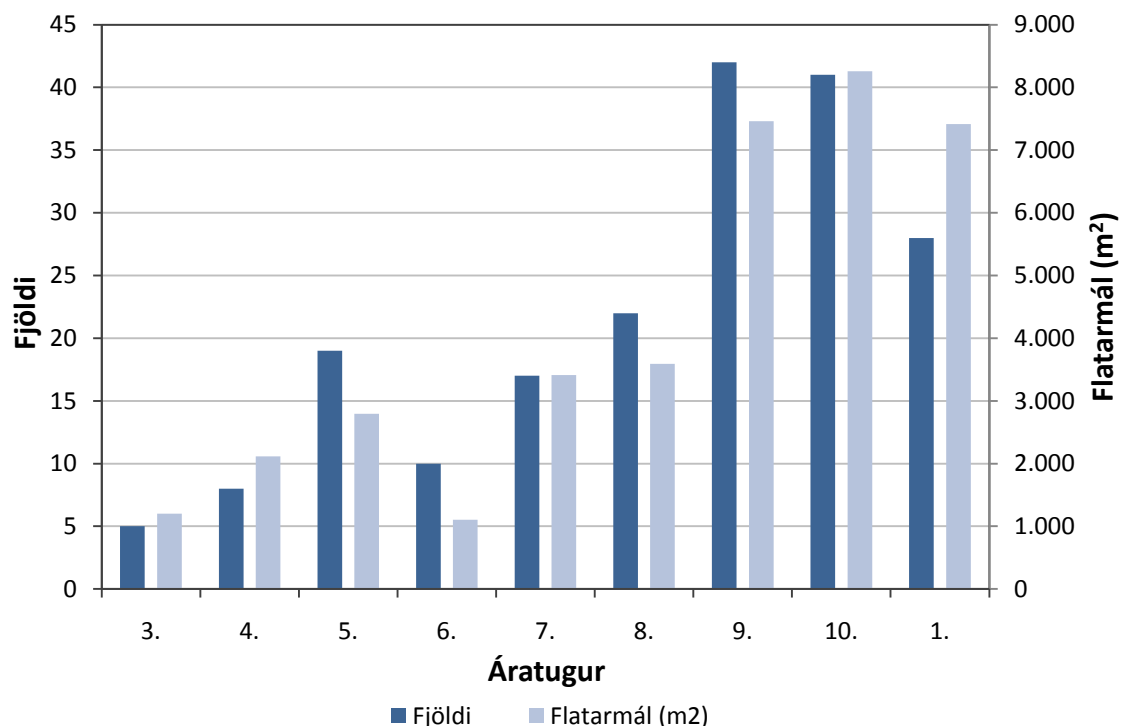
Talið er að landsmenn hafi allt frá 10. öld útbúið laugar við jarðhitauppsprettur, enda eru böð og þvottar sú notkun jarðhitans sem beinast liggur við. Lauganotkun jókst mjög á 20. öldinni þegar hafist var handa við kerfisbundnari nýtingu jarðhitans en áður hafði þekkt. Í upphafi aldarinnar voru laugarnar gjarnan einfaldar að gerð og hreinlætis- og búningaaðstaða öllu lakari en gerist í dag, en þörfin fyrir sundkennslu átti stóran þátt í fjölgun lauga. Þegar leið á öldina var meira lagt í laugarnar, s.s. burðarþol, hreinsikerfi og hitastigsstýringar, sem og alla hreinlætis- og búningaaðstöðu. Í seinni tíð hafa verið reistir vatnagarðar með mörgum aðskildum laugum og pottum, rennibrautum og leiklaugum fyrir yngstu kynslóðina og aðliggjandi líkamsræktaraðstöðu. Mörg sveitarfélög hafa lagt metnað í að bjóða íbúum upp á sem best laugarumhverfi og laugarnar jafnvel taldar til höfuðdjásna þeirra.

Í gagnagrunni Orkustofnunar er að finna upplýsingar um fjölda, staðsetningu, flatarmál og byggingarár sundlauga á landinu (mynd 8 og 9). Elsta laugin sem enn er í notkun er Seljavallalaug undir Austur-Eyjafjöllum, en hún var byggð árið 1923 og er friðuð í dag. Alls eru 5 laugar sem byggðar voru á 3. áratug síðustu aldar enn í notkun.

Töluvert hefur verið ritað um sögu lauga á landinu og finna má frekari upplýsingar um hana í bókinni *Auður úr iðrum jarðar: Saga hitaveitna og jarðhitanýtingar á Íslandi* (Sveinn Þórðarson, 1998).



Mynd 8: Sundlaugar á Íslandi árið 2008. Rauðir hringir tákna jarðhitalaugar en fjólubláir tákna laugar sem nýta raforku, olíu eða sorp til upphitunar.



Mynd 9: Fjöldi og flatarmál lauga sem starfræktar voru árið 2009 eftir byggingaráratug (1923-2009).

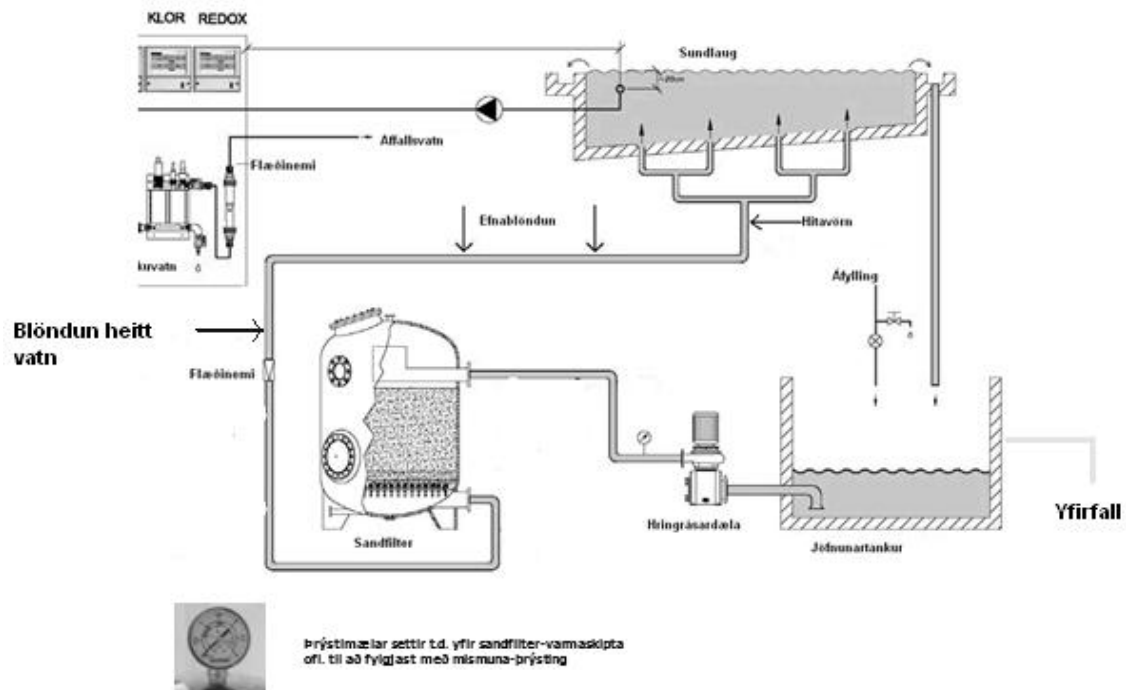
Á 9. áratugnum hátt í tvöfaldaðist fjöldi byggðra lauga frá því sem verið hafði áratuginn á undan og áfram var byggt af kappi á 10. áratugnum. Heldur virðist hafa dregið úr byggingarfjölda á 1. áratug þessarar aldar, en meðalflatarmál lauga hefur þó verið stærra en áður. Um 1960 voru á milli 70-80% lauga hitaðar með jarðvarma, en árið 2001 voru tæplega 90% lauga hitaðar með þessum hætti (VST, 2001).

8.1 Tilhögun

Fyrstu sundlaugar voru einfaldar gegnumstreymislaugar. Rennslisstýringar voru grófar eða ekki til staðar og því gat hitastig lauganna verið breytilegt eftir lofthitastigi og vindstyrk. Hreinsun var lítil sem engin og því gat magn gerla í fjölsóttum laugum orðið óhóflegt.

Í nútímanum er hvort tveggja notast við gegnumstreymis- og hringrásarkerfi og hafa margar laugar yfir að ráða þróuðum stýribúnaði. Stærri laugar eru nú nær allar tölvustýrðar, sem gefur ýmsa möguleika er ekki voru raunhæfir í eldri kerfum. Óhætt er að segja að skjámyndakerfi sundlauga og upplýsingar frá stýrikerfi auðveldi starf sundlaugarvarða, tæknimanna og forstöðumanna. Stýrikerfi laugar veitir starfsmönnum færi á að fylgjast náið með vatnsgæðum, orkunotkun og safna upplýsingum um reksturinn. Í laugum með lokað kerfi má halda klórstigi og pH-gildi innan þröngra marka til þæginda fyrir gesti (VST, 2001).

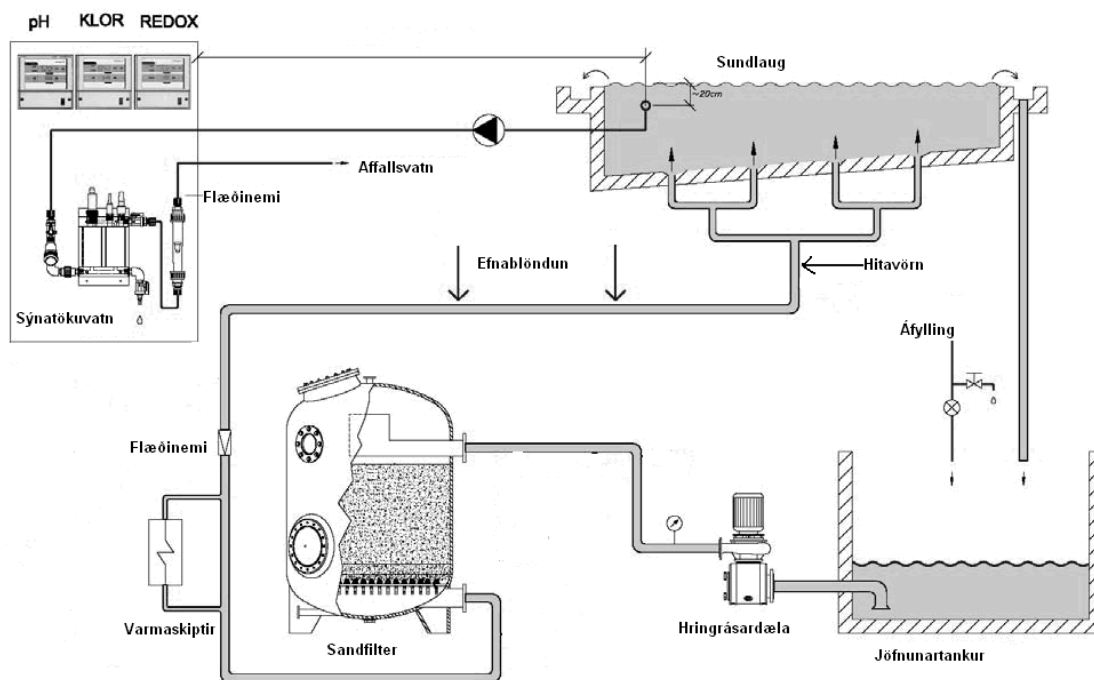
Í gegnumstreymiskerfi, sem einnig er nefnt opið kerfi, er heitu framrásarvatni blandað við sundlaugarvatn í jöfnunartanki eða annars staðar í kerfistrásinni (mynd 10). Í nýlegum laugum streymir vatn yfirleitt inn á botni laugar og rís til yfirborðs, þaðan sem



Mynd 10: Opið sundlaugarkerfi með yfirfallsrennum og jöfnunartanki (Ólafur Gunnarsson o.fl., 2009).

Það rennur í yfirfallsrennur á jöðrum laugarinnar og þaðan aftur í jöfnunartank. Áður fyrr tíðkaðist einnig að vatni væri dælt inn í laugar frá veggjum, en við það verður hringrás vatnsins lakari. Jöfnunartankur gegnir því hlutverki að jafna út sveiflur og geyma vatn sem flóir úr laugum þegar gestafjöldi er mikill. Á tankinum er yfirfall sem beinir umframvatni út í frárennsli, en einnig tapast einhver hluti með uppgufun frá laugum. Hringrásardæla dælir vatni úr tankinum í gegnum sandsíu sem síar út ýmis óhreinindi og agnir. Þrýstimælir er notaður til að fylgjast með mismunaþrýstingi yfir síuna og þegar hann hefur náð ákveðnum mörkum vegna uppsafnaðra óhreininda er sían skoluð. Við bakskolun losnar um sandinn og uppsöfnuð óhreinindin skolast út með vatninu, sem beint er í frárennsli. Algengt er að bakskolun fari fram einu sinni í viku. Heitu vatni er blandað inn í rásina í samræmi við þörf til að halda uppi hitastigi sundlaugarinnar. Einnig er klór og koldíoxíði blandað í vatnið til að halda uppi réttu klór- og sýrustigi, en magni er stýrt í samræmi við mælingu á laugarvatni og óskgildi. Vatnsmagn sem hent er í frárennsli ræðst af upphitunarþörf og kröfum um vatnsskipti samkvæmt reglugerð. Búast má við því að meðalvatnssameindin hringrásí oft um kerfið áður en hún gufar upp eða lendir í frárennsli.

Í hringrásarkerfi, sem einnig er nefnt lokað kerfi (mynd 11), er hringrás laugarvatns með svipuðum hætti og í gegnumstreymislaugum, en meginmunurinn liggur í því að í stað þess að blanda fullheitu framrásarvatni inn í rásina til að viðhalda laugarhitastigi er notast við varmaskipta. Þannig streymir síað laugarvatn í gegnum varmaskipti og hitnar við það í kjörhitastig. Streymi í gegnum varmaskipta er stýrt eftir upphitunarþörf, en nemar fylgjast með hitastigi í laugum. Klór- og koldíoxíðblöndun er með svipuðum hætti og í gegnumstreymiskerfum.



Mynd 11: Lokað sundlaugarkerfi með yfirfallsrennum (Ólafur Gunnarsson o.fl., 2009).

Þrátt fyrir að hringrásarkerfi eigi að heita lokað kerfi þarf að bæta við köldu vatni vegna uppgufunar og bakskolunar og einnig þurfa laugar að uppfylla skilyrði um afkastagetu og hreinsun lauga samkvæmt viðauka III í reglugerð nr. 457/1998 um hollustuhætti á sund- og baðstöðum, en þar eru sett fram viðmið og kröfur um hitastig, hringrásartíma, klórmagn, sýrustig, endurnýjunartíma og bakskolun.

Búast má við því að nýting heita vatnsins sé nokkru lakari í hringrásarkerfum en í gegnumstreymiskerfum þar sem hitastig bakrennslisvatns frá heitu hlið varmaskipta er yfirleitt um 2-3°C hærri en framrásarhitastig sundlaugarvatns. Nýlega stóð ÍTR fyrir úttekt á kostnaði við rekstur gegnumstreymis- og hringrásarkerfa og benti hún til þess að slík væri raunin (Ólafur Gunnarsson o.fl., 2009).

Yfirleitt er sérstök hringrás fyrir hverja laug og pott. Búast má við því að orkunotkun sé meiri í pottum en í laugum fyrir hverja flatareiningu yfirborðs, m.a. vegna lægri hitastigsmunar á milli köldu og heitu hliðar varmaskipta þar sem um lokaðar rásir er að ræða og meira orkutaps til umhverfis vegna hærri vatnshitastigs. Töluverðar sveiflur geta verið í vatnsmagni fullsetinna potta ef gestir ryðja stórum hluta af vatnsins frá og því eru jöfnunartankar mikilvægir til að geyma vatn þar til gestum hefur fækkað á ný.

8.2 Matsaðferð og gagnasöfnun

Sundlaugar geta tapað varma á nokkra vegu:

Varmaleiðni: varmi berst út frá laug með slembihreyfingum einda án þess að um fasabreytingar sé að ræða. Þannig tapast varmi í gegnum botn og hliðar sundlauga út í aðliggjandi jarðveg og út í andrúmsloft í gegnum yfirborð. Í algerlega kyrru lofti heldur varmi áfram að berast út með leiðni í gegnum

andrúmsloftið í samræmi við hitastigul, en þar sem loft er á hreyfingu verður varmaburður ráðandi.

Varmaburður: þar sem loft er á hreyfingu við yfirborð sundlauga berst varmi frá lauginum með loftstraumum eftir að hafa borist yfir yfirborðsskilin með leiðingu.

Uppgufun: varmi berst út frá laug vegna fasaskipta. Hraðadreifing vatnssameinda laugarvatnsins ræðst af hitastigi laugarinnar og vegna slembieðlis árekstra nær hluti einda lausnarhraða frá viðloðunarkröftum vatnsfasans (s.s. van der Waals krafta og vetnistengja). Uppgufun verður hraðari eftir því sem mismunur hitastigs laugar og andrúmslofts verður meiri og gufustyrkur í andrúmslofti sem hlutfall af mettnarstyrk við hitastig laugar verður minni.

Geislun: varmi berst út frá laug með geislun, en á móti berst geislunarvarmi frá umhverfinu. Þar hafa þættir á borð við hitastig andrúmslofts, hlutþrýsting gufu í andrúmslofti, sólargeislun, náttúrulega speglun vatns og skýjahulu áhrif.

Blöndun og ruðningur: við blöndun sundlaugarvatns við kaldara vatn fer hluti varmaforða laugarinnar í að hita upp kalda vatnið. Um endurdreifingu á varma er að ræða sem lækkar varmastyrk á massaeiningu og þar með hitastig. Ef rúmmál laugar er fast ryður kalda innrennslisvatnið sundlaugarvatni burt og tapast við það varmi frá sundlaug til umhverfis. Dæmi um þetta er þegar úrkomuvatn í formi rigningar, slyddu eða snjókomu hafnar í laugum, en hið sama gildir einnig þegar köldu vatni er blandað inn í laugarrásir.

Í greinargerð sem gefin var út á Orkustofnun 1981 (HÞJ-81/01) er lýst aðferðum til að reikna orkunotkun útisundlaugar og gefnar upp reynsluformúlur til að meta varmatap þeirra (Árni Ragnarsson, 1995):

Varmaleiðni:

Samkvæmt greinargerðirinni er varmatap vegna leiðni reiknað á svipaðan hátt og varmatap frá byggingum. Varmaleiðni er almennt lýst með lögmáli Fourier:

$$\vec{F}_l = -k\nabla T \quad (5)$$

þar sem tákn hafa eftirfarandi merkingu:

$\vec{F}_l$ = varmatap á flatarmáls og tímaeiningu (*flux*) (W/m^2);
 k = varmaleiðnistuðull (W/m); og
 ∇T = hitastigsstigull.

Með því að horfa til kassalaga sundlaugar (Kartesískt hnitakerfi) og beita lömálinu um varðveislur orkunnar á örsmæðartening sem leiðir varma fæst:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (6)$$

þar sem

ρ = eðlismassi; og
 c_p = eðlisvarmi við fastan þrýsting.

Með því að horfa einungis til einnar víddar (x) hornrétt á varmaskiptaflötinn og gera ráð fyrir einsleitu efni (s.s. sundlaugarveggir eða jarðvegur) með varmaleiðnistuðli sem er óháður staðsetningu einfaldast jafnan nokkuð:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\rho c_p}{k} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (7)$$

Með því að gera ráð fyrir stöðugu ástandi (stöðugt hitastig laugar og lofts) einfaldast málið enn frekar:

$$\frac{d^2 T}{dx^2} = 0 \quad (8)$$

Þá fæst að

$$T(x) = Ax + B \quad (9)$$

Þar sem hitastig breytist línulega með staðsetningu í efninu gildir að

$$\nabla T = \frac{\Delta T}{\Delta x} = \frac{T(x_1) - T(x_2)}{x_1 - x_2} \quad (10)$$

Jafna Fouriers fær því eftirfarandi form:

$$F_1 = k \frac{T(x_1) - T(x_2)}{x_2 - x_1} = k \frac{T_h - T_k}{d} \quad (11)$$

þar sem

T_h = hitastig heitari jaðars (t.d. innri veggflötur sundlaugar);
 T_k = hitastig kaldari jaðars (t.d. ytri veggflötur sundlaugar); og
 d = þykkt efnisins (t.d. sundlaugarveggjar).

Við útreikning á varmaleiðnitapi bygginga eru k og d stundum dregin saman í einn heildarvarmaskiptastuðul:

$$U = \frac{k}{d} \quad (12)$$

Stuðulinn má jafnframt nýta til að taka inn áhrif varmaburðar.

Þess ber að gæta að jafna (11) er einföldun þar sem ekki er um raunverulegt stöðugt ástand að ræða vegna breytinga á lofthitastigi yfir árið sem aftur hefur áhrif á hitasig í grunnnum jarðvegi. Hinsvegar má gera ráð fyrir að hitastig laugarvatns breytist lítið.

Þegar varmaleiðnitap er reiknað í gegnum vegg hringlaga potta kann að vera betra að notast við annað hnitakerfi.

Varmaburður:

Eftirfarandi jöfnur eru notaðar til að meta varmatap vegna varmaburðar:

$$F_b = h_b(T_w - T_a) \quad (13)$$

$$h_b = K + 1,88v_2 \quad (14)$$

$$K = 3,89 + 0,17(T_w - T_a) \quad (15)$$

þar sem tákn hafa eftirfarandi merkingu:

F_b	= varmatap á flatarmáls og tímaeiningu (<i>flux</i>) (W/m^2);
h_b	= varmaburðarstuðull ($\text{W/m}^2\text{°C}$);
K	= stuðull ($\text{W/m}^2\text{°C}$);
T_w	= hitastig sundlaugar (°C);
T_a	= hitastig lofts (°C); og
v_2	= vindhraði í 2 m hæð (m/s).

Uppgufun:

Varmatap vegna uppgufunar er reiknað með eftirfarandi jöfnu:

$$F_u = (1,56K + 2,93v_2)(e_w - e_a) \quad (16)$$

þar sem

F_u	= orkutap á flatarmáls og tímaeiningu (<i>flux</i>) (W/m^2);
e_w	= mettnarþrýstingur vatnsgufu við T_w (mbar); og
e_a	= mettnarþrýstingur vatnsgufu við T_a (mbar).

Aðrar stærðir hafa sömu merkingu og einingar sem fyrr.

Geislun:

Eftirfarandi jöfnu má nota til að meta geislun ef nauðsynlegar stærðir eru þekktar:

$$F_g = \left(55,17 \cdot 10^{-9} \cdot T_a^4 (0,46 - 0,06 \cdot e_a^{0,5}) - G_0(1 - a) \right) (1 - 0,012 \cdot N^2) + 55,17 \cdot 10^{-9} (T_w^4 - T_a^4) \quad (17)$$

Þar sem

F_g	= varmatap á flatarmáls og tímaeiningu (<i>flux</i>) (W/m^2);
G_0	= geislunarvarmi sólar í heiðskíru (W/m^2);
N	= skýjahúla (0-8); og
a	= náttúruleg endurspeglun vatns.

Þessir síðasttöldu þættir eru sjaldan vel þekktir og því kemur jafnan að takmörkuðum praktískum notum.

Blöndun og ruðningur:

Þegar köldu vatni er blandað í laugarrásir jafngildir varmatapið þeirri orku sem þarf til að hita vatnið upp í hitastig laugar, samanber jöfnu (4). Á svipaðan hátt markast varmatap vegna rigninar af hitastigi regnvatnsins, en þegar um snjókomu er að ræða þarf jafnframt að taka tillit til fasaskipta.

Uppgufun og varmaburður eru afgerandi þættir þegar kemur að varmatapi sundlauga, en leiðni, geislun, og blöndun/ruðningur hafa minni áhrif, auk þess sem erfitt er að meta leiðni og geislun í praktík. Notast var við gögn frá ÍTR um mánaðarlega heitavatnsnotkun Vesturbæjarlaugar á árunum 1995-1999 ásamt upplýsingum um framrásarhitastig hitaveituvatns og hitastig sundlaugar til að meta orkunotkun laugarinnar yfir tímabilið. Einungis var um að ræða vatn sem fór í laugar og potta, en baðvatn er mælt sérstaklega. Til hliðsjónar var áætluð varmaþörf vegna varmaburðar og uppgufunar reiknuð út frá formúlum (13)-(16) og hún borin saman við raunnotkun. Upplýsingar um meðallofthitastig og meðalvindhraða mánaðar sem notaðar voru til grundvallar voru einnig fengnar frá ÍTR. Þó jöfnur (13)-(16) séu miðaðar við augnabliksgildi er skekkja af notkun meðalgilda ekki teljandi.

Heildarvarmaþörf í mánuði i er

$$Q_{heild,i} = Q_{b,i} + Q_{u,i} + Q_{l,i} + Q_{g,i} + Q_{r,i} \quad (18)$$

þar sem

Q_b	= varmatap vegna varmaburðar;
Q_u	= varmatap vegna uppgufunar;
Q_l	= varmatap vegna leiðni;
Q_g	= varmatap vegna geislunar; og
Q_r	= varmatap vegna blöndunar og ruðnings.

Stærðirnar Q_b og Q_u eru áætlaðar út frá jöfnum (13) og (16) og flatarmáli laugar.

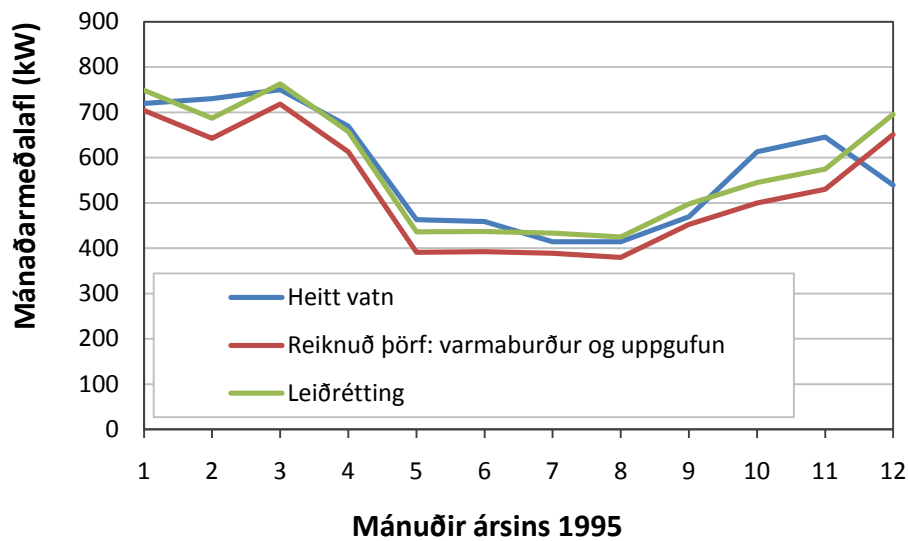
Meðalafþörf Vesturbæjarlaugar eftir mánuðum árið 1995 metin út frá heitavatnsnotkun og jöfnum (13)-(16) er sýnd á mynd 12. Jöfnurnar vanmeta þörfina eins og vænta má þar sem ekki er tekið tillit til annarra þátta en varmaburðar og uppgufunar, en með því að hliðra ferlinum þannig að summa kvaðratmismunar við raunnotkun verði sem minnst yfir árið fæst ágæt nálgun við raunnotkun (grænn ferill). Hliðrunin er jöfn yfir árið og er ein leið til að áætla varmatap vegna leiðni, geislunar og blöndunar.

Leitast er við að lágmarka stærðina

$$\sum_{i=1}^{12} [(Q_{b,i} + Q_{u,i} + X) - Q_{raun,i}]^2 \quad (19)$$

þar sem

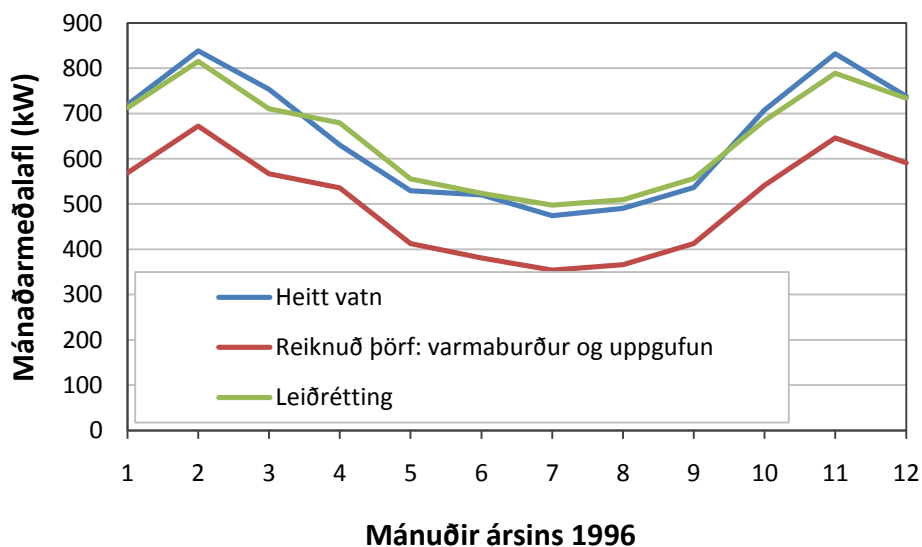
$Q_{raun,i}$	= raunnotkun mánaðar i ; og
X	= hliðrunargildi, mat á síðustu þremur liðum jöfnu (9).



Mynd 12: *Mánaðarmeðalafl Vesturbæjarlaugar 1995.*

Mynd 13 sýnir hið sama fyrir árið 1996. Í því tilfelli er hliðrunin meiri en árið á undan, en eins og sjá má fylgir hliðraði ferillinn (grænn) raunnotkuninni ágætlega. Hið sama var gert fyrir árin 1997-1999 og var hliðrunin þau ár af svipaðri stærð og árið 1996. Minni hliðrun árið 1995 en árin á eftir skýrist hugsanlega af betri stýringu það árið, en einnig er hugsanlegt að blöndun kalds vatns út í laugarrásina, t.d. til að viðhalda tærleika laugarvatnsins hafi verið minni en árin á eftir. Viðbúið er að áhrif geislunar og leiðni séu misjöfn eftir árstíma og með því að skoða notkun laugar yfir nógu mörg ár mætti e.t.v. áætla hliðrunarstuðla fyrir hvern mánuð ársins fyrir sig. Einnig má beita skölun í stað hliðrunar ef þessi áhrif eru mismunandi eftir árstíma.

Þessi samanburður bendir til þess að jöfnur (13)-(16) séu ágætur grundvöllur til að meta aflþörf sundlauga að því gefnu að upplýsingar um lofthitastig og vindhraða liggi fyrir. Einnig nýtast þær til að meta ólíka aflþörf lauga og potta eftir vatnshitastigi, sem kann



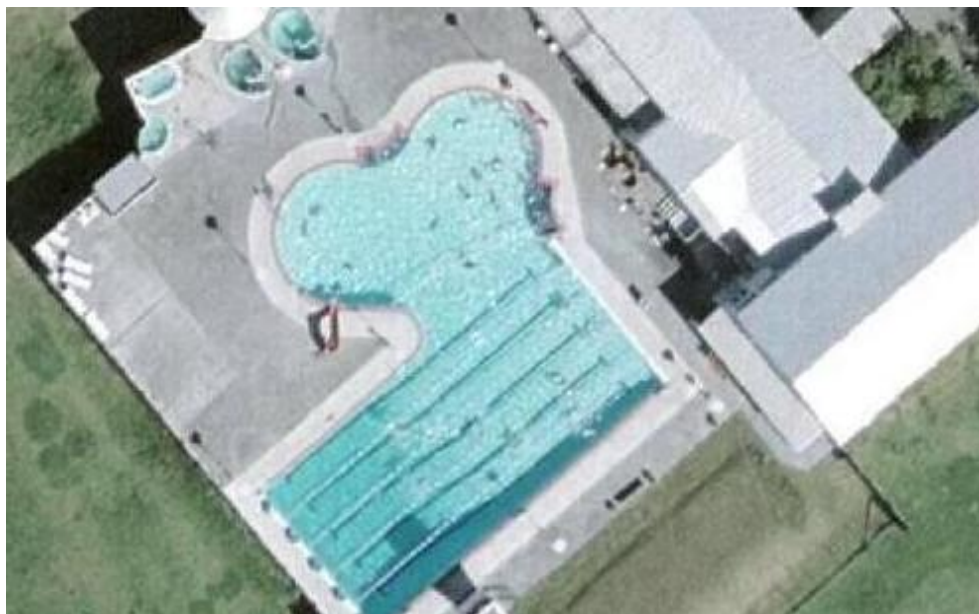
Mynd 13: *Mánaðarmeðalafl Vesturbæjarlaugar 1996.*

að geta bætt mat á heildarorkunotkun sundlauga yfir landið. Slíkt byggir þó á því að ítarlegar upplýsingar liggi fyrir um flatarmál lauga og potta, ásamt ríkjandi vatnshitastigum og veðurfari á hverjum stað.

Þar sem Orkustofnun býr yfir upplýsingum um flatarmál aðallauga allra helstu sundlauga landsins voru þau notuð til grundvallar mati á orkunotkun lauga eins og fordæmi eru fyrir, en upplýsingum um yfirborðsflatarmál potta, vaðlauga og setlauga er nokkuð ábótavant og því ljóst að í slíku mati verður um nokkra óvissu að ræða. Til að öðlast hugmynd um orkuþörf lauga og potta var notast við framangreind gögn frá ÍTR yfir mánaðarheitavatnsnotkun í Vesturbæjarlaug á árabílinu 1995-1999 ásamt gögnum um ársnotkun Vesturbæjarlaugar og Grafarvogslaugar á árunum 2005-2008. Einnig var upplýsinga aflað um flatarmál lauga og potta ásamt óskgildum hitastiga.

Á vef Þjóðskrár Íslands má skoða loftmyndir af mannvirkjum í ágætri upplausn sem nota má til grundvallar mati á flatarmáli sundlauga (mynd 14). Ein leið er að nota sérstakt mælitól til mælinga á lengdum, en æskilegra er að koma myndgreiningarforritum við sem sérstaklega eru til þess ætluð að meta flatarmál. Eitt slíkt er myndgreiningarforritið ImageJ sem er opið og aðgengilegt á vefnum. Forritið má nota til þess að meta flatarmál með myndpunktatalningu og því nauðsynlegt að mæla einn þekktan flöt sem notaður er sem viðmið. Þar sem Orkustofnun býr yfir upplýsingum um stærðir aðallauga allra helstu sundlauga landsins liggur það í flestum tilvikum beint við. Forritinu má í framhaldinu beita til að áætla óreglulega fleti, hringi, hálfmána og sporbaugslíka fleti með því að telja myndpunkta í tilteknum lit eða innan lokaðs ferils sem draga má upp eftir útlínunum lauga. Þessi aðferð var notuð til að meta flatarmál allra lauga og potta Vesturbæjar- og Grafarvogslaugar og voru aðallaugarnar notaðar sem útgangsfletir. Til samanburðar fengust upplýsingar um flatarmál einstakra lauga eða potta eftir öðrum leiðum og bar þeim vel saman við niðurstöður myndgreiningarinnar.

Á vef Íþrótt- og tómstundasviðs Reykjavíkurborgar má finna upplýsingar um sundlaugar sem sviðið rekur og koma þar fram hitastig lauga og potta. Þessar



Mynd 14: Loftmynd af Vesturbæjarlaug á vef Þjóðskrár Íslands.

upplýsingar voru nýttar til að meta mánaðarlega orkuþörf stakra lauga og potta Vesturbæjarlaugar á árunum 1995-1999 og 2005-2008 og Grafarvogslaugar á árunum 2005-2008 út frá jöfnum (13) og (16) að teknu tilliti til nauðsynlegra vatnsskipta í lokaðri hringrás Grafarvogslaugar samkvæmt viðauka III í reglugerð nr. 457/1998 um hollustuhætti á sund- og baðstöðum. Massanotkun fyrir hverja laug/pott var síðan reiknuð út frá orkuþörfinni og hitastigi í viðkomandi laug/potti. Útreiknuð heildarmassanotkun allra lauga/potta fyrir hvern mánuð eða ár var borin saman við raunnotkun samkvæmt upplýsingum frá ÍTR. Til að útreiknuð massanotkun jafngildi raunnotkun yfir árið var besta hliðrunargildi reiknað sbr. jöfnu (19), en það var tekið sem fasti fyrir allar laugar/potta tiltekins sundstaðar. Til hliðsjónar var fundinn besti skölunarstuðull, en í því tilfalli er gert ráð fyrir því að þrír síðustu liðir jöfnu (18) séu margfeldi af tveimur fyrstu liðunum:

$$Q_{heild,i} = Q_{b,i} + Q_{u,i} + Q_{l,i} + Q_{g,i} + Q_{r,i} = \alpha(Q_{b,i} + Q_{u,i}) \quad (20)$$

og því

$$Q_{l,i} + Q_{g,i} + Q_{r,i} = (\alpha - 1)(Q_{b,i} + Q_{u,i}) \quad (21)$$

Hér er því leitast við að lágmarka stærðina

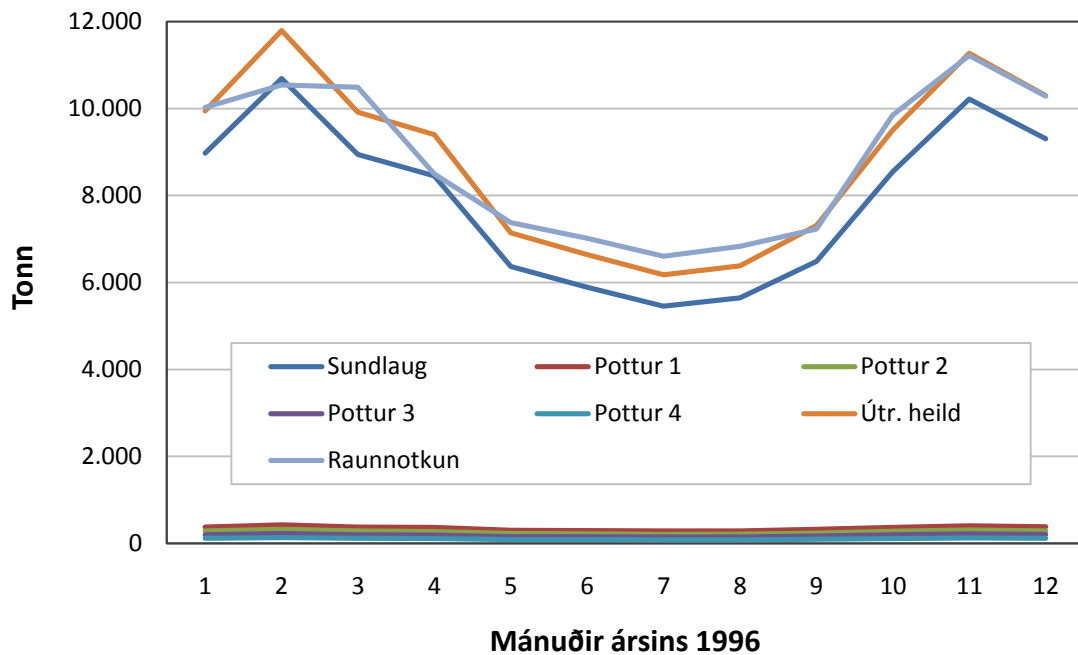
$$\sum_{i=1}^{12} [\alpha(Q_{b,i} + Q_{u,i}) - Q_{raun,i}]^2 \quad (22)$$

8.3 Úrvinnsla og niðurstöður

Eins og búast mátti við fæst góð nálgun við raunnotkun hitaveituvatns með því að beita jöfnum (13) og (16) á laugar og potta með hliðsjón af yfirborðsflatarmáli, hitastigi vatns og veðuraðstæðum auk þess sem tillit er tekið til vatnsskipta. Heitavatnsþörf laugar og potta Vesturbæjarlaugar á grundvelli útreiknaðrar upphitunarþarfar árið 1996 er sýnd á mynd 15, en laugin tekur til sín megnið af massanum þar sem yfirborðsflatarmál potta er lítið í samanburði, þrátt fyrir að vatnshitastig þeirra sé nokkuð hærra. Hliðrun er beitt samkvæmt jöfnu (19) til að útreiknaður massanotkunarferill samsvari raunnotkun sem best.

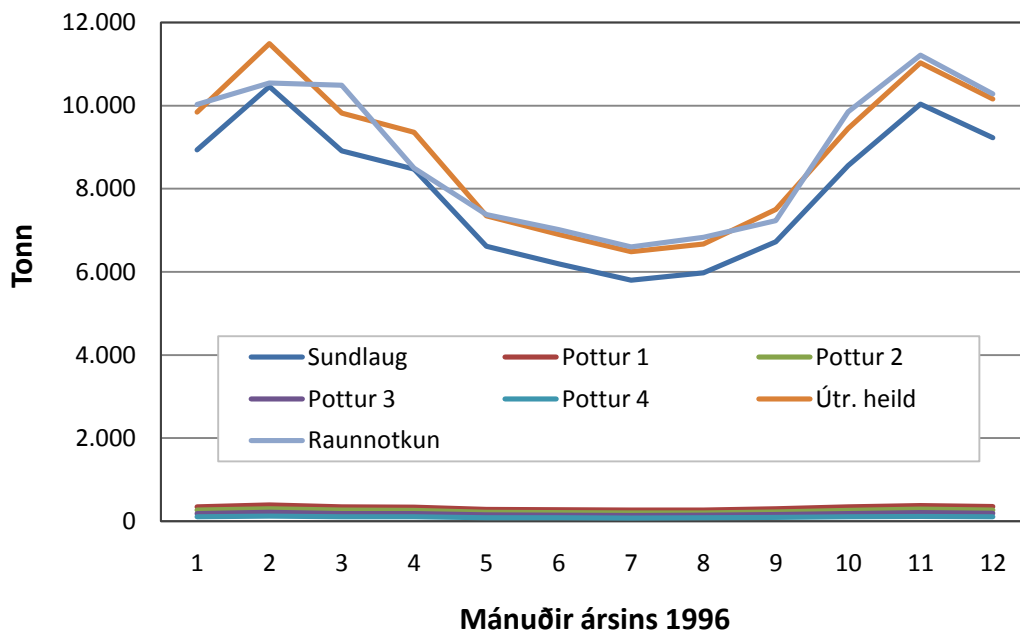
Tafla 3: Lægsta ferningssummukvaðratrót mismunar mánaðarlegrar massanotkunar og áætlaðrar massaþarfar frá Vesturbæjarlaug.

Ferningssummukvaðratrót (tonn)		
Ár	Hliðrun	Skölun
1995	3.584	2.563
1996	1.849	1.565
1997	3.310	2.861
1998	2.832	2.458
1999	2.741	2.604



Mynd 15: Heitavatnsnotkun Vesturbæjarlaugar árið 1996. Útreiknuðum massanotkunarferli er hliðrað til að samsvörun við raunnotkun verði sem best.

Mynd 16 sýnir aftur útreiknaða massanotkun laugar og potta Vesturbæjarlaugar árið 1996, en hér er skölun beitt. Samsvörun við raunnotkun verður þannig betri en við hliðrun, eins og sjá má tölulega þegar litið er til kvaðratróta jafna (19) og (22). Þegar um hliðrun er að ræða fást þannig 1849 tonn, en 1565 tonn þegar skölun er beitt. Skölun gefur einnig betri niðurstöður þegar litið er til annarra ára tímabilsins 1995-1999 (tafla 3).



Mynd 16: Heitavatnsnotkun Vesturbæjarlaugar árið 1996. Útreiknaður massanotkunarferill er skalaður til að samsvörun við raunnotkun verði sem best.

Tafla 4: Orkunotkun Vesturbæjarlaugar á árabílinum 1995-1999 og 2005-2008.

Útreiknuð orkunotkun í Vesturbæjarlaug			
	T [°C]	1995-1999 [GJ/(m ² *ár)]	2005-2008 [GJ/(m ² *ár)]
Sundlaug	29	37	51
Pottur 1	43	90	129
Pottur 2	40	75	108
Plastpottur	40	75	108
Barnapottur	38	67	95

Í töflu 4 kemur fram mat á árlegri orkunotkun potta og lauga Vesturbæjarlaugar á árabílinum 1995-1999 og 2005-2008, en gildin í töflunni eru meðaltöl yfir hvert tímabil um sig. Jöfnur (13)-(16) eru notaðar ásamt upplýsingum um yfirborðsflatarmál til að reikna út orkuþörf hverrar einstakrar laugar/potts til að mæta tapi vegna varmaþátta og uppgufunar. Með hliðsjón af inntakshitastigi hitaveituvatns og hitastigi í laug/potti er þá reiknuð nauðsynleg massanotkun hitaveituvatns. Samanlögð útreiknuð massanotkun allra lauga/potta sundstaðar er því næst sköluð þannig að hún samræmist sem best raunnotkun, þ.e. fundið er það gildi α í jöfnu (22) sem lágmarkar kvaðratrót jöfnunnar fyrir tiltekið ár. Því næst er α beitt skv. jöfnu (20) til að áætla heildarorkuþörf hverrar laugar/potts.

Heildarmassanotkun var töluvert meiri á síðara tímabilinu en því fyrra, sem líklega skýrist af aukinni blöndun kalds vatns í sundlaugina til að viðhalda tærleika. Stór galli við það að nota sama skölunarstuðul fyrir allar laugar/potta tiltekens sundstaðar er að ef heildarheitavatsnotkun eykst vegna íblöndunar kalds vatns í aðallaug eykst einnig áætluð massanotkun heitra potta þrátt fyrir að ekki sé um aukna orkuþörf að ræða. Hjá þessu verður vart komist þar sem upplýsingar um massanotkun aðskildra lauga/potta liggja ekki fyrir, þrátt fyrir aðskilin hringrásarkerfi. Áætluð orkunotkun á fyrra árabílinu er að líkindum nærri raunverulegri þörf til að mæta upphitun og vatnsskiptum.

Þegar tekið er mið af því að óskgildi hitastigs aðallauga Vesturbæjarlaugar og Grafarvogslaugar eru hin sömu, þ.e. 29°C verður að teljast líklegt að orkunotkun Vesturbæjarlaugar árin 1995-1999 hafi verið nær raunverulegri þörf en síðara tímabilið og sé hún nálægt því að vera 35 GJ/(m²*ár). Orkuþörf potta reiknast hinsvegar mun

Tafla 5: Í töflu 5 kemur fram meðal árleg orkunotkun potta og lauga Grafarvogslaugar á árabílinu 2005-2008, en eins og gildir um Vesturbæjarlaug eru gildin lítið dreifð innan tímabilsins. Áætluð orkunotkun Grafarvogslaugar á árabílinu 2005-2008.

Útreiknuð orkunotkun í Grafarvogslaug		
	T [°C]	2005-2008 [GJ/(m ² *ár)]
Aðallaug	29	33
Vaðlaug	37	68
Leiklaug / Rennibraut	32	40
Nuddpottur	37	89
Pottur 1	41	107
Pottur 2	43	118
Innilaug	32,5	41

hærri í Grafarvogslaug á milli þessara tveggja tímabila, en það kann m.a. að stafa af því að sama skölunarstuðli er beitt á allar laugar og potta sama sundstaðar.

Í Jarðvarmaspá 2003-2030 eru sett fram áætluð meðalgildi orkunotkunar sundlauga og potta. Þar er orkunotkun útisundlauga yfir árið metin heldur hærri en áætluð notkun aðallauga Vesturbæjarlaugar og Grafarvogslaugar að ofan, sem kann m.a. að skýrast að nokkru af því að barnalaugar eru inni í matinu, en vatnshitastig þeirra er hærri en hitastig sundlauga og orkuþörf því meiri. Jarðvarmaspáin byggir hinsvegar á mun stærra úrtaki en gert er að ofan og því er einnig mögulegt að orkunotkun Vesturbæjar- og Grafarvogslaugar sé með besta móti. Í Jarðvarmaspá er áætluð orkuþörf potta metin sem 76,2 GJ/(m²·ár) sem er svipað og útreiknuð gildi fyrir Vesturbæjarlaug á árabílinu 1995-1999, en mun lægra en reiknuð gildi fyrir Vesturbæjarlaug og Grafarvogslaug á árabílinu 2005-2008. Orkuþörf útisundlauga er hinsvegar metin 39,6 GJ/(m²·ár), en heitavatnsþörf þeirra er mjög ráðandi í heildarheitavatnsþörf sundstaða vegna mikils yfirborðsflatarmáls í samanburði við potta.

Samkvæmt gagnagrunni Orkustofnunar voru starfræktir 163 sundstaðir á landinu árið 2009 með alls 196 laugum og koma þar m.a. fram byggingarár, stærð lauga, orkugjafar og gerð sundlaugarkerfa. Heildaryfirborðsflatarmál lauganna nam 37.565 m² og þar af var flatarmál jarðhitalauga 33.943 m² sem jafngildir 90% af heildinni. Jarðhitinn er því ríkjandi orkugjafi, en flatarmál raforkukynnta lauga nam um 8% af heildinni og flatarmál olíu- og sorpkynnta lauga um 2%. Af jarðhitalaugum voru 25.463 m² undir beru lofti, þ.e. um 75% (sjá mynd 8).

Af 163 sundstöðum á landinu höfðu 21 fleiri en eina laug. Alls voru starfræktir 134 jarðhitasundstaðir með 164 laugum. Jarðhitasundstaðir með útilaugar voru 102, en innilaugar voru á 32 stöðum. Jarðhitalaugar sem flokkuðust sem almenningslaugar voru 108, en 26 laugar flokkuðust sem einkalaugar.

Heildarorkunotkun sundlauga á landinu var metin út frá upplýsingum um yfirborðsflatarmál lauga og gildum í töflu 6 sem byggja á gögnum um vatnsnotkun 13 lauga á árabílinu 1982-1994 og áætlaðri vatnsnotkun 5 lauga ÍTR árið 2003. Ekki er við því að búast að meðalorkunotkun sundlauga breytist mikið á milli ára, þó mögulegt sé að fullkomin stýrikerfi nýrra lauga bæti orkunýtingu að einhverju marki. Þar sem upplýsingar um yfirborðsflatarmál potta og grunnra vaðlauga/setlauga liggja ekki fyrir var gert ráð fyrir að orkunotkun slíkra potta/lauga næmi um 10% af notkun stærri lauga á grundvelli áætlaðrar hlutfallslegrar orkunotkunar potta og lauga Vesturbæjarlaugar og Grafarvogslaugar og með hliðsjón af Jarðvarmaspá 2003-2030. Gert var ráð fyrir að orkunotkun vegna baðvatns næmi einnig 10% af orkunotkun stærri lauga og var þar stuðst við Jarðvarmaspá sem byggir á fyrri úttektum. Mat á orkunotkun úr baðvatni er að nokkru leyti huglægt eins og fram kemur í kaflanum um húsnotkun og neysluvatn að framan.

Tafla 6: Forsendur um orkunotkun sundlauga (Orkuspárnefnd, 2003).

Notkun	Útilaug	Innilaug
Hitun sundlaugar	39,6 GJ/ m ² á ári	19,8 GJ/ m ² á ári
Hitun á heitum potti	76,2 GJ/ m ² á ári	76,2 GJ/ m ² á ári
Baðvatn	23,4 MJ/gest	23,4 MJ/gest

Tafla 7: Áætluð orkunotkun sundlauga árið 2008.

Orkunotkun (PJ)	
Útilaugar	1,01
Innilaugar	0,17
Pottar	0,12
Baðvatn	0,12
Samtals	1,42

Orkunotkun sundlauga árið 2008 er áætluð um 1,4 PJ eins og fram kemur í töflu 7, en þá er ótalin notkun náttúrulauga.

Með árunum hefur færst í vöxt að hitaveitur séu lagðar í sumarhúsabyggðir og hefur það í mörgum tilvikum gert fólki mögulegt að nota húsin árið um kring. Um leið hefur pottanotkun aukist og má heita að varla sé byggður sumarbústaður á jarðhitasvæðum í dag án þess að með fylgi pottur. Það er því nokkurs vert að kanna stærðargráðu slíkrar notkunar og hvort hún breyti ofangreindu mati.

Á vef Þjóðskrár Íslands má finna upplýsingar um fjölda sumarhúsa eftir árum og landshlutum (tafla 8). Mjög takmarkaðar upplýsingar liggja fyrir um hlutfall húsa með potta á einstökum svæðum, sem og nýtingu potta þar sem þeir eru til staðar. Til að áætla stærðargráðu orkunotkunar er þó gert ráð fyrir að 10% húsa á Norðurlandi séu með potta, 50% húsa á Suðurlandi, en notkunin sé hverfandi á Austurlandi. Má ætla að hér sé um varfærið mat að ræða. Samkvæmt upplýsingum íslensks pottaframleiðanda tekur meðalpottur um 1300 lítra og er sú tala notuð til að áætla heildarrúmmál potta í hverjum landshluta. Notkun mun vera mjög misjöfn eftir aðstæðum. Þannig má gera ráð fyrir sírennsli þar sem selt er eftir hemlum og þar sem bakrennsli er nýtt, en annars staðar eru pottar fylltir fyrir hverja notkun og tæmdir að notkun lokinni. Hér er gert ráð fyrir að pottar séu að meðaltali notaðir einu sinni á tveggja vikna fresti, þ.e. 26 sinnum yfir árið, notkunarhitastig sé 40°C og jarðhitavatnið sé blandað með 5°C heitu lindarvatni. Miðað er við að orka heita vatnsins nýtist niður í 15°C.

Miðað við ofangreindar forsendur má ætla að orkunotkun til hitunar potta við sumarhús hafi vart verið undir 12,5 TJ árið 2008 (sjá töflu 9), sem er tæplega 1% af áætlaðri orkunotkun sundlauga. Þar sem einungis er tekið tillit til þeirra húsa sem flokkuð eru

Tafla 8: Fjöldi sumarhúsa árið 2008 eftir landshlutum. Tekið af vef Þjóðskrár.

Ár	Fjöldi				
	Norðurland vestra	Norðurland eystra	Austurland	Suðurland	Samtals
2008	374	801	396	5.783	11.454

Tafla 9: Áætluð jarðhitanothitun til hitunar potta við sumarhús árið 2008.

	Fjöldi húsa	Áætlað pottahlutfall	Heildarrúmmál (m ³)	Áætluð orkunotkun (TJ)
Norðurland Vestra	374	0,1	49	0,2
Norðurland Eystra	801	0,1	104	0,3
Austurland	396	0,0		
Suðurland	5.783	0,5	3.759	12,0
Samtals	7.354		3.912	12,5

sérstaklega eftir landshlutum að ofan, en heildarfjöldi húsa á landinu nokkuð hærri en samtal þessara húsa, er notkun líklega meiri. Stærðargráðan bendir þó til þess að skurfur pottanotkunar við sumarhús í heildarnotkun sundlauga og potta á landinu sé lítill.

8.4 Tillögur og ábendingar

Líkt og gildir um annað mat á notkun jarðhita er mat á orkunotkun sundlauga töluvert gróft og óvissa því nokkur. Erfitt er hinsvegar um vik að minnka hana nema ráðist sé í umfangsmikla gagnasöfnun og greiningu sem kann að krefjast töluverðrar fyrirhafnar og fjármuna. Þættir sem má bæta eru:

- Upplýsingar um yfirborðsflatarmál lauga. Orkustofnun býr þegar yfir ágætum upplýsingum um flatarmál stærstu lauga, en hinsvegar er upplýsingum um flatarmál potta og grunnra vaðlauga nokkuð ábótavant. Úr þessu má bæta að stórum hluta með myndgreiningu loftmynda með forritum á borð við ImageJ, en slíkt er töluvert tímafrekt. Innilaugar og pottar verða þó ekki greind á þennan hátt og verður í þeim tilvikum að hafa beint samband við forráðamenn lauga eða byggingafulltrúa á hverjum stað, eða jafnvel að fara á staðinn og mæla. Ekki er þó líklegt að flatarmál innilauga sé stórlega vanmetið þar sem stærstur hluti þeirra eru skólalaugar sem þegar eru þekktar, en pottar og vaðlaugar eru sjaldnast innandyra, þó dæmi finnist um slíkt.
- Upplýsingar um vatnshitastig. Hitastig lauga og potta hefur töluverð áhrif á orkuþörf þar sem orkutap til umhverfis með leiðingu, varmaburði, uppgufun og geislun eykst með hækkandi vatnshitastigi. Þar sem formúlur (13) og (16) virðast ágætur grundvöllur til mats á orkuþörf, og þar með orkunotkun, er nokkurs virði að safna upplýsingum um hitastig hverrar laugar/potts ásamt upplýsingum um flatarmál. Þá má áætla orkuþörf eftir hitastigi og bæta heildarmat. Þó er rétt að hafa í huga að veðuraðstæður hafa einnig mikil áhrif og því getur orkuþörf lauga með sama vatnshitastig verið mismunandi á ólíkum stöðum á landinu fyrir hverja flatarmálseiningu. Einnig má benda á að hitastig vatnsins við yfirborð kann að vera lægra en meðalhitastig vatnsmassans, sér í lagi þegar gestafjöldi er lítill og blöndun minni en ella, og því mögulegt að óskgildi vatnshitastigs sé ofmat á yfirborðshitastiginu.
- Mat á orkuþörf m.t.t. hitastigs. Ef aðgreinanlegar upplýsingar um heitavatnsnotkun einstakra lauga og potta eru aðgengilegar eru þær bestu grundvöllur til mats á orkunotkun m.t.t. vatnshitastigs. Í flestum tilvikum er þó ekki um sérstaka mæla að ræða fyrir hverja rás og því virðast jöfnur (13) og (16) einn skásti kostur við að meta þörfina. Eins og greint er frá að framan þarf þó að gera ráð fyrir áhrifum leiðni, geislunar, blöndunar og ruðnings, en það má gera með því að hliðra eða skala til áætlaða orkuþörf vegna varmaburðar og uppgufunar, þ.e. útkomu úr jöfnum (13) og (16). Hér er rétt að hafa í huga að áhrif blöndunar og ruðnings geta verið nokkuð misjöfn á milli lauga. Gera má ráð fyrir því að þar sem stýringar eru góðar og starfsmenn vökulir sé orkunotkun litlu meiri en þörfin til að mæta varmatapi vegna varmaburðar, uppgufunar, geislunar, leiðni og vatnsskipta í samræmi við reglugerð. Þar sem stýringar eru grófar kann nýting heita vatnsins hinsvegar að vera verri og því tapist orka með óþarflega mikilli blöndun kalds vatns í lokuð kerfi, vanstilltu rennsli í gegnum

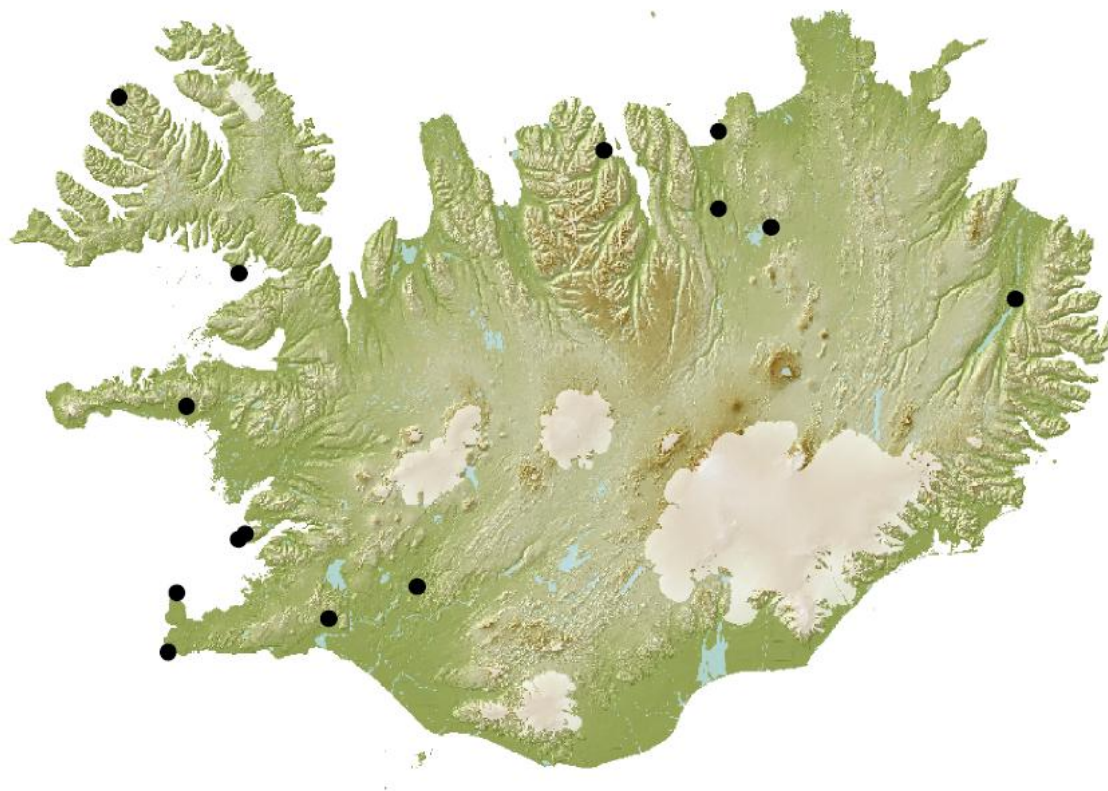
heita hlið varmaskipta eða fullmiklu rennsli heits vatns í gegnum opin kerfi. Einnig finnast dæmi þess að köldu vatni sé blandað í opin kerfi til að viðhalda tærleika vatns og kallar það á aukna heitavatnsnotkun. Því er mikilvægt að notast við nægilega stórt og dreift úrtak þegar meðalorkunotkun m.t.t. hitastigs er metin.

Orkunotkun sundlauga er metin út frá flatarmáli þar sem notkunartölur liggja ekki fyrir um mikinn fjölda lauga eða að húsnotkun og sundlaugarnotkun eru mældar saman og því erfitt að greina á milli. Þar sem aflestrar af mælum liggja fyrir hjá sundlaugum og laugarnotkun er aðgreinanleg frá húshitun er hinsvegar heppilegast að notast beint við aflestrana auk upplýsinga um vatnshitastig þar sem um gegnumstreymislaugar er að ræða og upplýsingar um hitastigsbreytingar yfir varmaskipta í tilfelli hringrásarlauga til að meta orkunotkun.

9 JARÐHITANOTKUN Í IÐNAÐI

Jarðhitanotkun í iðnaði hófst af alvöru með tilkomu Kísiliðjunnar við Mývatn sem var stofnuð árið 1966 og hóf starfsemi tveimur árum síðar. Þar var gufa notuð við vinnslu kísilgúrs og var fyrirtækið langstærsti staki notandi jarðhita til iðnaðarframleiðslu á landinu allt þar til starfsemin var lögð niður árið 2004 þegar notkunin nam 35-40% af heildarnotkun í iðnaði. Í dag er Þörungaverksmiðjan á Reykhólum stærsti iðnaðar-notandi jarðhita, en hún nýtir um 112°C heitt vatn úr þremur holum nærri verksmiðjunni. Verksmiðjan var stofnuð árið 1986, en forveri hennar, Þörungavinnslan, hóf hinsvegar starfsemi árið 1975. Jarðhiti er nýttur að töluverðu marki við þurrkun fiskhausa og annarra fiskhluta sem seldir eru úr landi, m.a. til Nígeríu (skreið) og Noregs (lútfiskur). Þurrkunin fór að mestu fram utandyr áður fyrr, en hefur í auknum mæli færst í upphitað skjól innandyr og jafnvel í gáma. Við það verður þurrkun hraðari og gæði vörunnar meiri. Jarðhiti er einnig notaður við iðnaðarstarfsemi á borð við þurrkun á steypueiningum og límtré. Léttsteypa við Bjarnarflag tók til starfa árið 1963 og nýtti þá gufu úr fyrstu borholum á svæðinu. Í dag nýtir fyrirtækið 180°C mettaða gufu við framleiðsluna sem kemur frá holum 11, 12 og 13. Einnig hafa aðrar húseiningaverksmiðjur á landinu nýtt jarðhita til að skapa kjöraðstæður fyrir þroskun steypu. Á mynd 17 má sjá staðsetningu nokkurra iðnfyrirtækja sem nýttu jarðhita árið 2008.

Segja má að bein nýting jarðhitans í iðnaði sé fyrst og fremst til þurrkunar, hvort sem er á þörungum, fiski, steypu, timbri, eða öðru, en einnig má nefna ullarþvott og brauðbakstur. Þá er ótalin raforkunotkun frá jarðvarmavirkjunum sem að stærstum hluta er nýtt til iðnaðar. Að auki má nefna óbeina nýtingu á borð við koldíoxíðframleiðslu úr jarðhitaholum á Hæðarenda í Grímsnesi, húðvöruframleiðslu Bláa lónsins og saltframleiðslu úr jarðhitasjó á Reykjanesi, sem reyndar er aflögð fyrir nokkru.



Mynd 17: Iðnaðarnotkun með jarðhita á Íslandi árið 2008.

9.1 Matsaðferð og gagnasöfnun

Orkustofnun bærust upplýsingar um sölu 10 sérleyfisveitna til iðnaðarnotenda árið 2008 á eyðublaðum sem send eru út til veitna og í gegnum sölukerfi Vigor Orku. Er það tæplega helmingur þeirra 22 sérleyfisveitna sem á landinu starfa. Þar sem margar smærri veitur eru fyrst og fremst húshitunarveitur er ekki við því að búast að upplýsingar um sölu til iðnaðarnotenda berist frá þeim, en hinsvegar eru nokkrar veitur þar sem búast má við að iðnaðarnotkun sé einhver sem ekki gefa upp sölu til þessa notkunarflokks. Hitaveita Hveragerðis, sem er undirveita Orkuveitu Reykjavíkur, er þar sér á báti. Þar er iðnaðarnotkun nokkur, s.s. til ullarþvottar, brauðbaksturs, ísgerðar o.fl., en líkt og gildir um aðra notkun í bænum sem ekki fer í gegnum varmaskiptastöð er enginn búnaður til staðar til mælingar á gufunotkun.

Vegna mögulegs skorts á upplýsingum frá nokkrum sérleyfisveitum og þess möguleika að iðnfyrirtæki notist við eigin holur, líkt og raunin er hjá Þörungaverksmiðjunni, var haft beint samband við fiskþurrkunarfyrirtæki sem vitað er að eiga stóran hlut í jarðhitanotkun í iðnaði, og forsvarsmenn inntir eftir notkun. Í þeim tilvikum sem fyrirtæki starfrækja eigin holur er óalgengt að magn sé mælt nákvæmlega, en helst að treysta á þekkingu aðila sem gjörþekkja rekstur stöðvanna þó líklegt sé að einhver skekkja geti verið í tölum.

Orkunotkun var metin út frá uppgefnum magntölum frá veitum eða notendum, uppgefnu framrásarhitastigi og gert ráð fyrir að bakrásarhitastig væri að jafnaði 35°C eins og fordæmi eru fyrir frá því að útgáfa töflu 5 hófst í Orkumálum árið 1994.

9.2 Úrvinnsla og niðurstöður

Haft var beint samband við 16 fyrirtæki sem líkleg þóttu til að nýta jarðhita að einhverju ráði í sinni starfsemi. Megnið af þeim voru fyrirtæki sem stunduðu fiskþurrkun, en einnig var haft samband við mjölvinnslur, Þörungaverksmiðjuna á Reykhólum og ÍSAGA á Hæðarenda í Grímsnesi. Alls reyndist notkun iðnfyrirtækja á eigin holum nema um 350 TJ, en þar af á Þörungaverksmiðjan um 70%. Sala sérleyfisveitna til iðnfyrirtækja reyndist hinsvegar nema um 410 TJ og því ljóst að umtalsverður hluti jarðhitanotkunar iðnfyrirtækja á rætur að rekja til eigin holna.

Þar sem mögulegt er að sala til iðnaðarnotkunar hafi ekki skilað sér eins og vera skyldi frá öllum sérleyfisveitum er líklegt að heldur sé um vanmat að ræða og er heildarnotkun til iðnaðar því áætluð um 800 TJ yfir landið. Ekki er tekið tillit til óbeinnar notkunar við koldíoxíðvinnslu ÍSAGA á Hæðarenda í því mati þar sem orkan er ekki notuð við framleiðsluna, en er hinsvegar nýtt til húshitunar á svæðinu í kring. Samkvæmt fyrirliggjandi upplýsingum má ætla að sú orka sem losnar úr læðingi við vinnsluna nemi 150-200 TJ á ári.

9.3 Tillögur og ábendingar

Mun erfiðara er að hafa uppi á aðilum sem nýta jarðhita til iðnframleiðslu en notendum sem falla í aðra flokka, s.s. fiskeldi og ylrækt. Kemur það til af því að í síðara tilvikinu má nálgast lista yfir fyrirtæki í greinunum frá aðilum sem hafa yfirsýn yfir viðkomandi grein, þ.e. Fiskistofu og Landssamband fiskeldisstöðva í tilviki fiskeldis og

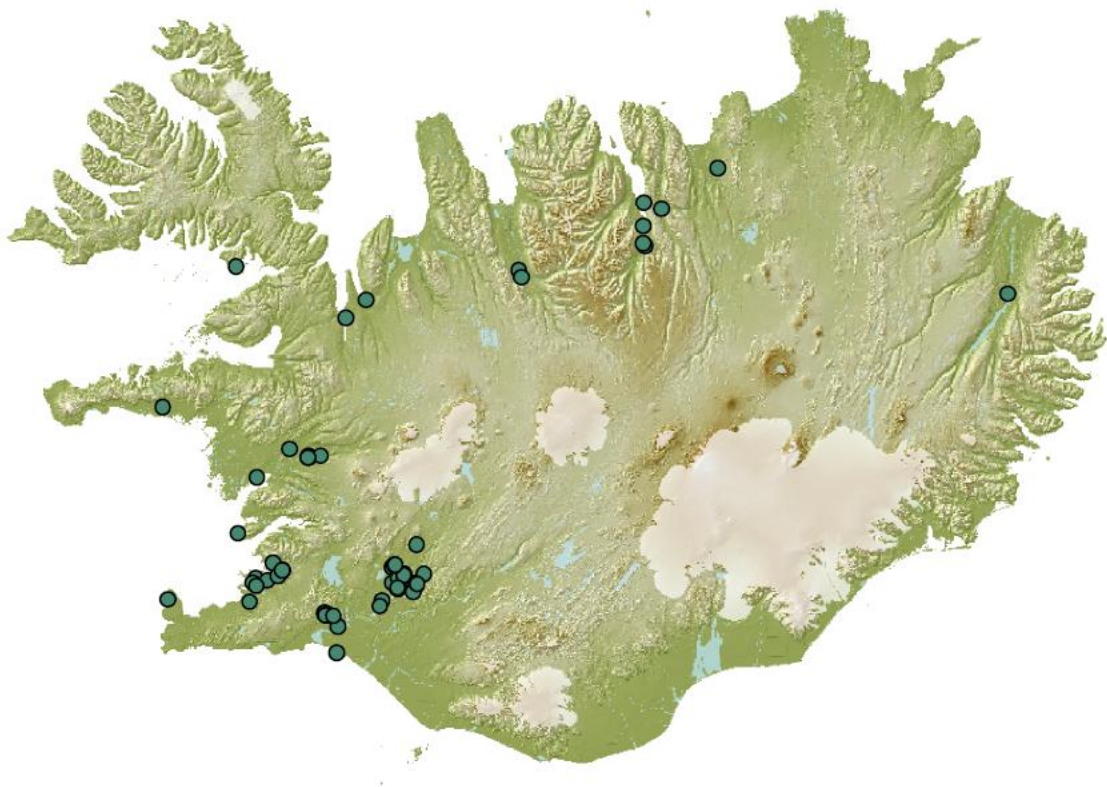
Bændasamtökin í tilviki ylræktar. Að auki er jarðhitanothkun mjög útbreidd í báðum þessum geirum og fjöldi fyrirtækja nægilega lítill til að greina þau frá sem ekki nýta jarðhita. Slíkir listar liggja hinsvegar ekki fyrir um iðnfyrirtæki. Þá er helst að reiða sig á að rennslismælar séu rétt flokkaðir hjá veitum og gögnin sem frá þeim berast séu áreiðanleg. Nú stendur yfir vinna hjá Orkustofnun við að yfirfara mælanotkun samkvæmt flokkunarkerfi stofnunarinnar eins og lýst er að framan og því við því að búast að óvissa minnki um sölu nokkurra veitna til iðnaðar á komandi ári. Þá standa hinsvegar eftir þau iðnfyrirtæki sem starfrækja eigin holur. Víst er að þau helstu eru þegar þekkt, en mögulegt er að stofnuninni sé ekki kunnugt um einhver smærri fyrirtæki. Mestar líkur eru á að hafa uppi á þeim með því að starfsmenn haldi uppi vökulu auga, fylgist með fréttum og punkti niður hjá sér upplýsingar sem koma að gagni við betrubætur matsins. Með nægum vilja mætti einnig grennslast fyrir um niðurbrot notkunar allra einkaholna á landinu, en slíkt átak krefðist hinsvegar töluverðs tíma og fyrirhafnar.

10 JARÐHITANOTKUN Í YLRÆKT

Árið 1878 voru gerðar árangursríkar tilraunir með kartöflurækt í upphituðum jarðvegi á Hveravöllum sem leiddu með tímanum til umfangsmikillar kartöflu- og grænmetisræktar á svæðinu. Sú þróun varð til þess að bændur og fjárfestar í nágrenninu stofnuðu hlutafélag um ræktunina árið 1904 undir nafninu Garðræktarfélag Reykhverfinga og keypti félagið landið við helstu hverina og réttinn til að nýta vatnið úr þeim. Úr þessu varð Hveravallabýlið til árið 1920. Fyrsta árangursríka tilraunin til húshitunar var gerð árið 1924 með gufu úr Strokki og árið 1933 var fyrsta gróðurhúsið sem hitað var upp með jarðhita byggt (Lúðvík S. Georgsson o.fl., 2005). Á mynd 18 má sjá hvar gróðurhús sem nýta jarðhita eru staðsett.

Á ofanverðri 19. öld var einnig hafist handa við jarðhitastudda kartöflurækt í Fnjóskadal, á Stóru-Tjörnum í Ljósavatnsskarði, í Borgarfirði, Mosfellssveit og Hveragerði (Sveinn Þórðarson, 1998). Þó áhugi hafi verið töluverður meðal Íslendinga á nýtingu jarðhitans við gróðurrækt, áttu íbúar af erlendu bergi einnig þátt í að koma auga á og mæra möguleika ylræktar. Árið 1908 ritaði Hulda Garborg grein í *Ísafold* sem byrjar á eftirfarandi orðum (Sveinn Þórðarson, 1998):

Þegar ég lá úti yndisfagra sumarnótt fyrir nokkrum árum við eina hinna undursamlegu lauga á Íslandi, og sá þar spretta allt í kring gras, villiblóm og jarðepli, líkt og í einhverjum Edens-garði, rann upp fyrir mér hugsun, sem ég hefi ekki getað slitið við mig síðan: Ísland getur orðið og á að verða hinn mikli aldingarður Norður-Evrópu.



Mynd 18: Gróðurhús á Íslandi sem nýta jarðhita árið 2008.

Þar með var tónninn sleginn fyrir hina miklu uppbyggingu ylræktar sem öldin átti eftir að sjá. Árið 1924 var reist gróðurhús til blóma- og grænmetisræktar við Þvottalaugarnar í Reykjavík og sama ár var reist upphitað gróðurhús á Reykjum í Mosfellssveit þar sem ræktuð voru blóm og tómatar. Árið 1932 komu fyrstu íslensku vínberin á markað og bananar árið 1944, en slíkt var einungis mögulegt fyrir tilstilli jarðhitans (Sveinn Þórðarson, 1998).

Garðyrkjuskólinn á Reykjum var stofnaður með lagafrumvarpi árið 1936 og varð hann til þess að efla ylrækt. Margir af fyrstu nemendum skólans settust í framhaldinu að í Hveragerði og áttu þátt í þeirri miklu uppbyggingu ylræktar sem þar varð um og upp úr síðari heimstyrjöldinni (Sveinn Þórðarson, 1998).

Á Flúðum voru garðyrkjubændur stofnaðilar að Hitaveitu Flúða ásamt Hrunamanna-hreppi árið 1967 og er þar nú mikil ylrækt.

10.1 Tilhögun

Í dag spannar ræktun í upphituðum gróðurhúsum vítt svið og eru grænmeti og ávextir, blóm til afskurðar og skreytinga, pottaplöntur, garð- og trjáplöntur, og krydd dæmi um afurðir ylræktar. Kjörhitastig plantna er misjafnt eftir tegundum. Sem dæmi krefst ræktun jólastjarna og græðlinga einungis um 10-15°C á meðan rósarækt krefst 20-25°C. Algengt er að hitastig á hverri tegund sé breytilegt yfir sólarhringinn og eru dæmi þess að tómötum sé haldið við 20-21°C á daginn, en við 15-16°C á nóttunni. Sólarhringnum er þannig skipt upp í undirtímabil í stýrikerfum gróðurhúsa sem hvert hefur sitt óskgildi. Á sumum stöðum er sólarhringssveiflan þó mun minni og hitastig jafnvel tiltölulega stöðugt árið um kring.

Helstu þættir sem hafa áhrif á varmatap gróðurhúsa eru útihitastig, vindhraði, efnisgerð og þéttleiki húsa, innihitastig, umfang lýsingar, uppsetning hitakerfa og gluggaopnun. Formúlu sem tekur tillit til þessara þátta má setja fram á eftirfarandi hátt (Canada Plan Service):

$$Q = \left[\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{R_i} \right] f_v f_b f_{hk} (T_i - T_u) \quad (23)$$

þar sem tákn hafa eftirfarandi merkingu:

Q	= heildarvarmatap gróðurhúss (W);
A	= yfirborðsflatarmál jaðarluta i (m ²);
R	= varmaviðnám jaðarluta i (m ² °C/W);
f _v	= vindhraðastuðull;
f _b	= byggingarstuðull: tekur inn áhrif efnisgerðar, þéttleika og gæða byggingar;
f _{hk}	= hitakerfisstuðull: tekur inn áhrif gerðar, uppsetningar og stýringar hitakerfis;
T _i	= innihitastig (°C); og
T _u	= útihitastig (°C).

Að auki má bæta við stuðli sem tekur sérstaklega til gluggaopnunar. Bændasamtök Íslands notast við svipaða formúlu þar sem stuðlarnir að ofan hafa verið dregnir saman og gert ráð fyrir einsleitu varmaviðnámi yfir jaðarflöt húsa:

$$Q = Ak(T_i - T_u) \quad (24)$$

Hér er A ofanvarpsflötur og k stuðull háður þekjuefni og vindhraða:

$$k = 4,73 \frac{W}{m^2 K} + \left(0,546 \frac{J}{m^3 K}\right) v \quad (25)$$

þar sem v = vindhraði (m/s).

Þegar litið er til uppgefina gilda fyrir vindhraðastuðul og byggingarstuðul í jöfnu (23) má búast við hátt í 50% meiri varmaþörf við verstu aðstæður en þær bestu. Þar sem misjafnlega háttar til með innihitastig, útihitastig, vindhraða, skjól og gerð húsa eftir stöðum er breytileiki í orkuþörf mikill og því nauðsynlegt að mat á meðaltalsstuðli á borð við k byggist á stóru úrtaki.

Til að halda uppi hitastigi í gróðurhúsum er jarðhitavökvi yfirleitt leiddur um rörakerfi í húsunum. Algengast er í Hveragerði að lagnir séu settar upp þannig að gufa sé tekin inn ofarlega og leidd í spirál með veggjum niður að gólfi, þaðan sem lögnunum er beint til lofts, en þar er talið að um 2,3 lengdarmetra þurfi til að hita upp hvern fermetra gróðurhúss. Algengt er að gólfkerfi séu aðskilin vegg- og loftkerfum, þó slíkt sé alls ekki algilt, enda finnast dæmi þess á Flúðum að afrennsli frá gólfi renni til veggja.

Í Hveragerði er notast við gegnumstreymiskerfi, enda býður gufa vart upp á annað, en á Flúðum eru bæði gegnumstreymis- og hringrásarkerfi. Í þeim síðarnefndu er vökvanum hringrásað með dælum og fullheitu vatni blætt inn á eftir þörfum. Hringrásarkerfi bjóða upp á betri nýtingu á vökvanum en gegnumstreymiskerfi.

Þvermál röra er misjafnt eftir notendum. Algengt virðist hafa verið að nota 2,5“ rör með mikilli veggþykkt í Hveragerði áður fyrr, en í seinni tíð hafa 1,25“ rör verið vinsæl. Frá því snemma á 9. áratug síðustu aldar hefur 2mm veggþykkt mikið verið notuð, enda ekki þörf á meiru á meðan tæringarhætta er lítil. Ekki er þó hægt að fullyrða um neina reglu í röravali, enda þekkjast dæmi þess að gróðurbændur kjósi allt niður í 0,5“ rör vegna skjótari svörunar kerfanna þegar skerpa þarf á í miklum kuldu.

Mikil framför hefur orðið í stýringum frá því sem áður var og hafa margar stærri ylræktarstöðvar yfir fullkomnum stýribúnaði að ráða. Skynjarar nema hitastig, rakastig og koldíoxíðstyrk víðsvegar í gróðurhúsum og koma upplýsingunum áleiðis til iðntölva sem sjá um að stilla loka, opna glugga og stilla lýsingu þ.a. aðstæður séu sem næst óskgildum á hverjum tíma sólarhringsins. Fullkomnustu kerfin fylgjast einnig með ytri aðstæðum á borð við útihitastig og vindhraða og eru upplýsingar skráðar til varðveislu í kerfunum. Enn láta þó margir smærri aðilar hefðbundna hitastilla duga til að stýra rennsli og í einhverjum tilvikum er um handstýringar að ræða.

Víðast hvar er einfalt gler í hjúpi gróðurhúsa, en einnig er nokkuð um plasthús. Algengt er að glerplötur séu skaraðar og myndast þar glufur sem blæs inn um í roki með tilheyrandi aukningu á hitunarþörf. Plasthús eru mun minni mannvirki en glerhús, enda fer Þjóðskrá ekki fram á skráningu þeirra.

Lýsing í gróðurhúsum hefur aukist stórlega frá því um 1990, sem hefur haft þau áhrif að jarðhitanotkun í greininni hefur dregist nokkuð saman. Orsakast það annars vegar af því að mikill varmi stafar frá ljósum sem nýtist að einhverju marki til að hita upp húsin, en einnig hefur aukin framleiðni vegna hraðari vaxtar og lengri ræktunartíma yfir árið leitt til samdráttar í flatarmáli (Björn Gunnlaugsson og Magnús Á. Ágústsson, 2001). Stór hluti gróðurhúsalampa hér á landi er framleiddur af fyrirtækinu Gavita og mun nýting þeirra vera um 38-40% samkvæmt upplýsingum umboðsmanns. Því fara um 60% afls í beina hitamyndun, en til samanburðar er bein hitamyndun hefðbundinna glóðarpera í kringum 90%. Ekki er ljóst hversu stór hluti lýsingarvarma nýtist þar sem lampar eru staðsettir nærri þaki gróðurhúsa og hugsanlegt að þó nokkur hluti tapist beint út um þak húsanna. Til að nýta þennan varma betur hafa m.a. verið settar fram hugmyndir um að leggja 4-5“ plaströr ofan við lampa til að safna frá þeim varma og bera niður að gólfi, en einnig þekkist að nota víftur til að dreifa varmanum um húsin. Í einhverjum tilvikum eru lampar beinlínis notaðir í þeim tilgangi að halda uppi hitastigi í húsum að næturlagi í frosti og næðingi þar sem hitunarkerfi duga ekki til. Nýverið hafa staðið yfir tilraunir með notkun díóðulampa eða ljóstvista í gróðurhúsum, en nýtni þeirra er mun betri en nýtni þeirra lampa sem hingað til hafa verið í notkun

Lýsing gerir bændum kleyft að stunda ræktun nánast allt árið, en þar sem hennar nýtur ekki við er algengt að ræktun leggist af yfir háveturinn, þ.e. frá nóvember til janúar. Yfir það tímabil er einungis leitast við halda megninu af húsum frostfríum og er hitastig e.t.v. á bilinu 6-8°C. Hluta húsa kann þó að vera haldið á herra hitastigi þar sem sáning fer gjarnan fram í desember. Ræktun hefst síðan að fullum krafti á ný í kringum febrúar og eykst hitunarþörf þá mikið. Nýting húsa og orkunotkun yfir árið er því nokkuð misjöfn á milli ræktenda.

Takmarkaðar upplýsingar liggja fyrir um bakrásarhitastig frá gróðurhúsum, enda víðast hvar ekki mælt. Þó má gera ráð fyrir að það sé nokkuð breytilegt eftir stöðum og árstíma. Í Hveragerði tíðkaðist áður fyrr að lagnir í húsum væru mun styttri en er í dag og var bakrennslshitastig mjög hátt í mörgum tilvikum, jafnvel við suðumark. Þar sem frárennslislagnir fóru illa við þessar aðstæður stóð Hitaveita Hveragerðis fyrir átaki til að lækka bakrásarhitastig á 10. áratugnum og er nú lagt bann við því að hleypa bakrásarvatni heitara en 45°C út í frárennsliskerfið. Gera má ráð fyrir að nýting hafi við þetta batnað til muna. Á sumrin er upphitunarþörf alla jafna lítil og hitastig bakrásarvatns þá svipað hitastigi gróðurhúsa ef gegnumstreymi er á annað borð eitthvað. Í kuldaköstum getur bakrásarhitastig hinsvegar farið upp í 50-60°C vegna aukins gegnumstreymis, jafnvel í Hveragerði. Á Flúðum þekkist dæmi þess að bakrás frá gólflagnakerfi sé um 50°C að jafnaði þar sem rótarhitastig plantna má ekki vera lægra. Líklega er þó algengast að bakrásarhitastig sé á bilinu 30-40°C að jafnaði.

10.2 Matsaðferð og gagnasöfnun

Haft var samband við Bændasamtökin og fenginn frá þeim listi yfir starfandi gróður-ræktarstöðvar á landinu þar sem meðal annars kemur fram flatarmál gróðurhúsa, en það hefur lengi verið notað sem mælikvarði á upphitunarþörf. Árið 2008 var heildarflatarmál gróðurhúsa sem hituð eru með jarðhita um 192.000 m² og þar af voru um 33% flatarmáls í nágrenni Selfoss, 20% við Flúðir og 15% í Hveragerði. Þar sem auðvelt var að nálgast gögn um sölu Hitaveitu Flúða til garðyrkjubænda var sú leið farin að nota gróðurhús á Flúðum sem úrtak til að meta meðalorkunotkun gróðurhúsa til upphitunar á flatarmálseiningu.

Hjá hitaveitunni fengust upplýsingar um heitavatnssölu til 17 garðyrkjubænda á Flúðum frá byrjun árs 2008 til október 2009. Af þeim voru 9 valdir sem úrtak þar sem flatarmál gróðurhúsa þeirra var þekkt og upplýsingar lágu fyrir um rafmagnsnotkun. Samtals stóðu þessir 9 aðilar fyrir um 16% af flatarmáli gróðurhúsa á landinu. Voru upplýsingar um jarðhitanothun bornar saman við uppgefið flatarmál gróðurhúsa og raforkunotkun samkvæmt gögnum Orkustofnunar. Markmiðið var að greina jarðhitanothun bænda sem nota lýsingu sérstaklega, m.a. til að skýra hversu mikinn þátt hún á í upphitun gróðurhúsa. Upplýsingar Bændasamtakanna um skiptingu milli lýstra og ólýstra gróðurhúsa skyldu síðan notaðar til þess að meta heildarorkunotkun gróðurhúsa til upphitunar yfir landið.

Haft var samband við alla aðila sem til skoðunar voru og þeir spurðir um heitavatnsnotkun, almennar aðstæður og tilhögun ræktar. Þar sem nákvæm vitneskja um bakrásarhitastig er almennt lítil var miðað við 35°C eins og gert var á meðan orkunotkun var birt í töflu 5 í Orkumálum. Það viðmið samræmist einnig vel Jarðvarmaspá 2003-2030 sem gerir ráð fyrir að bakrásarhitastig frá gróðurhúsum liggi á bilinu 30-40°C. Gert var ráð fyrir að framrásarhitastig til notenda hafi verið 95°C.

Að auki var haft samband við garðyrkjubændur í Hveragerði til að nálgast upplýsingar um tilhögun garðyrkjuræktar í bænum, sem notar fyrst og fremst gufu til upphitunar.

10.3 Úrvinnsla og niðurstöður

Af þeim 9 aðilum sem til skoðunar voru reyndust 5 nota lýsingu við ræktunina og stóðu þeir fyrir um 11% af heildarflatarmáli gróðurhúsa yfir landið. Þeir 4 aðilar sem í úrtakinu voru og ekki notuðu lýsingu stóðu því fyrir um 5% af heildarflatarmáli. Orkunotkun var reiknuð miðað við ofangreindar forsendur og eru niðurstöður sýndar í töflu 10.

Í örfáum tilvikum vantaði inn magntölu mánaðar í gögnum frá hitaveitunni, en þar sem notendur staðfestu að rekstur hafi gengið snurðulaust fyrir sig voru þeir brúaðir með hliðsjón af nærliggjandi mánuðum og sömu mánuðum aðliggjandi árs ef mögulegt var. Þar sem gögn veitunnar náðu einungis til fyrstu 10 mánaða ársins 2009 var heildarnotkun notanda i yfir árið áætluð samkvæmt eftirfarandi jöfnu:

$$E_{i,2009} \approx \frac{\sum_{j=1}^{10} E_{i,j,2009}}{\sum_{j=1}^{10} E_{i,j,2008}} \sum_{j=1}^{12} E_{i,j,2008} \quad (26)$$

Þegar horft er til þeirra 5 notenda sem nýttu sér lýsingu á því tímabili sem til skoðunar var kemur í ljós að notandi 5 var með langlægstu notkunina á flatarmálseiningu bæði árin. Svipað er uppi á teningnum hjá notanda 7 þegar horft er til þeirra sem ekki notuðu lýsingu. Skýring á lágrí notkun notanda 5 liggur ekki fyrir, enda eru ástæður til að ætla að notkun hans ætti að vera meiri en annarra. Notandi 7 er með mikið flatarmál undir plasti og liggur ræktunin niðri töluverðan hluta ársins. Bakrásarvatni frá glerhúsum er að einhverju leyti veitt í plasthúsin, sem eykur nýtingu vatns og því e.t.v. ekki rétt að miða við 35°C sem bakrásarhitastig í því tilviki.

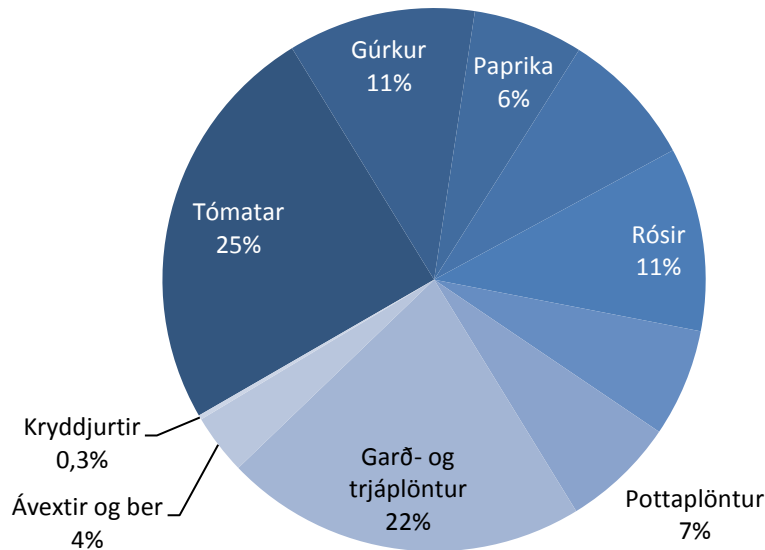
Gengið var út frá því að fyrirbyggjandi gögn og forsendur gæfu ekki rétta mynd af notkun notenda 5 og 7. Ef tekið er mið af öðrum notendum má því ætla að dæmigerð upphitunarþörf gróðurhúsa hafi verið:

- Með lýsingu: 3,67 GJ/m².
- Án lýsingar: 5,76 GJ/m².
- Meðaltal minnkaðs úrtaks: 3,91 GJ/m².

Matið er heldur hátt í samanburði við Jarðvarmaspá 2003-2030 og einnig þegar tölurnar eru bornar saman við heildarsölu til ylræktar á svæðinu. Niðurstaðan er sú að á grundvelli fyrirbyggjandi gagna og gefinna forsendna sé ekki unnt að greina notkunina sérstaklega eftir lýstum og ólýstum húsum. Eins og getið er að framan eru ótalmargir þættir sem hafa áhrif á orkuþörf gróðurhúsa til upphitunar aðrir en lýsing og því e.t.v. ekki rétt að einblína á hana sérstaklega.

Tafla 10: Jarðhitanoðkun gróðurhúsa á Flúðum til upphitunar.

Jarðhitanoðkun gróðurhúsa á Flúðum til upphitunar			
	Lýsing	2008 (GJ/m ²)	2009 (GJ/m ²)
Notandi 1	JÁ	3,46	3,44
Notandi 2	JÁ	4,51	4,63
Notandi 3	JÁ	3,17	4,27
Notandi 4	JÁ	3,53	3,12
Notandi 5	JÁ	0,72	1,64
Meðaltal		3,39	3,65
Meðaltal án notanda 5		3,67	3,86
Notandi 6	NEI	4,82	5,29
Notandi 7	NEI	1,94	1,66
Notandi 8	NEI	6,80	8,82
Notandi 9	NEI	5,69	4,76
Meðaltal		2,98	2,79
Meðaltal án notanda 7		5,76	5,80
Meðaltal úrtaks		3,27	3,38
Meðaltal úrtaks án notenda 5&7		3,91	4,08



Mynd 19: Skipting flatarmáls gróðurhúsa sem nýta jarðhita eftir framleiðsluvörum.

Að þessum niðurstöðum fengnum var því vikið frá markmiðinu um áætlun heitavatnsnotkunar eftir lýstum og ólýstum húsum, en þess í stað fundið einfalt meðaltal flatarmálsnotkunar gróðurhúsa á Flúðum óháð lýsingu. Áfram var gert ráð fyrir 95°C á framrás og 35°C að jafnaði á bakrás og heildarorkunotkun á Flúðum metin út frá uppgefinni heildarsölu til ylræktar. Orkunotkunin fyrir árið 2008 er þannig áætluð 139 TJ. Þessari tölu var dreift á uppgefið heildarflatarmál gróðurhúsa á svæðinu sem reyndist vera 38.100 m². Samkvæmt því nam meðalársvarmaþörf gróðurhúsa á Flúðum 3,65 GJ/m². Áætluð heildarnotkun gróðurhúsa metin út frá flatarmáli á landinu árið 2008 er því um 700 TJ. Á mynd 19 má sjá skiptingu flatarmáls gróðurhúsa sem nýta jarðhita eftir framleiðsluvörum.

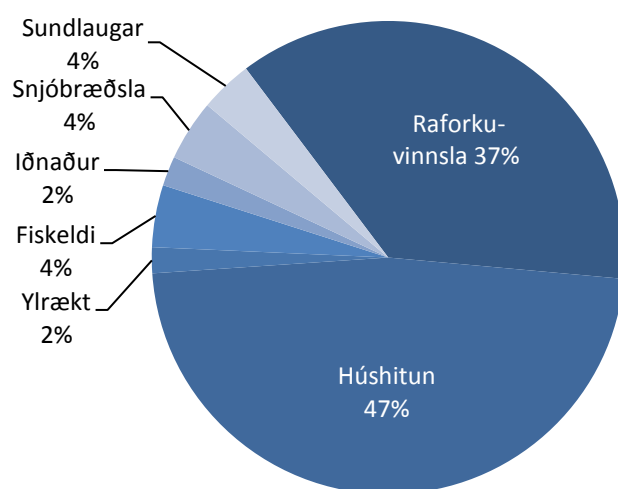
10.4 Tillögur og ábendingar

Af úttektinni er ljóst að mikil óvissa ríkir um jarðhitanotkun gróðurhúsa, enda virðist breytileiki vera mikill milli notenda. Til að minnka þá óvissu er hægt að ráðast í umfangsmikla úttekt sem m.a. tekur til bakrásarhitastigs, notkunartíma yfir árið, tilhögunar á notkun plasthúsa, ræktaðra tegunda, umfangs lýsingar og að hve miklu leyti varmi frá ljósum nýtist til upphitunar. Að auki er vert að horfa á áhrif veðurfars. Slík úttekt krefst að líkindum mikillar vinnu, vettvangsferða og mælinga, en ekki er gefið að slíkt svari tíma og kostnaði. Þá er rétt að benda á þann möguleika að nálgast gögn úr gagnabanka stýrikerfa gróðurhúsa í því skyni að fá betri mynd af orkunotkun og jafnvel smíða líkön. Þar má t.d. benda á gróðurhús ORF Líftækni þar sem stýrikerfi fylgist með útihitastigi, vindhraða, innihitastigi, hitastigi á heitavatnslögnum, rakastigi, koldí-oxíðstyrk o.fl. Þar kann veðurfar þó að vera annað og hafa meiri áhrif en víða annars staðar, en vert er að hafa í huga að uppgræðsla skjólgarða umhverfis gróðurhús hefur færst í vöxt í seinni tíð á Suðurlandi og við það hafa áhrif vinds farið minnkandi. Ef gögn fást frá nokkrum slíkum gróðurhúsum á ólíkum stöðum á landinu er líklegt að bæta megi mat á heildarorkunotkun til upphitunar gróðurhúsa.

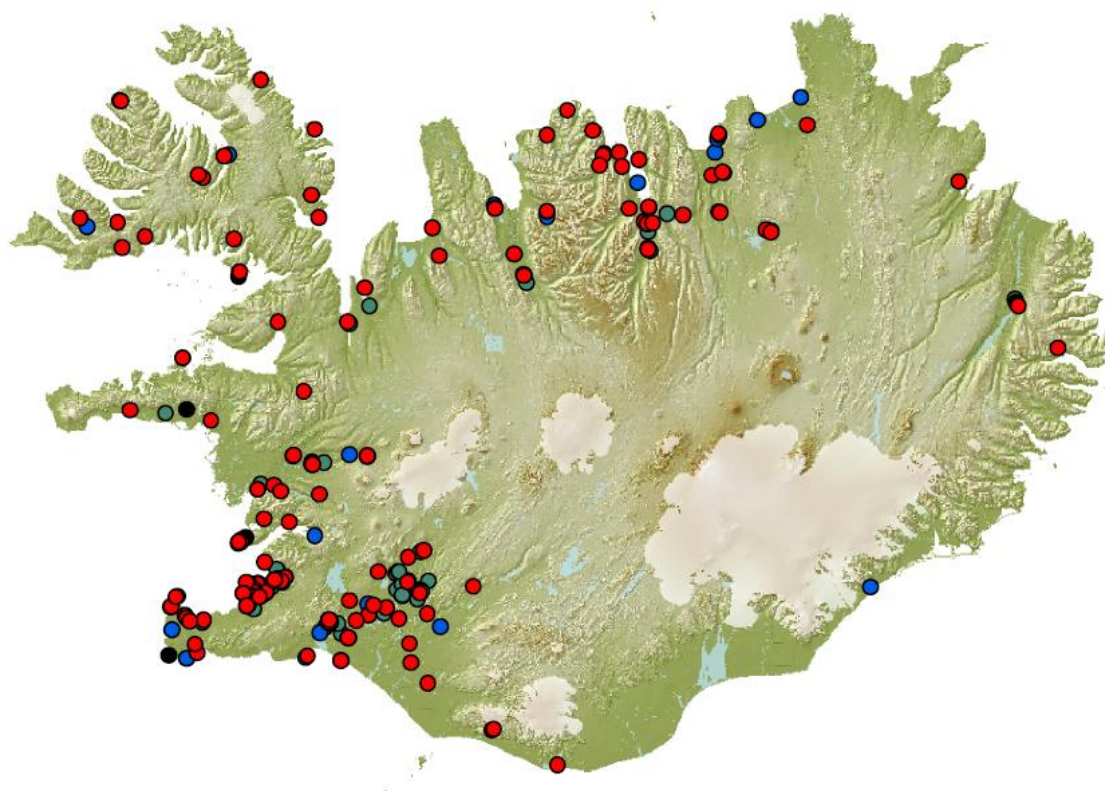
11 JARÐHITANOTKUN EFTIR FLOKKUM 1990-2009

Árið 2008 nam bein notkun jarðhita á landinu 25,1 PJ, en heildarnotkun að meðtalinni raforkuvinnslu nam 39,6 PJ. Skipting eftir flokkum og á korti er sýnd á mynd 20 og 21.

Jarðhitanotkun á tímabilinu 1990-2008 er sýnd eftir flokkum í töflu 11 og á mynd 22 og 23. Tölur frá 1990-2002 byggjast á eldri úttektnum, tölur fyrir árið 2003 byggjast að hluta til á úttektnum en tölur á milli áranna 2003 og 2008 eru í flestum tilvikum áætlaðar.



Mynd 20: Skipting jarðhitanotkunar eftir flokkum 2008.



Mynd 21: Jarðhitanotkun á Íslandi árið 2008. Rautt: sundlaugar, grænt: gróðurhús, blátt: fiskeldi, svart: iðnaður.

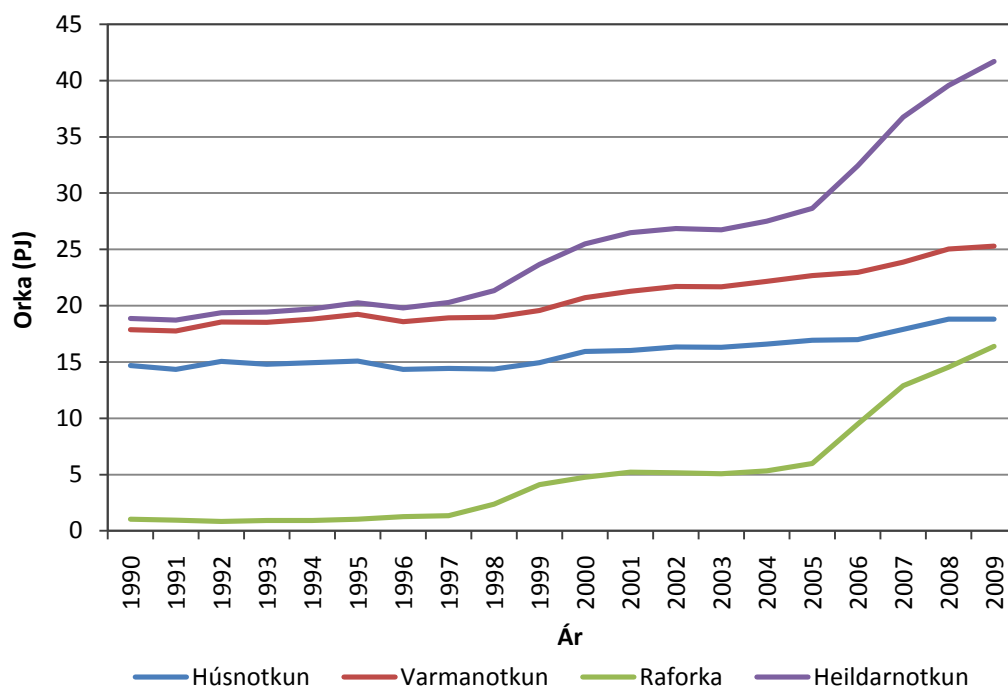
Tafla 11: Jarðhitanotkun eftir flokkum 1990-2009. Brúaðar tölur eru skáletraðar.

Ár	Hús- notkun PJ	Snjó- bræðsla PJ	Fisk- eldi PJ	Sund- laugar PJ	Iðnaður PJ	Yl- rækt PJ	Varma- notkun PJ	Raforku- vinnsla PJ	Heild PJ
2009	18,8	1,7	1,75	1,55	0,8	0,7	25,3	16,39	41,69
2008	18,80	1,65	1,68	1,42	0,80	0,70	25,05	14,53	39,58
2007	17,90	1,54	1,56	1,36	0,78	0,72	23,86	12,88	36,74
2006	17,00	1,43	1,68	1,33	0,77	0,75	22,96	9,47	32,43
2005	16,92	1,33	1,60	1,30	0,75	0,77	22,68	5,97	28,65
2004	16,60	1,24	1,56	1,24	0,74	0,80	22,16	5,34	27,50
2003	16,30	1,15	1,47	1,23	0,72	0,82	21,69	5,06	26,75
2002	16,33	1,14	1,46	1,23	0,71	0,85	21,71	5,16	26,87
2001	16,01	1,12	1,30	1,23	0,74	0,87	21,27	5,22	26,49
2000	15,93	1,04	0,95	1,20	0,74	0,86	20,72	4,76	25,48
1999	14,94	0,97	0,98	1,11	0,75	0,83	19,58	4,10	23,67
1998	14,36	0,91	1,06	1,10	0,72	0,84	18,99	2,36	21,34
1997	14,43	0,85	1,06	1,06	0,70	0,83	18,93	1,35	20,28
1996	14,33	0,78	0,90	1,03	0,69	0,84	18,57	1,25	19,81
1995	15,08	0,73	0,90	1,03	0,67	0,82	19,23	1,04	20,26
1994	14,94	0,68	0,71	1,01	0,66	0,80	18,80	0,93	19,73
1993	14,80	0,64	0,70	0,93	0,64	0,80	18,51	0,92	19,42
1992	15,05	0,59	0,57	0,92	0,63	0,79	18,55	0,83	19,37
1991	14,33	0,55	0,58	0,91	0,61	0,78	17,76	0,96	18,72
1990	14,69	0,52	0,47	0,83	0,60	0,75	17,86	1,02	18,87

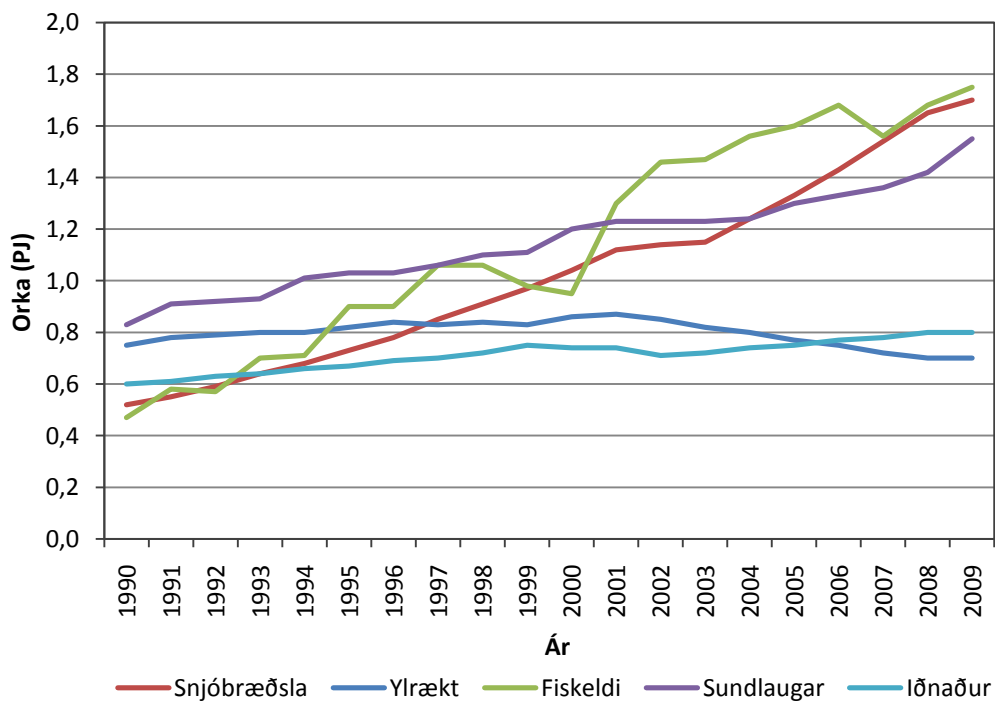
Tölur eru áætlaðar á eftirfarandi hátt:

- **Húsnotkun:** metin aftur í tímann á grundvelli söluupplýsinga frá veitum.
- **Snjóbræðsla:** sérstakar úttektir voru gerðar á umfangi og orkunotkun snjóbræðslukerfa í mars 2003 og janúar 2010. Orkunotkun snjóbræðslukerfa árið 2008 var metin 1,65 PJ og gert ráð fyrir 7,5% aukningu á milli ára frá 2003 til 2008.
- **Fiskeldi:** jarðhitanotkun á milli áranna 2003 og 2008 er áætluð á grundvelli framleiðsluupplýsinga frá Landssambandi fiskeldisstöðva. Mikil aukning varð á framleiðslu lax árið 2004, en þá voru í rekstri tvær stórar sjókvíaeldisstöðvar á Austfjörðum. Þar sem megnið af framleiðsluaukningunni var tekið út í sjókvíum er ekki talið að jarðhitanotkun hafi aukist að marki í laxeldi, en notkunin fyrst og fremst áætluð út frá framleiðslubreytingum tegunda sem aldar eru í landkvíum.
- **Sundlaugar:** jarðhitanotkun áætluð út frá flatarmáli lauga.
- **Iðnaður:** gert er ráð fyrir 2,1% aukningu á milli ára frá 2002 til 2008.
- **Ylrækt:** gert er ráð fyrir að dregið hafi línulega úr jarðhitanotkun á milli áranna 2001 og 2008.
- **Raforkuvinnsla:** sökum nákvæmra mælinga er raforkuvinnsla jarðvarmavirkjana vel þekkt stærð.

Varmanotkun er summa fyrstu 6 flokkana og heildarnotkun er summa varmanotkunar og raforkunotkunar.



Mynd 22: Þróun jarðhitanoðkunar milli ára, flokkar yfir 2 PJ/a. Varmanotkun innifelur húsnotkun og aðra flokka varmanotkunar undir 2 PJ/a sem sjá má á mynd 23.



Mynd 23: Þróun jarðhitanoðkunar, flokkar undir 2 PJ/a (sjá mynd 22).

12 ORKUFLÆÐI JARÐHITA

Þegar niðurstöðurnar að framan eru settar í samhengi við grunnupplýsingar um frumorkunotkun jarðvarmavirkjana og hitaveitna (Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010) fæst mynd af orkuflæði jarðhita árið 2008 (mynd 24). Á jaðri myndarinnar eru sýndar nettó heildartölur. Þannig nam frumorkunotkun (frumorkuvinnsla að frádreginni niðurdælingu) 144,2 PJ, notorka (sú orka sem verður eftir hjá neytendum) 39,1 PJ og ónýttur varmi og töp (frumorkunotkun að frádreginni notorku) 105,1 PJ.

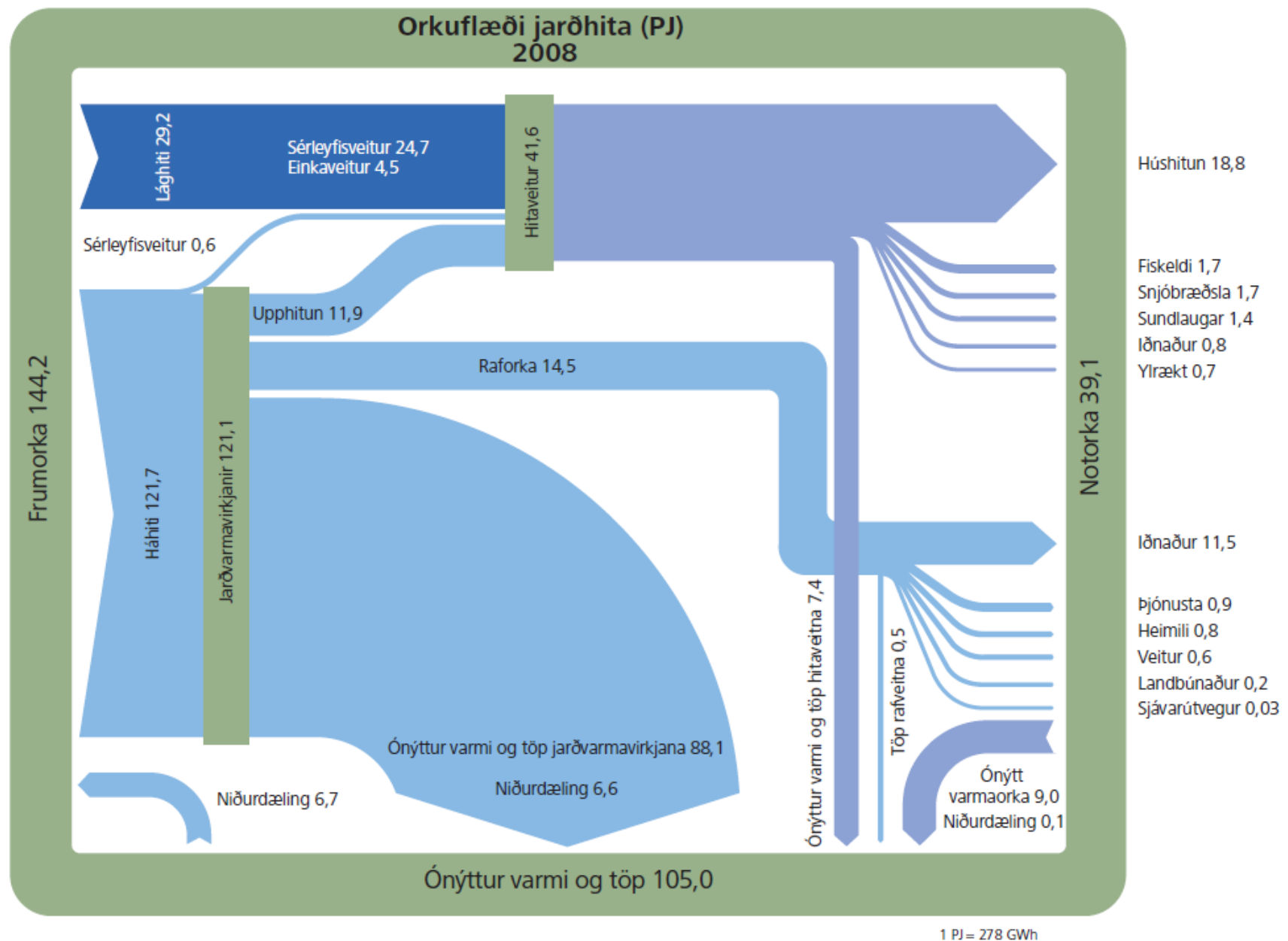
Liðurinn ónýttur varmi og töp er nokkuð stór í samanburði við vinnslu, en vegna lágs vermis eru gæði orkunnar mjög skert og takmörk fyrir því að hve miklu leyti er hægt að bæta nýtingu. Þar sem íðorka³ er mun betri mælikvarði á nýtingarmöguleika jarðvarmans en frumorka er æskilegt að sambærileg mynd sé dregin upp af íðorkuflæði, en á slíkri mynd verður straumur ónýttrar íðorku hlutfallslega minni en straumur ónýttrar frumorku í samanburði við vinnslustrauma.

Frumorkuvinnsla á háhitasvæðum nam 121,7 PJ og fóru 121,1 PJ til jarðvarmavirkjana. Þar af var 14,5 PJ umbreytt í raforku og 11,9 PJ veitt til hitaveitna, en 6,6 PJ var dælt aftur niður í jarðhitakerfin. Hveragerði telst til háhitasvæða og er áætluð vinnsla þar um 0,6 PJ.

Heildarvinnsla á lághitasvæðum nam 29,2 PJ. Þar af var vinnsla sérleyfisveitna 24,7 PJ, en vinnsla einkaveitna er talin hafa numið um 4,5 PJ.

Ónýttur varmi og töp í flutnings- og dreifikerfum hitaveitna eru talin hafa numið 7,4 PJ. Frumorka hitaveituvatns sem skilaði sér til neytenda nam því 34,2 PJ, en ónýtt frumorka bakrásarvatns nam 9,0 PJ. Frumorka bakrásarvatns til niðurdælingar var innan við 0,1 PJ. Töp rafveitna á raforku jarðvarmavirkjana eru talin hafa numið 0,5 PJ og því skiluðu 14,0 PJ sér til neytenda.

³ Íðorka (*e. exergy*) jarðvarma er sú hámarksvinna sem vökvinn fær framkvæmt við kælingu niður í 15°C við andrúmsloftsþrýsting (1 bar_a).



Mynd 24: Orkuflæði jarðhita fyrir árið 2008. Frumorka jarðhita til vinstri og notorka jarðhita til hægri

13 SAMANTEKT

Íslendingar hafa nýtt sér jarðhitaauðinn á afmörkuðum stöðum frá upphafi byggðar, en umfang og fjölbreytni notkunar hafa aukist stórlega á síðustu öld. Lítið var haldið utan um vinnslu framan af, en eftir því sem á hefur liðið hefur aukin áhersla verið lögð á söfnun og varðveislu gagna, enda er slíkt forsenda fyrir góðri yfirsýn og umgengni við auðlindina.

Þrátt fyrir að flestar sérleyfisveitur haldi nú orðið nokkuð vel utan um vinnsluupplýsingar leikur meiri óvissa um ýmsa þætti notkunar þar sem mælar eru af skörnum skammti. Því þarf að beita margvíslegum aðferðum til að meta notkunina. Helst er að styðjast við sundurliðaðar söluupplýsingar frá veitum og er nú unnið að flokkun hitaveitumæla eftir flokkunarkerfi Orkustofnunar sem mun skila mun ítarlegri upplýsingum en áður hefur þekkst. Jafnframt er nauðsynlegt að fyrir liggi upplýsingar um hitastig í dreifikerfum, til og frá notendum, en slíkar upplýsingar eru misjafnar að gæðum.

Þegar ekki liggja fyrir beinar mælingar er nauðsynlegt að styðjast við óbeinar aðferðir á borð við flatarmálsmiðað mat. Þá er gerð úttekt á notkun tiltekins úrtaks notkunarflokks og gert ráð fyrir að notkun annarra notenda sé með svipuðum hætti. Þessari aðferð er beitt þegar kemur að mati á jarðhitanotkun snjóbræðslukerfa, sundlauga og gróðurhúsa, en jafnframt er horft til söluupplýsinga þar sem þær liggja fyrir.

Mikil óvissa leikur enn um vinnslu einkaveitna og hefur hún einungis verið gróflega áætluð. Því er óvissan einnig mikil um notkunarhlíðina og þar sem stór hluti notkunar fiskeldisstöðva, gróðurhúsa og iðnfyrirtækja kemur frá einkaholum er fyrst og fremst notast við tvær leiðir til að meta slíka notkun. Önnur er flatarmálsaðferðin, en hin byggir á áætlunum þeirra aðila sem best þekkja til notkunarinnar.

HEIMILDIR

Alþjóða Orkumálastofnunin IEA, Eurostat og Sameinuðu Þjóðirnar, 2009. *Renewables: Annual Questionnaire 2008 and historical revisions*. Veraldarvefurinn: <http://www.iea.org/stats/questionnaire/Reneng.pdf>

Andri Aegisson og Þorleikur Jóhannesson, 2010. *Áætluð stærð snjóbræðslukerfa á Íslandi 2010. Aflþörf og orkunotkun*. Verkís, minnisblað FS-014-01 unnið fyrir Orkustofnun, 4 bls.

Árni Ragnarsson, 2006. *Orkunotkun á Íslandi*. Orkuþing 2006, 13 bls.

Árni Ragnarsson, 1995. *Heitavatnsnotkun hjá Sundlaug Kópavogs*. Orkustofnun, óútgefið, 9 bls.

Björn Gunnlaugsson og Magnús Á. Ágústsson, 2001. *Þróun orkunotkunar í garðyrkju*. Garðyrkjuskóli ríkisins og Bændasamtök Íslands, Orkuþing 2001, 7 bls.

Björn Marteinnsson, 2001. *Hitunarþörf bygginga og orkudagar*. Rannsóknarstofnun byggingariðnaðarins, Orkuþing 2001, 6 bls.

Canada Plan Service. *Greenhouse Heating Requirements*. Plan M-6701, 4 bls.

Efnahagsþróunarráðuneyti Nýja Sjálands, 2009. *New Zealand Energy Data File: 2008 Calendar Year Edition*. Crown Copyright, ISSN 1177-6684, 168 bls.

Evrópusambandið, 2008. *Regulation (EC) No 1099/2008 of the European Parliament and of the Council of 22 October 2008 on energy statistics*. Official Journal of the European Union, 14.11.2008, L 304/41, 62 bls.

Evrópusambandið, 2008. *Statistical classification of economic activities in the European Community – NACE*, útg. 2. Veraldarvefurinn: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/nace_rev2/introduction

Gísli Jónsson og Sigurður Helgason, 2006. *Sjúkdómar og forvarnir í bleikjueldi. Ráðstefna um framtíðarsýn og stefnumótun í íslensku bleikjueldi*. Landbúnaðarstofnun og Tilraunastöð HÍ að Keldum, glærusýning

Ingimar G. Haraldsson og Jónas Ketilsson, 2010. *Frumorkunotkun jarðvarmavirkjana og hitaveitna á Íslandi til ársins 2009*. Orkustofnun, 2010/03, 43 bls.

Landssamband fiskeldisstöðva, 2009. *Staða fiskeldis á Íslandi, framtíðaráform og stefnumótun Landssambands fiskeldisstöðva í rannsókn- og þróunarstarfi 2010-2013*. Landssamband fiskeldisstöðva, 28 bls.

Lúðvík S. Georgsson, Kristján Sæmundsson og Hreinn Hjartarson, 2005. *Exploration and Development of the Hveravellir Geothermal Field, N-Iceland*. Proceedings World Geothermal Congress 2005, 10 bls

Orkuspárnefnd, 2003. Jarðvarmaspá 2003-2030: *Spá um beina nýtingu jarðvarma*. Orkustofnun, OS-2003/060, 132 bls.

Orkuveita Reykjavíkur, 2008. *Snjóbræðsla við hvert heimili*. Einblöðungur LAD 315-01.

Ólafur Gunnarsson o.fl. *Athugun á sundlaugakerfum: Samanburður á kostnaði við rekstur opinna og lokaðra sundlaugakerfa*. Apríl 2009, óútgefið.

Rut Bjarnadóttir, 2010. *Sustainability evaluation of geothermal systems in Iceland. Indicators for sustainable production*. Master's thesis, Faculty of Mechanical and Industrial Engineering. Háskóli Íslands, 87 bls.

Sameinuðu Þjóðirnar, 2008. *International Standard Industrial Classification of all Economic Activities – ISIC, 4. útgáfa*. Veraldarvefurinn: <http://unstats.un.org/unsd/cr/registry/isic-4.asp>

Sveinbjörn Björnsson, Inga Dóra Guðmundsdóttir og Jónas Ketilsson, 2010. *Geothermal Development and research in Iceland*. Orkustofnun, 39 bls.

Sveinn Þórðarson, 1998. *Auður úr Iðrum Jarðar. Saga hitaveitna og jarðhitanytingar á Íslandi*. Hið íslenska bókmenntafélag, Reykjavík, 656 bls.

Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf., 2001. Gangverk: Fréttabréf VST, 2. febrúar 2001, 16 bls.

Þorleikur Jóhannesson. *Snow melting. Snow melting systems in Reykjavik, Iceland*. Framkvæmdasvið Reykjavíkurborgar, glærusýning.