



VARMANÝTING Í LOFTRÆSIKERFUM

Vigdís Lúðvíksdóttir

Lokaverkefni í byggingartæknifræði BSc

2011

Höfundur: Vigdís Lúðvíksdóttir

Kennitala: 100782-5619

Leiðbeinandi: Sveinn Áki Sverrisson BSc MPM

Tækni- og verkfræðideild

School of Science and Engineering



HÁSKÓLINN Í REYKJAVÍK
REYKJAVIK UNIVERSITY

Formáli

Ég ákvað að gera verkefni á sviði loftræsingar til að kynna mér það svið mannvirkjagerðar nánar. Eftir góða umhugsun í leit að lokaverkefni hafði ég samband við leiðbeinanda minn og kennara, Svein Áka Sverrisson sem kom með hugmyndina að verkefninu.

Ég þakka öllum þeim sem aðstoðuðu við gerð þessa verkefnis og þá sér í lagi Páli Gunnlaugssyni hjá Varma ehf.

Ég þakka Sveini Áka Sverrissyni, leiðbeinanda mínum fyrir góða leiðsögn og gott samstarf. Sérstaklega þakka ég manni mínum, Atla Erni Guðmundssyni og börnum fyrir frábæran stuðning og að vera til staðar. Hjartans þakkir til foreldra minna og systkina og síðast en ekki síst tengdamóður minnar fyrir ómetanlega aðstoð og stuðning í gegnum námið.

Reykjavík, 7. Desember 2011

Vigdís Lúðvíksdóttir



Efnisyfirlit

Formáli	1
Myndaskrá	4
Töfluskrá.....	5
Línuritaskrá.....	5
Súluritaskrá	5
Jöfnuskrá.....	6
1 Inngangur.....	7
2 Loftræsing.....	7
3 Orkuendurvinnsla útkastslofts	8
3.1 Varmaendurvinnslubúnaður.....	9
3.2 Nýtni	11
4 Tegundir og skyndival á varmaskiptum.....	12
4.1 Blöndun	15
4.2 Varmanýtahjól.....	16
4.3 Vökvatengdir varmaskiptar	20
4.4 Plötuvarmaskiptar (Krossstraumsvarmaskiptar).....	23
4.5 Varmaskiptar með eigin vökvahringrás	25
4.6 Varmadælur.....	30
5 Hagkvæmni	32
5.1 Orkuþörf og nýtni.....	35
5.1.1 Dæmi um útreikning á orkuþörf.....	37
5.1.2 Dæmi um val á loftræsisamstæðu og útreikning á orkuþörf með ProUnit.....	40
5.2 Samanburður á reiknaðri orkuþörf.....	45
5.3 Orkuþörf varmanýtahjóls	46
5.4 Nýtni varmanýtahjóls.....	48
5.5 Kenniaflþörf loftræsikerfis (SFP)	48
5.6 Mollier.....	49
5.7 Stofnkostnaður.....	51
5.7.1 Verð á loftræsisamstæðum.....	51
5.8 Rekstrarkostnaður.....	52



5.8.1	Viðhaldskostnaður	52
5.8.2	Orkukostnaður.....	53
5.8.3	Verð á heitu vatni.....	53
5.8.4	Verð á raforku	55
5.9	Núvirðis-og endurgreiðslureikningar.....	55
5.9.1	Aðferðir við hagkvæmniútreikninga	56
5.9.2	Reikningslegar forsendur.....	59
6	Niðurstöður.....	62
6.1	Næmnigreining	65
6.2	Umræða og túlkun	67
7	Samantekt.....	77
8	Heimildaskrá	78
9	Viðaukar	80
9.1	Tegund, loftmagn og nýtni.....	80
9.2	Varmaorka.....	81
9.3	Raforka	82
9.4	Orkusparnaður.....	84
9.5	Stofnkostnaður.....	86
9.6	Viðhaldskostnaður.....	89
9.7	Núvirðis-og endurgreiðslureikningar.....	91
9.8	Næmnigreining	94
9.9	Könnun	96



Myndaskrá

Mynd 3-1 Ferli loftstrauma gegnum varmaskipti.....	11
Mynd 4-1 Blöndun loftstrauma	16
Mynd 4-2 Varmanýtahjól.....	16
Mynd 4-3 Loftleki vegna þrýstismunar milli loftstokka.	18
Mynd 4-4 Nýtni varmanýtahjóls	19
Mynd 4-5 Vökvatengdur varmaskiptir.....	20
Mynd 4-6 Afkastageta vökvatengds varmaskiptis.	22
Mynd 4-7 Plötuvarmaskiptar.....	23
Mynd 4-8 Nýtni plötuvarmaskiptis.....	25
Mynd 4-9 Varmaskiptir með eigin vökvahringrás	26
Mynd 4-10 Varmaflutningur í varmaskipti með eigin vökvahringrás.	26
Mynd 4-11 Nýtni varmaskiptis með eigin vökvahringrás.....	29
Mynd 4-12 Varmadæla	30
Mynd 5-1 Flæðirit yfir ferli verkefnis.	35
Mynd 5-2 Langæisferill.....	38
Mynd 5-3 Prounit innsláttarreitir til skilgreiningar á staðsetningu, hæsta útihitastigi til upphitunar og notkunartíma.....	41
Mynd 5-4 Rúmþyngd lofts við mismunandi hitastig	41
Mynd 5-5 Innsláttarreitir í Prounit fyrir eiginleika lofts	42
Mynd 5-6 Hlutfallsrakastig útilofts í Reykjavík.....	42
Mynd 5-7 Innsláttarreitir í Prounit fyrir hitastig innblásturslofts.	43
Mynd 5-8 Innsláttarreitir í Prounit fyrir loftmagn og þrýstifall.	43
Mynd 5-9 Mynd úr Prounit fyrir val á stærð varmanýtahjóls.	43
Mynd 5-10 Innsláttarreitir í Prounit fyrir hita-og rakastig útblásturslofts.	44
Mynd 5-11 Hlutfallslegt rakastig innanhúss í Reykjavík miðað við mismikla rakaþætingu.	44
Mynd 5-12 Innsláttarreitir í Prounit fyrir notkunartíma.	45
Mynd 5-13 Niðurstöður úr ProUnit á árlegri varma-og raforkuþörf.....	45
Mynd 5-14 Ferill orkuþarfar úr ProUnit.....	47
Mynd 5-16 Niðurstaða úr Prounit á nýtni varmanýtahjólsins.	48
Mynd 5-17 Niðurstöður úr ProUnit fyrir hita-og rakastig inntaks-og innblásturslofts.....	49
Mynd 5-18 Niðurstöður úr ProUnit fyrir hita-og rakastig útsogs-og útkastslofts.....	50
Mynd 5-19 Mollier ferill fyrir varmanýtahjól.....	50



Töfluskrá

Tafla 4-1 Samanburðartafla.....	14
Tafla 5-1 Gráðudagar í Reykjavík yfir 42 ára tímabil frá 1942-1991.....	39
Tafla 5-2 Byggingavísitala. Verðgrunnur frá 1987.....	61

Línuritaskrá

Línurit 6-1 Núvirði og endurgreiðslutími.....	64
Línurit 6-2 Næmnigreining á núvirði varmanýtahjóls fyrir loftmagn 5.000 m ³ /h.....	65
Línurit 6-3 Næmnigreining á endurgreiðslutíma varmanýtahjóls með loftmagn 5.000 m ³ /h.....	66
Línurit 6-4 Núvirði.....	67
Línurit 6-5 Endurgreiðslutími	68
Línurit 6-6 Stofnkostnaður loftræsisamstæðnanna.....	69
Línurit 6-7 Viðbótarstofnkostnaður vegna varmaendurvinnslu.....	70
Línurit 6-8 Hlutfallslegur stofnkostnaður loftræsisamstæðna.....	71
Línurit 6-9 Varmanýting	72
Línurit 6-10 Árlegur sparnaður varmaorkukostnaðar.....	73
Línurit 6-11 Raforkuþörf með og án varmaendurvinnslu	74
Línurit 6-12 Raforkukostnaður með og án varmaendurvinnslu.....	75
Línurit 6-13 Sparnaður vegna varma-og raforkukostnaðar	76

Súluritaskrá

Súlurit 5-1 Nýtni.....	63
------------------------	----



Jöfnuskrá

(1) Varmainnihald lofta	10
(2) Varmaflutningur á þurru lofti.....	10
(3) Varmaflutningur frá raka lofta	10
(4) Heildarvarmaflutningur á röku lofti	10
(5) Nýtni.....	12
(6) Aflstuðull	31
(7) Carnot-nýtni.....	31
(8) Orkuþörf.....	36
(9) Loftmagn	37
(10) Kenniaflþörf	48
(11) Afl úr heitu vatni.....	53
(12) Endurgreiðslutími.....	57
(13) Núvirðing.....	57
(14) Ávöxtunarkrafa orkusparnaðar	58
(15) Ávöxtunarkrafa viðhaldskostnaðar	58
(16) Núvirðisstuðull orkusparnaðar.....	58
(17) Núvirðisstuðull viðhaldskostnaðar	58
(18) Núvirði orkusparnaðar	59
(19) Núvirði viðhaldskostnaðar.....	59



1 Inngangur

Markmið þessa verkefnis er tvíþætt, annars vegar að gera samanburð á varmaendurvinnslubúnaði í loftræsikerfum og hins vegar að kanna hagkvæmni varmaendurvinnslu og bera saman við tilmæli í drögum að byggingareglugerð um að minnsta kosti 70% nýtingu varmaorku í loftræsikerfum. („Byggingareglugerð drög til umsagnar“, 2011, k. 14.9.2)

Verkefnið má skilgreina sem umfjöllun og samanburð á varmaendurvinnslubúnaði í loftræsikerfum og hagkvæmni þeirra. Í fyrri hluta verkefnis er fjallað um helstu tegundir varmaendurvinnslubúnaðar og tæknilegum eiginleikum gerð skil. Umfjöllunin er fyrst um sinn nokkuð almenns eðlis en gárar þó á jaðri nærliggjandi þekkingarviða. Í seinni hluta verkefnis verður gerð hagkvæmniathugun þar sem þrjár mismunandi tegundir af varmaendurvinnslubúnaði af mismunandi stærðum eru bornar saman. Hugmyndin er sú að kanna hagkvæmni þess að leggja út í aukalegan kostnað vegna varmaendurvinnslu þar sem þörf er á loftræsingu. Þær forsendur eru notaðar að kerfin séu staðsett í Reykjavík í skrifstofubyggingu og í notkun á dagvinnutíma. Farið verður yfir aðferðir útreikninga á orkuþörf og þeim gerð skil með því að taka dæmi þar sem þeim er beitt. Fjallað er um reikningslegar forsendur sem eru notaðar í hagkvæmniútreikninga á orkubúskapi loftræsikerfa fyrir þrjár tegundir varmaendurvinnslubúnaðar. Það er einungis varfærnisleg nálgun sem þó gefur ákveðnar vísbendingar. Fjallað verður um niðurstöður og næmnigreining gerð á hagkvæmniútreikningunum. Niðurstöðurnar eru bornar saman við væntanlegar kröfur sem settar eru fram í drögum að byggingareglugerð og reynt að svara því hvort þessar kröfur séu raunhæfar.

2 Loftræsing

“Byggingar skal loftræsa. Loftræsing má vera vélræn, náttúrleg eða blanda af þessu hvoru tveggja.” („Byggingareglugerð drög til umsagnar“, 2011, k. 10.2.2). Afköst loftræsikerfa skulu ráðast af kröfum byggingareglugerðar að lágmarki en því til viðbótar koma óskir húseigenda um að aukið loftmagn til aukningar þæginda og kælingar. Afköst ákvarðast meðal annars af því hvers konar starfsemi fer fram í byggingunni, hita og rakamyndun frá fólki og tækjum, hitamyndun frá byggingahlutum, t.d. einangrun og gler, eða hvort um sé að ræða útstreymi mengandi efna. (The Chartered Institution of Building Services Engineers London og Butcher, 2005)



Hlutverk loftræsingar felst í því að viðhalda ferskleika innloftsins með loftskiptum og eftir atvikum að hita, kæla og rakastilla inntaksloftið til þess að skapa góða innivist. (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., 2008)

Við hönnun á loftræsikerfi er arkitekt byggingar lykilaðili til ákvörðunar um þessa þætti. Verkefni af þessu tagi krefjast samvinnu lagnahönnuðar með sérþekkingu og allra aðila sem að verkinu koma. Samvinna og samræming er gríðarlega mikilvæg í þverfaglegum verkefnum eins og byggingarverkefnum. (CIBSE og Butcher, 2005)

3 Orkuendurvinnsla útkastslofts

Mikil orka er í útkastlofti loftræsikerfa sem fer þá til spillis ef hún er ekki nýtt. Orkuendurvinnsla í loftræsikerfum er það ferli þegar varmi og eða raki er endurunninn úr heitum/rökum loftstraumi og flutt yfir til kaldari/þurrari loftstraums. Endurunnin orka getur því verið í formi eingöngu varma eða raka eða blöndu af varma og raka. Orkan sem er endurunnin úr loftstraumi útkastsloftins flyst yfir til inntaksloftins og þar nýtist hún til að hita upp og rakaíbæta kalt inntaksloft. Ferlið getur einnig verið öfugt. Þá er endurunnin orka frá útkastslofti notuð til að kæla inntaksloftið eða þurrka. Það á einkum við í löndum þar sem útihiti er hár og kæling innblásturslofts er til staðar. (ASHRAE, 2008)

Orka sem flyst með loftstraumum er endurvinnanleg með sérstökum búnaði sem komið er fyrir í loftræsikerfinu. Slíkur búnaður nefnist varmaskiptir eða varma/orkuendurvinnslubúnaður og er af ýmsum stærðum og gerðum. Á ensku eru einkum tvö heiti notuð yfir slíkan búnað, það er „heat recovery ventilation“ (HRV) og „energy recovery ventilation“ (ERV). Munurinn á þessum tækjum er sá að HRV varmaskiptir flytur eingöngu varma en ERV varmaskiptir flytur bæði varma og raka. (ASHRAE, 2008)

Með varmaskipti má endurvinna varma og raka frá útkastslofti húsnæðis af öllum stærðum og gerðum. Einnig má endurnýta varma og raka frá útblæstri vélbúnaðar í ýmis konar iðnaði. Varma má til að mynda nýta frá ofnum, þurrkurum og túrbínnum sem gefa frá sér heitan útblástur, gufu eða gas.

Í meginatriðum má segja að hlutverk orkuendurvinnslubúnaðar felist í að flytja orku á milli loftstrauma í þeim tilgangi að minnka orkuþörf til hitunar og/eða kælingar og í sumum tilfellum að rakaíbæta eða draga úr raka innblástursloftsins. (ASHRAE, 2008)



Á Íslandi er útihitastig frekar lágt og þörf fyrir hitun næstum því allan ársins hring. Í löndum þar sem útihitastig er hátt getur kæliþörf orðið mikil. Þá kemur upp sú staða að hitastig útblástursloftsins er lægra en útiloftsins. Ferli orkuendurvinnslunnar snýst við og útkastsloftið nýttist þá til að kæla innblástursloft. Þannig sparast kæliorka. Þessi skilyrði geta myndast á Íslandi en það er afar sjaldgæft samkvæmt upplýsingum um útihita frá veðurstofu Íslands. (Tafla 5-1). Rakaflutningur er mögulegur með varmaendurvinnslubúnaði. Þá flyst raki frá útkastsloftinu yfir til inntaksloftsins. Á Mollier línuriti fyrir rakt loft (sjá Mynd 5-18) má lesa að hlutfallslegur raki í köldu útilofti er lágur. Þegar köldu útilofti er blásið inn í byggingar verður rakastig lágt innanhúss. Fyrir vel loftræstar skrifstofubyggingar er raki í útkastlofti lítill og ekki mikið að sækja af raka til að rakabæta inntaksloft. Áhersla í umfjölluninni framundan verður því lögð á varmanýtingu með varmaendurvinnslubúnaði frekar en rakanýtingu.

3.1 Varmaendurvinnslubúnaður

Afköst eru það afl sem varmaendurvinnslubúnaður gefur frá sér til hitunar með varmanýtingu. Varmann má flytja frá heitu útkastslofti til hitunar á köldu inntakslofti.

Varmainnihald lofts samanstendur af varma í þurru lofti sem er í beinu hlutfalli við hitastig lofts og raka í loftinu sem tengist uppgufunarvarma vatns. Hluta varmans er því að finna í raka loftsins (í gufuformi) sem aftur tengist hitastigi loftsins.

Sumir varmaskiptar endurvinna varma rakans beint með því að færa hann yfir í inntaksloft en aðrir með því að þetta rakann og ná þannig úr honum varma. (ASHRAE, 2008; Ragnar Ragnarsson, 2002)

Varmaendurvinnslubúnaður hefur mismikla afkastagetu. Afköstin eru háð hlutfalli loftstrauma í inntakslofti og útkastslofti og eru betri eftir því sem hlutfallið er jafnara. Varmanýting er einnig háð lofthraða inn í búnaðinum, minni hraði eykur afköst. (Oddur B. Björnsson, 2002)

Nýtni varmaendurvinnslunnar er ekki 100 % og því er aðeins hluti af varmaþörfinni uppfyllt með endurnýttum varma frá útkastslofti. Það þarf því viðbótar orku inn í kerfið til að uppfylla kröfur um kjörhitastig innblástursloftsins. Hiti útkastslofts frá skrifstofum þarf að vera á bilinu 20-24°C á veturnar. („DS 447:2005“, e.d.) Ef nýta mætti allan þennan varma til hitunar á inntakslofti væri ekki þörf fyrir viðbótar hitun og innblásið loft með kjörhita.

Afköstin eða aflið eru gefin í wöttum (e.watts) og byggja á loftmagni, rúmþyngd, hitastigi, hlutfallsraka eða gufunarvarma. Aflið getur verið í formi varma eingöngu eins og lýst er með



jöfnu (2), raka eins og sjá má í jöfnu (3). Heildarafköstin eru aflið frá bæði varma og raka (vermi), sjá jöfnu (4). (ASHRAE, 2008)

Varmainnihaldi loftis má lýsa með jöfnu (1) fyrir vermi (e. enthalpy) :

$$h = c_{pl} * t + x(r + c_{pg} * t) [kJ/kg(\text{þurru lofti})] \quad (1)$$

Ef settir eru inn stuðlar fyrir -20 til 50°C heitt loft og uppgufunarvarma vatns við 0°C í jöfnu (1) fæst eftirfarandi:

$$h = 1,006 * t + x * (2501 + 1,8 * t) [kJ/kg]$$

Varmi frá raka í lofti er stór hluti af heildar varmainnihaldi loftis. Þessum áhrifum má best lýsa með því að fara sauna sem er með 100°C þurru lofti. Þar er hægt að vera án þess að brenna sig vegna þess að varmainnihald loftisins er lítið. Aftur á móti mundi maður brenna sig inn í 100°C heitri gufu. Þegar vatn gufar upp þarf orku en þegar það þéttist kemur hún til baka. (Hansen, 1988)

Jöfnur (2), (3) og (4) eru notaðar til að reikna varmaflutning fyrir bæði þurrt og rakt loft:

$$q_S = Q * \rho * c_{pl} * (t_1 - t_2) [W] \quad (2)$$

q_S = Varmaflutningur á þurru lofti (e. Sensible heat)

$$q_L = Q * \rho * r * (x_1 - x_2) [W] \quad (3)$$

q_L = Varmaflutningur frá raka í lofti (e. Latent heat)

$$q_T = Q * \rho * (h_1 - h_2) [W] \quad (4)$$

q_T = Heildarvarmaflutningur á röku lofti (e. Total heat)

Þar sem:

c_{pl} = varmarýmd loftis (kJ/kg*K)

c_{pg} = varmarýmd gufu (kJ/kg*K)

Q = Streymi loftisins (m³/s)



ρ = Rúmþyngd loftins (kg/m^3)

t = hitastig loftins: úti, við inntak, útsog og útkast eða t_1 , t_2 , t_3 og t_4

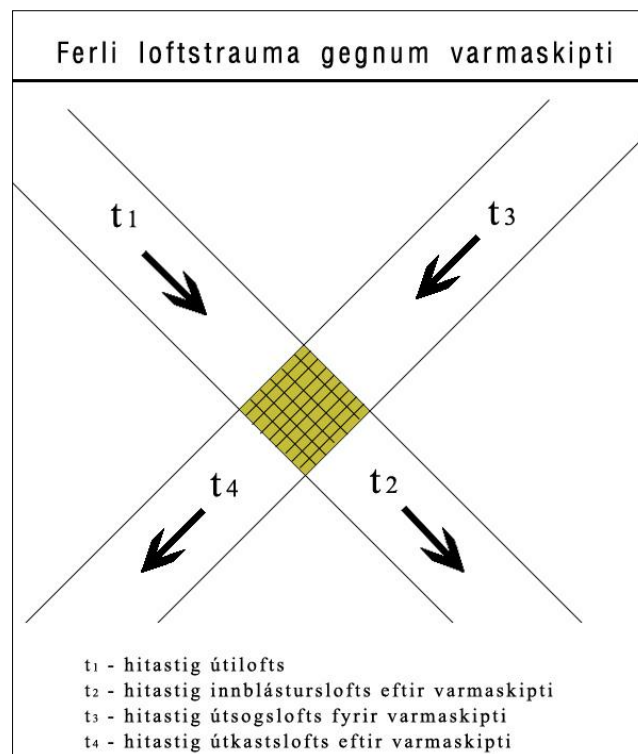
h = vermi (e. Enthalpy) úti, við inntak, útsog og útkast eða h_1 , h_2 , h_3 og h_4 (kJ/kg)

r = uppgufunarvarmi (e. Enthalpy of vaporization)

x = hlutfallsraki úti, við inntak, útsog og útkast eða x_1 , x_2 , x_3 og x_4 (kg/kg)

3.2 Nýtni

Nýtni er skilgreind sem hlutfall þeirra hitabreytinga sem verða á inntaksloftinu og mestu mögulegu hitabreytinga sem geta átt sér stað. Mynd 3-1 lýsir ferli loftins í gegnum varmaskiptinn, útilofti, innblæstri, útsogi og útkasti. (ASHRAE, 2008, bls. 25.2)



Mynd 3-1 Ferli loftstrauma gegnum varmaskipti.

t_1 er hitastig útilofts, t_2 er hitastig á innblásturslofti eftir varmanýti, t_3 er hitastig útsogslofts út úr rými, t_4 er hitastig útkastslofts eftir varmanýti.



Nýtni er reiknuð eins og sjá má í jöfnu (5). Nýtni er hlutfall hitastigsmunar á útilofti og innblásturslofti (mesta aflþörf) og hitastigsmunar á útsogslofti og útilofts (mesta mögulega aflgjöf). (ASHRAE, 2008)

$$\eta = \frac{(t_2 - t_1)}{(t_3 - t_1)} \quad (5)$$

Þar sem:

η = nýtnin %

t_1 = Hitastig útiloftsins °C

t_2 = Hitastig innblástursloftsins °C

t_3 = Hitastig útsogsloftsins °C

Eins og sést í jöfnu (5) tekur jafnan eingöngu mið af varmaflutningi á þurrum varma. Í varmaskiptum með hárrí nýtni má vænta þéttingar á raka og því meiri varmaflutningi en hiti gefur til kynna.

Þegar heitt og rakt útsogsloft er sogað út úr rými og leitt í gegnum varmaskipti á sér stað varmaflutningur til inntakslofts. Ef útsogsloftið verður það kalt að eitthvað af rakanum í loftinu þéttist mun uppgufunarvarmi færast yfir í inntaksloftsins og hita það aukalega. Þeim mun meiri raki þess meiri varmi bætist við. Hægt er að reikna hversu mikill varmi bætist við frá raka loftsins. (HVAC magasinet, e.d.) Nýtni án rakaútfellingar er skilgreind í staðli EN:308:1997. („EN 308:1997“, e.d.)

Í þessu verkefni verður tekið tillit til þessara áhrifa sem gæta þegar þétting á sér stað í orkuútreikningum sem voru gerðir með forriti framleiðanda.

4 Tegundir og skyndival á varmaskiptum

Til eru ýmsar tegundir orkuendurvinnuslubúnaðar, en val á slíkum búnaði getur verið nokkuð vandasamt. Það er misjafnt hvaða tegund hentar best í hverju tilfalli fyrir sig. Ýmsir þættir eru til mats um það hvaða tegund varmaskiptis verður fyrir valinu. Hönnunarlegir þættir varða til að mynda stærð og útbreiðslu kerfisins, loftmagnspörf, hitunar-og kæliþörf og þörf fyrir rakastillingu. Umhverfisþættir hafa áhrif á hönnunarlegar stærðir sem síðan er gengið út frá



Þegar ákvörðun er tekin um val á búnaði. (ASHRAE, 2008)(ASHRAE, 2008)(ASHRAE, 2008)(ASHRAE, 2008)(ASHRAE, 2008)(ASHRAE, 2008)

Umhverfis og-hönnunarþætti þarf að veita og meta og bera saman við þær kröfur sem settar eru fram hverju sinni og kröfur byggingareglugerðar.

Helstu umhverfisþættir sem ber að skoða eru loftslag, staðsetning og tegund húsnæðis og hvers konar starfsemi fram fer í húsnæðinu. Nánar tiltekið þá felur skoðun umhverfisþátta í sér mat á þeim aðstæðum í starfsumhverfi loftræsikerfisins. Þar má nefna veðurfar í því loftslagi sem um ræðir, hita og-rakastig og árstíðabundnar sveiflur. Staðsetning húsnæðis getur skipt máli, hvort húsnæðið er í dreifbýli eða þéttbýli getur haft áhrif á val varmaskiptis vegna mengunar. Mismunandi tegundir varmskipta henta fyrir mismunandi gerðir húsnæðis. Hafa þarf í huga hvort um er að ræða íbúðarhúsnæði, skrifstofu, verksmiðju eða iðnaðarhúsnæði. Sumar tegundir varmaendurvinnslubúnaðar taka mikið pláss og henta ef til vill ekki þess vegna. Það skiptir máli hvaðan útblásturinn kemur og hvert á að blása upphitaða loftinu. Á sumum stöðum eins og á skurðstofum sjúkrahúsa og rannsóknarstofum er mikilvægt að innblástursloftið sé ómengað. Í þeim tilfellum er blöndun loftstrauma algerlega óviðunandi. (ASHRAE, 2008)

Það getur verið vandasamt verkefni að bera saman mismunandi tegundir varmaskipta. Til þess að gera samanburð má byggja á vottuðum upplýsingum um mismunandi eiginleika eins og afköst, nýtni, varma og- rakaflutningsgetu og loftleka. Þannig er hægt að bera saman alla helstu þætti er varða virkni búnaðarins, kosti og galla. Með slíkum samanburði er einfaldara að veita og meta hvaða tegund muni henta fyrir hvert og eitt tilfalli.

Tafla 4-1 inniheldur hnitmiðaða samantekt á helstu stærðum sem ráða við val á varmaskipti. (ASHRAE, 2008; Energiwiki, e.d.; Ragnar Ragnarsson, 2002) Töflu sem þessa má nota við skyndival á varmaskiptum með því að bera saman upplýsingar um helstu eiginleika. Helstu þættir sem ákvarða val á tegund er mengunarhætta frá útkasti, há nýtni og staðsetning á útkasti miðað við inntak.



Tafla 4-1 Samanburðartafla.

Taflan inniheldur upplýsingar um helstu eiginleika varmaendurvinnslubúnaðar.

	Blöndun lofts	Varmanýta hjól	Vökvatengdir Varmaskiptar	Plötuvarmaskiptar	Varmaskiptar með eigin vökvahringrás	Varma dælar
Varmnýtni	Allt að 100%	50-85 %	55-65%	50-80%	45-65%	65-75%
Rakanytni	Allt að 100 %	50-85 %	-	50-70%	-	-
Prýstifall	-	150 Pa	150-250 Pa	150-250 Pa	100-300 Pa	-
Loftleki	Á ekki við	1-10%	0%	0-5 %	0%	0%
Kostir	<ul style="list-style-type: none"> -Mjög góð nýting -Yfirleitt ódýri en aðrar tegundir varmanýti búnaðar -Einföld stýring 	<ul style="list-style-type: none"> -Góð nýtni bæði raka og varma -Stýranleg nýtni -Taka ekki mikið pláss -Lítið þrýstifall 	<ul style="list-style-type: none"> -Loft-straumar geta verið fjarri hvort öðrum -Engin mengun milli loftrása -Einföld stýring 	<ul style="list-style-type: none"> -Góð nýtni -Lítill hættu á loftleka -Engir færnanlegir hlutir -Lítið þrýstifall 	<ul style="list-style-type: none"> -Engir færnanlegir hlutir, nema hallastýring (e.tilt) -Þrýstimunur getur verið allt að 15 kPa -Lítill hættu á loftleka -Henta vel fyrir mikinn loftstraum 	<ul style="list-style-type: none"> -Góð nýtni -Engin hættu á loftleka -Lítill rekstar-kostnaður
Gallar	<ul style="list-style-type: none"> -Flytur óhreinindi milli loftrása -Hreyfan-legir hlutir -Sam-tenging loftrása 	<ul style="list-style-type: none"> -Flytur óhreinindi milli loftrása -Hætta á frostmyndun -Sam-liggjandi loftrásir -Hætta á loftleka 	<ul style="list-style-type: none"> -Lág nýtni -Nákvæmt reiknimódel þarf til að reikna afköst -Stórir varmafletir -Hætta á frostmyndun 	<ul style="list-style-type: none"> -Taka mikið pláss -Erfitt að stýra nýtni -Hætta á frostmyndun -Fáir framleiðendur rakadrægra plötuvarmaskipta -Lítið vitað um endingu rakadrægra plötuvarmaskipta -Samliggjandi loftrásir 	<ul style="list-style-type: none"> -Lág nýtni -Fáir framleiðendur -Erfitt að stýra -Samliggjandi loftrásir 	<ul style="list-style-type: none"> -Mjög dýr búnaður -Samtenging loftrása



Algengast er að varmaendurvinnslukerfi veiti endurunnum varma aftur inn í sama rýmið þaðan sem hann kom. Varmi úr útkastslofti rýmis er þá notaður til upphitunar á fersku innblásturslofti og því blásið inn í sama rými. Þó eru til kerfi sem veita endurunnum varma úr einu rými í annað. Til dæmis getur þannig kerfi nýtt heitan útblástur frá verksmiðjuframleiðslu til að hita upp ferskloft fyrir skrifstofur. Varmaendurvinnslukerfi eru einnig notuð til að endurvinna varma úr útkastslofti verksmiðjuframleiðslu sem nýttur er áfram til framleiðslunnar.

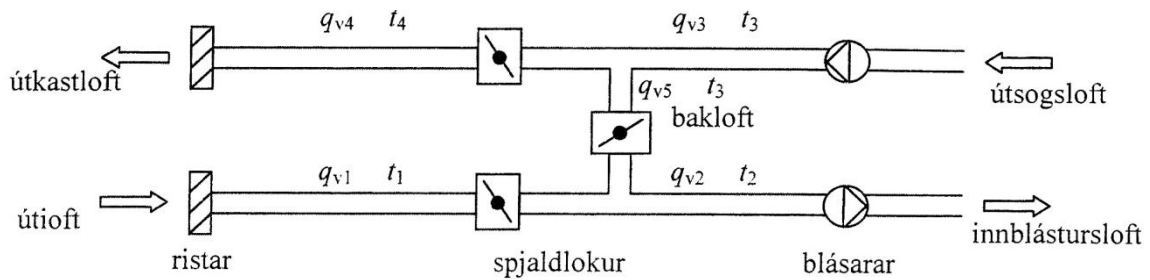
Við val á varmaskiptum þarf einnig að huga að útgjöldum. Stofnkostnaður getur sett sitt mark á möguleika við hönnun kerfisins. Varmaskiptar kosta misjafnlega mikið og afkastageta þeirra og nýtni er einnig mismunandi. (ASHRAE, 2008)

Helstu gerðir varmaendurvinnslubúnaðar eru varmanýtahjól, vökvatengdir varmaskiptar, krossstraumvarmaskiptar (plötuvarmaskiptar) og varmaskiptar með eigin vökvahringrás. Í þessu sambandi ber einnig að minnast á blöndun loftstrauma og varmadælur, þó hvorugt sé nú notað í nýjum loftræsikerfum á Íslandi. Blöndun loftstrauma er þó enn við lýði víða erlendis þar sem kæliþörf er mikil. Varmadælur eru einnig algengar við slíkar aðstæður. (Sveinn Áki Sverrisson, 2011)

Hér verður fjallað um ofantaldar tegundir varmaskipta. Með umfjölluninni er ætlunin að varpa ljósi á helstu þætti er varða uppbyggingu, eiginleika og virkni þeirra.

4.1 Blöndun

Blöndun loftstrauma er einfaldasta aðferðin við að endurnýta varma útkastslofts. Loftstraumi útkastsloftins (eða hluta hans) er einfaldlega blandað saman við ferska inntaksloftið og þar með nýtist varminn fullkomnlega. Það er þó fleira sem berst með útkastloftinu en varmi því raki, mengun og lykt geta sett strik í reikningin fyrir ferskleika uppblandaða útiloftsins. (Oddur B. Björnsson, 2002) Af þessum sökum er uppblöndun lofts að mestu leiti úrelt aðferð hér á landi í nýjum loftræsikerfum. Ekkert mælir þó á móti því að þessi tegund varmaendurvinnslu sé notuð utan vinnutíma ef loftræsikerfið er notað í öðrum tilgangi en að skapa ferskloft eins og til næturhitunar. (Sveinn Áki Sverrisson, 2011)

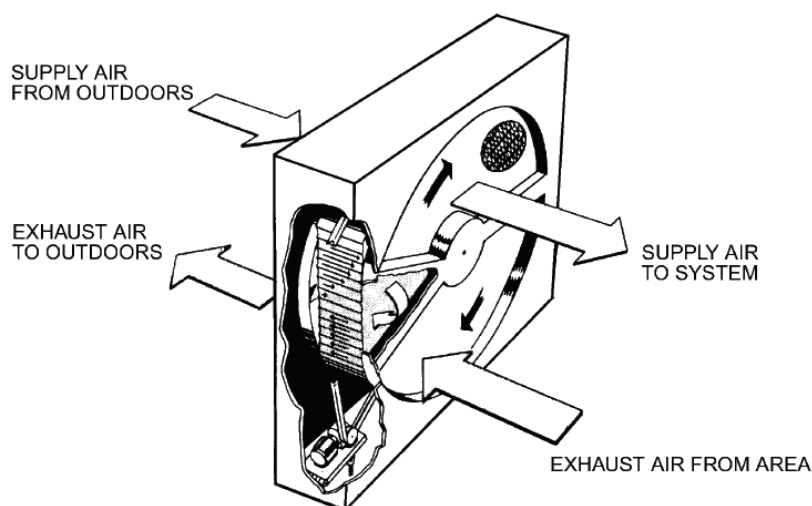


Mynd 4-1 Blöndun loftstrauma

Mynd 4-1 sýnir blöndun loftstrauma. (Ragnar Ragnarsson, 2002, bls. 166) Stokkarnir liggja samsíða með loftstraumum úr gagnstæðum áttum. Bakloftsloka hleypir lofti á milli stokka.

4.2 Varmanýtahjól

Varmanýtahjólið skiptist til helminga eins sjá má á Mynd 4-2. (ASHRAE, 2008, bls. 25.10) Á meðan snúningur er á hjólinu streymir útkastsloft í gegnum annan hlutann og inntaksluft um hinn. Loftstraumarnir koma úr gagnstæðum áttum og ákveðinn snúningshraði er á hjólinu. Hjólið er hitamiðill með mikið yfirborðsflatarmál. Varmi (og raki) frá loftstraumi útkastsloftsins flytjast til inntaksluftins með yfirborðsflötum hjólsins. Hitaleiðniferlið og rakasöfnunin geta líka verið á hinn veginn, það er að segja heitt útiloft er þá kælt og rakastig þess lækkað. Til eru tvær gerðir varmanýtahjóla, rakadræg og órakadræg. (ASHRAE, 2008; Ragnar Ragnarsson, 2002)



Mynd 4-2 Varmanýtahjól



Órakadræg varmanýtahjól

Órakadræg varmanýtahjól flytja ekki raka á milli loftstrauma. Þau flytja því raka útkastsloftsins aftur út úr kerfinu. Þó að þessi tegund varmanýtahjóls sé ekki gerð til þess að flytja raka á milli loftrása, getur raki sem myndast við þéttingu loftsins sest á hjólið og borist þannig á milli rýma. Þessi óbeini rakaflutningur byggir því á daggarmarki og gufuþrýstingi hverju sinni og á sér einkum stað þegar nýtni varmaskiptis er há og rakastig útkastslofts hátt. (ASHRAE, 2008)

Rakadræg varmanýtahjól

Rakadræg varmanýtahjól eru sérstaklega útbúin til þess að flytja raka ásamt varma. Yfirborðsfletir hjólsins eru þaktir rakadrægu efni sem dregur í sig raka frá útkastloftinu. Hjólið skilar því bæði raka og varma til inntaksloftsins. Ferlið getur líka verið viðsnúið. Gufuþrýstingmunur veldur því að raki safnast úr þeim loftstraumi sem hefur hærra rakastig og losnar til loftstraumsins þar sem rakastigið er lægra þannig er rakastigi inniloftsins haldið í jafnvægi. Nýtni rakadrægra varmanýtahjóla er eins fyrir varma og raka. (ASHRAE, 2008)

Efni

Efnisval hjólsins og ytra byrði þess er bundið aðstæðum hverju sinni. Við efnisval þarf meðal annars að huga af þáttum eins og mengun, hitastigi (sem kerfið mun starfa í), döggunarpunkti og fleiri eiginleikum útiloftsins. Efnisval ákvarðast einnig af því hvort um sé að ræða rakadrægt eða órakadrægt varmanýtahjól. Algengt er að ytra byrði hjólsins og hreyfill séu úr stáli, áli eða fjölliðum. Yfirborðsfletir hjólsins eða varmamiðillinn sem sér um varmaflutninginn er venjulega úr efnum eins og áli, kopar, ryðfrúu stáli og monel. Sérstök efni eru sett á yfirborðsfleti rakadrægra varmanýtahjóla sem ætluð eru til þess að draga í sig raka. Dæmi um slík efni eru seólt, sameindasigt, kísilhlaup, fjölliður, virkt ál, títanúmsílikat, lithíumklóríð og áloxíð. (ASHRAE, 2008)

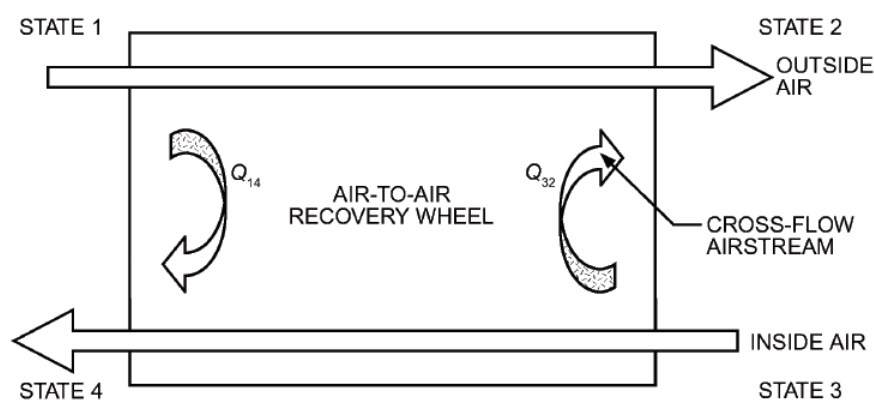
Stýring varmanýtahjóls

Það er hægt er að stýra varmanýtingu hjólsins á tvo mismunandi vegu. Önnur leiðin er sú að hitanemi í inntaksstokki stýrir því loftmagni sem fer í gegnum varmanýtahjólið með hjáhlaupslokum. Hjáhlaupslokan stýrir því loftmagni sem fer í gegnum hjólið eða hleypir loftinu fram hjá varmanýtahjólínu á meðan fastur snúningshraði er á hjólinu. Hin leiðin felur í sér breytilegan snúningshraða hjólsins. Hitanemi stýrir snúningshraða hjólsins og varmanýtingin eykst með auknum hraða hjólsins.

Veðurfar hefur bein áhrif á starfsemi varmanýtahjólsins. Hér á landi er hitastig útiloftsins oftar en ekki lægra en kröfur um hitastig innloftsins. Við þau skilyrði er hjólið að endurvinna varma til að hita upp inntaksloftið. Í löndun þar sem útihiti er hár snýst starfsemi varmanýtahjólsins við og það fer að endurnýta útkastloftið til að kæla niður inntaksloftið. Sú staða getur einnig komið upp að engin varmanýting muni eiga sér stað. Þetta á við ef hitastig útilofts er herra en sú krafa sem gerð er um hitastig innblásturslofts, en þó lægra en hitastig útkastslofts. Þá er nauðsynlegt að hafa hlutlausa stillingu. (ASHRAE, 2008)

Loftleki

Einhver loftleki á sér stað í öllum varmanýtahjólum. Í mörgum tilfellum er lítilsháttar blöndun loftstrauma þó ekki áhyggjuefni. Loftleki er hins vegar hvorki æskilegur né viðunandi á stöðum þar sem starfsemin krefst þess að innblástursloftið sé ómengað, til dæmis á sjúkrahúsum og rannsóknarstofum. Loftleki orsakast af tveimur ástæðum, annars vegar vegna þess að loft berst með hjólinu þegar það snýst frá einum loftstraumi til annars og hins vegar vegna þess að þrýstimunur er á milli loftstokka (sjá Mynd 4-3). (ASHRAE, 2008, bls. 25.6) Til þess að minnka líkurnar á því að mengun berist á milli loftstokka með snúningi hjólsins er hreinsibúnaði komið fyrir sem loftið blæs í gegnum áður en það berst með hjólinu að inntakshluta. Með slíkum hreinsibúnaði er unnt að minnka mengun vegna lofts sem berst með hjólinu niður í allt að 0,1 %. (ASHRAE, 2008)



Mynd 4-3 Loftleki vegna þrýstimismunar milli loftstokka.

Mikilvægt er að þrýstingur sé hærri á framrás en bakrás til að fyrirbyggja leka til ferska inntaksloftsins.

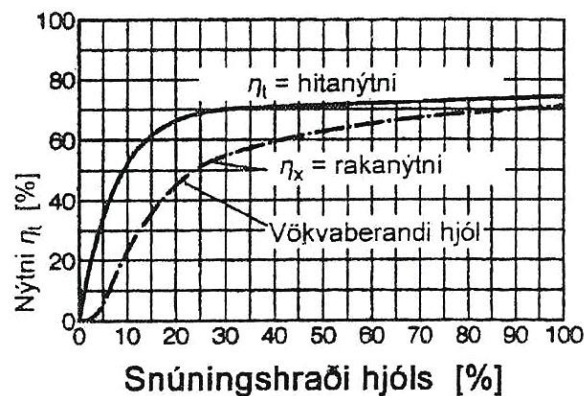


Hægt er að fyrirbyggja mengun vegna leka sem stafar af þrýstimun milli loftstokka fram-og bakrásar með því að sjá til þess að þrýstingur sé hærri í framrás en bakrás. Það er gert með því að staðsetja blásara og lokur sérstaklega með tilliti til þrýstingsmunarins sem sóst er eftir. Með þessum ráðstöfunum má koma í veg fyrir að mengað loft leki inn í framrásina til ferska útiloftsins. Því ætti að velja útblástursblásara, sem oftast er staðsettur fyrir aftan varmanýtahjól, með tilliti til loftleka. (ASHRAE, 2008)

Nýtni

Nýtni varmanýtahjóna er há samanborið við aðrar tegundir varmaskipta. Þessi háa nýtni stafar einkum af því hversu þéttur orkuflutningurinn er. Loftstraumarnir streyma þétt í gegnum hjólið úr gagnstæðum áttum og þvermál hjólsins er yfirleitt frekar lítið. (ASHRAE, 2008)

Fleiri þættir hafa áhrif á varmaflutningsgetuna þar á meðal hita og rakamismunur loftstraumanna, hraði loftstraumanna og snúninghraði hjólsins. (ASHRAE, 2008; Ragnar Ragnarsson, 2002)



Mynd 4-4 Nýtni varmanýtahjóns.
Nýtnin eykst með snúningshraða hjólsins.

Á Mynd 4-4 má sjá hlutfall nýtni varmanýtahjónsins og snúningshraða hjólsins. (Ragnar Ragnarsson, 2002, bls. 168) Nýtnin eykst með auknum hraða til að byrja með, en eykst lítið eftir að ákveðnum hraða hefur verið náð.

Umhirða

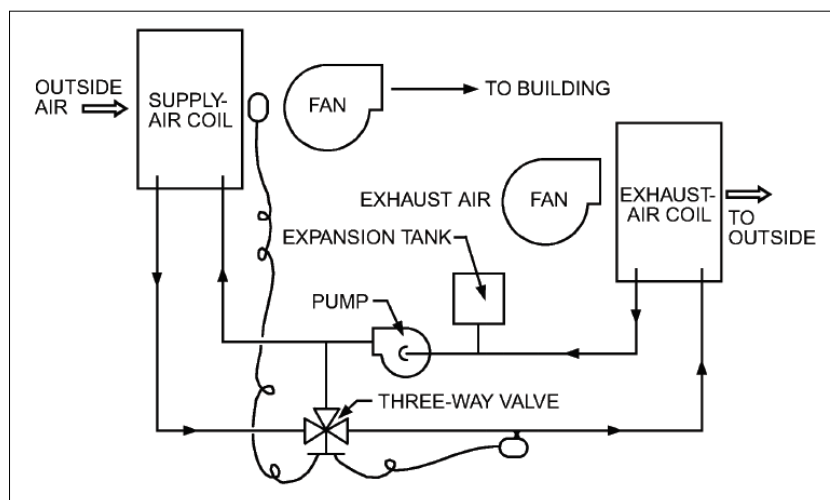
Varmanýtahjól þarfnastráttar umhirðu. Það safnast yfirleitt lítil óhreinindi fyrir í þeim vegna þess að hjólið snýst á milli loftstrauma sem blása úr sitthvorri áttinni.



Þegar mjög kalt er úti getur reynst nauðsynlegt að grípa til ráðstafana vegna frostmyndunar. Það er gert með því að hita inntaksloftið, stöðva hjólið eða afþýða kerfið. (ASHRAE, 2008)

4.3 Vökvatengdir varmaskiptar

Í vökvatengdum varmaskiptum á varmaflutningur sér stað inn í lokaðri vökvahringrás. Vökvi varmaskiptisins flytur með sér varma frá útkastlofti og gefur frá sér varma til inntaksloftsins. Ferlinu má lýsa þannig að útkastsloft streymir um varmafleti sem staðsettir eru í útkastsstokki og inntaksloft streymir um varmafleti í inntaksstokki. Varmafletir eru málmþynnur (e. fins) sem auka við yfirborðsflöt pípanna þar sem loftið streymir í gegn. Vökvi varmaskiptisins berst áfram með pípum sem mynda lokaða hringrás á milli varmaflatanna. Varmafletir í útkastsstokki taka upp varma frá útkastsloftinu sem streymir í gegn. Vökvinn í pípunum hitnar um leið og hann streymir í gegnum varmafletina og berst síðan áfram til varmaflatanna í inntaksstokki. Þar gefur hann frá sér þann varma sem hann tók upp. Varmafletirnir hitna og gefa frá sér varma sem hitar upp inntaksloftið sem streymir í gegn. (ASHRAE, 2008; Ragnar Ragnarsson, 2002)



Mynd 4-5 Vökvatengdur varmaskiptir

Í hringrásarkerfi vökvatengdra varmaskipta geta inntaks og -útkastsstokkur verið fjarri hvor öðrum. Auk þess er varmaflutningur á milli marga staða samtímis mögulegur. Á Mynd 4-5 má sjá uppbyggingu vökvatengds varmaskiptis. (ASHRAE, 2008, bls. 25.11) Þessi tegund varmaendurvinnslubúnaðar býður því upp á margvíslegar lausnir í framsetningu loftræsikerfa og henta sérstaklega vel í endurnýjuðum byggingum, iðnaðarhúsnæði og á sjúkrahúsum, þar sem blöndum lofts má ekki eiga sér stað. (ASHRAE, 2008)



Vökvatengdir varmaskiptar flytja ekki raka á milli loftstrauma. Varmanýtnin eykst hins vegar ef útkastsloftið er rakt, því við þéttingu skilar uppgufanarvarminn sér til vökvans. (Oddur B. Björnsson, 2002)

Ef nota á útkastsloftið til kælingar skilar uppgufun sér til lækkunar á hitastigi útkastsloftsins og dregið þar með talsvert úr kæliþörf. Þessi eiginleiki getur verið mikill kostur þar sem kæliþörf er mikil. (ASHRAE, 2008)

Efni

Efniviður vökvatengdra varmaskipta er valinn með tilliti til umhverfis og aðstæðna hverju sinni. Vökvinn sem notaður í hringrásinni er þá venjulega banda af frostlög í vatni. Þenslutankur er nauðsynlegur til þess að taka við þenslum og samdrætti vökvans. Sé etýlenglýkól notað í hringrásina minnkar lokaður þenslutankur líkurnar á ryðmyndun. (ASHRAE, 2008)

Ál og kopar eru algeng efni í pípum og málmþynnnum. Málmþynnurnar eru venjulega úr áli og hringrásarpípunar úr kopar, þó eru aðrar samsetningar einnig notaðar. Við sérstakar aðstæður eins og í iðnaðarkerfum þarf að taka til greina hversu hátt hitastigið getur orðið og hvers konar efni er unnið með. Við efnisval þarf að meta þau áhrif sem hátt hitastig, þéttanlegar lofttegundir, tærandi og mengandi efni geta haft á pípunar. Við slíkar skilyrði er hættu er á að kerfið eyðileggist ef viðeigandi efni eru ekki notuð. Við þannig aðstæður getur verið nauðsynlegt að verja pípunar með sérstöku varnarlagi. Dæmi um slíkt eru koparhúðaðar málmþynnur eða húðun með sérstakri varnarlagsfilmu (e.dip coating).

Stýring

Tvennskonar stýringar á vökvatengdum varmaskiptum koma til greina, annars vegar er það stýring með uppblöndunarloka og hins vegar hraðastýring með dælu. Þegar hraðastýring er notuð sér hraðastýrð dæla um að stjórna hraða vökvans eða því vökvamagni sem flytur varma hverju sinni. Þegar uppblöndunarloki er notaður til stýringar er vökvamagnið í hringrásinni stöðugt. Uppblöndunarloki stýrir hitastigi vökvans sem streymir frá varmaflötum útkastsloftsins að varmaflötum inntaksloftsins. Hann kemur í veg fyrir frostmyndun í varmaflötum útkastsloftsins með því að halda hitastigi vökvans sem þangað streymir fyrir ofan frostmark með blöndun. Lágmarkshita er viðhaldið með því að hringrás hluta upphitaða vökvans í kringum útkaststokkinn. Uppblöndunarloki stýrir þannig hitastigi hringrásarvökvans eftir þörfum til að viðhalda réttu hitastigi á inntaksloftinu. (ASHRAE, 2008; Ragnar Ragnarsson, 2002)

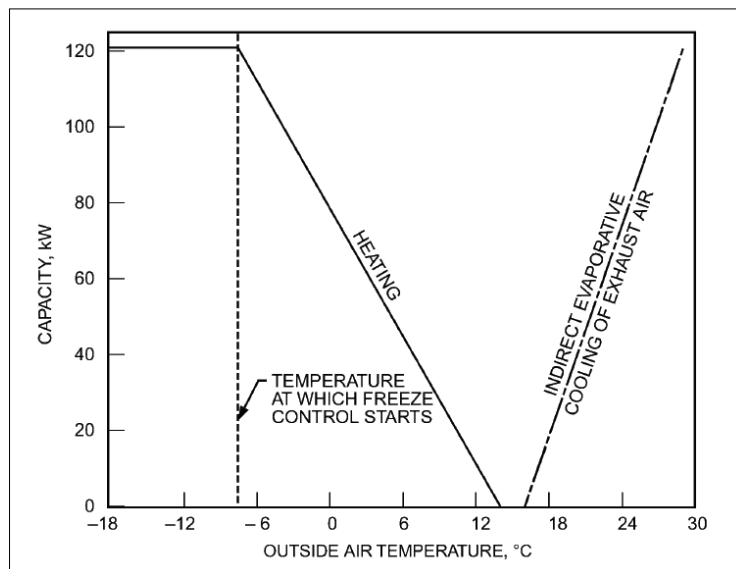


Loftleki

Þar sem að loftstraumarnir eru algjörlega aðskyldir er ekki hætt á mengun milli loftstokka í kerfinu. (ASHRAE, 2008; Ragnar Ragnarsson, 2002)

Nýtni

Við hönnun á kerfinu þarf að samræma líkön fyrir orkuþörf og hringrásarkerfið til að þess að finna hagkvæma lausn. Í allra hagkvæmustu kerfunum er nýtnin á bilinu 45-65%. Þess ber að geta að hagkvæmstu kerfin eru þó ekki endilega með lægsta viðhaldskostnaðinn. (ASHRAE, 2008) Besta nýtnin fæst með því að nota hreint vatn og versnar eftir því sem meiri frostlögur er notaður. (Oddur B. Björnsson, 2002)



Mynd 4-6 Afkastageta vökvatengs varmaskiptis.

Á þessari mynd má sjá að afköst eru þau sömu eftir að hitastig útiloftsins fer niður fyrir $-7,5$ °C. Þetta gerist vegna þess að miðlunarvökvinn fer þá að hringrása í kerfinu til þess að koma í veg fyrir frostmyndun.

Venjulega er afkastageta til varmaendurvinnslu óháð útihitastigi. Uppblöndunarlokinn hefur hins vegar þau áhrif að hitastig upphitaða útiloftsins helst í sömu gráðutölu eftir að útihitastig hefur náð ákveðnu lágmarki þá fer uppblöndunarlokinn að jafna hitastig miðlunarvökvans til varna frostmyndun í útkastsstokkinum og eftir það má reikna með því að afköst kerfisins séu stöðug. Mynd 4-6 lýsir afkastagetu kerfis við mismunandi hitastig. (ASHRAE, 2008, bls. 25.12) Þar sést að afköst kerfisins haldast stöðug eftir að ákveðnum lágpunkti í útihita hefur verið náð.

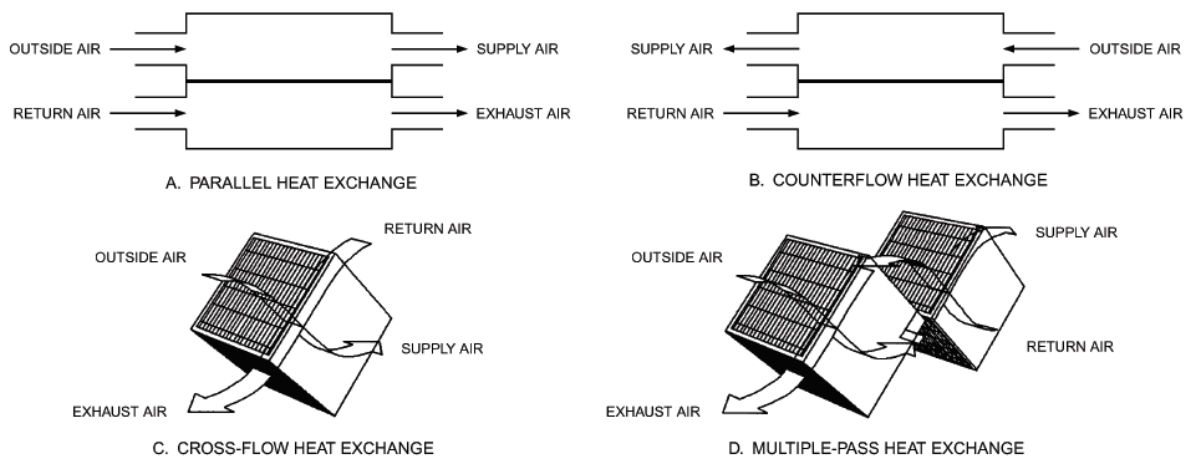


Umhirða

Vökvatengdir varmaskiptar krefjast ekki mikillar umhirðu. „Vökvatengdir varmaskiptar þarfnast ekki mikils viðhalds. “Einu hreyfanlegu hlutar kerfisins eru hringrásardælan og þrívæglokinn. Til þess að hámarka afköst kerfisins er mælt til þess að loftið sé síað og yfirborð varmaflatanna þrifið reglulega, dælnni og þrívæglokanum haldið við og bætt á miðlunarvökva eða skipt um með ákveðnu millibili“. (ASHRAE, 2008, bls. 25.12)

4.4 Plötuvarmaskiptar (Krossstraumsvarmaskiptar)

Krossstraumsvarmaskiptir er algengasta gerð svonefndra plötuvarmaskipta. Plötuvarmaskiptar fást í mörgum mismunandi útfærslum eins og sést á Mynd 4-7 en í megin atriðum er uppbygging þeirra svipuð. (ASHRAE, 2008, bls. 25.5) Þeir samanstanda af boxi sem inniheldur raðir af plötum með ákveðnu millibili, oftast 2,5-12,5 sm. Plöturnar skilja að loftstrauma útkasts-og inntakslofts sem koma úr gagnstæðum áttum. Loftstraumarnir streyma inn um annað hvert bil á sittthvorri hlið boxins. Annað hvert bil á milli platnanna er lokað vegna loftstraums úr gagnstæðri átt. Plöturnar taka upp varma frá útkastsloftinu og leiða til útiloftsins. (ASHRAE, 2008)



Mynd 4-7 Plötuvarmaskiptar.

A. Plötuvarmaskiptir með samsíða loftstraumum, B. Plötuvarmaskiptir með loftstraumum úr gagnstæðum áttum, C. Krossstraumsvarmaskiptir, D. Raðtengdir krossstraumsvarmaskiptar.

Í krossstraumsvarmaskiptum sem flytja eingöngu varma nýtast bæði varmi og dulvarmi sem verður til við döggun útkastsloftsins til upphitunar útiloftsins. Rakinn situr þá eftir en flestir krossstraumsvarmaskiptar eru búnir niðurföllum sem taka við vökva sem orðið hefur til við þéttingu. Niðurföllin taka líka við úrgangsvatni úr kerfum með vatnshreinsibúnaði.



Algengast er að krossstraumsvarmaskiptar flytji eingöngu varma, en mögulegt er að flytja raka með því að nota sérstök efni í plöturnar. Í tilfellum þar sem ekki á að rakabæta innblástursloft eða þar sem rakainnihald útkastloftsins er hátt er betra að nota varmaskipti sem endurvinnur eingöngu varma (ekki raka). (ASHRAE, 2008)

Efni

Ál er algengasta efnið sem notað í plöturnar, einkum vegna þess að það er endingargott og óbrennanlegt. Fjölliðuefni eru líka vinsæl og hafa þá kosti til að bera að geta aukið skilvirkni varmaflutningsins með umróti loftsins í loftgöngunum, auk þess sem þau tærast ekki og eru ódýr. Í aðstæðum þar sem hitastigið getur farið yfir 200°C í sértilfellum þar sem kostnaður skiptir ekki höfuðmáli eru notaðar málmblöndur með stáli.

Vatnsgufugegndræp efni eru notuð í tilfellum þar sem flytja á raka á milli loftrásanna. Slík efni eru til dæmis pappírsefni og fjölliður með örsmáum holrúmum sem mynda gegndræpa himnu. Efnin eru hönnuð sérstaklega til þess að flytja varma og raka á milli loftstrauma en sem minnst af lofti. Sérstök efni eru notuð til að búa til þessar gegndræpu himnur til dæmis sellulósar, fjölliður, vatnssæknar jónir og fleiri gerviefni. Vatnssæknar jónir eru búnar til með súlfanískum efnahvörfum og innihalda jónir sem safna raka úr loftstraumnum á yfirborð efnisins. Rakinn drýpur svo í gegnum himnuna. (ASHRAE, 2008)

Stýring

Varmastreymi í krossstraumsvarmaskiptum er stýrt með hjáhlaupsloku. Útkastsloftið streymir stöðugt í gegnum varmaskiptinn en til þess að viðhalda réttu hitastigi stýrir hjáhlaupslokan inntakslofti í gegnum varaskiptinn og fram hjá honum. Við frostmyndun getur þurft að afþýða kerfið. Til þess að koma í veg fyrir að frostmyndun er hægt að hleypa inntaksloftinu fram hjá eða hringrás á gegnum útkastshluta varmaskiptisins. (ASHRAE, 2008; Ragnar Ragnarsson, 2002)

Loftleki

Loftleki á milli loftstrauma er lítil sem enginn í krossstraumsvarmaskiptum. Venjulega er þrýstingsmunur á milli loftstokkanna minni en 1 kPa en ef þrýstingsmunurinn verður verulegur getur hann valdið því að plöturnar í varmaskiptinum aflagast. Slíkt getur valdið því að loftstreymið minnkar þeim megin sem þrýstingurinn er lægri og þá getur myndast leki á milli loftstraumanna. Mikill þrýstingsmunur getur einnig valdið varanlegum skemmdum á varmaskiptinum. (ASHRAE, 2008)

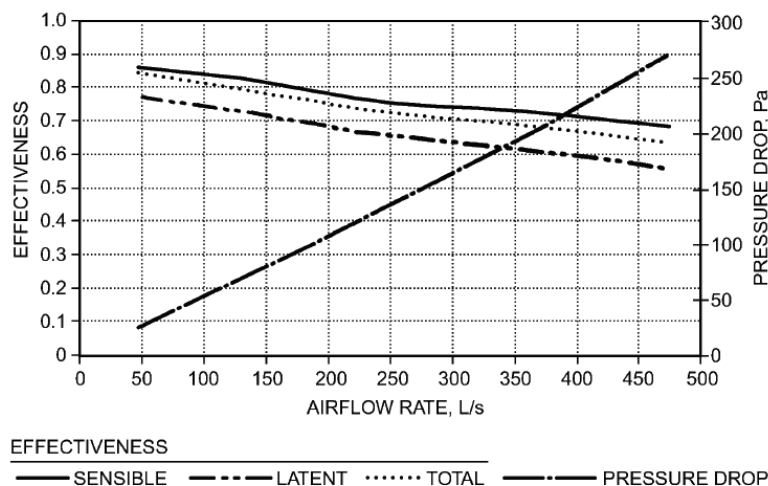


Nýtni

Krossstraumsvarmaskiptar geta náð mjög góðri varmanýtingu vegna þess að varminn flyst með einföldum hætti á milli loftstraumana. Sumar tegundir varmaskipta, eins og vökvatengdir varmaskiptar, hafa mun meiri mótstöðu við varmaflutninginn heldur en varmamótstaða við yfirborð platna. Hitaleiðnistuðull platnanna hefur þó ekki stórvægileg áhrif á nýtnina. „Mótstaða platnanna til varmaflutnings er mjög lítið í samanburði við yfirborðsmótstöðu loftstraumsins við sitthvora hlið platnanna.“ (ASHRAE, 2008, bls. 25.9)

Eins og sést á Mynd 4-8 helst nýtnin í hendur við hraða loftstraums og þrýstifall. (ASHRAE, 2008, bls. 25.10)

Þrýstifall í gegnum varmaskiptinn eykst með auknum hraða og dregur úr nýtni. Nýtni krossstraumsvarmaskipta er venjulega ekki hærri en 75% nema 2 slíkir séu raðtengdir. (ASHRAE, 2008)



Mynd 4-8 Nýtni plötuvarmaskiptis.

Þrýstimunur milli loftstraumanna eykst með auknum hraða og dregur úr nýtni. Mikill þrýstimunur getur orðið til þess að plöturnar skekkjast og valdið loftleka. Í flestum kerfum er þrýstimunurinn minni en 1 kPa og loftleki ekki vandamál. Ekki er mælt með plötuvarmaskiptum í kerfum þar sem kröfur eru um mikinn hraða eða þrýsting.

Umhirða

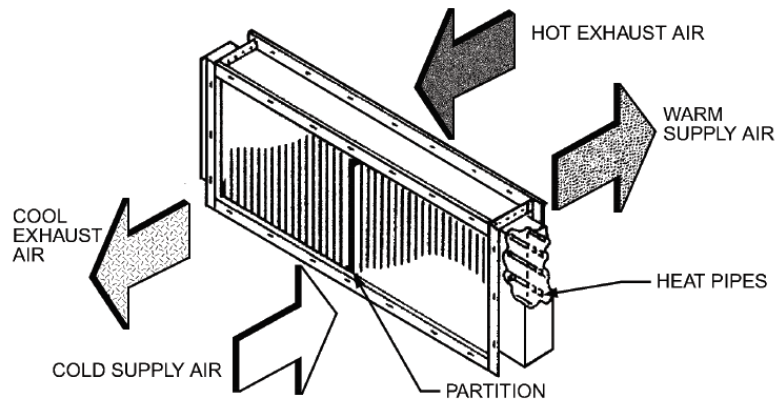
Aðgengi að plötum til þrifa og viðhalds er misjafnt og fer eftir uppbyggingu varmaskiptisins og uppsetningu. Hægt er að fá vatnshreinsibúnað í krossstraumsvarmaskipta. (ASHRAE, 2008)

4.5 Varmaskiptar með eigin vökvahringrás

Varmaskiptar með eigin vökvahringrás flytja varma með miðlunarvökva í lokaðri hringrás inn í sívalningslaga hólkum eða rörum. Utan um rörin eru málmþynnur sem auka við yfirborðsfleti

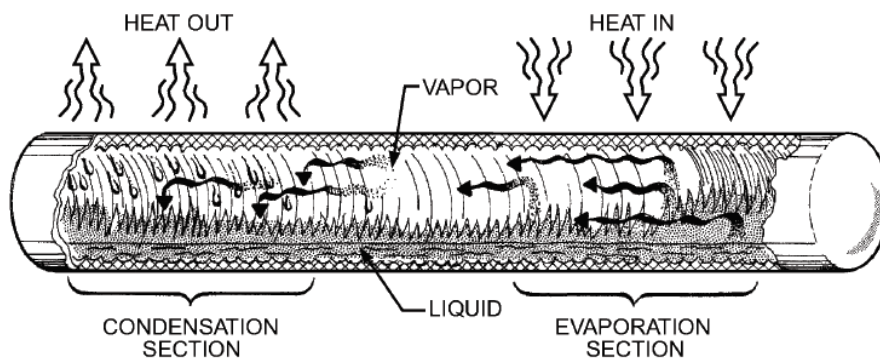


þeirra. Fjöldi röra og lengd er mismunandi eftir varmaskiptum. Loftstraumar inntaks-og útkastslofts streyma úr gagnstæðum áttum yfir sinnhvorn helming röranna eins og sjá má á Mynd 4-9. (ASHRAE, 2008, bls. 25.13)



Mynd 4-9 Varmaskiptir með eigin vökvahringrás

Öðru megin streymir heitt útkastsloft yfir rörin og gerir að verkum að miðlunarvökvinn sem er inn í hverju þeirra gufar upp. Mynd 4-10 lýsir ferli varmaflutnings sem á sér stað innan í rörunum. (ASHRAE, 2008, bls. 25.13)



Mynd 4-10 Varmaflutningur í varmaskipti með eigin vökvahringrás.

Miðlunarvökvinn hitnar og gufar upp í heita hlutanum og þéttist og gefur frá sér varma í kalda hlutanum.

Gufuþrýstingsmunur rekur gufuna áfram að hinum enda rörsins þar sem gufan þéttist og leysir úr læðingi dulvarma við þéttinguna. Varminn sem verður við þéttingu miðlunarvökvans berst síðan til útiloftsins sem streymir yfir þann hluta röranna. Miðlunarvökvinn streymir síðan aftur til baka eða dregst að gufunarhluta rörsins. Þar hefst sama hringrás að nýju og gengur þannig



fyrir sig á meðan hitamismunur er til staðar við sitthvorn enda rörsins til að knýja vökvann áfram. (ASHRAE, 2008)

Efni

Efnisval ræðst einkum af hitastigi í því umhverfi sem varmaskiptirinn mun starfa í. Algengast er að rörin séu úr kopar eða áli og málmþynnurnar úr áli.

Við sérstakar aðstæður eins og í iðnaðarkerfum þar sem hitastigsbreytingar eru miklar eru bæði rörin og málmþynnurnar gerð úr sama efni til þess að sneiða hjá vandamálum sem geta orsakast af mismunandi hitaþansstuðli efna. Í kerfum þar sem útblásturshiti er neðan við 220°C er ál venjulega notað. Í tilfellum þar sem hætta er á tæringu er hægt að nota ódýra blöndu af áli með sérstöku varnarlagi. Slík varnarlög hafa lítil áhrif á varmaflutningsgetuna. Ef hitastigið getur farið yfir 220°C eru bæði rörin og málmþynnurnar úr stáli, málmþynnurnar eru þá oft álhúðaðir til þess að sporna við ryðmyndum. Í sértilfellum geta kerfin verið samsett með einingum úr misjöfnu efni og með mismunandi vökvum.

Vökvinn sem er notaður í varmaskipta með eigin vökvahringrás þarf að hafa sérstaka eðliseiginleika til að bera. Hann þarf að hafa háan gufunarvarma, mikla yfirborðsspennu og þarf auk þess að vera þunnfljótandi. Í tilfellum þar sem hitastig er lágt er hægt að notast við helíum sem miðlunarvökva og í meðal heitu umhverfi er vatn góður kostur. Í háhita búnaði eru notaðir fljótandi málmar á borð við natríum og kvikasilfur. Miðlunarvökvinn hefur mikið með endingu varmaskiptisins að gera svo afar mikilvægt er að réttur vökvi sé valinn. Miklu skiptir að vökvinn sé hitaþolinn gagnvart því hitastigi sem hann mun starfa í, því ef vökvinn hitnar umfram hitaþolmörk geta tregþéttanlegar lofttegundir orðið til sem draga úr afköstum kerfisins. (ASHRAE, 2008)

Stýring

Varmaskiptum með eigin vökvahringrás má stýra með hjáhlupsloku sem stýrir inntaksloftinu í gegnum varmaskiptinn og fram hjá honum. Þannig er hægt að stýra afköstum og koma í veg fyrir frostmyndun með því að hringrása loftstraumnum. Afköstum má einnig stýra með veltistýringu. Með því að breyta halla rörsins er hægt að stjórna því magni af varma sem flyst. Sé uppgufunarhluti rörsins fyrir neðan lárétt hjálpar það þéttivökvanum að streyma til baka. Stjórnþæki með hitanema sér um að velta rörunum um nokkrar gráður um miðjuna í ákjósanlega halla fyrir aðstæður til varmanýtingar hverju sinni. Veltistýringin stillir varmanýtinguna þannig að kjörhitastig upphitaða innblástursloftsins náist og kemur einnig í veg fyrir ofhitun. Hún hentar einnig vel ef breyta á virkni varmaskiptisins úr varmanýtingu yfir í kælingu. Þá flyst



varminn í öfuga átt, frá inntakslofti til útkastslofts. Veltistýringin hindrar að frost myndist í útblástursrist með því að draga úr afköstum kerfisins þannig að útkastsloftið fer út úr kerfinu við hærra hitastig en ella sem nægir til þess að frost myndast ekki.

Með nýrri og betrubættari hönnun er tvívega varmaflutningur mögulegur án veltistýringar og sumir framleiðendur framleiða núna eingöngu varmaskipta sem ekki þurfa veltistýringu. (ASHRAE, 2008)

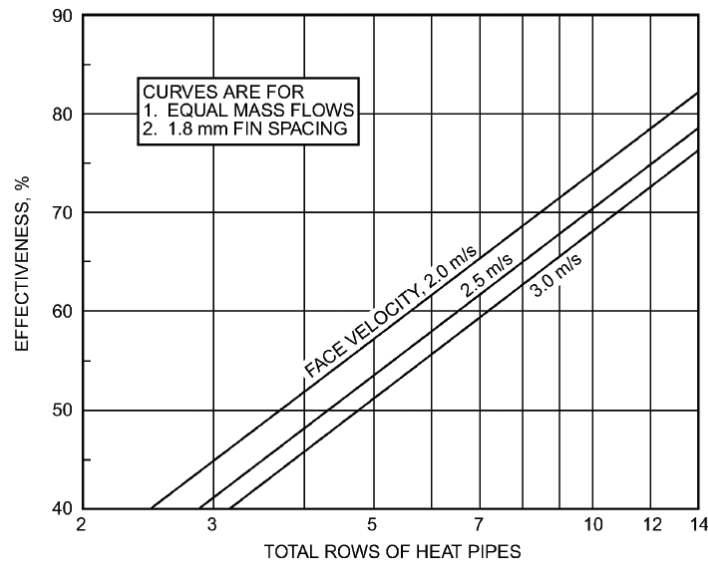
Loftleki

Varmaskiptar með eigin vökvahringrás eru yfirleitt lausir við loftleka á milli kerfa ef þrýstimunur á milli loftstokka er undir 12 kPa. Hægt er að veita aukalega vörn gegn krosssmíti loftstraumanna með því að aðskilja loftstraumana með tvöföldu skilrúmi með ventli. Sé útblástursrör á skilrúminu losnar venjulega allur leki út úr rýminu á milli loftstokkanna. (ASHRAE, 2008)

Nýtni

Varmaflutningsgeta varmaskipta með eigin vökvahringrás er háð hitastigsmun á inntaks- og útkastslofti og eykst með hækkandi útihita. Hraði loftstrauma og hlutfallsraki útkastsloftsins hafa einnig áhrif á afköstin. Afkastagetan takmarkast þó einkum af hönnunarlegum þáttum. Þvermál röranna skiptir máli fyrir varmaflutningsgetuna, afkastageta eykst með stækkandi þvermáli. Halli röranna þarf að vera þannig að uppgufunarhlutinn sé neðan við lárétt til þess að góð virkni náist en einnig skiptir máli hvernig yfirborðið inn í rörunum er hannað til að draga til sín miðlunarvökvann. Val á miðlunarvökva getur haft áhrif á afköstin, ef sundrung verður í miðlunarvökvanum geta myndast óþéttanlegar lofttegundir sem draga úr afkastagetu.

Hönnun á málmþynnum og bilsins á milli þeirra hefur áhrif á þrýstifallið sem verður við tiltekinn innblásturshraða loftsins.



Mynd 4-11 Nýtni varmaskiptis með eigin vökvahringrás.

Nýtnin eykst með fjölda pípa, en afköst hversrar pípu minnka þegar fjöldinn eykst.

Mynd 4-11 sýnir hvernig nýtni eykst línulega með auknum fjölda röra. (ASHRAE, 2008, bls. 25.13) Fjöldi röra í hverjum varmaskipti hefur því áhrif á varmaflutningsgetu. Með auknum rörafjölda minnkar nýtni fyrir hvert og eitt rör en hins vegar eykst samanlögð nýtni röranna. Nýtni raðtengdra varmaskipta er sú sama og í einum varmaskipti með jafnmörgum rörum.

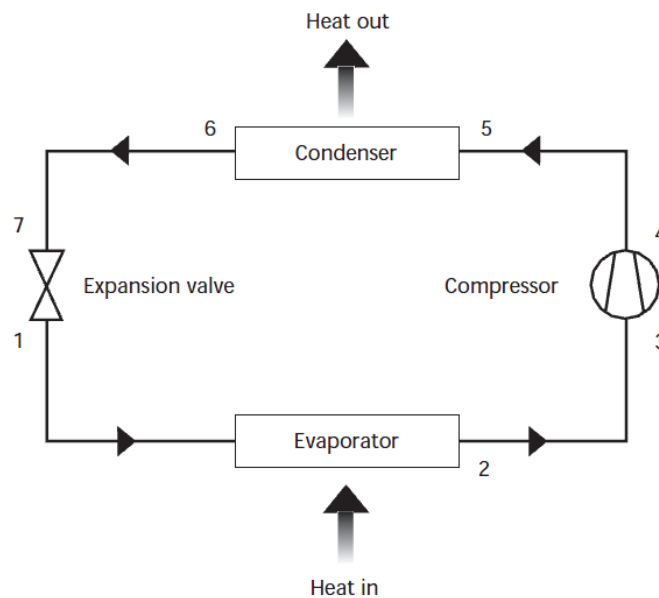
Lengd röranna breytir litlu fyrir varmaflutningsgetuna, nema ef um er að ræða stutt rör. Það ræðst af því að styttri rör hafa minna yfirborðsflatarmál og ná þar af leiðandi fyrr að hámarka varmaflutningsgetu sína en lengri rör. Í sumum tilfellum er varmaflutningsgetan aukin með því að hafa fleiri stutt rör frekar en færri og lengri. (ASHRAE, 2008)

Umhirða

Við hönnun á málmþynnunum þarf að hafa í huga hversu mikil óhreinindi munu berast með loftstraumunum og hvaða kröfur verði gerðar til þrifa og viðhalds á búnaðinum. Ef notaðar eru sléttar málmþynnur getur bilið á milli þeirra verið mismunandi fyrir inntaksloft og úttaksloft. Það getur hentað vel að hafa bilið meira á milli málmþynnanna ef útkastsloftið er mengað og komið í veg fyrir lakari afköst vegna óhreininda. Þessi möguleiki býður upp á sveigjanleika í hönnun sem er háð skilyrðum um þrýstifall. Algengt að bilið á milli málmþynna sé á bilinu 1,8-2,3 mm en í iðnaðarkerfum er bilið 2,5-3,2 mm. (ASHRAE, 2008)

4.6 Varmadælar

Varmaflutningur með varmaskiptum byggir á þeim eðliseiginleika varma að streyma frá heitum fleti að kaldari. Þessi eiginleiki varmans er notaður við tæknilega hönnun varmaskipta. Varmi frá heitu útkastslofti flyst yfir til inntakslofts sem er kaldara. Varmadælar eru af öðrum meiði og byggja því á annars konar tækni. Varmadælar henta við aðstæður þar sem vinna á varma úr mjög lágu hitastigi eða þar sem flytja á kaldan miðil yfir til heitari. Varmaflutningur með varmadælu á sér stað í lokaðri hringrás. Varmadæla er samsett úr nokkrum hlutum. Mynd 4-12 lýsir uppbyggingu varmadælu. (CIBSE og Armstrong, 2003, bls. 105) Helstu hlutar varmadælu eru uppgufari og þéttir, þrýstidæla, rafmótor, þensluloki og kælimiðill. Kælimiðillinn hringrásar á milli varmaflata þangað sem inntaks-og útkastsloftið streymir í gegn. Kælimiðillinn tekur upp varma frá varmaflötum útkastsloftsins (gufar upp) og flytur til þrýstidællunnar. Í þrýstidællunni þéttist kælimiðillinn aftur og við það losnar varminn sem tekinn var upp í varmaflötum útkastsloftsins. Varminn berst síðan til varmaflata inntaksloftsins sem hitnar uns það streymir í gegn. Þrýstidælan er knúin áfram með rafmótor svo að orkan sem varmadælan skilar er varminn frá kælimiðlinum auk þeirrar orku sem rafmótorinn þarf til að snúa þrýstidællunni. (CIBSE og Armstrong, 2003; Ragnar Ragnarsson, 2002)



Mynd 4-12 Varmadæla.
Uppbygging varmadælu og hringrásarferill.



Aflstuðull (COP)

Aflstuðull (e. COP, Coefficient of Performance) er hlutfall varmans (kW) sem þéttirinn skilar og raforkunnar (kW) sem þarf til að knýja þéttinn. Aflstuðullinn hækkar eftir því sem mismunur þéttingar-og uppgufanarhitastigs minnkar. Þetta hlutfall er sett fram eins og í jöfnu (6). (CIBSE og Armstrong, 2003; Ragnar Ragnarsson, 2002)

$$COP = \frac{Q_k}{P_w} \quad (6)$$

Þar sem:

$Q_k =$ Varmi frá þétti (kW)

$P_w =$ Raforka til þéttis (kW)

Carnot-Nýtni

Nýtni eykst eftir því sem mismunur þéttingar-og uppgufanarhitastigs minnkar. Mesta fræðilega nýtni varmadælnnar er fundin með Carnot-líkingunni, sjá jöfnu (7). Carnot nýtni-stuðullinn gefur til kynna mestu fræðilegu nýtni varmadælnnar. Það er hins vegar ekki hin raunverulega nýtni, því það eru alltaf einhver töp í ferlinu. (Ragnar Ragnarsson, 2002)

$$\eta = 1 - \frac{T_c}{T_H} \quad (7)$$

Þar sem:

$\eta =$ Carnot nýtni-stuðull

$T_c =$ Absolut hitastig inn í kerfið (Kelvin gráður)

$T_H =$ Absolut hitastig út úr kerfinu (Kelvin gráður)

Notkun

Það er hægt að nota varmadælu til upphitunar á inntakslofti með endurvinnslu á varma frá köldu útkastlofti. Í heitu loftslagi má einnig nota þær til kælingar á heitu inntakslofti. Sumar tegundir af varmadælum geta unnið varma frá fleiri en einni varmauppsprettu. Mismunandi



gerðir af varmadælum geta unnið varma bæði frá útkastlofti og öðrum varmauppsprettum eins og útilofti, jarðvegi og vatni. Ef útiloft er notað til upphitunar með varmadælu þarf að hafa í huga að varmanýtingin minnkar eftir því sem hitastig loftsins lækkar. Ef rakamagn útiloftsins er hátt er hætta á frostmyndun sem krefst þess að kerfið sé afþýtt reglulegra. Afþýðingin fer oft þannig fram að virkni dællunnar snýst við í ákveðinn tíma. Afþýðiferlið dregur þá enn frekar úr nýtni. Carnot-nýtnin í slíkum kerfum er því frekar lág. Það má því segja að ekki sé sérlega hagkvæmt að nota varmadælu til vinna varma úr útilofti á mjög köldum slóðum. Þess í stað geta vatn og jarðvegur verið heppilegri varmauppsprettur í köldu loftslagi vegna þess að þau eru þéttari í sér en loft. Þéttari efni hafa hærri eðlisvarma sem gera þau að stöðugri varmauppsprettum. Útihitastig hefur því mun minni áhrif á jörð og vatn sem varmagjafa og þess vegna geta þeir hentað betur en loft. (CIBSE og Butcher, 2005)

Sé ætlunin hins vegar að endurvinna varma útkastslofts með varmadælu getur verið góður kostur að nýta varmann í gólfhitakerfi. Það fyrirkomulag gefur góða Carnot-nýtni og háan aflstuðul þar sem nauðsynlegur vatnshiti inn á gólfhitakerfi er lágur eða um 30°C. (ASHRAE, 2008)

5 Hagkvæmni

Hagkvæmni varmaskiptis er samspil tæknilega þátta og kostnaðar. Þegar gera á samanburð á hagkvæmni varmanýta þurfa að vera til staðar upplýsingar um stofn og rekstrarkostnað yfir ákveðið tímabil. Mesta hagkvæmnin felur í sér lægstan kostnað til lengri tíma litið. Kostnaður vegna reksturs og viðhalds felur í sér mikinn fjölda breyta. Þær breytur ráðast til dæmis af hönnunarlegum þáttum eins og nýtni, verð á orku og varahlutum, vöxtum og áætluðum líftíma búnaðarins. Rekstrar-og viðhaldskostnaður er margslunginn og ómögulegt að sjá fyrir allar þær hugsanlegu breytistærðir sem kunna til að falla. Það er til dæmis ekki hægt að slá því föstu hversu oft muni verða bilun í búnaðinum. Hins vegar er fjöldi mikilvægra þátta sem hægt er að afla upplýsinga um. Þær upplýsingar má nota til þess að reikna út hagkvæmni. Allra nákvæmstu hagkvæmniútreikningarnir eru gerðir með svonefndri líftímakostnaðargreiningu.

„Raunverulegt mat á heildar afkastagetu kerfanna er fundið með líftímakostnaðargreiningu eða hversu langan tíma það tæki kerfi að borga sig, þar sem stofn-og rekstarkostnaður fyrir heildar líftíma er fundinn.“ (ASHRAE, 2008, bls. 25.16)

Líftímakostnaðargreining er gríðarlega viðfangsmikil og flókin og felur í sér allan tiltækan kostnað frá því að búnaðurinn er framleiddur og þangað til hann er urðaður. Það er allur sá kostnaður sem til verður yfir heildarlíftíma búnaðarins. Þar með talið sá sparnaður sem mun



hljótast af búnaðinum, sem og öll útgjöld vegna stofn, rekstrar og- viðhaldskostnaðar og urðunar á búnaðinum eftir að hann er tekinn úr notkun. (ASHRAE, 2008).

Vegna þess hversu viðamikil líftímakostnaðargreining er, var ekki unnt að gera slíka greiningu í þessu verkefni, eðli málsins samkvæmt.

Það má gera raunhæft hagkvæmnimat á varmaskiptum með einfaldari aðferðum. Hægt er að gera samanburð á nýtni, afköstum og orkunotkun mismunandi tegunda. Með hagkvæmniútreikningum má bera saman stofnkostnað og áætlaðan rekstrarkostnað og hversu langan tíma það muni taka varmaskiptinn að borga sig. (ASHRAE, 2008)

Markmið þessa verkefnis er að gera samanburð á helstu tegundum varmaendurvinnslubúnaðar og kanna hagkvæmni varmaendurvinnslu í loftræsikerfum.

Í drögum að byggingareglugerð fyrir árið 2011 er sett fram krafan um að endurnýta skuli 70% af varma útkastslofts og telst þá uppblöndun ekki með. Þetta á við að undanskyldum þeim tilfellum þar sem hægt er að rökstyðja að slíkt sé ekki hagkvæmt. („Byggingareglugerð drög til umsagnar“, 2011, k. 14.9.2)

Því er leitast við að svara því hvort hagkvæmt sé að endurnýta 70% af varma frá útkastslofti loftræsikerfa.

Til þess að kanna hagkvæmni loftræsingar með varmanýtingu var gerður samanburður á loftræsisamstæðum með og án varmaendurvinnslubúnaðar. Hugmyndin er sú að kanna hagkvæmni þess að leggja út í aukalegan kostnað vegna varmaendurvinnslu þar sem þörf er á loftræsingu.

Sumir framleiðendur varmaskipta hafa þróað forrit eða töflur til þess að auðvelda viðskiptavinum val á búnaði. Í þessu verkefni var notað forrit frá erlendum birgja sem mikið er notað af tæknifólki á Íslandi. Forritið heitir ProUnit og kemur frá framleiðandanum Swegon sem er einn af stærri framleiðendum loftræsikerfa í Svíþjóð. (Swegon, 2011) Swegon eru leiðandi á því sviði og árið 1994 settu þeir á markað GOLD loftræsisamstæður sem slógu í gegn og gáfu fordæmi fyrir tilbúnaðar loftræsisamstæður sem eru með innbyggðum stýringum. (Sveinn Áki Sverrisson, 2011)

Samanburður var gerður á loftræsisamstæðum frá Swegon með þremur tegundum af varmaendurvinnslubúnaði, auk samstæðu án varmaendurvinnslu. Samstæðurnar voru með varmanýtahjól, vökvatengdum varmaskipti, plötuvarmaskipti og samstæða án



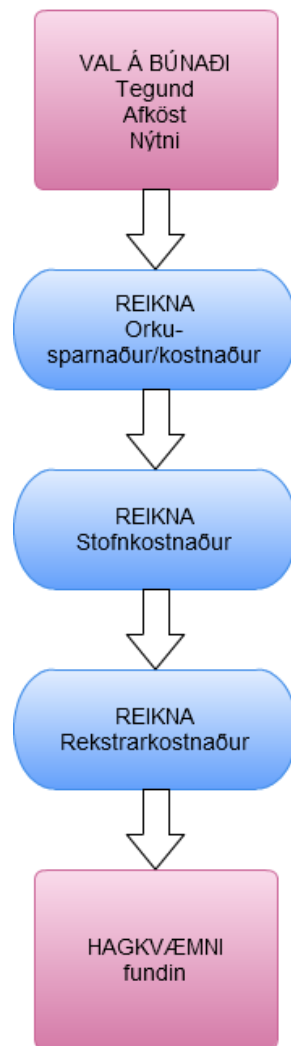
varmaendurvinnslubúnaðar. Stærð á samstæðum, orkuþörf til hitunar, raforkuþörf og nýtni var reiknuð með ProUnit. Loftmagn kerfanna var á bilinu 1.000-10.000 m³/h og hljóp á 1.000 m³/h. Alls voru 39 mismunandi tilfelli í samanburðinum. Reiknað var með því að kerfin væru staðsett í Reykjavík og væru í gangi frá kl. 7 á morgnana til kl. 18 á kvöldin, alla virka daga, allt árið um kring. Forritið skilaði upplýsingum um nýtni og orkuþörf, bæði raforkuþörf og varmaorkuþörf til hitunar.

Fundinn var stofnkostnaður fyrir samstæðurnar sem reiknaður var samkvæmt upplýsingum um verð frá Varma ehf. umboðsaðila fyrir Swegon á Íslandi. Verð á uppsetningu á samstæðunum var fundið með byggingalykli Hannarrs.

Rekstrarkostnaður var reiknaður, bæði viðhalds-og orkukostnaður. Viðhaldskostnaður var reiknaður miðað við uppgöfin verð frá Varma ehf. Útreikningar á orkuþörf sem gerðir voru með ProUnit voru notaðir til að reikna út varma –og raforkukostnað miðað var við gjaldskrá Orkuveitu Reykjavíkur.

Gerðir eru hagkvæmniútreikningar samkvæmt tveimur þekktum aðferðum, útreikningi á endurgreiðslutíma og núvirði. Þá verður gerð næmnigreining á útreiknuðu núvirði.

Niðurstöður útreikninga voru settar upp í töflur og línurit og túlkaðar. Að lokum var gerð heildstæð samantekt á efni verkefnissins og niðurstöðum. Töflur og línurit með með stærðum sem notaðar voru í útreikninga og niðurstöður útreikninga voru settar inn í viðauka (sjá, kafla 9).



Mynd 5-1 Flæðirit yfir ferli verkefnis.

Mynd 5-1 sýnir flæðirit fyrir verkefnið. Flæðiritið lýsir ferli verkefnisins á hnitmiðaðan hátt en nánar verður fjallað um þær aðferðir sem beitt var og þau fræði sem liggja að baki útreikningum í næstu köflum.

5.1 Orkuþörf og nýtni

Í þessum kafla verður fjallað um aðferð sem verður notuð til að reikna út árlega orkuþörf (E, kWh) til upphitunar á fersku útilofti og dæmi tekið um útreikning á árlegri orkuþörf.

Til að kanna mætti hagkvæmni mismunandi tegunda varmaendurvinnslubúnaðar var gerður samanburður á loftræsisamstæðum frá Swegon með og án varmaskipta fyrir mismunandi magn af lofti. Í samanburðinum voru loftræsisamstæður með vökvatengdum varmaskipti, varmanýtahjólí, plötuvarmaskipti og án varmaendurvinnslu. Alls voru borin saman 39 tilfelli



fyrir loftmagn á bilinu 1.000 m³/h til 10.000 m³/h. (Samstæða með vökvatengdum varmaskipti fyrir 1000 m³/h er ekki framleidd fyrir svo lítil kerfi). Forritið ProUnit var notað til þess að velja stærð á samstæðum og reikna út varma-og raforkuþörf fyrir valið loftmagn og nýtni.

ProUnit byggir útreikninga á sömu aðferð og jafna (8) lýsir. Til nánari skýringa og samanburðar verður reiknað dæmi með ProUnit. Farið verður yfir innslegin gildi í máli og myndum. Farið verður yfir niðurstöður ProUnit á útreiknaðri orkuþörf og borið saman við útreikninga með jöfnu (8). ProUnit gefur möguleika á því að bera saman orkuþörf með og án varmaendurvinnslubúnaðar og því verður valin loftræsisamstæða með varmanýtahjól til samanburðar. Fjallað verður um nýtni (η , %) varmanýtahjólsins og farið yfir útreikninga. Kenniaflspörf (SFP gildi) kerfisins reiknuð en samkvæmt grein 14.9.2 í drögum að nýrri byggingareglugerð skal hún ekki vera hærri en 2 kWh/m³/s. („Byggingarreglugerð drög til umsagnar“, 2011) Að lokum verður varma-og rakaflutningur lýst á Mollier-ferli.

Til þess að reikna þá orku sem þarf til að hita upp útiloft í rétt kjörhitastig innlofts þurfa nokkrar stærðir að vera kunnar. Þessar stærðir eru útihitastig, kjörhitastig innloftsins, rúmþyngd og eðlisvarmi innloftsins, það magn af lofti sem þarf að hita upp og yfir hversu langan tíma. Orkuþörf yfir skilgreindan tíma eins og árlega orkuþörf má finna með jöfnu (8). Í jöfnunni þarf að tiltaka fjölda tímaskrefa (klukkustunda) fyrir tímabilið (árið) þar sem útiloftið er við ákveðið hitastig (°C). (Hørup Sørensen, 1988)

$$E = C_{pl} * \rho * q_v * \sum_{\tau=0}^n (t_i - t_u) * \Delta t [kWh] \quad (8)$$

Þar sem:

E = Orkuþörf yfir ákveðinn tíma (kWh/ári)

C_{pl} = Eðlisvarmi lofts (kJ/(kg*K))

ρ = Rúmþyngd lofts (kg/m³)

q_v = loftstreymi (m³/s)

t_i = hitastig loftsins eftir upphitun °C

t_u = útihitastig °C



Δt = hitamismunur lofta inni og úti (°C)

n = fjöldi tímabrepa (klst.) yfir skilgreint tímabil (ár)

5.1.1 Dæmi um útreikning á orkuþörf

Fyrst verður farið í gegnum útreikninga á orkuþörf með Excel og síðan verður dæmið reiknað með ProUnit.

Dæmi er tekið um loftræsingu í stórum matsal í Reykjavík. Loftræsingin er notuð frá klukkan 7 á morgnana til 18 á kvöldin alla virka daga. Hlutverk hennar er að skapa nægilegt ferskloft fyrir fólk í matsalnum. Reiknað er með loftmagni 10 l/s á mann og í salnum er gert ráð fyrir 140 manns. Loftræsisamstæðan er með varmanýtahjól sem hefur 82% nýtni. Reikna þarf orkuþörf til hitunar á útilofti ef miðað er við að kjörhitastig innilofts sé 20°C.

Í byggingareglugerð (183.1 grein) er gerð krafa um að miða við útilofthita -15°C við hönnun á nauðsynlegu hitunarafl. (Byggingareglugerð, 1998)

Í þessu dæmi verður reiknuð sú orka sem þarf til hitunar á útiloftinu að frekari varmaútreikningum slepptum (svo sem vegna fólks, byggingaefna og starfsemi innanhúss).

Loftmagn er ákvarðað með jöfnu (9). („DS 447:2005“, e.d.)

$$q_v = q * n \text{ [l/s]} \quad (9)$$

þar sem:

q_v = Ferskloftmagn sem kerfið þarf að afkasta (l/s.)

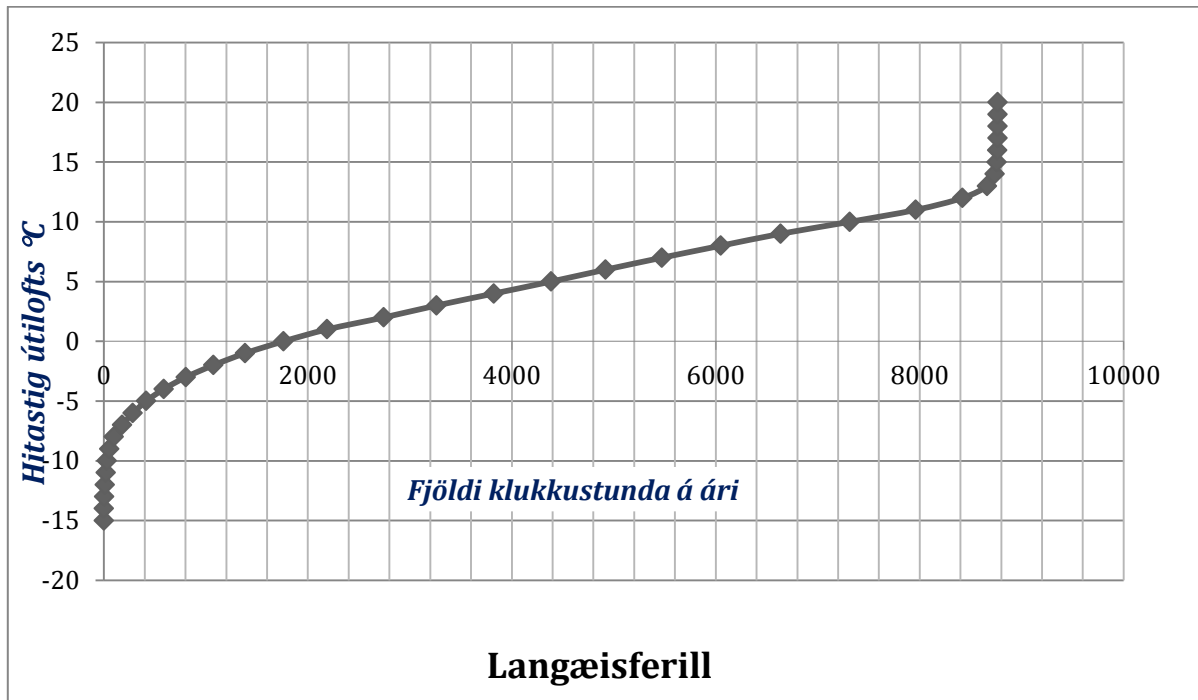
q = Ferskloftmagn fyrir hverja manneskju (l/s) ræðst af ósk um gæði innilofts.

n = Fjöldi fólks

$$q_v = 10 \text{ l/s} * 3600 \text{ s} * 140 \approx 5.000 \text{ m}^3/\text{h}$$

Loftræsingin þarf að afkasta 5.000 m³/h að lágmarki.

Mynd 5-2 sýnir langæisferil með upplýsingum um útilhitastig í Reykjavík frá Veðurstofu Íslands sem lýsir orkuþörf miðað við útistig. (Oddur B. Björnsson, 2002) Flatarmál sem afmarkast af langæisferlinum og láréttu striki við 20 °C er það afl (W) sem þarf til hitunar.



Mynd 5-2 Langæisferill.

Ferillinn sýnir fjölda klukkustunda við ákveðið hitastig á einu ári. Flatarmál ferilsins og lárétta striksins við 20°C er það afl (W) sem þarf til hitunar.

Tafla 5-1 inniheldur upplýsingar um fjölda skrefa fyrir hitastig (°C). Í dálkinum lengst til hægri er sú orka sem þarf til hitunar fyrir viðkomandi hitastig og tilheyrandi fjölda skrefa. Þar má sjá að mesta orku þarf til að hita útiloftið úr 2°C í 20°C eða 12.457 kWh og að tímaskrefin við 2°C eru 556 klst. Við 10°C er fjöldi tímaskrefa mestur eða 678,286 klst. og 8625 kWh þarf til að hita útiloftið úr 10°C í 20°C. Þetta ræðst af því að lækkandi hitastig útiloftsins eykur á mismun útihita og kjörhitastigs inniloftsins, sem kallar á aukna orku til hitunar. Fjöldi tímaskrefa segir svo til um þann fjölda klukkustunda sem tiltekið orkumagn þurfi til að ná kjörhitastigi. (Oddur B. Björnsson, 2002)



Tafla 5-1 Gráðudagar í Reykjavík yfir 42 ára tímabil frá 1942-1991
og dæmi um útreikning á árlegri varmaorkuþörf til upphitunar útilofts.

Útihiti	Dagar	Tími	Tímaskref	Meðalhiti	Orka vegna Upphitunar 20°C
°C	fjöldi	klst.	Klst.	°C	kWh
-15	0,024	0,571	0,571		
-14	0,071	1,714	1,143	-14,5	48
-13	0,167	4,000	2,286	-13,5	93
-12	0,357	8,571	4,571	-12,5	180
-11	0,786	18,857	10,286	-11,5	392
-10	1,143	27,429	8,571	-10,5	317
-9	2,262	54,286	26,857	-9,5	959
-8	4,143	99,429	45,143	-8,5	1558
-7	7,524	180,571	81,143	-7,5	2702
-6	11,857	284,571	104,000	-6,5	3338
-5	17,286	414,857	130,286	-5,5	4023
-4	24,429	586,286	171,429	-4,5	5086
-3	33,476	803,429	217,143	-3,5	6180
-2	44,714	1073,143	269,714	-2,5	7349
-1	57,690	1384,571	311,429	-1,5	8109
0	73,429	1762,286	377,714	-0,5	9377
1	91,238	2189,714	427,429	0,5	10094
2	114,405	2745,714	556,000	1,5	12457
3	135,952	3262,857	517,143	2,5	10960
4	159,381	3825,143	562,286	3,5	11236
5	182,714	4385,143	560,000	4,5	10512
6	205,000	4920,000	534,857	5,5	9392
7	228,048	5473,143	553,143	6,5	9043
8	252,071	6049,714	576,571	7,5	8728
9	276,548	6637,143	587,429	8,5	8181
10	304,810	7315,429	678,286	9,5	8625
11	331,786	7962,857	647,429	10,5	7449
12	350,810	8419,429	456,571	11,5	4700
13	360,905	8661,714	242,286	12,5	2201
14	364,095	8738,286	76,571	13,5	603
15	364,881	8757,143	18,857	14,5	126
16	365,024	8760,571	3,429	15,5	19
17	365,167	8764,000	3,429	16,5	15
18	365,167	8764,000	0,000	17,5	0
19	365,214	8765,143	1,143	18,5	2
20	365,238	8765,714	0,571	19,5	0

Þar sem:

$C_p = 1,005 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

$\rho = 1,205 \text{ m}^3/\text{kg}$

Alls: **164051**



Orkuþörf yfir árið er 164.051 kWh fyrir m^3/s miðað við gefnar veðurfarsupplýsingar.

Umreiknum loftmagn sem reiknað var með jöfnu (9) yfir í m^3/s og setjum inn í jöfnu (8) og reiknum orkuþörf (E_1) fyrir rúmmálsstreymi loftræsingarinnar:

$$q_v = \frac{5000 \text{ m}^3/h}{3600 \text{ s}} = 1,38889 \text{ m}^3/s$$

$$E = C_p * \rho * q_v * \sum_{\tau=0}^n (t_i - t_u) * \Delta t \text{ [kWh]}$$

$$E_1 = 164051 * 1,38889 = 227.848,2 \text{ kWh}$$

Orkuþörf til hitunar (fyrir $q_v = 5.000 \text{ m}^3/h$) er 227.848,2 kWh/ári fyrir samfellda notkun í 1 ár.

Samfelld notkun í 1 ár (T_1) gefur:

$$T_1 = 365 * 24 = 8.760 \text{ klukkustundir}$$

Árleg notkun (T_2) loftræsingarinnar í þessu dæmi er:

$$T_2 = 11 * 5 * 52 = 2.860 \text{ klukkustundir/ári}$$

Ef loftræsingin væri í samfelldri notkun (T_1) í 1 ár (8.760 klukkustundir) væri orkuþörf in (E_1) 227.848,2 kWh/ári. Í þessu dæmi er loftræsingin í notkun frá klukkan 7-18, alla virka daga (T_2). Fjöldi klukkustunda í notkun eru þá 11 klukkustundir, 5 sinnum í viku, í 52 vikur (1 ár). Árleg orkuþörf (E_2) fyrir notkunartíma 2.860 klukkustundir/ári er reiknuð sem hlutfall af árlegri orkuþörf (E_1):

$$E_2 = E_1 * \frac{T_2}{T_1} = 227.848,2 * \frac{2.860}{8.760} = 74.388,8 \text{ kWh/ári}$$

Orkuþörfin í þessu dæmi (E_2) er því 74.388,8 kWh/ári.

5.1.2 Dæmi um val á loftræsisamstæðu og útreikning á orkuþörf með ProUnit

Til að reikna orkuþörf til hitunar með ProUnit eru sleginn inn viðeigandi gildi. Fyrst er tegund af loftræsisamstæðu valin. GOLD-D samstæða með varmanýtahjól er valin. (Forritið mun síðan bjóða upp á samanburð við samstæðu án varmaendurvinnslu.)

Til þess að reikna orkunotkun er hægt að velja íslenskan hitaferil fyrir Reykjavík og Akureyri (Mynd 5-3) Hitaferill fyrir Reykjavík er valinn. Hámarksúthiti þar sem varmi er enduruninn miðast við 20 °C. Reiknað er með að líftími samstæðunnar séu 20 ár.



Country	<input type="text" value="Iceland"/>
City	<input type="text" value="Reykjavik"/>
Max outdoor temp. with reheating	<input type="text" value="20.0"/> °C
Period in use	<input type="text" value="20"/> year

Mynd 5-3 Prounit innsláttarreitir til skilgreiningar á staðsetningu, hæsta útihitastigi til upphitunar og notkunartíma.

Mynd 5-5 sýnir valin viðmið fyrir hæsta og lægsta hitastig útilofthita. Tafla 5-1 sýnir hæsta útihitastig 20°C en fjöldi tímaskrefa er mjög líttill eftir 15°C. Í ProUnit eru 18°C lægsta gráðutala sem hægt er að velja fyrir hæsta hitastig útilofts (ProUnit fer ekki neðar). Mesti hiti útilofts á sumrin er því valinn 18°C. Lægsta hitastig útilofts á veturna er skilgreint -15°C, samkvæmt kröfum byggingareglugerðar vegna hönnun hitakerfa. (*Byggingarreglugerð*, 1998) Loftþrýstingur er valinn $P=101325$ Pa og rúmþyngd loftsins $\rho=1,2$ kg/m³ miðað við hitastig 20°C (sjá Mynd 5-4). (CIBSE, 2007)

Table 4.13 Some properties of air at a relative humidity of 50% and at a pressure of 1.013 25 bar

Temperature, $\theta / ^\circ\text{C}$	Density, $\rho / \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	Dynamic viscosity, $\eta / 10^{-6} \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$	Specific heat capacity, $c_p / \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
0	1.29	17.15	1.006
5	1.27	17.39	1.009
10	1.24	17.63	1.011
15	1.22	17.88	1.014
20	1.20	18.12	1.018
25	1.18	18.36	1.022
30	1.16	18.55	1.030
35	1.14	18.78	1.039
40	1.11	19.01	1.050

Mynd 5-4 Rúmþyngd lofts við mismunandi hitastig.
Miðað við 50 % hlutfallsraka.



Atmosphere

Pressure 101325 Pa

Air density 1.200 kg/m³

Outdoor air

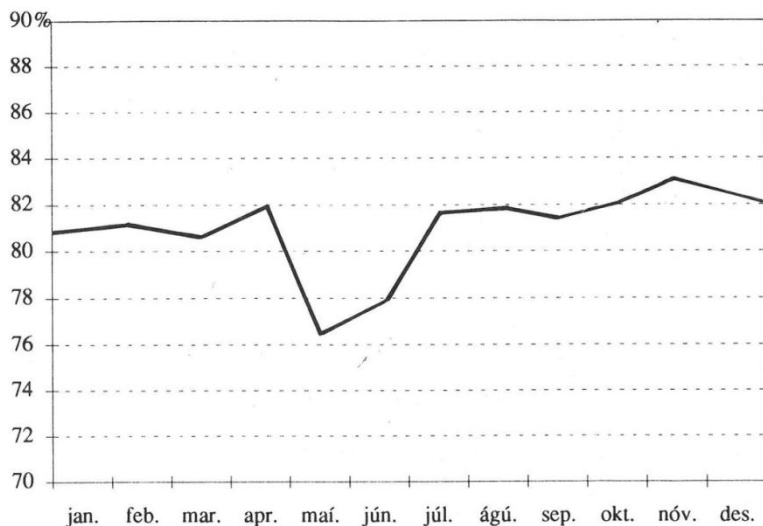
Summer Winter

Temperature 18.0 -15.0 °C

Relative humidity 80 80 %

Mynd 5-5 Innláttarreitir í Prounit fyrir eiginleika lofts.

ÁMynd 5-5 má sjá að valinn er 80% hlutfallsraki fyrir bæði vetur og sumar. Mynd 5-6 sýnir meðaltal hlutfallsrakastig hvers mánaðar í Reykjavík. Þar sést að hlutfallsraki í Reykjavík er yfirleitt í kringum 80%. Lægsta meðaltal hlutfallsrakastigs er 76% í maí og hæsta 83% í nóvember. (Guðmundur Halldórsson og Jón Sigurjónsson, 1992, bls. 95)



Mynd 5-6 Hlutfallsrakastig útilofts í Reykjavík.

Tímabilið er 1971-1980, línuritið sýnir meðaltal hvers mánaðar.



Supply air	Summer	20.0	(18.6) °C
	Winter	20.0	(17.1) °C

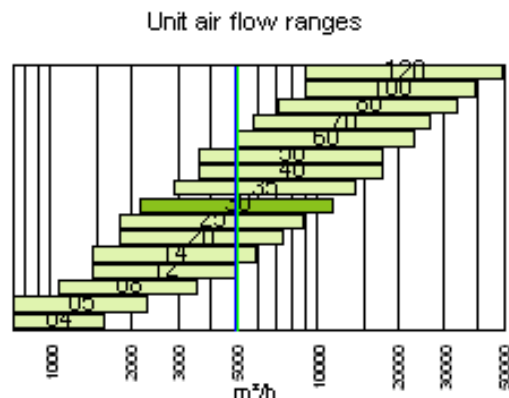
Mynd 5-7 Innsláttarreitir í Prounit fyrir hitastig innblásturslofts.

Mynd 5-7 sýnir valið kjörhitastig innblástursloftsins 20°C.

	Supply air	Extract air	Unit type
Air flow	5000	5000	m ³ /h Rotary
Total pressure drop, duct	200	100	Pa
	Outdoor air	Exhaust air	Unit size
Total pressure drop, duct	50	50	Pa 30
Quantity of units	1		Unit size, extract air
			Same as supply ε

Mynd 5-8 Innsláttarreitir í Prounit fyrir loftmagn og þrýstifall.

Mynd 5-8 sýnir valið loftmagn, $q_v=5.000 \text{ m}^3/\text{h}$. Sjá má að valin hefur verið samstæða með varmanýtahjól. Forritið mun bera saman orkuþörf með og án varmanýtahjóls. Þrýstifall í loftstokkum er valið 200 Pa við innblástur, 100 Pa við útsog og 50 Pa við inntak og úttak.



Mynd 5-9 Mynd úr Prounit fyrir val á stærð varmanýtahjóls. Myndin sýnir val á heppilegri stærð loftræsisamstæðu fyrir tiltekið loftmagn.

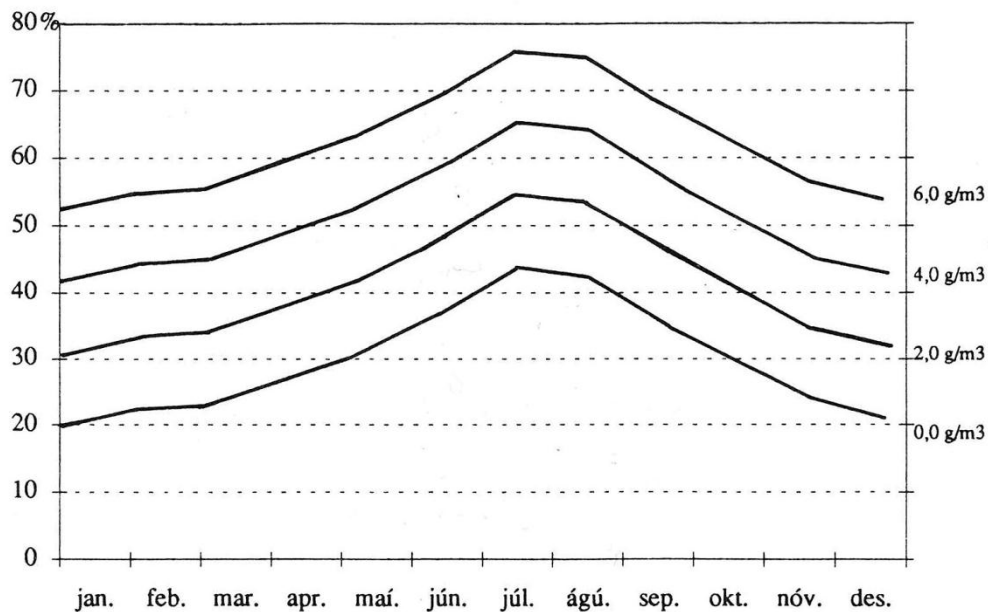
Heppileg stærð á varmanýtahjól er valin miðað við loftmagn. Mynd 5-9 sýnir hvernig stærð á samstæðu ákvarðast af loftmagni. Bláa línan sem lýsir loftmagni liggur þvert á græna kassann sem táknar stærð samstæðu. Heiti samstæðunnar er GOLD RX-30.



Extract air	Summer	Winter	
Temperature	<input type="text" value="25.0"/>	<input type="text" value="22.0"/>	°C
Relative humidity	<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="25"/>	%

Mynd 5-10 Innláttarreitir í Prounit fyrir hita-og rakastig útblásturslofts.

Mynd 5-10 sýnir hitastig útblástursloftsins á sumrin og veturna. Útreikningur á endurunnum varma miðast við að útblástursloft sé 25°C heitt á sumrin og 22°C á veturna. Þó að hér sé ekki um rakadrægt varmanýtahjól að ræða, þá hefur rakamagn loftsins áhrif á magn varmans sem endurvinnst. Það er vegna þess að við þéttingu útkastsloftsins losnar um gufunarvarma sem nýtist til hitunar á ferska útiloftinu. Á veturna þegar kalt er úti er rakainnihald lofts mjög lítið, á sumrin er rakamagnið hærra. Mynd 5-11 sýnir rakastig innanhúss í Reykjavík miðað við mismikla rakaþætingu. Á Íslandi er talið vera eðlilegt að reikna með rakaþætingu 2-4 g/m³ í venjulegu húsnæði. Hlutfallsraki útblástursloftsins er varlega áætlaður 25% á veturna og 50% á sumrin. (Guðmundur Halldórsson og Jón Sigurjónsson, 1992, bls. 99)



Mynd 5-11 Hlutfallslegt rakastig innanhúss í Reykjavík miðað við mismikla rakaþætingu.



Operating time

Calculate both operating conditions together

7 days/week, 24 hours

5 days/week, 24 hours

Annual operating period h

Other operating period

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
Start	7	7	7	7	7	0	0
Stop	18	18	18	18	18	0	0

Mynd 5-12 Innláttarreitir í Prounit fyrir notkunartíma.

Mynd 5-12 sýnir valinn notkunartíma, frá klukkan 7-18 á virkum dögum. Þegar öll viðeigandi gildi höfðu verið verið sleginn inn í forritið fyrir hvert og eitt tilfelli sem notað var í samanburðinum voru Pdf-skjöl með niðurstöðum prentuð út úr forritinu fyrir hverja og eina samstæðu. Þær stærðir sem fengust úr Pdf-skjölunum og notaðar voru í útreikninga, (varma-og raforkuþörf og nýtni) voru færðar inn í töflur (sjá kafla 9).

5.2 Samanburður á reiknaðri orkuþörf

Fan motors	5.6	MWh/year
Fan motors, comparison without heat exch.	3.7	MWh/year
<i>Reheating energy</i>		
With heat exch.	2.9	MWh/year
Without heat exch.	67.1	MWh/year

Mynd 5-13 Niðurstöður úr ProUnit á árlegri varma-og raforkuþörf fyrir loftræsisamstæðu með og án varmanýtahjóls.

Samkvæmt útreikningum með ProUnit reyndist árleg orkuþörf til hitunar (E_{P1}) vera 67.100 kWh/ári fyrir loftræsisamstæðu án varmanýtahjóls (Mynd 5-13). Það er ekki ýkja langt frá áður reiknuðu gildi fyrir varmaorkuþörf (E_2) (sjá, Tafla 5-1) sem var 74.388,8 kWh/ári.

Mismunurinn (E_3) á útreiknaðri orkuþörf (E_2 og E_{P1}) með Tafla 5-1 annars vegar og ProUnit hins vegar er því :

$$E_3 = E_2 - E_{P1} = 74.388,8 - 67.100 = 7.288,8 \text{ kWh/ári}$$



Þennan mismun má til að mynda útskýra með því að í fyrri útreikningum á orkuþörf (E_2 , sjá Tafla 5-1) var eingöngu reiknað með þurrum varma. ProUnit reiknar hins vegar með því að uppgufunarvarmi frá raka loftsins nýtist til hitunar og þar með minnkar varmaorkuþörf frá hitaveitu. Hugsanlega er munur meðalhitastigi lofts og fjölda tímaskrefa sem reiknað er með í Tafla 5-1 annars vegar og ProUnit hins vegar. Á Mynd 5-14 má sjá að ProUnit reiknar með því að innblástursloftið sé hitað upp í $19,4\text{ °C}$ þó svo að valið kjörhitastig sé 20 °C . Það er vegna þess að forritið reiknar með því að $0,6\text{ °C}$ komi frá blásara til upphitunar á innblástursloftinu.

5.3 Orkuþörf varmanýtahjóls

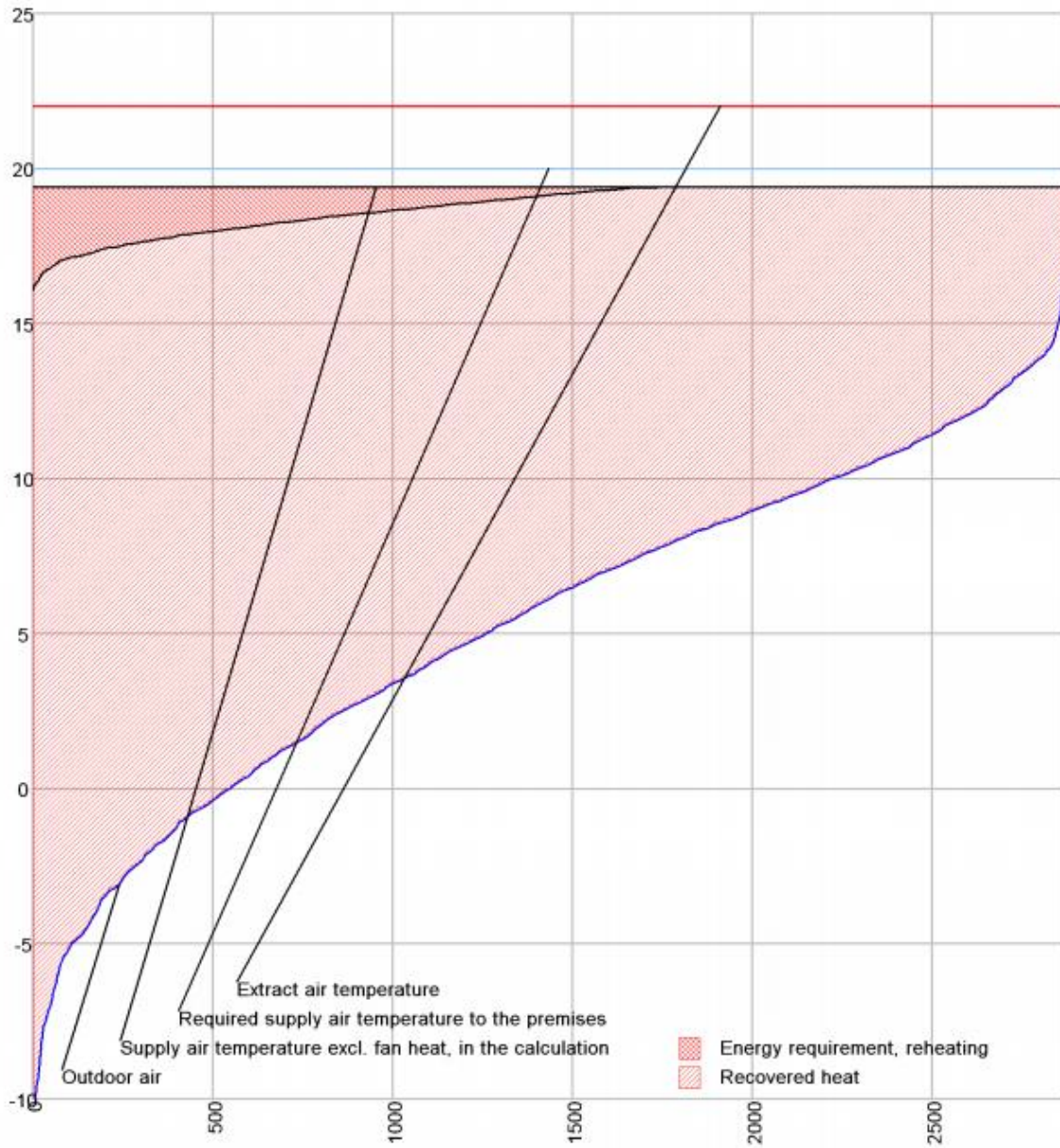
Orkuþörf til hitunar var reiknuð með ProUnit fyrir loftræsisamstæðu með og án varmanýtahjóls. Orkuþörf til hitunar (E_{P2}) fyrir loftræsisamstæðu með varmanýtahjóli reyndist vera 2.900 kWh á ári. Sú varmaorka sem sparast ($E_{\text{varmaorka}}$) með varmanýtahjólinu reiknast sem varmaorkuþörf loftræsisamstæðu án varmanýtahjóls (E_{P1}) að frádreginni varmaorkuþörf loftræsisamstæðu með varmanýtahjóli (E_{P2}):

$$ES_{\text{varmaorka}} = E_{P1} - E_{P2} = 67.100 - 2.900 = 64.200\text{ kWh/ári}$$

Aukin raforkuþörf (EI_{raforka}) loftræsisamstæðu með varmanýtahjóli er reiknuð með því að draga raforkuþörf loftræsisamstæðu án varmanýtahjóls (E_{P3}) frá raforkuþörf loftræsisamstæðu með varmanýtahjóli (E_{P4}) samanber niðurstöður úr ProUnit (sjá Mynd 5-12):

$$EI_{\text{raforka}} = E_{P4} - E_{P3} = 5.600 - 3700 = 1.900\text{ kWh/ári}$$

Mynd 5-14 sýnir feril svipaðan langæisferlinum (Mynd 5-2.) Flatarmálið sem afmarkast af bláu sveigðu línunni og láréttu striki rétt neðan við 20 °C lýsir orkuþörfinni. Ljósi flöturinn er sá varmi sem endurvinnst með varmanýtahjólinu. Dökki flöturinn efst í vinstra horninu er varmaorkuþörf vegna þeirrar orku sem þarf til viðbótar við endurunnin varma svo að uppfylla megi kröfu um kjörhitastig innblástursloftsins.



Mynd 5-14 Ferill orkuþarfar úr ProUnit.

Ferillinn lýsir hlutfalli varma sem endurnýtist og orkuþarfar til hitunar. Ljósari flöturinn er sá hluti varmans sem er endurvinnanlegur með varmanýtahjólínu. Dekkri flöturinn er sú orka sem varmanýtahjólíð nær ekki að endurvinna og vantar upp á. Sjá má á grafinu að varmaflöturinn afmarkast af línu sem er örlítið neðan við 20 °C vegna þess að forritið dregur frá þann varma sem kemur frá blásara. ProUnit reiknar með að inntaksloftið sé hitað upp í 19,4 °C með varmanýtingu útkastsloftsins og að 0,6°C bætist við frá blásara. Þannig nær innblástursloftið réttu kjörhitastigi 20°C.

5.4 Nýtni varmanýtahjól

Samkvæmt útreikningum úr ProUnit var nýtni varmanýtahjólins 82% eins og sjá má á Mynd 5-15.

Heat exchanger	Rotary	
Temperature efficiency of supply air	82.0	%

Mynd 5-15 Niðurstaða úr Prounit á nýtni varmanýtahjólins.

Sama nýtnihlutfall fékkst með því að setja inn í jöfnu (5) fyrir nýtni (sjá, kafla 3.2).

Eftirfarandi hitastig lofts yfir vetrartímann eru úr niðurstöðum ProUnit (sjá, Mynd 5-16 og Mynd 5-17):

$$t_1 = -15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 15,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_3 = 22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\eta = \frac{(15,3 - (-15))}{(22 - (-15))} = 0,8189$$

$$\eta * 100 \% = 0,8189 * 100 \% = 81,89 \%$$

Samkvæmt jöfnu (5) er nýtni varmanýtahjólins 81,89 % \approx 82 % sem er sama nýtni og ProUnit gaf upp.

5.5 Kenniaflþörf loftræsikerfis (SFP)

Kenniaflþörf eða SFP (e. Specific Fan Power) er skilgreint sem afl sem veitt er til blásara við inntak og útblástur, deilt með mesta loftmagni. Í drögum að byggingareglugerð 2011 (kafla 14.9.2 um orkunotkun) er sett fram sú krafa að raforkunotkun skuli ekki fara fram yfir 2,0 kW/m³/s í loftræsikerfum með föstu loftmagni í nýjum byggingum. („Byggingarreglugerð drög til umsagnar“, 2011) SFP-gildið er fundið með jöfnu (10) til að kanna hvort kerfið uppfylli kröfuna:

$$SFP \leq 2,0 \text{ kW/m}^3/\text{s}$$

$$SFP = \frac{P}{q} \left[\frac{\text{kW}}{\text{m}^3/\text{s}} \right] \quad (10)$$



Þar sem:

$P = \text{Afl til blásara (kW)}$

$P = 17.000 \text{ kWh/ári} = 17.000 / (365 * 24) = 1,94 \text{ kW}$

$q = \text{loftmagn (m}^3/\text{s)}$

$q = 1,38889 \text{ m}^3/\text{s}$

$$SFP = \frac{1,94 \text{ kW}}{1,38889 \text{ m}^3/\text{s}} = 1,3968 \leq 2 \frac{\text{kW}}{\text{m}^3/\text{s}}$$

5.6 Mollier

Með Mollier línuriti má setja fram þær hita og-rakastigs breytingar sem verða á lofti varmaendurvinnslunnar á myndrænan hátt. Mollier línurit lýsir hitastigi ($^{\circ}\text{C}$), rakastigi (HR %), rakamagni (kg/kg) og heildarvarma (enthalpy) loftins fyrir gefna rúmpyngd (kg/m^3) við ákveðið hitastig, loftmagn (m^3/s) og loftþrýsting (mbar).

Mynd 5-18 sýnir Mollier línurit sem var gert fyrir varmanýtahjólíð sem tekið var dæmi um í kafla 5.1. Þar sjást hita-og rakastigsbreytingar loftins á leið sinni í gegnum hjólíð. Mollier ferill varmanýtahjólísins var teiknaður upp með fríum hugbúnaði frá IV Produkt. (IV Produkt AB, 2011) Til þess að teikna upp ferilinn voru notaðar niðurstöður útreikninga úr ProUnit (sjá, Mynd 5-16 og Mynd 5-17). Punktarnir á ferlinum tákna hita og-rakastig loftins. Punktur 1. lýsir hita og-rakastigi útilofts ($T=-15^{\circ}\text{C}$ og $\text{RH}=80\%$), punktur 2. lýsir hita og-rakastigi innblásturslofts ($T=15,3^{\circ}\text{C}$ og $\text{RH}=17,2\%$) Punktur 3. lýsir hita og-rakastigi útsogslofts ($T=22^{\circ}\text{C}$ og $\text{RH}=25\%$) og punktur 4. lýsir hita og-rakastigi útkastslofts ($T=-8,3^{\circ}\text{C}$ og $\text{RH}=100\%$). Mollier línurit sýnir að breyting er á rakainnihaldi loftins þar sem raki færir frá útsogslofti til útilofts.

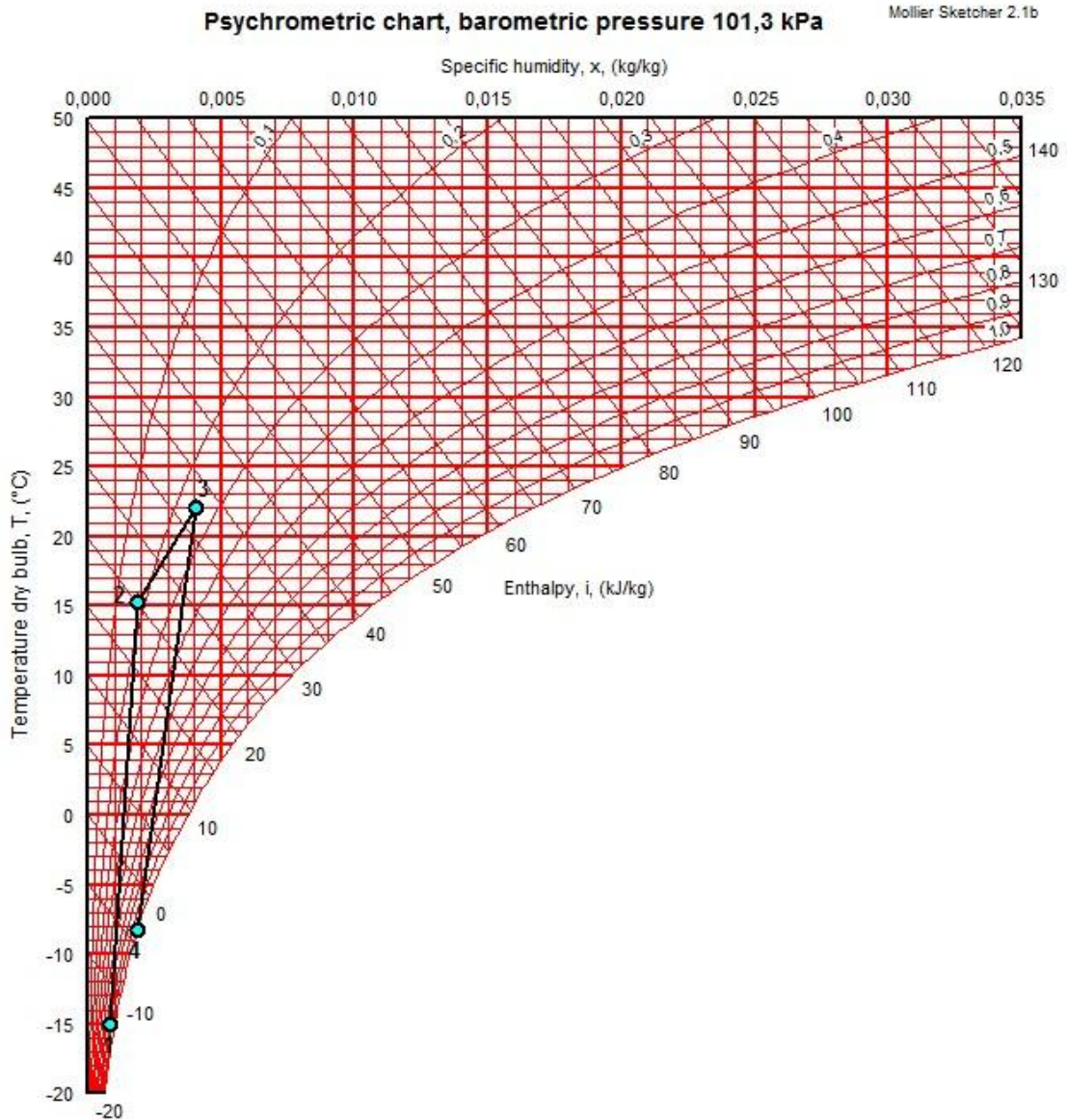
Supply air side, winter	In	Out	
Air temperature	-15.0	15.3	$^{\circ}\text{C}$
Relative humidity	80.0	17.2	%

Mynd 5-16 Niðurstöður úr ProUnit fyrir hita-og rakastig inntaks-og innblásturslofts.



Extract air side, winter	In	Out	
Air temperature	22.0	-8.3	°C
Relative humidity	25.0	100.0	%

Mynd 5-17 Niðurstöður úr ProUnit fyrir hita-og rakastig útsogs-og útkastslofts.



Mynd 5-18 Mollier ferill fyrir varmanýtahlól.

Hita og rakaferill loftins sem fer í gegnum varmaskiptinn. Það sést að rakaflutningur á sér stað á milli loftstrauma.

Punktarnir á ferlinum tákna hita-og rakastig loftins. Punktur 1. Sýnir hita-og rakastig útilofts $T=15,3^{\circ}\text{C}$, $\text{RH}=17,2\%$ og rakamagn: $0,0019\text{ kg/kg}$. Punktur 2. sýnir hita-og rakastig innblásturslofts $T=22^{\circ}\text{C}$ og $\text{RH}=25\%$ og rakamagn: $0,004\text{ kg/kg}$ loft. Punktur 3. sýnir hita-og rakastigi útsogslofts, $T=-8,3^{\circ}\text{C}$ og $\text{RH}=100\%$ og rakamagn: $0,0018\text{ kg/kg}$ loft. Punktur 4. sýnir hita-og rakastig útkastslofts, $T=-15^{\circ}\text{C}$ og $\text{RH}=80\%$ og rakamagn: $0,0009\text{ kg/kg}$ loft.



5.7 Stofnkostnaður

Stofnkostnaður er allur sá upphafskostnaður sem fellur til þegar varmaskiptirinn (loftræsisamstæðan) er tekinn í notkun. Upphafskostnaður felur í sér kostnað vegna kaupa á búnaði og uppsetningu. Kostnaður vegna innkaupa á búnaði samanstendur af verði frá verksmiðju, flutningskostnaði, tryggingum, virðisaukaskatti og álagningu söluaðila. Stofnkostnað fyrir samstæðurnar má sjá í viðauka (sjá kafla 9.5).

Stofnkostnaður varmaskipta hækkar með aukinni nýtni en lækkar hlutfallslega með auknum afköstum. Það þýðir að búnaður með góðri nýtni hefur hærri stofnkostnað en búnaður með lakari nýtni. Í stórum loftræsikerfum (meira loftmagn) endurvinnst meira magn af orku en í litlum kerfum. Þess vegna tekur það styttri tíma fyrir varmaskiptinn að borga sig í stórum kerfum en litlum. (ASHRAE, 2008)

5.7.1 Verð á loftræsisamstæðum

Stofnkostnaður var reiknaður samkvæmt verðum sem voru fengin á völdum loftræsisamstæðum frá Varma ehf. (umboðsaðila fyrir Swegon loftræsisamstæður á Íslandi). (Páll Gunnlaugsson, 2011) Verðin á samstæðunum eru gefin upp í sænskum krónum. Önnur útgjöld svo sem kostnaður vegna flutnings, trygginga, álagningar og virðisaukaskatts er reiknaður sem ákveðin hlutfallsprósenta af verði frá framleiðanda. Hlutfallsprósenta vegna annarra útgjalda er mishá og fer eftir stærð samstæðu. Verðin voru reiknuð í íslenskum krónum miðað við gengi sænsku krónunnar þann 10.11.'11. („Landsbankinn“, e.d.)

Verð á uppsetningu á samstæðum var reiknað samkvæmt byggingalykli Hannarrs, grein 5.3.52.20. Verð á uppsetningu er reiknað sem 12% af heildarverði samstæðunnar. (Hannarr ehf., 2011)

Stofnkostnaður loftræsisamstæðu með varmanýtahjólí

Stofnkostnaður fyrir loftræsisamstæðu með varmanýtahjólí eins og í dæminu í 5.1 er reiknaður á eftirfarandi hátt:

Verð framleiðanda er 119.000 sænskar krónur. Sænsk króna jafngildir 17,533 íslenskum, miðað við gengi sænsku krónunnar þann 10.11.'11. („Landsbankinn“, e.d.)

$$\text{Verð framleiðanda} = 119.000 * 17,553 = 2.088.807 \text{ Ísk.}$$

Kostnaður vegna annarra útgjalda fyrir samstæðuna GOLD RX-30 reiknast sem 15% af verði framleiðanda:

$$\text{Önnur útgjöld} = 119.000 * 0,15 * 17,553 = 313.321 \text{ Ísk.}$$



Heildarverð loftræsisamstæðu samanstendur af verði framleiðanda og kostnaði vegna annarra útgjalda:

$$\text{Heildarverð} = 2.088.810 + 313.321 = 2.402.128 \text{ Ísk.}$$

Kostnaður vegna uppsetningar er 12% af heildarverði:

$$\text{Kostnaður vegna uppsetningar} = 0,12 * 2.402.128 = 288.255 \text{ Ísk.}$$

Stofnkostnaður vegna loftræsisamstæðu með varmanýtahjóli, GOLD RX-30 er þá heildarverð auk kostnaðar við uppsetningu:

$$\text{Stofnkostnaður (GOLD RX – 30)} = 2.402.128 + 288.255 = 2.690.383 \text{ Ísk.}$$

Stofnkostnaður er reiknaður með sama hætti fyrir aðrar loftræsisamstæður (sjá kafla 9.5).

5.8 Rekstrarkostnaður

Rekstrarkostnaður felur í sér allan orku- og viðhaldskostnað, og allan þann kostnað sem til kemur vegna bilana. (CIBSE og Armstrong, 2003)

Rekstrarkostnaður varmaskipta (loftræsisamstæðna) felur í sér samantekt á mörgum breytistærðum yfir skilgreindan tíma. Þær breytistærðir hafa til dæmis með það að gera hversu miklu loftmagni kerfið annar (m^3/s), þrýstifall í kerfinu (Pa) og nýtni blásara (%). Þessar stærðir hafa svo aftur áhrif á orkuþörf og skila sér endanlega í formi orkukostaðar. Breytistærðirnar segja líka til um það álag sem er á kerfinu og hversu mikið slit verður á því sem aftur kallar á viðhald á búnaði sem felur í sér kostnað. Kostnaður vegna reksturs á loftræsisamstæðum ræðst því af mörgum þáttum bæði hvað varðar hönnun kerfisins og notkun. Útreikningar á rekstrarkostnaði geta orðið frekar flóknir ef til dæmis hitastig loftsins og loftmagn í kerfinu er mjög breytilegt. Stærstu útgjaldaliðir vegna rekstarkostnaðar felast í kostnaði vegna orku til hitunar og kostnaði vegna raforku til blásara. Ófyrirséð bilun í búnaði getur þó einnig vegið þungt og aukið fljótt á rekstrarkostnað. (ASHRAE, 2008)

5.8.1 Viðhaldskostnaður

Ætla má að stærstur hluti viðhaldskostnaðar fyrir loftræsisamstæðurnar komi til vegna síuskipta. Vegna þess að fjöldi síuskipta og kostnaður vegna annars konar viðhalds er mjög breytilegur er reiknað með viðhaldskostnaði sem hlutfallslegri stærð í þessu verkefni.

Viðhaldskostnaður í byggingum er oft áætlaður sem 2-3 % af heildarverði. Viðhaldskostnaður vegna samstæðnanna var áætlaður 2% af stofnkostnaði. (Grétar J. Guðmundsson, 1993) (sjá viðauka 9.6)



5.8.2 Orkukostnaður

Kostnaður vegna varma-og raforku er mjög breytilegur. Loftræsisamstæður með varmaendurvinnslubúnaði spara mismikla varmaorku og þurfa meiri raforku en loftræsisamstæður án varmaendurvinnslubúnaðar. Orkuþörf til hitunar og raforkuþörf blásara í loftræsisamstæðunum var fundin með ProUnit forritinu (sjá viðauka). Til þess að reikna út orkukostnað fyrir kerfin og þá orku sem sparast með varmaendurvinnslubúnaði var tekið mið af verðskrá Orkuveitu Reykjavíkur. (Orkuveita Reykjavíkur, e.d.)

Reiknað var með að kerfið væri í gangi á milli 7-18 á virkum dögum. Það eru 11 klukkustundir á dag, 5 daga í viku, 52 vikur á ári.

5.8.3 Verð á heitu vatni

Við útreikning á kostnaði vegna varmaorku er reiknað með vatnsgjaldi fyrir verðflokk H1A sem er 113,88 kr./m³ fyrir almenna notkun samkvæmt gjaldskrá Orkuveitu Reykjavíkur þann 11. nóv. '11. (Orkuveita Reykjavíkur, e.d.)

Til þess að reikna verð á heitu vatni í kr./kWh er byrjað á því að reikna aflið sem fæst úr hverjum rúmmetra af heitu vatni. Jafna (11) er notuð til að reikna (Q) aflið sem fæst úr 1 m³ af heitu vatni miðað við að hitastig framrásar og bakrásar sé 80°C/40°C. Til þess að reikna orkuna (Q_h) sem fæst úr 1 m³ af heitu vatni er deilt með 3600 sekúndum í aflið (Q). Verð á heitu vatni er svo fundið með því að deila orkunni (Q_h) í verð í kr./m³. (Oddur B. Björnsson, 2002)

$$Q = q * \rho * c_{pv} * (t_1 - t_2) [W] \quad (11)$$

$$Q = 1 \text{ m}^3/\text{s} * 1000 \text{ kg}/\text{m}^3 * 4187 \text{ J}/\text{kg}^\circ\text{C} * (80 - 40) = 167.480 \frac{\text{kJ}/\text{s}}{\text{m}^3}$$

$$Q_h = \frac{167480 \text{ kJ}/\text{s}}{3600 \text{ s}} \frac{\text{kJ}/\text{s}}{\text{m}^3} = 46,52 \text{ kWh}/\text{m}^3$$

$$\text{Verð á heitu vatni} = \frac{113 \text{ kr.}/\text{m}^3}{46,52 \text{ kWh}/\text{m}^3} = 2,45 \text{ kr.}/\text{kWh}$$

Þar sem:

q = streymi (1 m³/s)



C_{pv} = varmarýmd vatns (4187 J/kg*°K)

ρ = eðlisþyngd vatns (1000 kg/m³)

t_1 = Framrásarhitastig (80 °C)

t_2 = Bakrásarhitastig (40 °C)

Einingabreytingar:

1 kWh = 3600 kJ = 3,6*10⁶ J

1 kW = 1 kJ/s

Orka varmanýtahjóls

Til að finna árlegan kostnað vegna varmaorku fyrir loftræsisamstæðu með varmanýtahjólins í kafla 5.1 er áður reiknað gildi fyrir varmaþörf til hitunar (E_{P3}) (sjá, kafla 5.1) margfaldað við verð á heitu vatni 2,45 kr./kWh:

$$\begin{aligned} \text{Kostnaður varmaorku} &= E_{P3} * \text{verð á heitu vatni} \\ &= 2.900 * 2,45 = 7.105 \text{ kr./ári} \end{aligned}$$

Þar sem:

$$E_{P3} = 2.900 \text{ kWh/ári}$$

Í kafla 5.1 var reiknað út hversu mikil varmarorka sparast með varmanýtahjóli ($ES_{varmaorka}$). Árlegur orkusparnaður vegna varmaorku er því margfeldi orkunnar sem sparast og orkuverðsins.

$$\begin{aligned} \text{Sparnaður varmaorku} &= ES_{varmaorka} * \text{verð á heitu vatni} \\ &= 64.200 * 2,45 = 157.290 \text{ kr./ári} \end{aligned}$$

Þar sem:

$$ES_{varmaorka} = 64.200 \text{ kWh/ári}$$



Sömu aðferðum var beitt við útreikninga á orkuverði vegna varmaorku fyrir allar samstæður í samanburðinum (sjá viðauka 9.2).

5.8.4 Verð á raforku

Kostnaður vegna raforku er reiknaður með verðum úr verðskrá Orkuveitu Reykjavíkur fyrir gjaldflokk A1. Verð á raforku í gjaldflokki A1 er 12,12 kr./kWh og fast gjald 34,40 kr./dag samkvæmt gjaldskrá Orkuveitu Reykjavíkur þann 11.nóv.'11. Gjaldflokkur A1 er ætlaður fyrir notkun minni en 200.000 kWh/ári. Öll tilfelli í samanburðinum falla undir þá skilgreiningu. (Orkuveita Reykjavíkur, 2011)

Fast gjald vegna raforku er 12.556 kr./ári.

$$\text{Fast gjald} = 34,40 \text{kr./dag} * 365 \text{ dagar} = 12.556 \text{ kr./ári}$$

Kostnaður vegna raforku yfir eitt ár samanstendur af fasta gjaldinu og gjaldi fyrir notkun 12,12 kr./kWh. Raforkukostnaður fyrir loftræsisamstæðu með varmanýtahjólí úr kafla 5.1 er reiknaður með áður reiknaðu gildi fyrir raforkuþörf (E_{P4}).

$$\begin{aligned} \text{Kostnaður raforku} &= \text{fast gjald} + E_{P4} * \text{verð á raforku} \\ &= 12.556 + 5.600 * 12,12 = 80.428 \text{ kr/ári} \end{aligned}$$

Aukning á raforkukostnaði vegna varmanýtahjólísins er reiknuð með áður reiknuðu gildi fyrir aukningu á raforkuþörf (EI_{raforka}) (sjá, kafla 5.1).

$$\begin{aligned} \text{Aukning raforkukostnaðar} &= EI_{\text{raforka}} * \text{verð á raforku} \\ &= 1.900 * 12,12 = 23.028 \text{ kr/ári} \end{aligned}$$

þar sem:

$$EI_{\text{raforka}} = 1.900 \text{ kWh/ári}$$

Raforkukostnaður var reiknaður með sömu aðferð fyrir allar loftræsisamstæður í samanburðinum (sjá í viðauka 9.3).

5.9 Núvirðis-og endurgreiðslureikningar

Kostnaður vegna eignar, reksturs og viðhalds varmaendurvinnslubúnaðar á ársgrundvelli, er flókið samband framtíðarvirðis peninga og hönnunarlegra breyta varðandi varmaskiptinn.



Loftræsingu með varmaendurvinnslu ætti að hanna með það að markmiði að hámarka hagkvæmni eða lágmarka rekstrarkostnað yfir notkunartímann. Sá tími sem það tekur fyrir búnaðinn að borga sig upp þarf einnig að vera ásættanlegur.

Útreikningar á hagkvæmni eru nálgun með margþættum breytistærðum. Tæknileg atriði og umhverfislegar forsendur leggja ákveðinn grunn að hagkvæmni varmaskipta. Nýtni hefur mikið um það að segja hversu mikla orku má spara. Hitastig og rakamagn loftsins hefur áhrif á nýtni. Stofnkostnaður varmanýta eykst eftir því sem nýtni þeirra hækkar.

Í litlum varmaendurvinnslukerfum þar sem hitastigsmismunur er lítil skiptir miklu máli að upplýsingar um afkastagetu varmaskiptis séu nákvæmar svo að hægt sé að hámarka hagkvæmi eða lágmarka rekstrarkostnað. Upplýsingar um afköst varmanýtis geta nýst við hönnun loftræsingar þannig að draga megi úr kröfum um stærð (afköst) hitunarbúnaðar. Hæfileg stærð á búnaði getur skilað sér í hærri nýtni og þar að auki verið hagkvæmari kostur. (ASHRAE, 2008)

5.9.1 Aðferðir við hagkvæmniútreikninga

Helstu þættir er varða útreikning á hagkvæmni varmanýta: (Hørup Sørensen, 1988)

-Stofnkostnaður

-Viðhaldskostnaður

-Orkukostnaður/sparnaður

-Líftími

-Vextir

-Skatthlutfall

-Áætluð hækkun á orkuverði

-Áætluð hækkun á viðhaldskostnaði

Til þess að leggja mat á hagkvæmni loftræsisamstæðnanna voru tvær vel þekktar aðferðir notaðar til að reikna út hagkvæmni. Reiknaður var endurgreiðslutími, það er sá árafjöldi sem það mun taka loftræsisamstæðurnar að borga sig og núvirði fjárfestingarinnar (loftræsisamstæðnanna) reiknað.



Útreikningur á endurgreiðslutíma

Útreikningur á endurgreiðslutíma (e. pp-payback period) er einkum gerður í skyndi til þess að gefa grófa hugmynd um hvort hagkvæmt sé að ráðast í fjárfestinguna. Sá tími sem það tekur kerfið að borga sig er fundinn með því að stinga breytistærðum inn í formúlu fyrir uppborgunartíma eftir að kostnaður á ársgrundvelli hefur verið metinn. Endurgreiðslutíma má reikna eins og sýnt er í jöfnu (12) : (Hørup Sørensen, 1988)

$$T = \frac{I_0}{b} \text{ [ár]} \quad (12)$$

þar sem:

T = endurgreiðslutíminn (ár)

I_0 = Stofnkostnaður (kr.)

b = Orkusparnaður (kr./ári)

„Vel hönnuð orkuendurvinnslukerfi eru venjulega minna en 5 ár að borga sig upp, og oft minna en 3 ár.“ (ASHRAE, 2008, bls. 24.23)

Núvirðing

Núvirðing orkusparandi ráðstafana byggir á því að fá niðurstöðu í krónutölu sem miðast við þann tímapunkt er ráðist er í fjárfestinguna. Það þýðir að öll útgjöld og allur sá sparnaður sem mun hljóttast í framtíðinni þarf að umreikna að þeim tímapunkti. Ef niðurstaðan gefur jákvæða krónutölu þýðir það að fjárfestingin muni borga sig og öfugt ef hún er neikvæð. Núvirði fjárfestingar er reiknað með jöfnu (13). (Hørup Sørensen, 1988)

$$NU = B_0 - U_0 - I_0 > 0 \quad [kr] \quad (13)$$

þar sem:

B_0 = Núvirðing á árlegum orkusparnaði (d. besparelser) (kr.)

U_0 = Núvirðing á árlegum viðhaldskostnaði (d. udgifter) (kr.)

I_0 = Stofnkostnaður vegna fjárfestingar (d. investering) (kr.)



Ávöxtunarkrafa

Vextirnir sem eru notaðir við núvirðingu eru ávöxtunarkrafa fjárfestingarinnar. Nota má fasta skuldabréfa vexti.

Enn fremur þarf að taka tillit til skattlagningar rekstarhagnaðar og verðhækkana vegna viðhaldskostnaðar og orkukostnaðar. Raunávöxtunarkrafa er reiknuð með jöfnu (14) fyrir orkusparnað og jöfnu (15) fyrir viðhaldskostnað. (Hørup Sørensen, 1988)

$$r_{rb} = \frac{r_n * (1 - s) - i_e}{1 + i_e} \quad (14)$$

$$r_{ru} = \frac{r_n * (1 - s) - i_u}{1 + i_u} \quad (15)$$

Þar sem:

r_{rb} = Raunávöxtunarkrafa vegna árlegs orkusparnaðar

r_{ru} = Raunávöxtunarkrafa vegna árlegs viðhaldskostnaðar

r_n = Nafnvextir

s = Skattaprósenta

i_e = áætluð árleg hækkun orkuverðs

i_u = áætluð árleg hækkun viðhaldskostnaðar

Núvirðisstuðull

Núvirðisstuðull fyrir orkusparnað er reiknaður með jöfnu (16) og fyrir viðhaldskostnað með jöfnu (17): (Hørup Sørensen, 1988)

$$f_{nvb} = \frac{1 - (1 + r_{rb})^{-n}}{r_{rb}} \quad (16)$$

$$f_{nvu} = \frac{1 - (1 + r_{ru})^{-n}}{r_{ru}} \quad (17)$$



Þar sem:

f_{nvb} = Núvirðisstuðull fyrir orkusparnað

f_{nvu} = Núvirðisstuðull fyrir viðhaldskostnað

r_{rb} = Raunávöxtunarkrafa vegna orkusparnaðar

r_{ru} = Raunávöxtunarkrafa vegna viðhaldskostnaðar

n = Ára fjöldi

Núvirði orku-og viðhaldskostnaðar

Núvirði orkusparnaðarinnar fæst með jöfnu (18) og núvirði viðhaldskostnaðar með jöfnu (19).
(Hørup Sørensen, 1988)

$$B_0 = b_0 * f_{nvb} \quad (18)$$

$$U_0 = u_0 * f_{nvu} \quad (19)$$

5.9.2 Reikningslegar forsendur

Eftirfarandi breytistærðir eru reikningslegar forsendur hagkvæmniútreikninga. Útreikningana er að finna í töflum í viðauka.

Stofnkostnaður

Miðað er við að samstæður með varmanýtum séu viðbót við stofnkostnað samstæðu án varmanýtis eða mismunur á verði loftræsisamstæðu með og án varmanýtis.

Orkusparnaður

Miðað var við að kerfið sé í gangi 11 klukkustundir á dag, 5 daga í viku, 52 vikur á ári. Orkusparnaður reiknast sem varma-og raforkukostnaður kerfis án varmanýtis að frádregnum varma-og raforkukostnaði í kerfi með varmanýti.



Viðhaldskostnaður

Viðhaldskostnaður var 2% af stofnkostnaði samstæðu með varmanýti að frádregnum 2% af stofnkostnaði samstæðu án varmanýtis.

Áætlaður líftími

Áætlaður líftími í proUnit var 20 ár við höldum okkur við það.

Vextir

Reiknað var með 6% vöxtum af óverðtryggðu skuldabréfi. (Íslandsbanki, e.d.)

Skattaprósenta

Miðað er við 20 % tekjuskatt af rekstrarhagnaði. (Ríkisskattstjóri, e.d.)

Áætluð hækkun á orkuverði

Verð á heitu vatni var fundið fyrir árið 2005 og 2009, hlutfallsleg hækkun reiknuð út frá því: (Hagstofa Íslands-a, e.d.):

$$\text{Áætluð hækkun á heitu vatni} = \frac{\left(\frac{95,6 \text{ kr/m}^3}{86,026 \text{ kr/m}^3} - 1\right) * 100 \%}{4 \text{ ára tímabil}} = 2,78 \% \text{ á ári}$$

$$\text{Áætluð hækkun á rafmagni} = \frac{\left(\frac{11,2 \text{ kr/m}^3}{9,96 \text{ kr/m}^3} - 1\right) * 100 \%}{4 \text{ ára tímabil}} = 3,11 \% \text{ á ári}$$

Miðað er við 4 % hækkun á orkuverði í töfluútreikningum (sjá viðauka 0).

Áætluð hækkun á viðhaldskostnaði

Notast var við upplýsingar af vef hagstofu um byggingavísitölu miðað við verðgrunn frá 1987 til að reikna áætlaða hækkun á viðhaldskostnaði. Til að reikna út áætlaða hækkun á viðhaldskostnaði var notuð byggingavísitala í nóvember 2009 og nóvember 2011 (sjá Tafla 5-2) (Hagstofa Íslands-b, e.d.)



Tafla 5-2 Byggingavísitala. Verðgrunnur frá 1987.

Byggingavísitala	
Nóvember 2009	497
Nóvember 2011	558,2

$$\text{Áætluð hækkun á viðhaldskostnaði} = \frac{\left(\frac{558,2}{497} - 1\right) * 100 \%}{2 \text{ ára tímabil}} = 6,16 \% \text{ á ári}$$

Næmnigreining

Gerð verður næmnigreining á núvirði og endurgreiðslutíma til þess að leggja mat á hvaða breytur vegi þyngst ef breytingar verða á reikningslegum forsendum.



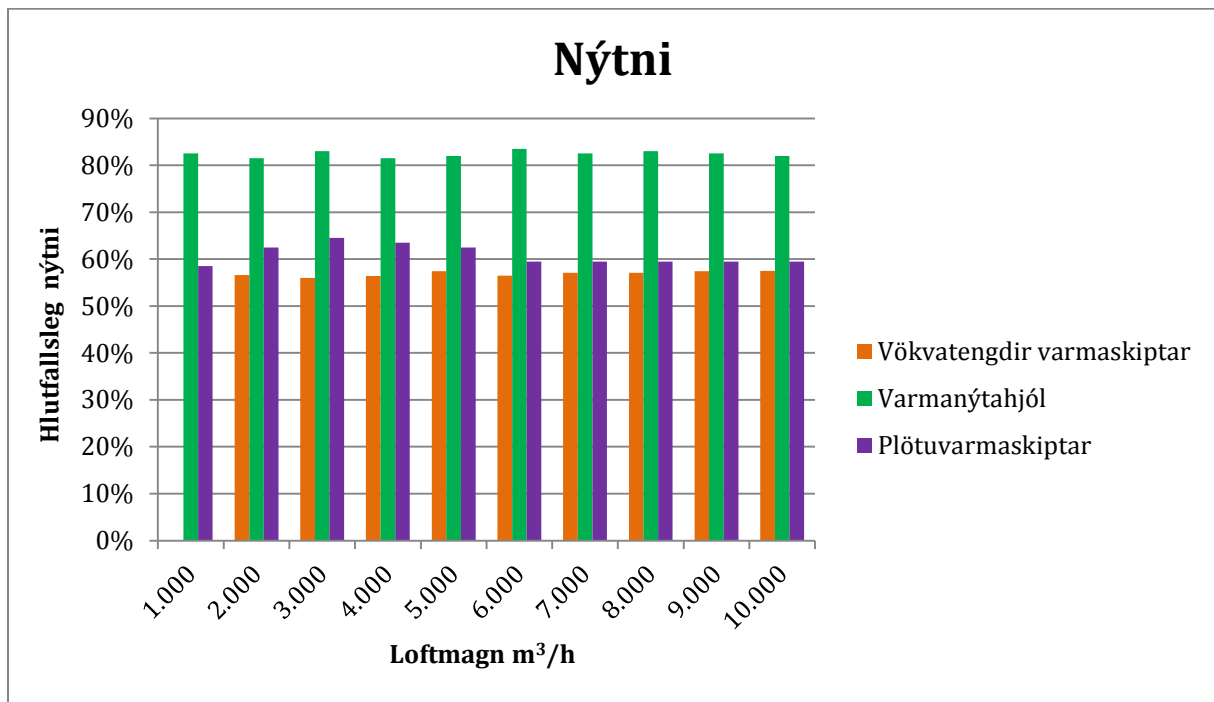
6 Niðurstöður

Niðurstöður hagkvæmniútreikninga bæði á núvirði og endurgreiðslutíma leiddu í ljós að varmanýtahjól er hagkvæmasti kosturinn í nær öllum tilfellum. Útreikningur á núvirði er mun flóknari en útreikningur á endurgreiðslutíma, sem oft er aðeins notaður til þess að fá grófa mynd af hagkvæmni. Því ættu núvirðisútreikningar að gefa raunhæfari niðurstöðu.

Útreikningur á núvirði bendir til þess að varmanýtahjól séu hagkvæmust í öllum tilfellum. Aftur á móti gefa útreikningar á endurgreiðslutíma ekki alveg sömu niðurstöðu. Endurgreiðslutími plötuvarmaskipta reyndist styttri en varmanýtahjóla í tveimur tilfellum. Þá reyndist loftræsisamstæða með plötuvarmaskipti fyrir loftmagn 10.000 m³/h, ódýrari en loftræsisamstæða án varmaskiptis og því varð útreiknaður endurgreiðslutími að neikvæðri stærð.

Ekki var sýnt fram á neina hagkvæmni með vökvatengdum varmaskiptum, hvorki með núvirðingu né útreikningi á endurgreiðslutíma.

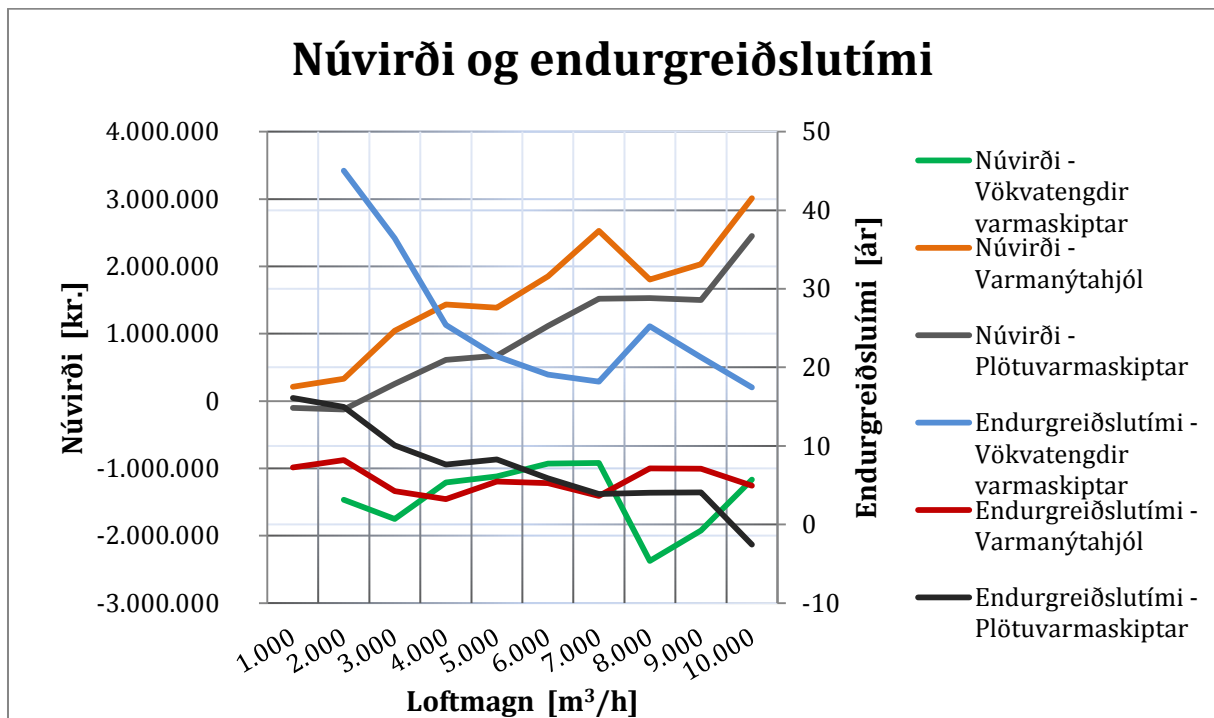
Samanburður á niðurstöðum verkefnis við tilmæli í drögum að byggingareglugerð um að minnsta kosti 70% nýtingu á varmaorku í loftræsikerfum leiddi í ljós að þessar kröfur eru raunhæfar. („Byggingarreglugerð drög til umsagnar“, 2011, bls. 14.9.2) Bæði varmanýtahjól og plötuvarmaskiptar bentu til hagkvæmni, þó að einungis varmanýtahjólið hafi nýtni umfram 70%. Plötuvarmaskiptar reyndust þó ekki vera hagkvæmir ef loftmagn er undir 2.500 m³/h.



Súlurit 6-1 Nýtni

Súlurit 6-1 sýnir nýtni varmaskiptanna í samanburðinum. Útreikningar með ProUnit leiddu í ljós að nýtni vökvatengdu varmaskiptanna var á bilinu 56-57,5%, nýtni varmanýtahjóla á bilinu 81,5-83,5% og nýtni plötuvarmaskipta á bilinu 58,5-63%.

Varmanýtahjól er eina tegund varmaendurvinnslubúnaðar sem uppfyllir tilmæli í drögum að byggingareglugerð um 70% endurnýtingu varmaorku í loftræsikerfum að lágmarki. („Byggingarreglugerð drög til umsagnar“, 2011, k. 14.9.2)



Línurit 6-1 Núvirði og endurgreiðslutími

Línurit 6-1 sýnir núvirði og endurgreiðslutíma varmaskiptanna. Samkvæmt því skila varmanýtahjól og plötuvarmaskiptar af sér hagkvæmni en ekki vökvatengdir varmaskiptar.

Núvirði varmanýtahjóla er jákvætt í öllum tilfellum fyrir tiltekið loftmagn. Það gefur til kynna hagkvæmni varmanýtahjólans í öllum tilfellum. Núvirðið eykst með loftmagni en tekur dýfu niður á við þegar loftmagn er 8.000 m³/h og 9.000 m³/h en hækkar síðan aftur og er mest í stærsta kerfinu þegar loftmagnið er 10.000 m³/h. Plötuvarmaskiptar eru næst hagkvæmastir á eftir varmanýtahjól. Núvirði þeirra er þó neikvætt fyrir loftmagn minna en 2.500 m³/h. Það bendir til þess að þeir séu ekki hagkvæmir nema loftmagn sé meira en 2.500 m³/h. Núvirðið stígur upp á við með auknu loftmagni og er hæst í stærsta kerfinu fyrir loftmagn 10.000 m³/h. Núvirði vökvatengdra varmaskipta er neikvætt í öllum tilfellum fyrir allt tiltekið loftmagn. Það bendir því ekki til mikillar hagkvæmni.

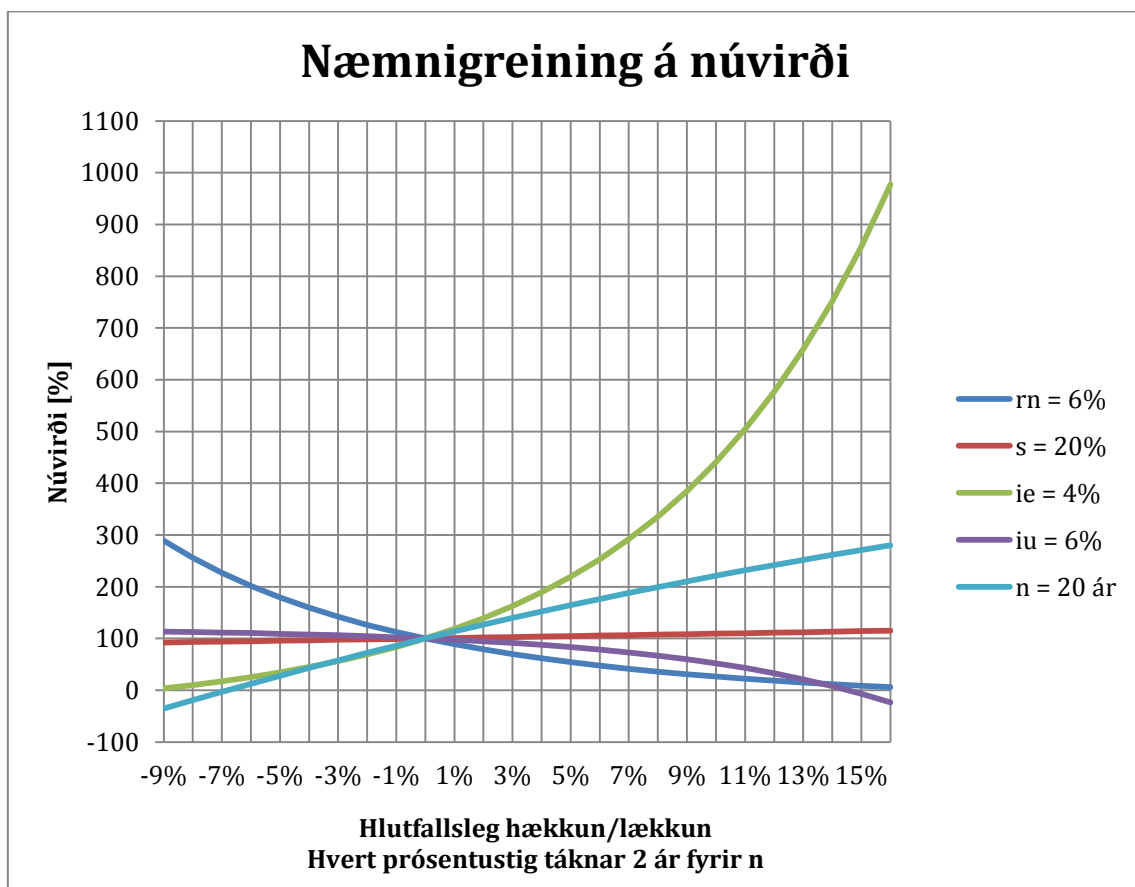
Endurgreiðslutími varmaskipta í vel hönnuðum loftræsikerfum ætti að vera minni en 5 ár, og oft minna en 3 ár. (ASHRAE, 2008)

Endurgreiðslutími varmanýtahjólans kemur best út og er í 60% tilfella 5 ár eða styttri. Endurgreiðslutími plötuvarmaskipta er í 30% tilfella 5 ár eða styttri en endurgreiðslutími vökvatengdra varmaskipta er aldrei undir 5 árum.



Endurgreiðslutími varmanýtahjólans er stystur 3 ár fyrir loftmagn 3.000 m³/h og lengstur 8 ár fyrir loftmagn 2.000 m³/h. Sjá má á línuritinu að endurgreiðslutími er lengstur í minnstu og stærstu kerfunum. Út frá endurgreiðslutíma virðist mesta hagkvæmni varmanýtahjóla vera í meðalstórum kerfum. Endurgreiðslutími plötuvarmaskipta er stystur 4 ár fyrir loftmagn 7.000-9.000 m³/h og lengstur 16 ár fyrir loftmagn 1.000 m³/h. Á línuritinu sést að endurgreiðslutími styttist eftir því sem kerfin stækka (loftmagn eykst). Það rennir stoðum undir þá kenningu að mesta hagkvæmni varmaendurvinnslu sé í stærri kerfum. Endurgreiðslutími vökvatengdra varmaskipta er stystur 17 ár fyrir loftmagn 10.000 m³/h og lengstur 45 ár fyrir loftmagn 1.000 m³/h. Þetta er langt frá því að vera ásættanlegur endurgreiðslutími og kæmi ekki til greina við val á varmaendurvinnslubúnaði.

6.1 Næmnigreining

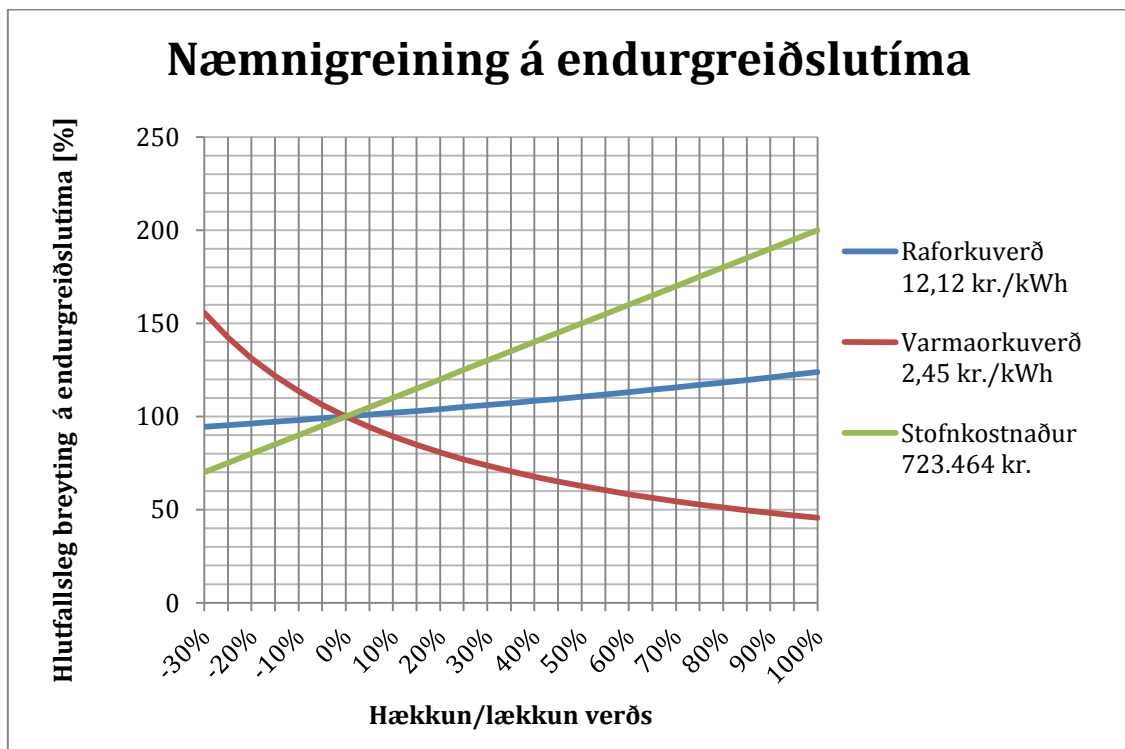


Línurit 6-2 Næmnigreining á núvirði varmanýtahjólans fyrir loftmagn 5.000 m³/h.

Línurit 6-2 sýnir næmnigreiningu á núvirði varmanýtahjólans fyrir loftmagn 5.000 m³/h (dæmið í kafla 5.1). Reiknað núvirði var 1.384.991 kr. fyrir gefnar forsendur.



Sjá má að lækkandi vaxtaþrósentu hefur þau áhrif að núvirði eykst. Skatthlutfall hefur mjög lítil áhrif á núvirði, það eykst þó lítillega með hækkandi skattþrósentu. Áætluð hækkun orkuverðs hefur hins vegar mest áhrif á núvirði. Ef áætluð hækkun á orkuverði er færð úr 4 % í tæp 9 % eykst núvirði um rúm 100%. Áætluð hækkun viðhaldskostnaðar hefur einnig áhrif á núvirði, en ekki mikil við væga hækkun. Ef áætluð hækkun viðhaldskostnaðar er hækkuð um 10 prósentustig þannig að hún fari úr 6% yfir í 16%, þá hefur núvirði dregist saman um 50%. Líftími hefur næst veigamestu áhrif á núvirði á eftir hækkun á orkuverði. Ef líftími er styttert um 6 ár, það er úr 20 árum niður í 14 ár, veldur það rúmlega 40% lækkun á núvirði.



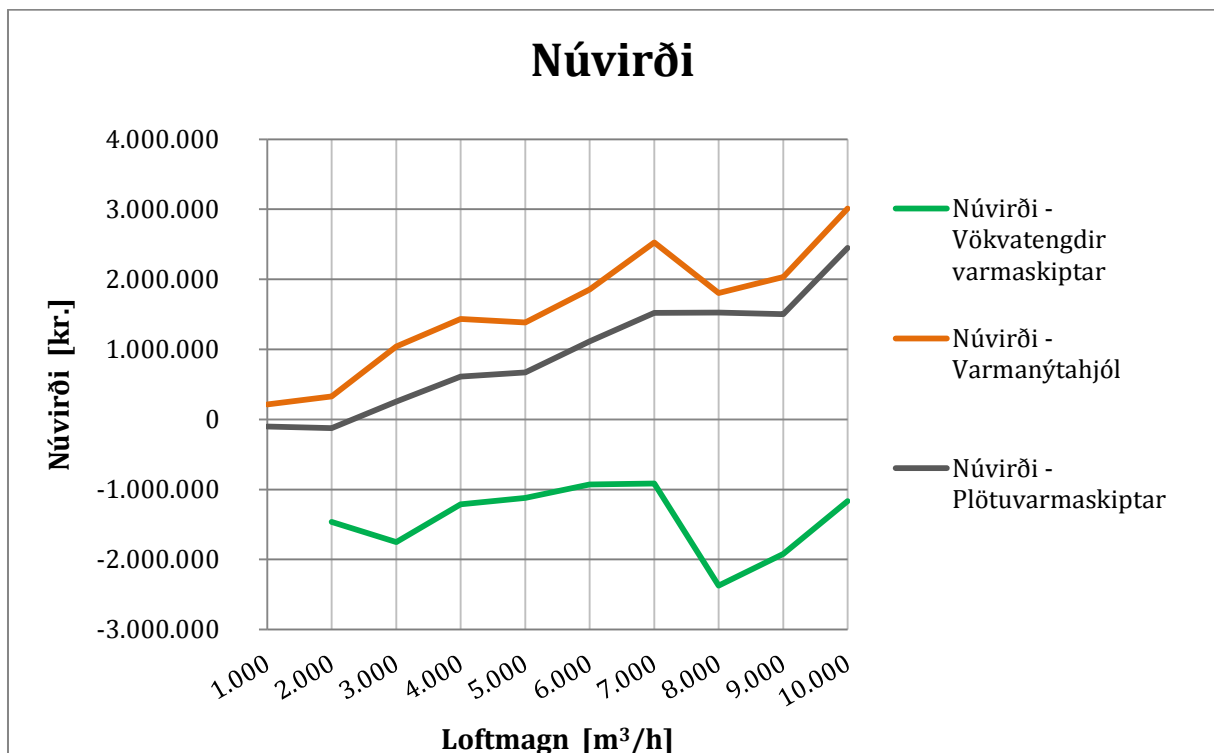
Línurit 6-3 Næmnigreining á endurgreiðslutíma varmanýtahjólis með loftmagni 5.000 m³/h.

Línurit 6-3 sýnir næmnigreiningu á endurgreiðslutíma varmanýtahjólisins. Reiknaður endurgreiðslutími var 5 ár miðað við gefnar forsendur. Næmnigreiningin sýnir að hækkun varmaorkuverðs hefur mestu áhrif á endurgreiðslutíma. Ef verð á varmaorku hækkar um 10%, styttest endurgreiðslutíminn um 10%. Ef verð á varmaorku lækkar um 10% þá lengist endurgreiðslutíminn um tæp 14%. Stofnkostnaður hefur næst mest áhrif á endurgreiðslutímann. Hækkun og lækkun stofnkostnaður er línuleg, þannig að ef stofnkostnaður hækkar um 20% þá lengist endurgreiðslutími um 20%. Ef stofnkostnaður lækkar um 20% þá styttest



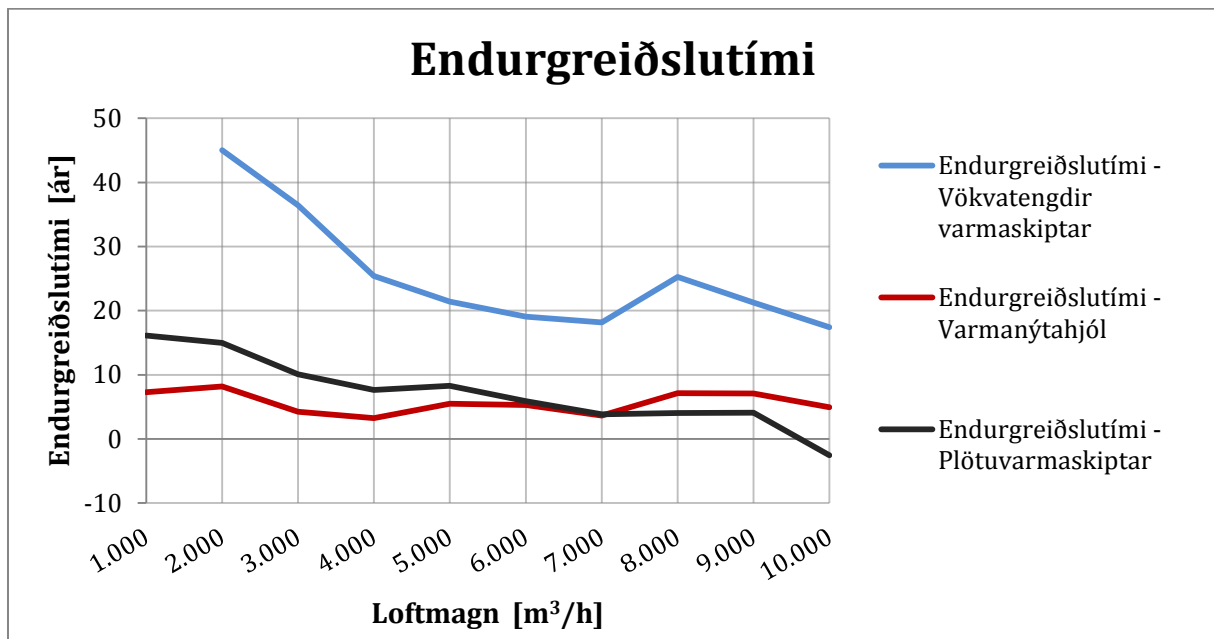
endurgreiðslutíminn um 20%. Raforkuverð hefur einnig einhver áhrif á endurgreiðslutíma en þó mun minni en bæði varmaorkuverð og stofnkostnaður. Ef raforkuverð hækkar um 50% lengist endurgreiðslutími um 10% en ef raforkuverð lækkar um 25% styttest endurgreiðslutíminn um 5%.

6.2 Umræða og túlkun



Línurit 6-4 Núvirði

Línurit 6-4 sýnir núvirði varmaendurvinnslubúnaðar fyrir tiltekið loftmagn. Þar sést að núvirði vökvatengdra varmaskipta er alltaf neikvætt, sem bendir eindregið til þess að þeir séu ekki hagkvæmur kostur. Núvirði plötuvarmaskipta er neikvætt fyrir loftmagn $< 2.500 \text{ m}^3/\text{h}$ en jákvætt fyrir loftmagn $\geq 2.500 \text{ m}^3/\text{h}$. Plötuvarmaskiptar eru því ekki hagkvæmir í kerfum með loftmagn $< 2.500 \text{ m}^3/\text{h}$. Núvirði varmanýtahjóls er hins vegar jákvætt fyrir hvaða tiltekið loftmagn sem er. Það bendir til þess að þeir séu hagkvæmir fyrir allt tiltekið loftmagn en þó er mesta hagkvæminn þar sem núvirði er hæst þegar loftmagn er $10.000 \text{ m}^3/\text{h}$.



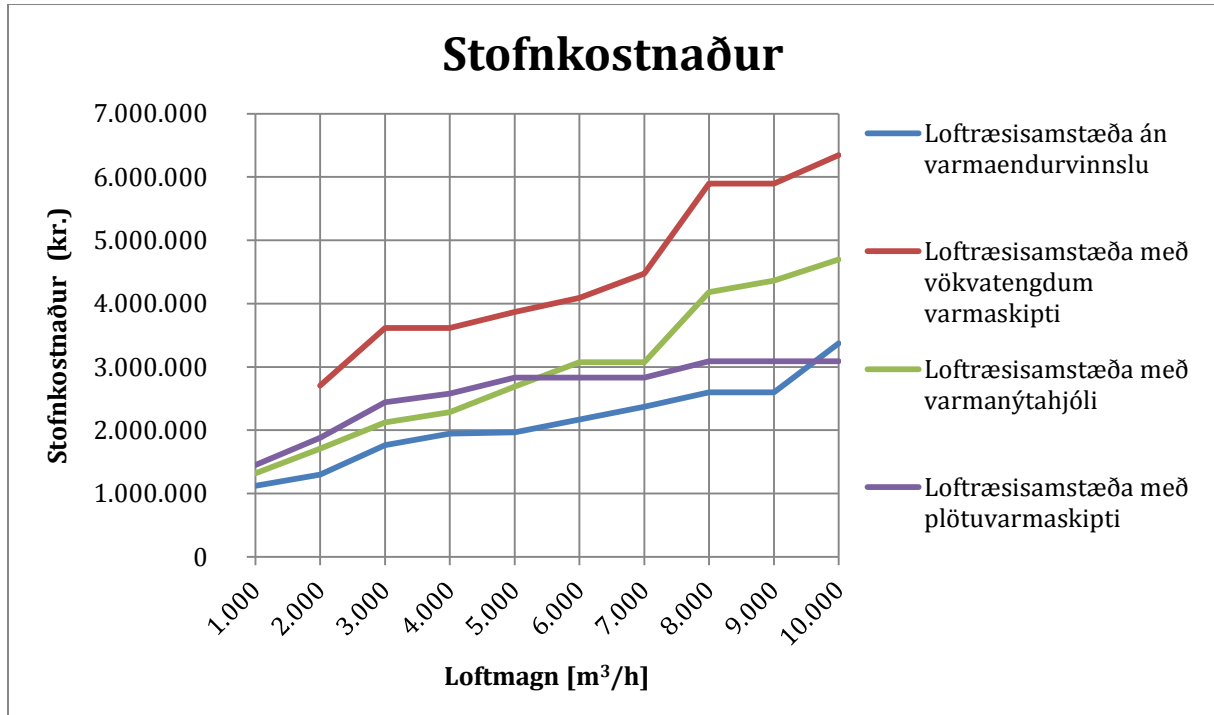
Línurit 6-5 Endurgreiðslutími

Línurit 6-5 sýnir endurgreiðslutíma varmaendurvinnslubúnaðar. Endurgreiðslutími vökvatengdra varmaskipta er mjög langur í kerfum þar sem loftmagn er lítið. Hann er lengstur 45 ár fyrir kerfi þar sem loftmagn er 2.000 m³/h. Það gefur auga leið að það er ekki góð fjárfesting í búnaði þar sem reiknað er með að líftími séu 20 ár. Endurgreiðslutími vökvatengdra varmaskipta er í öllum tilfellum langur. Hann er stystur 18 ár þegar loftmagnið er 7.500 m³/h og 17 ár þegar loftmagnið er 10.000 m³/h. Það er því ekki margt sem bendir til þess að vökvatengdir varmaskiptar séu yfir höfuð hagkvæmir miðað við þessa útreikninga. Á línuritinu sést að endurgreiðslutíminn hoppar upp í 25 ár þegar loftmagnið er 8.000 m³/h. Það er vegna þess að sama stærð loftræsisamstæðu er notuð fyrir loftmagn 8.000 m³/h og 9.000 m³/h þannig að stofnkostnaður er hlutfallslega lægri fyrir loftmagn 9.000 m³/h.

Endurgreiðslutími plötuvarmaskipta er langur í kerfum með litlu loftmagni. Lengstur er hann 16 ár fyrir loftmagn 1000 m³/h. Hann lækkar þó með auknu loftmagni og er 4 ár þegar loftmagnið er 4000 m³/h. Það má segja að endurgreiðslutíminn sé orðinn ásættanlegur þegar loftmagnið er 7000 m³/h, þá er endurgreiðslutíminn 4 ár. Hann hoppar þó upp í 25 ár þegar loftmagnið er 8.000 m³/h en fer svo aftur niður í 4 ár. Á línuritinu sést að þegar loftmagnið er 10.000 m³/h er endurgreiðslutíminn neikvæður. Það er vegna þess að útreikningar miðast við viðbótarstofnkostnað vegna varmaendurvinnslubúnaðar (það er mismunur stofnkostnaðar með og án varmaskiptis). Loftræsisamstæða án varmaendurvinnslubúnaðar fyrir loftmagn 10.000 m³/h kostar einfaldlega meira en samstæða með plötuvarmaskipti.



Endurgreiðslutími varmanýtahjóna reyndist stytur. Hann er lengstur 8 ár þegar loftmagn er 2.000 m³/h og 7 ár þegar loftmagnið er 1000 m³/h, 8000 m³/h og 9000 m³/h. Hann sveiflast því frekar en að stytast eins og hjá vökvatengdum varmaskiptum og plötuvarmaskiptum. Þetta má rekja til þess að ekki er línulegt samband milli stofnkostnaðar og loftmagns.

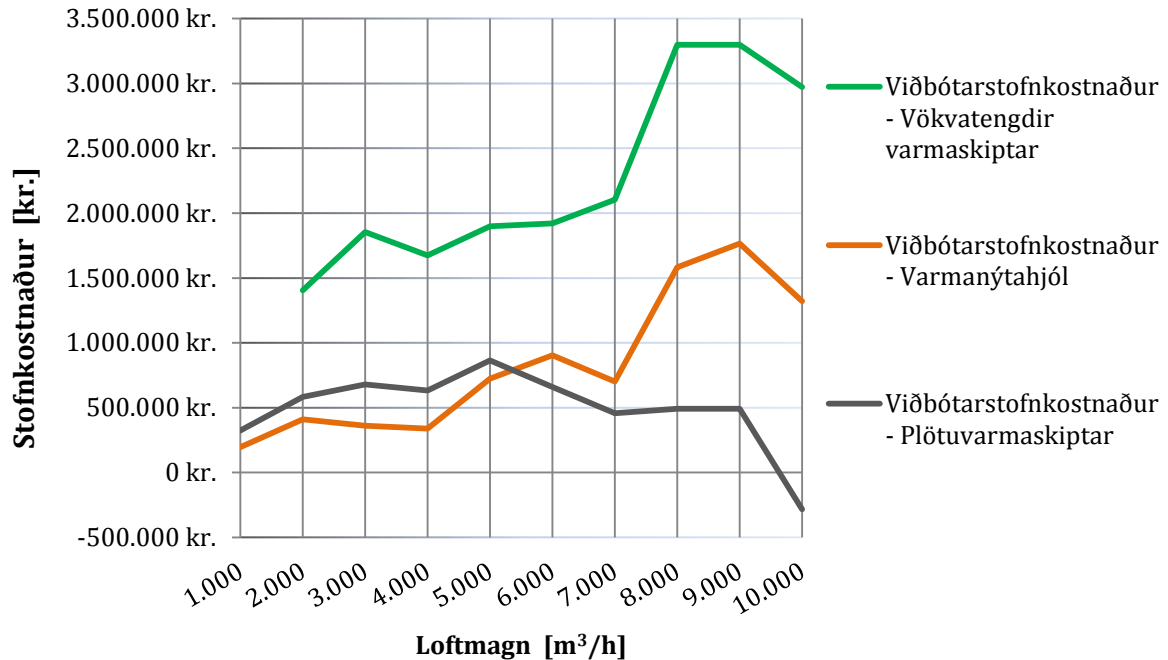


Línurit 6-6 Stofnkostnaður loftræsisamstæðanna.

Línurit 6-6 sýnir stofnkostnað loftræsisamstæðanna. Loftræsisamstæða með vökvatengdum varmaskipti er dýrust í öllum tilfellum og sker sig þó nokkuð úr að því leiti. Stofnkostnaður loftræsisamstæðu án varmaendurvinnslu er í öllum tilfellum sá lægsti nema fyrir loftmagn 10.000 m³/h. Þar er stofnkostnaður fyrir loftræsisamstæðu með plötuvarmaskipti aðeins lægri.

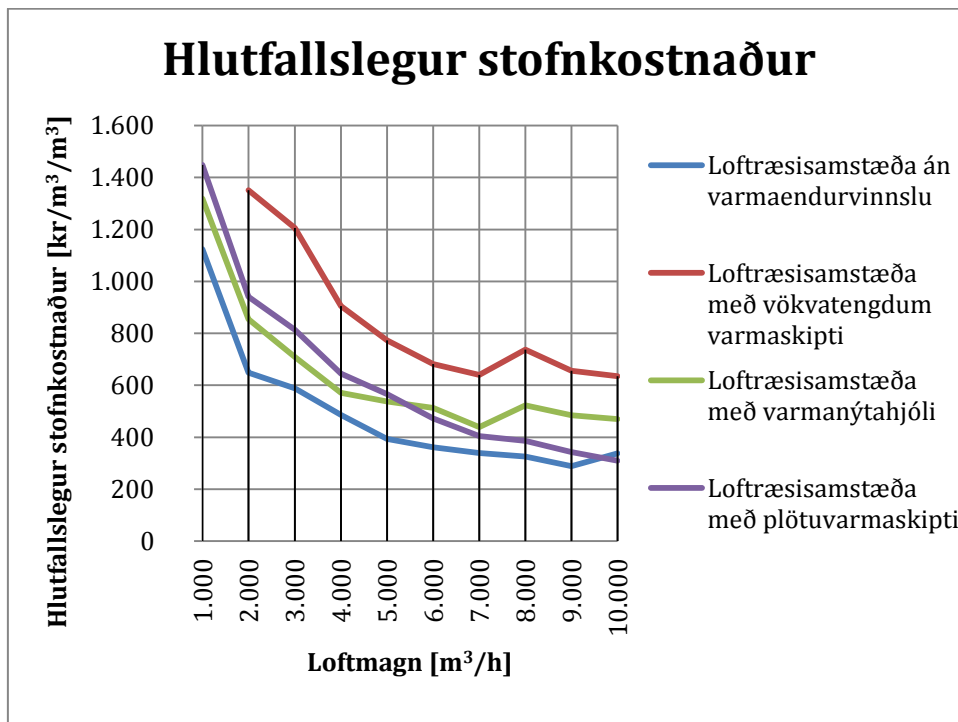


Viðbótarstofnkostnaður vegna varmaendurvinnslu



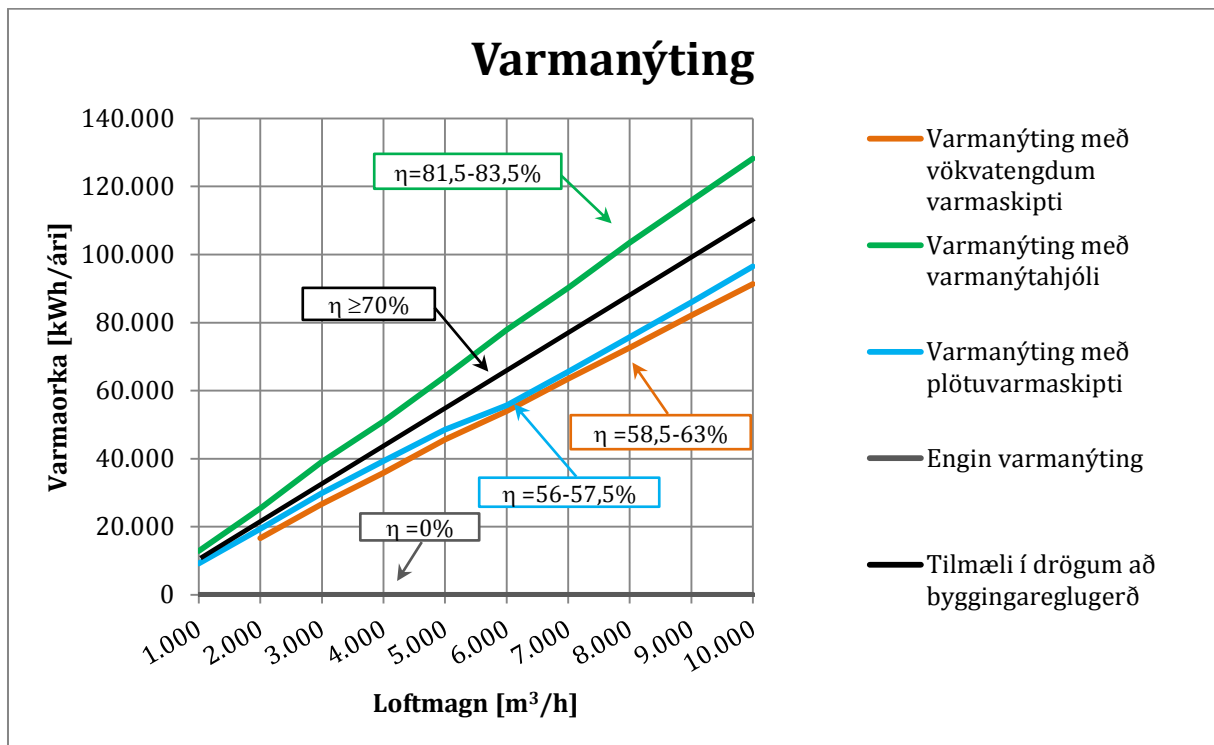
Línurit 6-7 Viðbótarstofnkostnaður vegna varmaendurvinnslu

Línurit 6-7 sýnir hversu mikið stofnkostnaður loftræsisamstæðna eykst ef þær eru með varmaendurvinnslubúnaði. Stofnkostnaður eykst mest með vökvatengdum varmaskipti í öllum tilfellum. Varmanýtahjól eru ódýrari fyrir minni kerfi en verða dýrari eftir því sem loftmagn eykst. Plötuvarmaskiptar eru ódýrastir í stórum kerfum, jafnvel ódýrari en samstæða án varmaskiptis (loftmagn 10.000 m³/h).



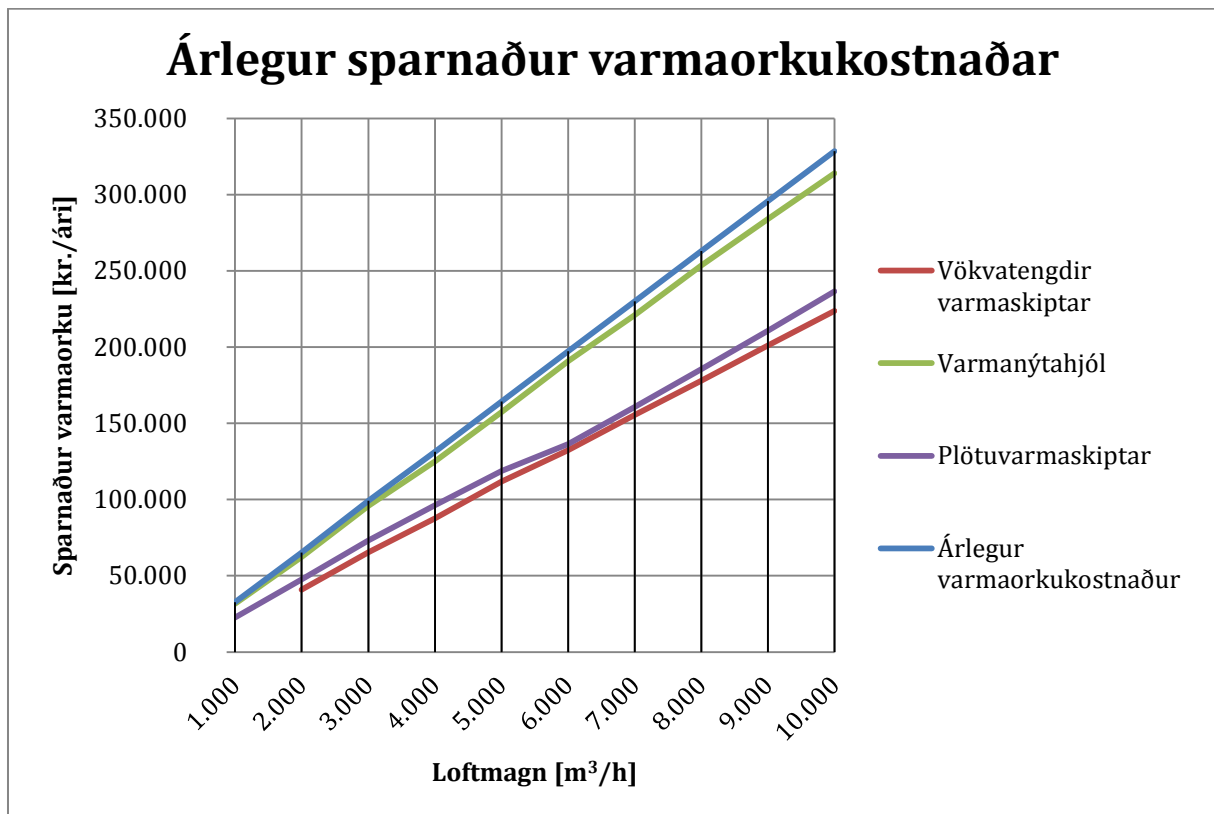
Línurit 6-8 Hlutfallslegur stofnkostnaður loftræsisamstæðna

Línurit 6-8 sýnir hlutfallslegan stofnkostnað loftræsisamstæðna fyrir loftmagn. Það sést glögglega að stofnkostnaður er hlutfallslega hæstur í minnstu kerfunum (með minnsta loftmagninu) og lækkar eftir því sem kerfin stærri (loftmagn eykst). Plötuvarmaskiptir er hlutfallslega dýrastur fyrir minnsta loftmagnið 1.000 m³/h en hlutfallslega ódýrastur fyrir mesta loftmagnið 10.000 m³/h. Vökvatengdur varmaskiptir er þó hlutfallslega dýrastur fyrir allar stærðir kerfa, nema fyrir loftmagn 1.000 m³/h enda ekki framleiddur fyrir svo lítið loftmagn.



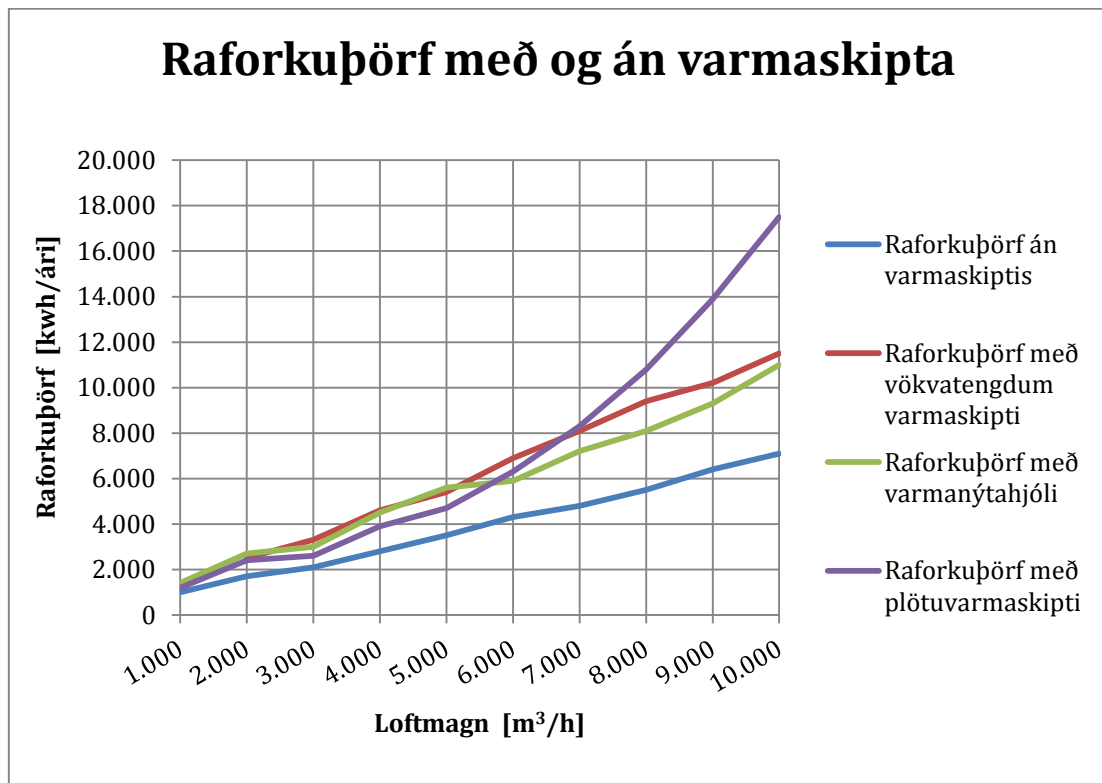
Línurit 6-9 Varmanýting

Línurit 6-9 sýnir nýtingu varmaorku frá útkastslofti. Varmanýtahjól er eina tegund varmaendurvinnslu sem uppfyllir tilmæli í drögum að byggingareglugerð um 70% endurnýtingu varmaorku í loftræsikerfum. („Byggingarreglugerð drög til umsagnar“, 2011, k. 14.9.2)



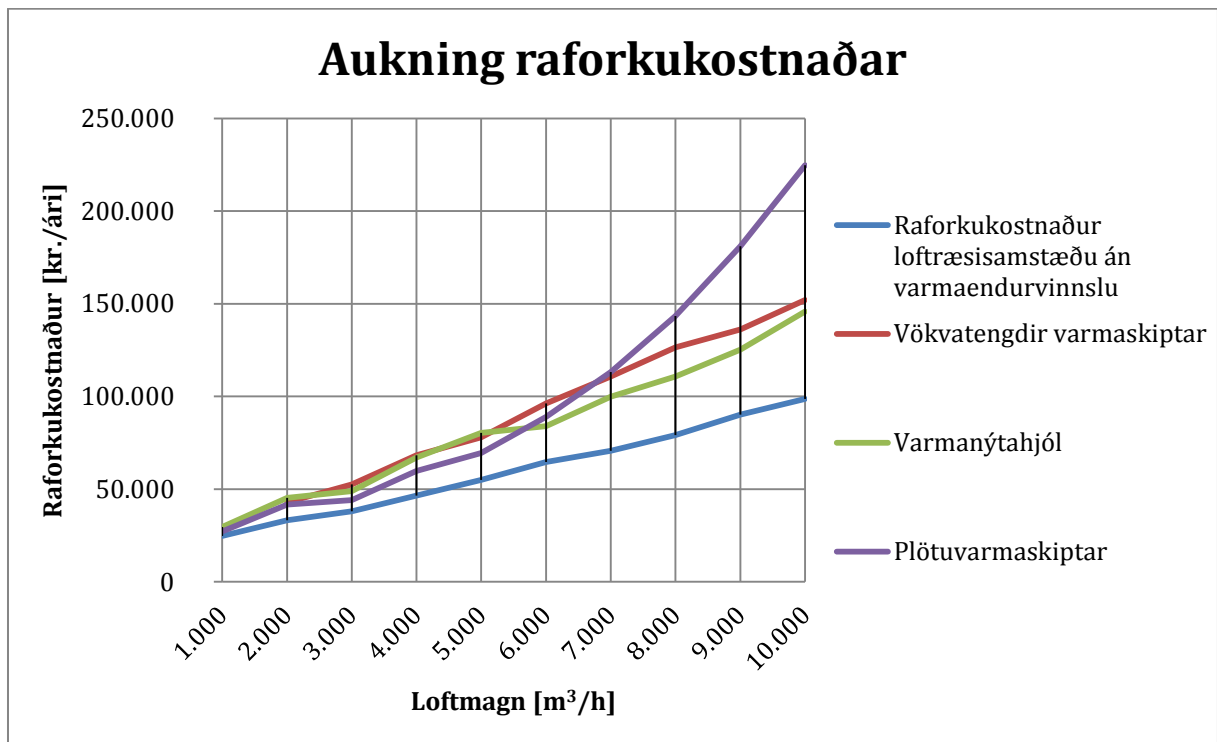
Línurit 6-10 Árlegur sparnaður varmaorkukostnaðar

Línurit 6-10 sýnir árlegan varmaorkukostnað án varmanýtingar og sparnað með varmaendurvinnslubúnaði. Eins og sést er mismikill eftir nýtni varmaendurvinnslubúnaðar. Varmanýtahjólið er með 82% sem sýnir að litla viðbótarorku þarf til hitunar.



Línurit 6-11 Raforkuþörf með og án varmaendurvinnslu

Línurit 6-11 sýnir raforkuþörf loftræsisamstæðu án varmaendurvinnslu og aukna raforkuþörf í loftræsisamstæðum með varmaskiptum. Það sést að raforkuþörf plötuvarmaskipta er minnst allra varmaskiptanna til að byrja með en eykst mest með auknu loftmagni og fer fram úr öllum hinum við loftmagn 7.000 m³/h. Í viðauka 9.3 má sjá að kenniaflþörf plötuvarmaskipta er í hærra lagi fyrir mikið loftmagn. Raforkuþörf hinna varmaskiptanna vex í nokkuð jöfnu hlutfalli með auknu loftmagni.

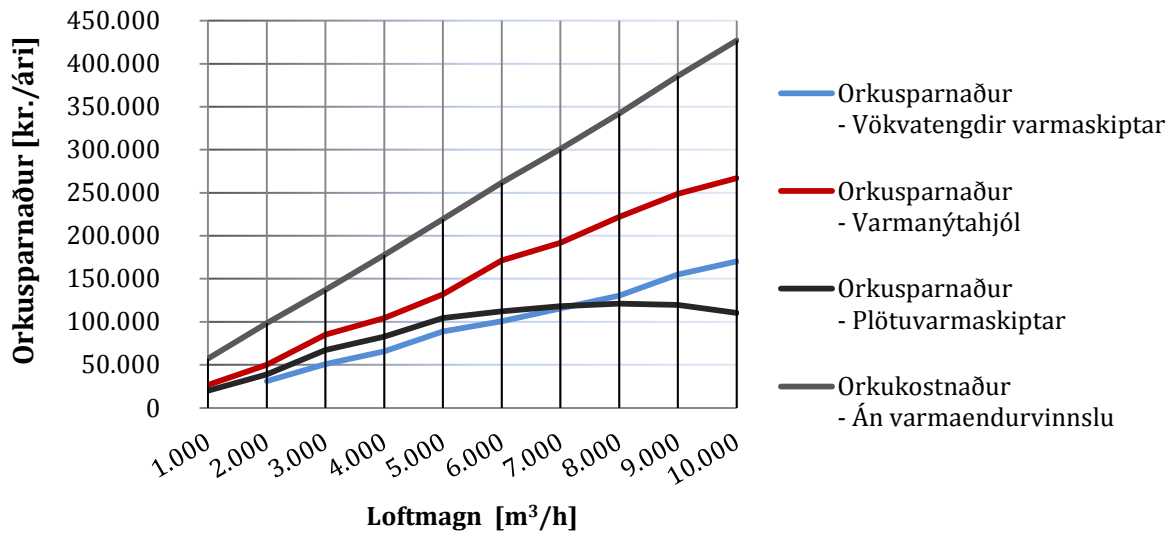


Línurit 6-12 Raforkukostnaður með og án varmaendurvinnslu.

Línurit 6-12 sýnir raforkukostnað loftræsisamstæðna án varmaendurvinnslu og aukinn raforkukostnað vegna varmaendurvinnslu. Kostnaður plötuvarmaskipta eykst mest með auknu loftmagni.



Sparnaður vegna varma-og raforkukostnaðar



Línurit 6-13 Sparnaður vegna varma-og raforkukostnaðar

Línurit 6-13 sýnir varma-og raforkukostnað loftræsisamstæðu án varmaendurvinnslu og sparnað með varmaendurvinnslu. Sparnaðurinn er nokkuð línulegur bæði fyrir vökvatengda varmaskipta og varmanýtahjól. Fyrir plötuvarmaskipta er orkusparnaðurinn einnig nokkuð línulegur fyrir loftmagn upp 5000 m³/h en minnkar hægt og bítandi eftir það. Fyrir loftmagn 7.000 m³/h og hærra er orkusparnaðurinn minnstur með plötuvarmaskiptum enda eykst raforkuþörfin til muna.



7 Samantekt

Markmið fyrri hluta verkefnisins var að gera umfjöllum sem unnin var upp úr heimildum um varmaendurvinnslubúnað. Fjallað var um tæknilega eiginleika og helstu þættir teknir saman í töflu sem má nota fyrir skyndival á búnaði.

Markmið seinni hluta verkefnis var að gera samanburð á hagkvæmni þriggja tegunda af varmaendurvinnslubúnaði fyrir misstór loftræsikerfi og bera saman við tilmæli í drögum að byggingareglugerð um að minnsta kosti 70% nýtingu varmaorku í loftræsikerfum. Aðeins varmanýtahjólíð hefur nýtni umfram 70%. Nýtni hvernar tegundar var á svipuðu bili fyrir allar stærðir loftræsikerfa. Nýtni varmanýtahjóna var um 80%, nýtni plötuvarmaskipta í kringum 60% og nýtni vökvatengdra varmaskipta rúm 50%.

Niðurstöður útreikninga á núvirði leiddu í ljós að varmanýtahjól voru hagkvæmust í öllum í tilfellum fyrir tiltekið loftmagn. Núvirðing leiddi einnig í ljós hagkvæmni plötuvarmaskipta en þó ekki fyrir loftmagn 1.000-2.000 m³/h, þar varð núvirði neikvætt. Ekki var sýnt fram á neina hagkvæmni með vökvatengdum varmaskiptum með núvirðingu.

Útreikningur á endurgreiðslutíma benti einnig til hagkvæmni varmanýtahjóns í öllum tilfellum en þó var endurgreiðslutími plötuvarmaskiptis styttri fyrir loftmagn 8.000-9.000 m³/h. Útreikningur á endurgreiðslutíma bentu til þó nokkurrar hagkvæmni plötuvarmaskiptis, en þó ekki í allra minnstu kerfunum. Hagkvæmni jókst með loftmagni þar sem endurgreiðslutími styttist. Ekki var sýnt fram á hagkvæmni vökvatengdra varmaskipta með endurgreiðsluútreikningum.

Hugsanlega er hagkvæmara að sleppa varmaendurvinnslu ef ekki er möguleiki að nota aðra tegund varmaskiptis. Lengri notkunartími myndi gefa betri hagkvæmni og hugsanlega væru vökvatengdir varmaskiptar hagkvæmnir í stórum loftræsikerfum þar sem loftræsing er í notkun allan sólarhringinn eins og til að mynda á sjúkrahúsum. Það væri áhugavert að skoða hagkvæmni enn frekar með tilliti til breytilegs notkunartíma.

Í litlum samstæðum er líklegt að þrýstifall sé minna í loftstokkum en reiknað er með og það gefur væntingar um betri hagkvæmni.

Næmnigreining sýnir að varmaorkuverð hefur mest áhrif á núvirði og endurgreiðslutíma.

Það þykir sýnt að krafan sem sett er fram í drögum að byggingareglugerð um að minnsta kosti 70 % nýtingu á varmaorku í loftræsikerfum er raunhæf og að hagkvæmt sé að endurvinna 70 % varmaorku frá útkastslofti.



8 Heimildaskrá

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (2008). *ASHRAE handbook Heating, ventilating, and Air-Conditioning Systems and Equipment*. (Inch-Pound ed.). Atlanta Ga.: ASHRAE.
- Byggingarreglugerð : nr. 441/1998. (1998). Skipulagsstofnun.
- Byggingarreglugerð drög til umsagnar. (2011). Umhverfissráðuneyti. Sótt 3. nóvember 2011 af http://www.umhverfissraduneyti.is/media/PDF_skrar/Drog-byggingareglugerd.pdf.
- Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE). (2007). *CIBSE guide C*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE) og Armstrong, J. (2003). *CIBSE concise handbook* (2. útg.) London: CIBSE
- Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE) og Butcher, K. (2005). *Heating, ventilating, air conditioning and refrigeration : CIBSE guide B*. London: CIBSE
- DS 447:2005 Norm for mekaniske ventilationsanlæg. (e.d.) Dansk Standard.
- EN 308:1997. Heat Exchangers - Test procedures for establishing performance of air to air and flue gases heat recovery devices. (e.d.). European Standard
- Energiwiki.(e.d.) *Varmegenvinding og varmevekslere*. Sótt 21. nóvember 2011 af http://energiwiki.dk/index.php/Varmegenvinding_og_varmevekslere.
- Grétar J. Guðmundsson. (1993, 27. júlí). Markaðurinn - Viðhaldskostnaður íbúðarhúsnæðis. *Morgunblaðið*. Sótt 16. nóvember 2011 af http://www.mbl.is/mm/gagnasafn/grein.html?grein_id=109423.
- Guðmundur Halldórsson og Jón Sigurjónsson. (1992). *Varmaeinangrun húsa*. Reykjavík: Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins.
- Hagstofa Íslands. (e.d.-a). *Verð á ýmsum orkutegundum 1980-2009*. Sótt 17. nóvember 2011 af <http://www.hagstofa.is/?PageID=672&src=/temp/Dialog/varval.asp?ma=IDN02302%26ti=Ver%F0+%E1+%FDmsum+orkutegundum+1980%2D2009+%26path=../Database/idnatur/orkumal/%26lang=3%26units=Kr%F3nur%20%E1%20einingu/ver%F0v%EDsitala>.
- Hagstofa Íslands. (e.d.-b). *Byggingavísitala 1980-2009*. Sótt 17. nóvember 2011 af <http://www.hagstofa.is/?PageID=672&src=/temp/Dialog/varval.asp?ma=IDN02302%26ti>



HÁSKÓLINN Í REYKJAVÍK
REYKJAVIK UNIVERSITY

=Ver%F0+%E1+%FDmsum+orkutegundum+1980%2D2009+%26path=../Database/idnadur/orkumal/%26lang=3%26units=Kr%F3nur%20%E1%20einingu/ver%F0v%EDsitala.

Hannarr ehf. (2011, 7. janúar). *Byggingalykill Hannarrs*. Reykjavík: Hannarr ehf.

Hansen, H.E., Kjerulf-Jensen, P., Stampe, Ole B. (1988). *Varme- og climateknik : grundbog*. Lyngby: Danvak.

HVAC magasinet. (e.d.). Sådan virker fugten indpå temperaturvirkningsgraden. Sótt af [http://www.exhausto.dk/media\(1420,1030\)/HVAC_042006_fugt.pdf](http://www.exhausto.dk/media(1420,1030)/HVAC_042006_fugt.pdf).

Hørup Sørensen, H. (1988). *Ventilation ståbi*. København: Teknisk Forlag.

IV Produkt AB. (2011). *Mollier sketcher* [Vefforrit]. Sótt 5. nóvember 2011 af <http://www.ivprodukt.se/Pages/Page.aspx?pageId=60>.

Íslandsbanki. (e.d.). *Vextir og verðskrá Íslandsbanka*. Sótt 17. nóvember 2011 af <http://www.islandsbanki.is/um-islandsbanka/upplýsingar/vextir-og-verdskra/>.

Landsbankinn. (e.d.). *Gengi gjaldmiðla*. Sótt 15. nóvember 2011 af <http://www.landsbanki.is/markadir/gengigjaldmidla/>.

Oddur B. Björnsson. (2002, nóvember). *Loftræsikerfi - Tilgangur og hönnunarforsendur*. Óútgefin gögn.

Orkuveita Reykjavíkur. (2011, 7. janúar). *Verðskrá*. Sótt 11. nóvember 2011 af <http://www.or.is/Heimili/Heittvatn/Verdskra/>.

Orkuveita Reykjavíkur. (e.d.). *Verðskrá og skilmálar*. Sótt 14. nóvember 2011 af <http://www.or.is/Fyrirtaeki/Verdskraogskilmalar/>.

Páll Gunnlaugsson. (2011, nóvember). *Stofnkostnaður Swegon samstæðna*. Verð fengin frá Varma ehf., Reykjavík.

Ragnar Ragnarsson. (2002). *Loftræsikerfi*. Óútgefið handrit.

Ríkisskattstjóri. (e.d.). *Tekjuskattur*. Sótt 17. nóvember 2011 af <http://www.rsk.is/rekstur/skattar/tekjusk>.

Sveinn Áki Sverrisson. (munnleg heimild, 11. október 2011).

Swegon. (2011). *ProUnit* [Vefforrit]. Sótt 5. nóvember 2011 af <http://swegon.com/en/Resources/Software/ProUnit/>.



9 Viðaukar

Eftirfarandi töflur voru notaðar við útreikninga.

9.1 Tegund, loftmagn og nýtni

Tegund, loftmagn og nýtni			
Tegund	Loftmagn		Nýtni
	q_{vh}	q_{vs}	η
<i>Samstæða án varmaendurvinnslu</i>	m^3/h	m^3/s	%
GOLD SD-50	10.000	2,78	0
GOLD SD-40	9.000	2,50	0
GOLD SD-40	8.000	2,22	0
GOLD SD-35	7.000	1,94	0
GOLD SD-30	6.000	1,67	0
GOLD SD-25	5.000	1,39	0
GOLD SD-20	4.000	1,11	0
GOLD SD-14	3.000	0,83	0
GOLD SD-08	2.000	0,56	0
GOLD SD-04	1.000	0,28	0
<i>Vökvatengdir varmaskiptar</i>			
GOLD CX-60	10.000	2,78	57,5
GOLD CX-50	9.000	2,50	57,4
GOLD CX-50	8.000	2,22	57,1
GOLD CX-40	7.000	1,94	57,1
GOLD CX-35	6.000	1,67	56,5
-			
GOLD SD with runaround heat exchanger-25	5.000	1,39	57,4
GOLD SD with runaround heat exchanger-20	4.000	1,11	56,4
GOLD SD with runaround heat exchanger-20	3.000	0,83	56
GOLD SD with runaround heat exchanger-12	2.000	0,56	56,6
<i>Varmanýtahjól</i>			
GOLD RX-60	10.000	2,78	82
GOLD RX-50	9.000	2,50	82,5
GOLD RX-50	8.000	2,22	83
GOLD RX-35	7.000	1,94	82,5
GOLD RX-35	6.000	1,67	83,5
GOLD RX-30	5.000	1,39	82
GOLD RX-20	4.000	1,11	81,5
GOLD RX-14	3.000	0,83	83
GOLD RX-08	2.000	0,56	81,5



GOLD RX-04	1.000	0,28	82,5
<i>Plötuvarmaskiptar</i>			
GOLD PX-30	10.000	2,78	59,5
GOLD PX-30	9.000	2,50	59,5
GOLD PX-30	8.000	2,22	59,5
GOLD PX-25	7.000	1,94	59,5
GOLD PX-25	6.000	1,67	59,5
GOLD PX-25	5.000	1,39	62,5
GOLD PX-20	4.000	1,11	63,5
GOLD PX-14	3.000	0,83	64,5
GOLD PX-08	2.000	0,56	62,5
GOLD PX-04	1.000	0,28	58,5

9.2 Varmaorka

Varmaorka					
Tegund/ loftmagn (m ³ /h)	Varmaþörf til hitunar		Kostnaður varmaorku	Varmaorku-sparnaður með varmaendurvinnslu	Sparnaður varmaorku-kostnaðar
	m.v. 2860 klst. notkun á ári		Verð á heitu vatni:		
	Q	E	2,45 kr./kWh	$E_{\text{varmaorka}}$	$S_{\text{varmaorka}}$
	kW	kWh/ári	kr./ári	kWh/ári	kr./ári
SD-50/10.000	46.888	134.100	328.545		
SD-40/9.000	42.203	120.700	295.715		
SD-40/8.000	37.517	107.300	262.885		
SD-35/7.000	32.832	93.900	230.055		
SD-30/6.000	28.147	80.500	197.225		
SD-25/5.000	23.462	67.100	164.395		
SD-20/4.000	18.741	53.600	131.320		
SD-14/3.000	14.161	40.500	99.225		
SD-08/2.000	9.301	26.600	65.170		
SD-04/1.000	4.650	13.300	32.585		
CX-60/10.000	14.965	42.800	104.860	91.300	223.685
CX-50/9.000	13.497	38.600	94.570	82.100	201.145
CX-50/8.000	12.133	34.700	85.015	72.600	177.870
CX-40/7.000	10.629	30.400	74.480	63.500	155.575
CX-35/6.000	9.266	26.500	64.925	54.000	132.300
SDr-25/5.000	7.517	21.500	52.675	45.600	111.720
SDr-20/4.000	6.224	17.800	43.610	35.800	87.710
SDr-20/3.000	4.825	13.800	33.810	26.700	65.415
SDr-12/2.000	3.462	9.900	24.255	16.700	40.915



RX-60/10.000	2.063	5.900	14.455	128.200	314.090
RX-50/9.000	1.678	4.800	11.760	115.900	283.955
RX-50/8.000	1.329	3.800	9.310	103.500	253.575
RX-35/7.000	1.294	3.700	9.065	90.200	220.990
RX-35/6.000	909	2.600	6.370	77.900	190.855
RX-30/5.000	1.014	2.900	7.105	64.200	157.290
RX-20/4.000	909	2.600	6.370	51.000	124.950
RX-14/3.000	490	1.400	3.430	39.100	95.795
RX-08/2.000	420	1.200	2.940	25.400	62.230
RX-04/1.000	140	400	980	12.900	31.605
PX-30/10.000	13.147	37.600	92.120	96.500	236.425
PX-30/9.000	12.133	34.700	85.015	86.000	210.700
PX-30/8.000	11.049	31.600	77.420	75.700	185.465
PX-25/7.000	9.895	28.300	69.335	65.600	160.720
PX-25/6.000	8.671	24.800	60.760	55.700	136.465
PX-25/5.000	6.503	18.600	45.570	48.500	118.825
PX-20/4.000	5.000	14.300	35.035	39.300	96.285
PX-14/3.000	3.706	10.600	25.970	29.900	73.255
PX-08/2.000	2.517	7.200	17.640	19.400	47.530
PX-04/1.000	1.434	4.100	10.045	9.200	22.540

9.3 Raforka

Raforka						
Tegund/ loftmagn (m ³ /h)	Raforku þörf		Aukning á raforkuþörf vegna varma- endurvinnslu	Raforkukostnaður		Aukning raforkukostnaðar vegna varmaendurvinnslu
	m.v. <u>2860</u> klst.notkun á ári			<u>12,12</u> kr./kWh og <u>12.556</u> kr. fast gjald á ári		
	R		E _{raforka}			K _{raforka}
	kWh/ári	kW	kWh/ári	Kr./ári		kr./ári
SD-50/10.000	7.100	2,48		98.608		
SD-40/9.000	6.400	2,24		90.124		
SD-40/8.000	5.500	1,92		79.216		
SD-35/7.000	4.800	1,68		70.732		
SD-30/6.000	4.300	1,50		64.672		
SD-25/5.000	3.500	1,22		54.976		
SD-20/4.000	2.800	0,98		46.492		
SD-14/3.000	2.100	0,73		38.008		
SD-08/2.000	1.700	0,59		33.160		
SD-04/1.000	1.000	0,35		24.676		



CX-60/10.000	11.500	4,02	4.400	151.936	53.328
CX-50/9.000	10.200	3,57	3.800	136.180	46.056
CX-50/8.000	9.400	3,29	3.900	126.484	47.268
CX-40/7.000	8.100	2,83	3.300	110.728	39.996
CX-35/6.000	6.900	2,41	2.600	96.184	31.512
SDr-25/5.000	5.400	1,89	1.900	78.004	23.028
SDr-20/4.000	4.600	1,61	1.800	68.308	21.816
SDr-20/3.000	3.300	1,15	1.200	52.552	14.544
SDr-12/2.000	2.500	0,87	800	42.856	9.696
RX-60/10.000	11.000	3,85	3.900	145.876	47.268
RX-50/9.000	9.300	3,25	2.900	125.272	35.148
RX-50/8.000	8.100	2,83	2.600	110.728	31.512
RX-35/7.000	7.200	2,52	2.400	99.820	29.088
RX-35/6.000	5.900	2,06	1.600	84.064	19.392
RX-30/5.000	5.600	1,96	2.100	80.428	25.452
RX-20/4.000	4.500	1,57	1.700	67.096	20.604
RX-14/3.000	3.000	1,05	900	48.916	10.908
RX-08/2.000	2.700	0,94	1.000	45.280	12.120
RX-04/1.000	1.400	0,49	400	29.524	4.848
PX-30/10.000	17.500	6,12	10.400	224.656	126.048
PX-30/9.000	13.900	4,86	7.500	181.024	90.900
PX-30/8.000	10.800	3,78	5.300	143.452	64.236
PX-25/7.000	8.300	2,90	3.500	113.152	42.420
PX-25/6.000	6.300	2,20	2.000	88.912	24.240
PX-25/5.000	4.700	1,64	1.200	69.520	14.544
PX-20/4.000	3.900	1,36	1.100	59.824	13.332
PX-14/3.000	2.600	0,91	500	44.068	6.060
PX-08/2.000	2.400	0,84	700	41.644	8.484
PX-04/1.000	1.200	0,42	200	27.100	2.424



9.4 Orkusparnaður

Orkusparnaður alls		
Tegund/ loftmagn (m ³ /h)	kr./ári	SPF gildi
		P/q _{vs} kW/m ³ /s
SD-50/10.000		0,89
SD-40/9.000		0,90
SD-40/8.000		0,87
SD-35/7.000		0,86
SD-30/6.000		0,90
SD-25/5.000		0,88
SD-20/4.000		0,88
SD-14/3.000		0,88
SD-08/2.000		1,07
SD-04/1.000		1,26
CX-60/10.000	170.357	1,45
CX-50/9.000	155.089	1,43
CX-50/8.000	130.602	1,48
CX-40/7.000	115.579	1,46
CX-35/6.000	100.788	1,45
SDr-25/5.000	88.692	1,36
SDr-20/4.000	65.894	1,45
SDr-20/3.000	50.871	1,38
SDr-12/2.000	31.219	1,57
RX-60/10.000	266.822	1,38
RX-50/9.000	248.807	1,30
RX-50/8.000	222.063	1,27
RX-35/7.000	191.902	1,29
RX-35/6.000	171.463	1,24
RX-30/5.000	131.838	1,41
RX-20/4.000	104.346	1,42
RX-14/3.000	84.887	1,26
RX-08/2.000	50.110	1,70
RX-04/1.000	26.757	1,76
PX-30/10.000	110.377	2,20
PX-30/9.000	119.800	1,94



HÁSKÓLINN Í REYKJAVÍK
REYKJAVÍK UNIVERSITY

PX-30/8.000	121.229	1,70
PX-25/7.000	118.300	1,49
PX-25/6.000	112.225	1,32
PX-25/5.000	104.281	1,18
PX-20/4.000	82.953	1,23
PX-14/3.000	67.195	1,09
PX-08/2.000	39.046	1,51
PX-04/1.000	20.116	1,51



9.5 Stofnkostnaður

Stofnkostnaður						
Tegund/ loftmagn (m ³ /h)	Verð á samstæðu		Önnur útgjöld		Heildarverð	Kostnaður vegna uppsetningar
	Verð frá framleiðanda		Útgjöld vegna kaupa á samstæðu reiknuð sem hlutfall af verði frá framleiðanda		Verð á samstæðu og önnur útgjöld	m.v. Byggingalykil Hannarrs er kostnaður við uppsetningu 12,0% af heildarverði
	Skr.	Ísk.	hlutfall	Ísk.	Ísk.	Ísk.
SD-50/10.000	143.000	2.510.079	20%	502.016 kr.	3.012.095 kr.	361.451 kr.
SD-40/9.000	115.000	2.018.595	15%	302.789 kr.	2.321.384 kr.	278.566 kr.
SD-40/8.000	115.000	2.018.595	15%	302.789 kr.	2.321.384 kr.	278.566 kr.
SD-35/7.000	105.000	1.843.065	15%	276.460 kr.	2.119.525 kr.	254.343 kr.
SD-30/6.000	96.000	1.685.088	15%	252.763 kr.	1.937.851 kr.	232.542 kr.
SD-25/5.000	87.000	1.527.111	15%	229.067 kr.	1.756.178 kr.	210.741 kr.
SD-20/4.000	86.000	1.509.558	15%	226.434 kr.	1.735.992 kr.	208.319 kr.
SD-14/3.000	78.000	1.369.134	15%	205.370 kr.	1.574.504 kr.	188.940 kr.
SD-08/2.000	60.000	1.053.180	10%	105.318 kr.	1.158.498 kr.	139.020 kr.
SD-04/1.000	52.000	912.756	10%	91.276 kr.	1.004.032 kr.	120.484 kr.
CX-60/10.000	269.000	4.721.757	20%	944.351 kr.	5.666.108 kr.	679.933 kr.
CX-50/9.000	250.000	4.388.250	20%	877.650 kr.	5.265.900 kr.	631.908 kr.
CX-50/8.000	250.000	4.388.250	20%	877.650 kr.	5.265.900 kr.	631.908 kr.
CX-40/7.000	198.000	3.475.494	15%	521.324 kr.	3.996.818 kr.	479.618 kr.
CX-35/6.000	181.000	3.177.093	15%	476.564 kr.	3.653.657 kr.	438.439 kr.
SDr-25/5.000	171.000	3.001.563	15%	450.234 kr.	3.451.797 kr.	414.216 kr.
SDr-20/4.000	160.000	2.808.480	15%	421.272 kr.	3.229.752 kr.	387.570 kr.
SDr-20/3.000	160.000	2.808.480	15%	421.272 kr.	3.229.752 kr.	387.570 kr.
SDr-12/2.000	125.000	2.194.125	10%	219.413 kr.	2.413.538 kr.	289.625 kr.
RX-60/10.000	199.000	3.493.047	20%	698.609 kr.	4.191.656 kr.	502.999 kr.
RX-50/9.000	185.000	3.247.305	20%	649.461 kr.	3.896.766 kr.	467.612 kr.
RX-50/8.000	185.000	3.247.305	15%	487.096 kr.	3.734.401 kr.	448.128 kr.
RX-35/7.000	136.000	2.387.208	15%	358.081 kr.	2.745.289 kr.	329.435 kr.
RX-35/6.000	136.000	2.387.208	15%	358.081 kr.	2.745.289 kr.	329.435 kr.
RX-30/5.000	119.000	2.088.807	15%	313.321 kr.	2.402.128 kr.	288.255 kr.
RX-20/4.000	101.000	1.772.853	15%	265.928 kr.	2.038.781 kr.	244.654 kr.
RX-14/3.000	94.000	1.649.982	15%	247.497 kr.	1.897.479 kr.	227.698 kr.
RX-08/2.000	79.000	1.386.687	10%	138.669 kr.	1.525.356 kr.	183.043 kr.
RX-04/1.000	61.000	1.070.733	10%	107.073 kr.	1.177.806 kr.	141.337 kr.
PX-30/10.000	131.000	2.299.443	20%	459.889 kr.	2.759.332 kr.	331.120 kr.



PX-30/9.000	131.000	2.299.443	20%	459.889 kr.	2.759.332 kr.	331.120 kr.
PX-30/8.000	131.000	2.299.443	20%	459.889 kr.	2.759.332 kr.	331.120 kr.
PX-25/7.000	120.000	2.106.360	20%	421.272 kr.	2.527.632 kr.	303.316 kr.
PX-25/6.000	120.000	2.106.360	20%	421.272 kr.	2.527.632 kr.	303.316 kr.
PX-25/5.000	120.000	2.106.360	20%	421.272 kr.	2.527.632 kr.	303.316 kr.
PX-20/4.000	114.000	2.001.042	15%	300.156 kr.	2.301.198 kr.	276.144 kr.
PX-14/3.000	108.000	1.895.724	15%	284.359 kr.	2.180.083 kr.	261.610 kr.
PX-08/2.000	87.000	1.527.111	10%	152.711 kr.	1.679.822 kr.	201.579 kr.
PX-04/1.000	67.000	1.176.051	10%	117.605 kr.	1.293.656 kr.	155.239 kr.

Stofnkostnaður		
Tegund/ loftmagn (m ³ /h)	Alls	Aukning stofnkostnaðar vegna varmaendurvinnslu
	ÍSKr.	ÍSKr.
	SD-50/10.000	3.373.546 kr.
SD-40/9.000	2.599.950 kr.	
SD-40/8.000	2.599.950 kr.	
SD-35/7.000	2.373.868 kr.	
SD-30/6.000	2.170.393 kr.	
SD-25/5.000	1.966.919 kr.	
SD-20/4.000	1.944.311 kr.	
SD-14/3.000	1.763.445 kr.	
SD-08/2.000	1.297.518 kr.	
SD-04/1.000	1.124.515 kr.	
CX-60/10.000	6.346.041 kr.	2.972.495 kr.
CX-50/9.000	5.897.808 kr.	3.297.858 kr.
CX-50/8.000	5.897.808 kr.	3.297.858 kr.
CX-40/7.000	4.476.436 kr.	2.102.569 kr.
CX-35/6.000	4.092.096 kr.	1.921.702 kr.
SDr-25/5.000	3.866.013 kr.	1.899.094 kr.
SDr-20/4.000	3.617.322 kr.	1.673.012 kr.
SDr-20/3.000	3.617.322 kr.	1.853.878 kr.
SDr-12/2.000	2.703.162 kr.	1.405.644 kr.
RX-60/10.000	4.694.655 kr.	1.321.109 kr.
RX-50/9.000	4.364.378 kr.	1.764.428 kr.
RX-50/8.000	4.182.529 kr.	1.582.578 kr.
RX-35/7.000	3.074.724 kr.	700.856 kr.



RX-35/6.000	3.074.724 kr.	904.331 kr.
RX-30/5.000	2.690.383 kr.	723.464 kr.
RX-20/4.000	2.283.435 kr.	339.124 kr.
RX-14/3.000	2.125.177 kr.	361.732 kr.
RX-08/2.000	1.708.398 kr.	410.881 kr.
RX-04/1.000	1.319.143 kr.	194.628 kr.
PX-30/10.000	3.090.451 kr.	-283.095 kr.
PX-30/9.000	3.090.451 kr.	490.501 kr.
PX-30/8.000	3.090.451 kr.	490.501 kr.
PX-25/7.000	2.830.948 kr.	457.080 kr.
PX-25/6.000	2.830.948 kr.	660.554 kr.
PX-25/5.000	2.830.948 kr.	864.029 kr.
PX-20/4.000	2.577.342 kr.	633.031 kr.
PX-14/3.000	2.441.693 kr.	678.248 kr.
PX-08/2.000	1.881.401 kr.	583.883 kr.
PX-04/1.000	1.448.895 kr.	324.379 kr.



9.6 Viðhaldskostnaður

Viðhaldskostnaður		
Tegund/ loftmagn (m ³ /h)	2%	2%
	af heildarstofnkostnaði	af mismuni stofnkostnaðar með og án varmaendurvinnslu
	Ísk.	Ísk.
SD-50/10.000	67.471 kr.	
SD-40/9.000	51.999 kr.	
SD-40/8.000	51.999 kr.	
SD-35/7.000	47.477 kr.	
SD-30/6.000	43.408 kr.	
SD-25/5.000	39.338 kr.	
SD-20/4.000	38.886 kr.	
SD-14/3.000	35.269 kr.	
SD-08/2.000	25.950 kr.	
SD-04/1.000	22.490 kr.	
CX-60/10.000	126.921 kr.	59.450 kr.
CX-50/9.000	117.956 kr.	65.957 kr.
CX-50/8.000	117.956 kr.	65.957 kr.
CX-40/7.000	89.529 kr.	42.051 kr.
CX-35/6.000	81.842 kr.	38.434 kr.
SDr-25/5.000	77.320 kr.	37.982 kr.
SDr-20/4.000	72.346 kr.	33.460 kr.
SDr-20/3.000	72.346 kr.	37.078 kr.
SDr-12/2.000	54.063 kr.	28.113 kr.
RX-60/10.000	93.893 kr.	26.422 kr.
RX-50/9.000	87.288 kr.	35.289 kr.
RX-50/8.000	83.651 kr.	31.652 kr.
RX-35/7.000	61.494 kr.	14.017 kr.
RX-35/6.000	61.494 kr.	18.087 kr.
RX-30/5.000	53.808 kr.	14.469 kr.
RX-20/4.000	45.669 kr.	6.782 kr.
RX-14/3.000	42.504 kr.	7.235 kr.
RX-08/2.000	34.168 kr.	8.218 kr.
RX-04/1.000	26.383 kr.	3.893 kr.
PX-30/10.000	61.809 kr.	-5.662 kr.
PX-30/9.000	61.809 kr.	9.810 kr.



HÁSKÓLINN Í REYKJAVÍK
REYKJAVÍK UNIVERSITY

PX-30/8.000	61.809 kr.	9.810 kr.
PX-25/7.000	56.619 kr.	9.142 kr.
PX-25/6.000	56.619 kr.	13.211 kr.
PX-25/5.000	56.619 kr.	17.281 kr.
PX-20/4.000	51.547 kr.	12.661 kr.
PX-14/3.000	48.834 kr.	13.565 kr.
PX-08/2.000	37.628 kr.	11.678 kr.
PX-04/1.000	28.978 kr.	6.488 kr.

9.7 Núvirðis-og endurgreiðslureikningar

		Samstæður með vökvatengdum varmaskipti											
		Löftmagn	m ³ /h	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
		Heiti/stærð samstæðu	EKKI til	GOLD SD with runaround heat exchanger-12	GOLD SD with runaround heat exchanger-20	GOLD SD with runaround heat exchanger-20	GOLD SD with runaround heat exchanger-20	GOLD SD with runaround heat exchanger-25	GOLD CX-35	GOLD CX-40	GOLD CX-50	GOLD CX-50	GOLD CX-50
1	Stofn og-rekstrarkostnaður												
1.1	Stofnkostnaður	l_0	kr.	1.405.644	1.853.878	1.673.012	1.899.094	1.921.702	2.102.569	3.297.858	3.297.858	3.297.858	2.972.495
1.2	Árlegur orkusparnaður	b_0	kr./ári	31.219	50.871	65.894	88.692	100.788	115.579	130.602	155.089	155.089	170.357
1.3	Víðhaldskostnaður	u_0	kr./ári	28.113	37.078	33.460	37.982	38.434	42.051	65.957	65.957	65.957	59.450
1.4	Áætlaður líftími	n	ár	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2	Fjárhagslegar forsendur												
2.1	Náfnvektir	r_n		6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%
2.2	Skattaprósenta	s		20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
2.3	Áætluð hækkun á orkuverði	i_e		4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
2.4	Áætluð hækkun á víðhaldskostnaði	i_u		6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%
3	Raunavöxtunarkrafa												
3.1	Fyrir sparnað: $r_n * (1-s) \cdot i_e / (1+i_e)$	r_n		0,00769	0,00769	0,00769	0,00769	0,00769	0,00769	0,00769	0,00769	0,00769	0,00769
3.2	Víðhaldskostnaður: $r_n * (1-s) \cdot i_u / (1+i_u)$	r_n		-0,01132	-0,01132	-0,01132	-0,01132	-0,01132	-0,01132	-0,01132	-0,01132	-0,01132	-0,01132
4	Núvirðisstuðull												
3.1	Fyrir sparnað: $(1-(1+r_n)^{-n})/r_n$	f_{nb}		18.47185	18.47185	18.47185	18.47185	18.47185	18.47185	18.47185	18.47185	18.47185	18.47185
3.2	Víðhaldskostnaður: $(1-(1+r_u)^{-n})/r_u$	f_{nu}		22.58830	22.58830	22.58830	22.58830	22.58830	22.58830	22.58830	22.58830	22.58830	22.58830
5	Útreikningar á sparnaði vegna orkuendurvinnslu												
5.1	Núvirði sparnaðar: $b_0 * f_{nb}$	B_0	kr.	576.673	939.682	1.217.184	1.638.306	1.861.741	2.134.958	2.412.461	2.864.781	3.146.810	
5.2	Núvirði víðhaldskostnaðar: $u_0 * f_{nu}$	U_0	kr.	635.022	837.519	755.810	857.946	868.160	949.869	1.489.860	1.489.860	1.489.860	1.342.873
5.3	Stofnkostnaður (1.1)	l_0	kr.	1.405.644	1.853.878	1.673.012	1.899.094	1.921.702	2.102.569	3.297.858	3.297.858	3.297.858	2.972.495
	Núurstæða: núvirði af EBF = $B_0 - U_0 - l_0$	NU	kr.	-1.463.994	-1.751.715	-1.211.637	-1.118.735	-928.121	-917.479	-2.375.257	-1.922.937	-1.188.558	
	Tími sem það tekur að borga sig: $T = l_0/b$	ár		45	36	25	21	19	18	25	21	17	



Samstæður með varmanyfahjöli - GOLD RX													
		Loftmagn	m ³ /h	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
		Heiti/stærð samstæðu		GOLD RX-04	GOLD RX-08	GOLD RX-14	GOLD RX-20	GOLD RX-30	GOLD RX-35	GOLD RX-35	GOLD RX-50	GOLD RX-50	GOLD RX-60
1 Stofn og-rekstrarkostnaður													
1.1	Stofnkostnaður	l_0	kr.	194.628 kr.	410.881 kr.	361.732 kr.	339.124 kr.	723.464 kr.	904.331 kr.	700.856 kr.	1.582.578 kr.	1.764.428 kr.	1.321.109 kr.
1.2	Arlagur orkusparnaður	b_0	kr./ári	26.757 kr.	50.110 kr.	84.887 kr.	104.346 kr.	131.838 kr.	171.463 kr.	191.902 kr.	222.063 kr.	248.807 kr.	266.822 kr.
1.3	Viðhaldskostnaður	u_0	kr./ári	3.893 kr.	8.218 kr.	7.235 kr.	6.782 kr.	14.469 kr.	18.087 kr.	14.017 kr.	31.652 kr.	35.289 kr.	26.422 kr.
1.4	Ætlaður líftími	n	ár	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2 Fjárhagslegar forsendur													
2.1	Nafnvextir	r_n		6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%
2.2	Skattaprósenta	s		20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
2.3	Ætluð hækkun á orkuverði	i_e		4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
2.4	Ætluð hækkun á viðhaldskostnaði	i_u		6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%
3 Raunáæxturnarkrafa													
3.1	Fyrir sparnað: $r_n * (1-s) - i_e / (1+i_e)$	r_n		0,00769	0,00769	0,00769	0,00769	0,00769	0,00769	0,00769	0,00769	0,00769	0,00769
3.2	Viðhaldskostnaður: $r_n * (1-s) - i_u / (1+i_u)$	r_n		-0,01132	-0,01132	-0,01132	-0,01132	-0,01132	-0,01132	-0,01132	-0,01132	-0,01132	-0,01132
4 Návírðistudull													
3.1	Fyrir sparnað: $(1-(1+r_n)^{-n})/r_n$	$f_{n,b}$		18,47185	18,47185	18,47185	18,47185	18,47185	18,47185	18,47185	18,47185	18,47185	18,47185
3.2	Viðhaldskostnaður: $(1-(1+r_n)^{-n})/r_n$	$f_{n,u}$		22,58830	22,58830	22,58830	22,58830	22,58830	22,58830	22,58830	22,58830	22,58830	22,58830
5 Útreikningar á sparnaði vegna orkuendurvinnslu													
5.1	Núvirði sparnaðar: $b_0 * f_{n,b}$	B_0	kr.	494.251	925.625	1.568.020	1.927.464	2.435.292	3.167.239	3.544.786	4.101.915	4.595.926	4.928.697
5.2	Núvirði viðhaldskostnaðar: $u_0 * f_{n,u}$	U_0	kr.	87.926	185.622	163.418	153.205	326.837	408.546	316.623	714.955	797.109	596.832
5.3	Stofnkostnaður (1.1)	l_0	kr.	194.628	410.881	361.732	339.124	723.464	904.331	700.856	1.582.578	1.764.428	1.321.109
	Núvirði orkusparnaðar: $EBF = B_0 - U_0 - l_0$	NU	kr.	211.698	329.122	1.042.870	1.435.135	1.384.991	1.854.363	2.527.306	1.804.381	2.034.390	3.010.756
Tími sem það tekur að borga sig: $T = l_0/b$		ár		7	8	4	3	5	5	4	7	7	5



		Samstæður með þróuamskipti - GOLD PX											
		Loftmagn		1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
		Heiti/stærð samstæðu		GOLD PX-04	GOLD PX-08	GOLD PX-14	GOLD PX-20	GOLD PX-25	GOLD PX-25	GOLD PX-25	GOLD PX-30	GOLD PX-30	GOLD PX-30
		Stofn og rekratrakostnaður											
1.1	Stofnkostnaður	l_0	kr.	324.379	583.883	678.248	633.031	864.029	660.554	457.080	490.501	490.501	-283.095
1.2	Árlegur orkusparnaður	b_0	kr./ári	20.116	39.046	67.195	82.953	104.281	112.225	118.300	121.229	119.800	110.377
1.3	Viðhaldskostnaður	u_0	kr./ári	6.488	11.678	13.565	12.661	17.281	13.211	9.142	9.810	9.810	-5.662
1.4	Ætlaður líftími	n	ár	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2		Fjárhagsteglar forsendur											
2.1	Nafnvextir	r_n		6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%
2.2	Skattprósenta	s		20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
2.3	Ætluð hækkun á orkuverði	i_e		4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
2.4	Ætluð hækkun á viðhaldskostnaði	i_u		6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%
3		Raunavöxtunarkrafa											
3.1	Fyrir sparnaði: $r_n * (1-s) - i_e / (1+i_e)$	r_a		0,00769	0,00769	0,00769	0,00769	0,00769	0,00769	0,00769	0,00769	0,00769	0,00769
3.2	Viðhaldskostnaður: $r_n * (1-s) - i_u / (1+i_u)$	r_u		-0,01132	-0,01132	-0,01132	-0,01132	-0,01132	-0,01132	-0,01132	-0,01132	-0,01132	-0,01132
4		Núvirðisstuðull											
3.1	Fyrir sparnaði: $(1 - (1+r_a)^{-n}) / r_a$	f_{nb}		18,47185	18,47185	18,47185	18,47185	18,47185	18,47185	18,47185	18,47185	18,47185	18,47185
3.2	Viðhaldskostnaður: $(1 - (1+r_u)^{-n}) / r_u$	f_{nu}		22,58830	22,58830	22,58830	22,58830	22,58830	22,58830	22,58830	22,58830	22,58830	22,58830
5		Útreikningar á sparnaði vegna orkuendurvinnslu											
5.1	Núvirði sparnaðar: $b_0 * f_{nb}$	B_0	kr.	371.580	721.252	1.241.216	1.532.296	1.926.263	2.073.004	2.185.220	2.239.324	2.212.928	2.038.868
5.2	Núvirði viðhaldskostnaðar: $u_0 * f_{nu}$	U_0	kr.	146.544	263.779	306.409	285.982	390.339	298.416	206.493	221.592	221.592	-127.893
5.3	Stofnkostnaður (1.1)	l_0	kr.	324.379	583.883	678.248	633.031	864.029	660.554	457.080	490.501	490.501	-283.095
Niðurstæða: núvirði af EBF = $B_0 - U_0 - l_0$		NU	kr.	-99.343	-126.410	256.559	613.282	671.896	1.114.033	1.521.647	1.527.232	1.500.835	2.449.855
Tími sem það tekur að borga sig: $T = l_0/b$		ár		16	15	10	8	8	6	4	4	4	-3



9.8 Næmnigreining

Næmnigreining á endurgreiðslutíma									
Verðhækkun á varmaorku			Verðhækkun á raforku			Hækkun á stofnkostnaði			
Verð	2,45	Hlutfall	Verð	12,12	Hlutfall	Verð	723,464	Hlutfall	
kr.	5,49	%	kr.	5,49	%	kr.	5,49	%	
-30%	1,72	156	-30%	8,48	95	-30%	506,425	3,84	70
-25%	1,84	143	-25%	9,09	95	-25%	542,598	4,12	75
-20%	1,96	131	-20%	9,70	96	-20%	578,772	4,39	80
-15%	2,08	122	-15%	10,30	97	-15%	614,945	4,66	85
-10%	2,21	114	-10%	10,91	98	-10%	651,118	4,94	90
-5%	2,33	106	-5%	11,51	99	-5%	687,291	5,21	95
0%	2,45	100	0%	12,12	100	0%	723,464	5,49	100
5%	2,57	94	5%	12,73	101	5%	759,638	5,76	105
10%	2,70	89	10%	13,33	102	10%	795,811	6,04	110
15%	2,82	85	15%	13,94	103	15%	831,984	6,31	115
20%	2,94	81	20%	14,54	104	20%	868,157	6,59	120
25%	3,06	77	25%	15,15	105	25%	904,331	6,86	125
30%	3,19	74	30%	15,76	106	30%	940,504	7,13	130
35%	3,31	71	35%	16,36	107	35%	976,677	7,41	135
40%	3,43	68	40%	16,97	108	40%	1.012,850	7,68	140
45%	3,55	65	45%	17,57	110	45%	1.049,023	7,96	145
50%	3,68	63	50%	18,18	111	50%	1.085,197	8,23	150
55%	3,80	60	55%	18,79	112	55%	1.121,370	8,51	155
60%	3,92	58	60%	19,39	113	60%	1.157,543	8,78	160
65%	4,04	56	65%	20,00	114	65%	1.193,716	9,05	165
70%	4,17	54	70%	20,60	116	70%	1.229,890	9,33	170
75%	4,29	53	75%	21,21	117	75%	1.266,063	9,60	175
80%	4,41	51	80%	21,82	118	80%	1.302,236	9,88	180
85%	4,53	50	85%	22,42	120	85%	1.338,409	10,15	185
90%	4,66	48	90%	23,03	121	90%	1.374,582	10,43	190
95%	4,78	47	95%	23,63	122	95%	1.410,756	10,70	195
100%	4,90	46	100%	24,24	124	100%	1.446,929	10,98	200

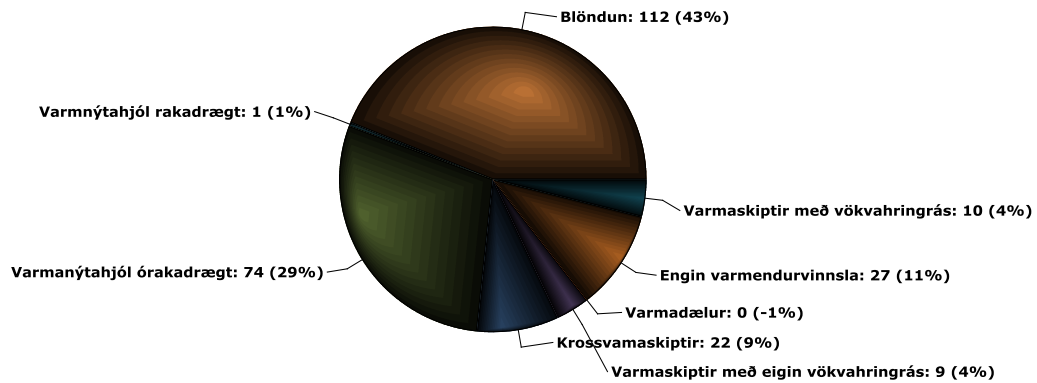


Næmnigreining á núvirkni															
		m		s		ie		iu		n					
	Hækkun v.	6%	Hlutfall	Hækkun sk.	20%	Hlutfall	Hækkun ok.	4%	Hlutfall	Hækkun vkh.	6%	Hlutfall	Líftími	20	Hlutfall
		1.384.991	288	1.384.991	1.278.727	92	1.384.991	48.336	3	1.384.991	1.384.991	113	2	1.384.991	-36
-9%	-3%	3.995.550	256	1.290.151	1.290.151	93	139.030	10	10	1.557.808	1.557.808	112	4	-265.653	-19
-8%	-2%	3.543.443	227	1.301.669	1.301.669	94	240.141	17	17	1.543.944	1.543.944	111	6	-43.666	-3
-7%	-1%	3.145.805	202	1.313.282	1.313.282	95	353.063	25	25	1.528.411	1.528.411	110	8	173.766	13
-6%	0%	2.795.256	179	1.324.989	1.324.989	96	479.394	35	35	1.510.982	1.510.982	109	10	386.687	28
-5%	1%	2.485.501	160	1.336.793	1.336.793	97	620.915	45	45	1.491.399	1.491.399	108	12	595.136	43
-4%	2%	2.211.159	142	1.348.695	1.348.695	97	779.719	56	56	1.469.368	1.469.368	106	14	799.153	58
-3%	3%	1.967.621	126	1.360.694	1.360.694	98	958.149	69	69	1.444.553	1.444.553	104	16	998.777	72
-2%	4%	1.750.935	112	1.372.792	1.372.792	99	1.158.888	84	84	1.416.573	1.416.573	102	18	1.194.044	86
-1%	5%	1.557.883	100	1.384.991	1.384.991	100	1.639.939	118	118	1.384.991	1.384.991	100	20	1.384.991	100
0%	6%	1.230.280	89	1.397.291	1.397.291	101	1.927.696	139	139	1.308.976	1.308.976	95	24	1.754.061	127
1%	7%	1.091.382	70	1.422.197	1.422.197	103	2.252.775	163	163	1.263.337	1.263.337	91	26	1.932.249	140
2%	8%	966.408	62	1.434.806	1.434.806	104	2.620.312	189	189	1.211.668	1.211.668	87	28	2.276.087	152
3%	9%	853.716	54	1.447.520	1.447.520	105	3.036.152	219	219	1.153.140	1.153.140	83	30	2.276.087	164
4%	10%	751.879	48	1.460.341	1.460.341	105	3.506.938	253	253	1.086.810	1.086.810	78	32	2.441.795	176
5%	11%	659.655	42	1.473.268	1.473.268	106	4.040.223	292	292	1.011.610	1.011.610	73	34	2.603.398	188
6%	12%	575.961	36	1.486.304	1.486.304	107	4.644.590	335	335	926.325	926.325	67	36	2.760.923	199
7%	13%	499.848	31	1.499.449	1.499.449	108	5.329.784	385	385	829.577	829.577	60	38	2.914.394	210
8%	14%	430.488	27	1.512.704	1.512.704	109	6.106.866	441	441	719.806	719.806	52	40	3.063.835	221
9%	15%	367.154	22	1.526.071	1.526.071	110	6.988.388	505	505	595.241	595.241	43	42	3.209.269	232
10%	16%	309.207	18	1.539.551	1.539.551	111	7.988.578	577	577	453.876	453.876	33	44	3.350.715	242
11%	17%	256.084	15	1.553.144	1.553.144	112	9.123.565	659	659	293.444	293.444	21	46	3.488.194	252
12%	18%	207.289	12	1.566.853	1.566.853	113	10.411.616	752	752	111.375	111.375	8	48	3.621.725	261
13%	19%	162.386	9	1.580.677	1.580.677	114	11.873.410	857	857	-95.234	-95.234	-7	50	3.751.324	271
14%	20%	120.987	6	1.594.618	1.594.618	115	13.532.344	977	977	-329.663	-329.663	-24	52	3.877.007	280
15%	21%	82.748													
16%	22%														

9.9 Könnun

Niðurstöður könnunar á algengi tegunda varmaenduvinnslu í loftræsikerfum sem send var til þjónustuaðila. Svarhlutfall: 4/6.

Skipting á varmaendurvinnslu á 377 loftræsikerfum



- Algengasta stærð: 0-5000 m³/h.
- Tegundir varmaskipta er ekki háð atvinnustarfsemi, þó var algengara að notaðir séu vökvatengdir varmaskiptar í iðnaði.
- Í flestum tilfellum er ekki fylgst sérstaklega með nýtni.
- Hlutfall þjónustusamninga er breytilegt milli þjónustuaðila. Gerður hefur verið þjónustusamningur vegna 20-100% loftræsikerfanna.



HÁSKÓLINN Í REYKJAVÍK
REYKJAVÍK UNIVERSITY