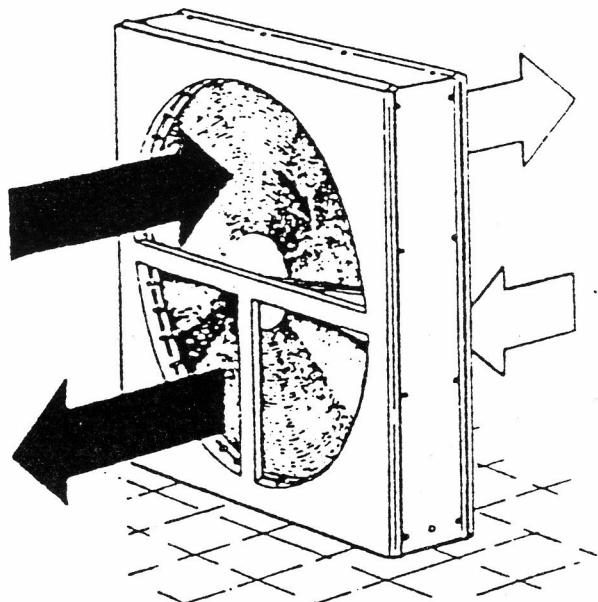


VARMASKIPTAR

ÚTDRÁTTUR ÚR ERINDUM Á FYRSTA
FRÆÐSLUFUNDI LAGNAFÉLAGS ÍSLANDS

1



LAGNAFÉLAG ÍSLANDS
DESEMBER 1986

VARMASKIPTAR

Höfundar efnis:

Sveinn Torfi Sveinsson, verkfræðingur

Guðni Jóhannesson, verkfræðingur

Hafsteinn Blandon, verkfræðingur

Sæbjörn Kristjánsson, tæknifræðingur

Guðmundur Halldórsson, verkfræðingur, bjó efnið til fjölföldunar, sem Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins kostaði sem styrk til Lagnafélags Íslands.

VARMASKIPTAR

des. 1986

A fyrsta fræðslufundi LFI, þann 04.10.86, héldu erindi um varmaskipti. Þeir Sveinn Torfi Sveinsson, Guðni Jóhannesson, Hafsteinn Blandon og Sæbjörn Kristjánsson. Þessi samantekt, gerð af Guðmundi Halldórssyni, er byggð á erindum þeirra.

I máli Sveins Torfa Sveinssonar, verkfræðings, kom þetta m.a. fram:

Fyrsta loftræstikerfið með varmaendurvinnslu hér á landi var hannað fyrir skóla í Garðabæ árið 1973. Þetta kerfi var hannað af Sveini Torfa Sveinssyni, verkfræðingi.

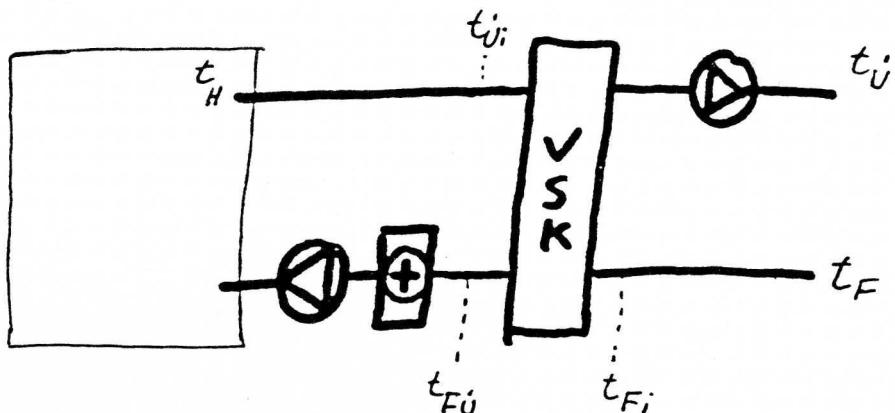
Loftræstikerfi með varmaendurvinnslu skipta nú tugum hér á landi. Upphaf þekkingar í varmaskiptum af þessu tagi hafði komið fram á syningum ISH á 7. áratugnum. Bent var á að nýting í varmaendurvinnslu sé upp undir 80% (eða samsvarandi 26.000 rúmmetrum hitaveituvatns á ári í þessu sérstaka tilfelli) og nýtist varmi einnig sem verði til í húsunum, t.d. frá lömpum og fólk. Einning var bent á að ein orsök þessarar háu nýtingar er endurvinnsla raka úr útkastlofti.

Vandamál vegna flutnings lyktar frá útkastlofti i innsögsloft virðast ekki fyrir hendi og er ástæðan ugglauð sú að loftmagni er í nefndu tilfelli 50 rúmmetrar/klist/nemanda, sem er vel í lagt.

A markaðnum eru til mörg kerfi fyrir endurvinnslu varma sem eru notuð til þess að flytja varma frá útblásturslofti til fersklofts. Þeir eru byggðir úr mismunandi efnum og það er munur á hæfileikum þeirra til að flytja varma. Sumir flytja aðeiris óbundinn hita, aðrir flytja bæði bundinn og óbundinn hita. Það er hægt að skipta þeim í þrjá aðalflokka:

1. Upphleðslu (regeneratífir hleðsluvarmaskiptar)
2. Með skilvegg (rekuperatífir leiðnivarmaskiptar)
3. Með hringrás

Eiginleikar varmaskipta



Hitanytni á innblustri:

$$\eta = \frac{t_{F\bar{U}} - t_{F\bar{i}}}{t_{U\bar{i}} - t_{F\bar{i}}}$$

Rahanytni á innblöstri:

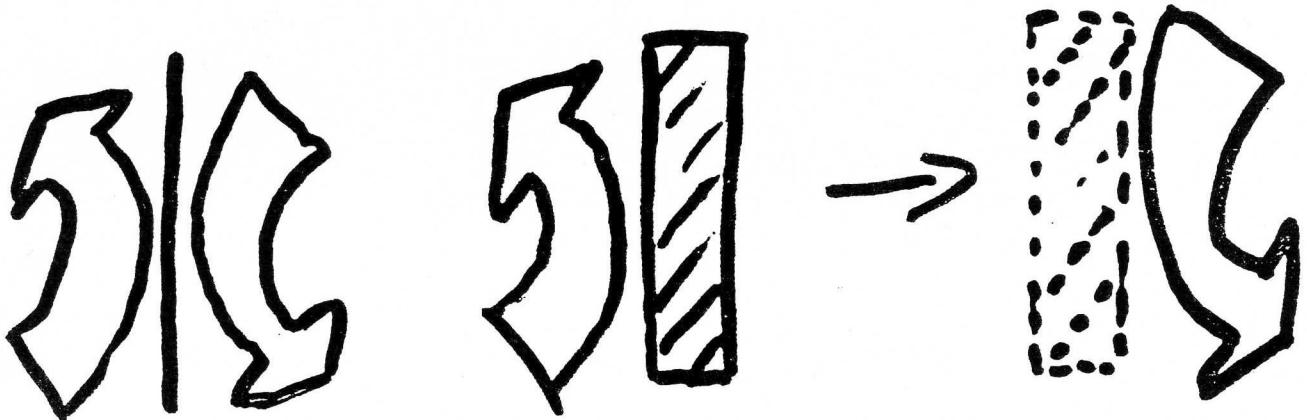
$$\eta_x = \frac{x_{F\bar{U}} - x_{F\bar{i}}}{x_{U\bar{i}} - x_{F\bar{i}}}$$

Entalpiunýtni á innblöstri:

$$\eta_h = \frac{h_{F\bar{U}} - h_{F\bar{i}}}{h_{U\bar{i}} - h_{F\bar{i}}}$$

Hitanytni kerfis

$$\eta_k = \frac{t_H - t_U}{t_{U\bar{i}} - t_{F\bar{i}}}$$



*Leidnivarmaskiptar
(Rekuperatífir)*

*Hleðsluvarmaskiptar
(Regeneratífir)*

Hleðsluvarmaskiptar (regeneratífir varmaskiptar)

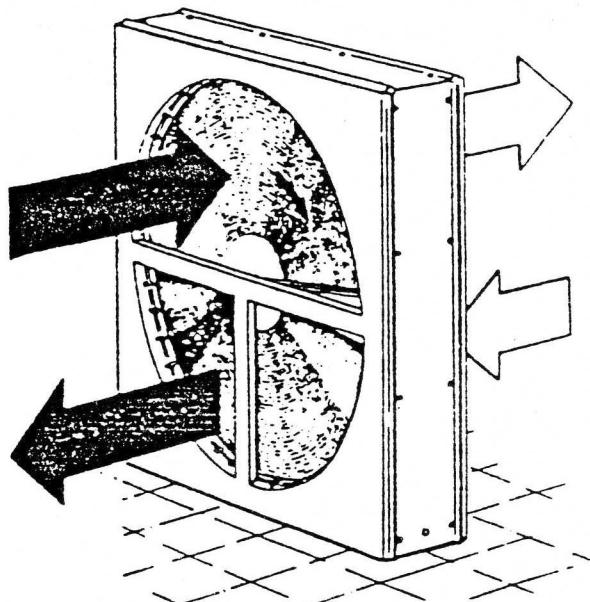
Einkenandi fyrir hleðsluvarmaskipta er hluti sem snýst og er umleikinn af heitu og köldu lofti til skiptis, þannig að þessi hluti varmaskiptisins hitnar og kólnar á vixl og flytur á þann hátt varma milli loftstraumanna.

Kostir:

- + mytni 70-80%
- + styranleg mytni
- + litil hætta á hrínum
- + litil fyrirferð

Ókostir:

- + aukin stokkalögn
- + mengun úr útblæstri
- + hreyfanlegir hlutar
- + stiflast í kyrrstöðu



Hleðsluvarmaskiptir getur verið gerður á tvennan hátt:

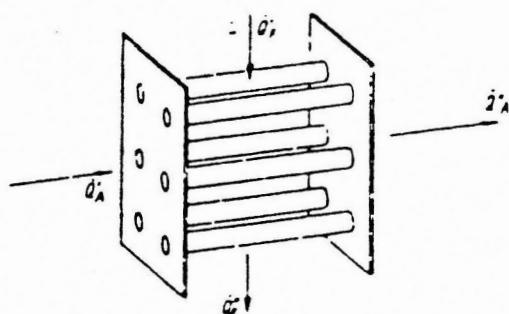
1. Varmaskiptir (ekki raka)
2. Entalpiuskiptir (flytur raka)

I kerfum fyrir ákveðna tegund iðnaðar, t.d. þar sem burrkun efnis fer fram, getur flutningur raka verið miður æskilegur og það er þess vegna mikilvægt að áður en kerfið fyrir endurvinnslu varma er valið sé nákvæmlega farið í gegnum kröfur er gera þarf til kerfisins.

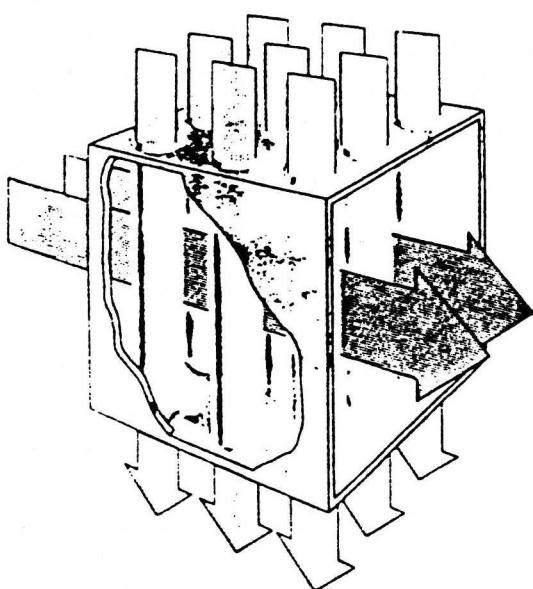
Flestir varmaskiptar flytja mestan varma við > 10 snúninga á minútu.

Varmaskiptun með skilvegg (rekuperatífir varmaskiptar)

Mjög einföld gerð varmaskipta með skilvegg er rörvarmaskiptirinn en í honum er útiloft leitt í gegnum rörin en útblástursloftið leikur í kringum þau. efnið sem notað er í rörin getur verið gler eða stál.



PLÖTUUVARMASKIPTIR



Kostir:

- + nýtni 50-70%
- + engir hreyfanlegir hlutar
- + litil mengunarhætta

Okostir:

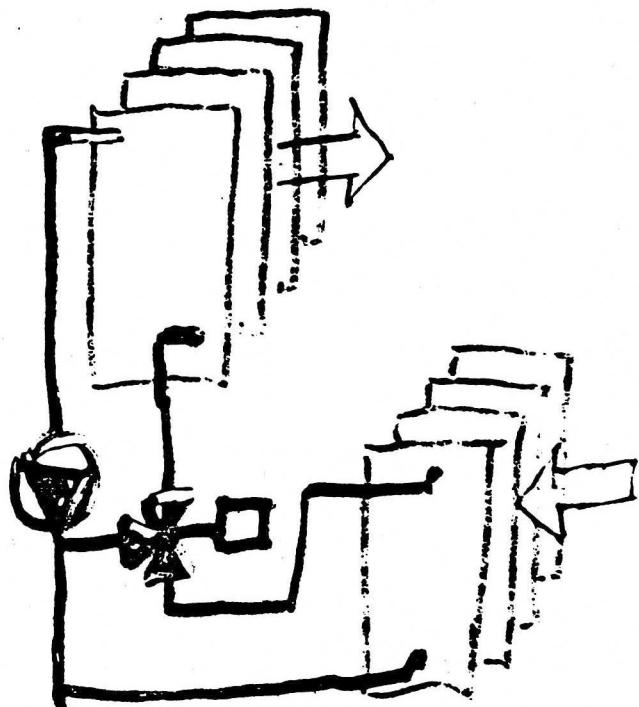
- + aukin stokkalögn
- + erfitt að styra nýtni
- + hrímun í útblástursröri
- + mikil fyrirferð

Varmaskiptar með hringrás

I þeim tilfelli þegar erfitt er að láta stokkana liggja saman er hægt að nota varmasakipti með hringrás og í hringrásinni getur t.d. verið vatn eða blanda af vatni og frostlegi.

Kostir:

- + sparar stokkalögn
- + engin mengun frá útblæstri
- + styrjanleg nýtni



Okostir:

- + lág nýtni, 40-60%
- + hreyfanlegir hlutar
- + hætta á hrínum
- + stórir híta- og kælifletir

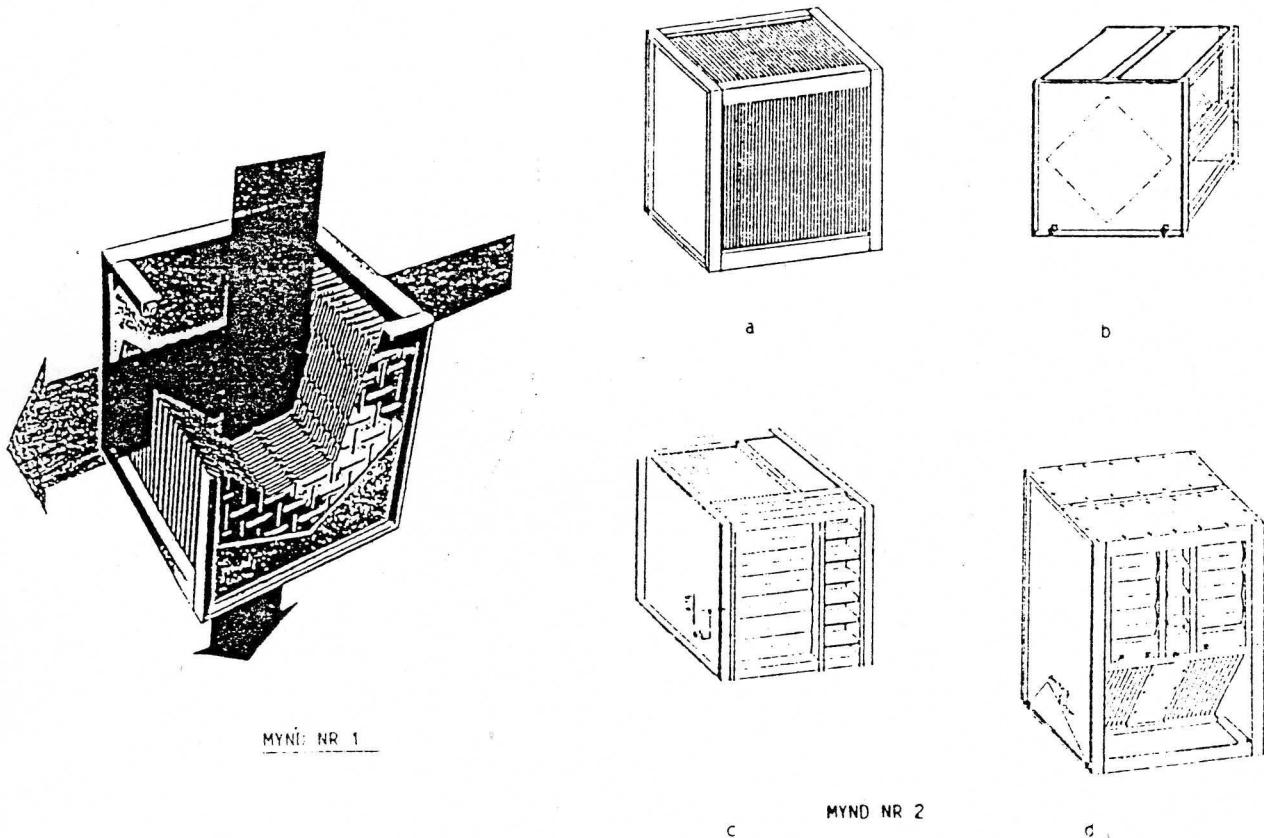
LOFTRÆSIKERFI MED PLÖTUVARMANÝTUM

Úrdráttur úr framsöguerindi

Hafsteins Blandor, vélaverkfremðings

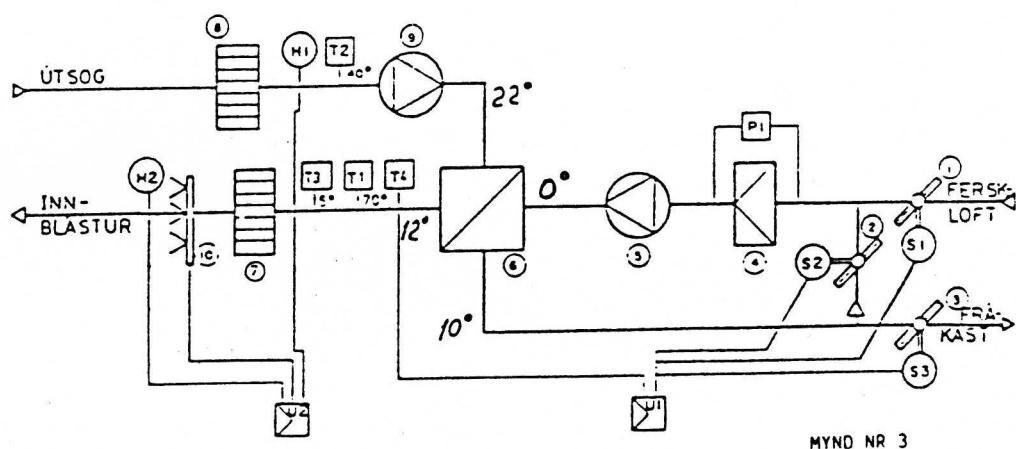
Það sem ég ætla að ræða um er notkun á einni gerð varmaendurvinnslutækja fyrir loftræsikerfi, þ.e. plötuvarmanýtum.

Dæmi um einföldustu gerð slíks tækis er sýnt á mynd nr 1, þar sem álplötum er raðað upp í teningslaga ramma og loftstraumarnir eru í kross, útsogsloft í öðru hverju bili milli platnanna og ferskloftið í hinum.

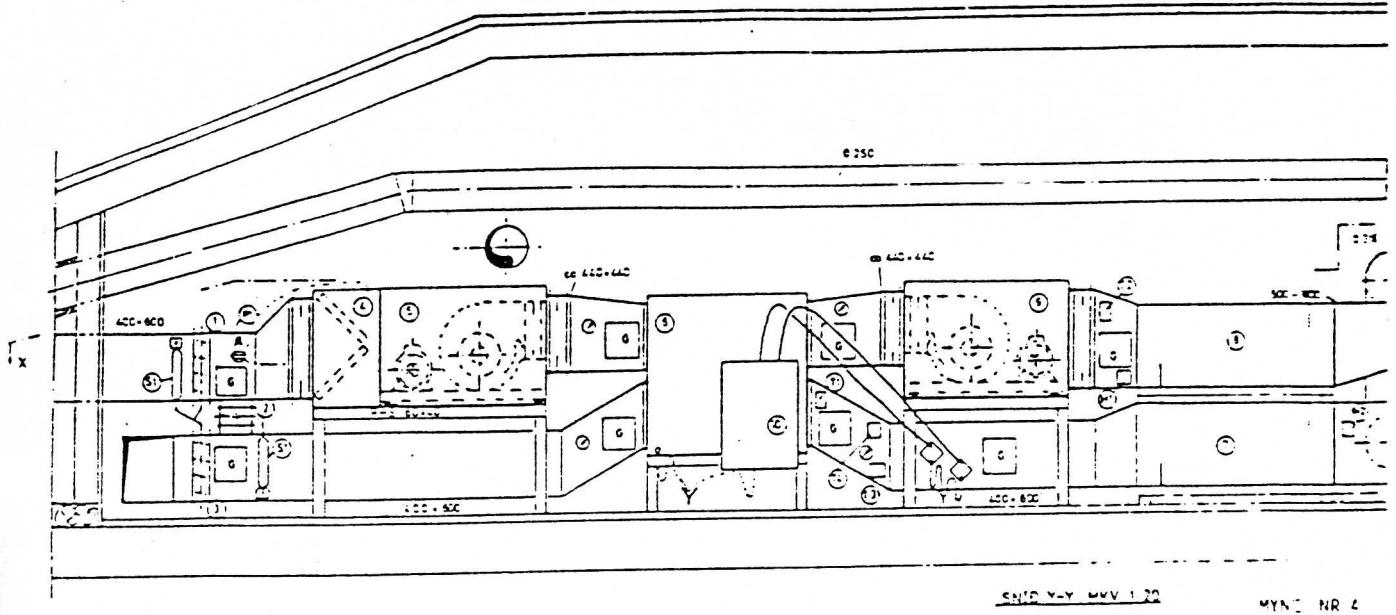


Á mynd nr 2 eru sýnd dæmi um helstu gerðir plötuvarmanýta, a) sýnir einföldustu gerðina, b) er svokölluð "diagonal"-gerð þar sem varmanýtieiningin er reist upp á rönd inni í kassalaga húsi, þetta er gert til þess að allir loftstokkar að og frá varmanýtinum geti legið samsíða hver öðrum, c) og d) sýna svo dæmi um varmanýta með innbyggðu framhjáhlaupi og spjöldum, með slíkum varmanýtum er auðvelt að stýra nýtni tækjanna með venjulegum spjaldlokumótor, t.d. á sumrin ef ekki er óskað eftir varmaendurvinnslu.

Sú kerfisuppsyggung sem ég hef mest notað er byggð á dálítið öðrum forsendum en algengast er. Hugmyndin, sem ég byrjaði að nota fyrir u.p.bil 10 árum, er sú, að að nota ekki varmanýtinn sem viðbótaartæki í kerfinu til varmaendurvinnslu heldur sem lofthitara í stað venjulegs vatnshitara. Stofnkostnaður þannig kerfa er svipaður og venjulegra kerfa með vatnshitara og uppblöndun, en mun lægri en kerfa með frostlagarhitun. Varmaendurvinnslan fæst því með litlum tilkostnaði og þar við bætast kostir vegna aukins rekstraröryggis þar sem ekki er hætta á frostskeemmduum í hitaranum og viðhald er minna en á kerfum með vatnshitara og tilheyrandi stjórntækjum. Þegar þessi orð eru tölud hef ég fullhannað u.p.b. 25 kerfi með plötuvarmanýtum. Þar af eru u.p.b. 15 nú fullbyggð og þau elstu munu hafa verið tekin í notkun árið 1977.



Mynd nr 3 sýnir dæmi um einfalda kerfisuppsyggingu í samræmi við áðurnefndar hugmyndir. Hér var valinn varmanýtir með frekar lágri nýtni (54% þurr nýtni) og innblásturshitastiði stýrt með uppblöndun þegar kalt er úti þannig að hiti innblásturslofts verði aldrei lágri en u.p.b. 12-14 °C. Uppblöndunin varnar einnig hrímmynndun í varmanýtinum í miklu frosti. Kerfi eins og þetta, þar sem blásið er inn lofti með lægra hitastigi en stofuhita hentar t.d. ágætlega fyrir venjulegar skólastofur þar sem oft er um kælibörf að ræða, jafnvel þegar kalt er



Mynd nr 4 sýnir dæmi um loftræsisamstæðu í nýjum skóla í Reykjavík.

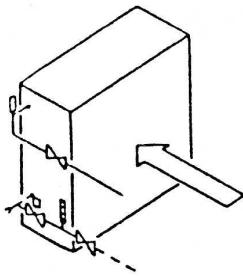
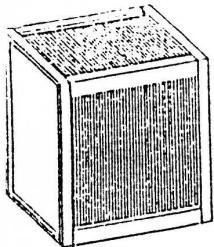
Myndir nr 5-7 sýna dæmi um stofnkostnað og fjárfestingarútreikninga á varma-nýtum miðað við vatnshitara með tilheyrandi stjórntækjum. Kostnaðartölur eru unnar upp úr raunverulegum tilboðsverðum á árinu 1986 og færðar til byggingar-vísitölu 270.

Loftræsikerfi $6000 \text{ m}^3/\text{kfst}$

Innblóstur og útsog

Heildarverð ca. 1.900.000

MYND NR 5



Varmanýlti

54% nýlti

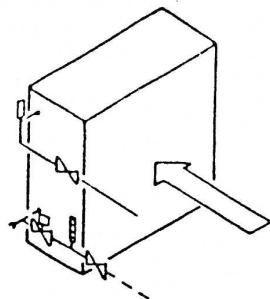
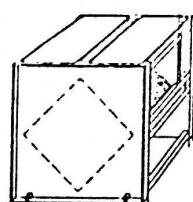
$\Delta p = 150 \text{ Pa}$

Verð kr. 63.000

Hitoelement med sljóntækjum

$\Delta p = 50 \text{ Pa}$

Verð kr. 70.000



Varmanýlti

$\eta = 58\%$

$\Delta p = 200 \text{ Pa}$

Verð kr. 105.000

Hitoelement med
stjóntækjum

$\Delta p = 50 \text{ Pa}$

Verð kr. 70.000

mismunur kr. 35.000

Rekstrarsparnodur ó óri
med varmanýlti:

Sparnodur ó upphilun: $1726 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 18.60 \text{ kJ/m}^3 = 32.100$

÷ aukinn rafmognskostnodur blósora $4441 \cdot 3.30 = 14.700$

netto sparnodur • 17.400 kr/h

endurgreidslutimi 0% vextir 2 ór

endurgreidslutimi 10% vextir 2½ ór

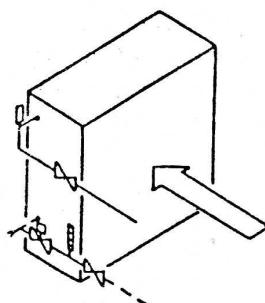
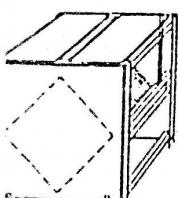
MYND NR 7

Loftræsikerfi $6000 \text{ m}^3/\text{kfst}$

Innblóstur og útsog

Heildarverð ca. kr. 1.930.000

Rekstrartimi ó óri 4384 kfst



Varmanýlti

$\Delta p = 150 \text{ Pa}$

74% nýlti

Verð kr. 98.000

Hitoelement med
stjóntækjum

$\Delta p = 50 \text{ Pa}$

Verð kr. 70.000

mismunur kr. 28.000

Rekstrarsparnodur ó óri
med varmanýlti:

Nodur ó upphilun: $1591 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 18.60 \text{ kJ/m}^3 = 30.000$

Aukinn rafmognskostnodur blósora $2930 \cdot 3.30 = 10.000$

Netto sparnodur = 20.000 ó óri

Durgreidslutimi 0% vextir 1,4 ór

Durgreidslutimi 10% vextir 1,7 ór

MYND NR 6

Rokagjöf med gulfurokotæki i

loftræsikerfi með varmanýlti

Loftmagn $6000 \text{ m}^3/\text{kfst}$

Rekstrartimi 4384 kfst fór

Míðað er við veðursar i viðmiðunarári
i Reykjavík (1971):

Inniloft	Gufunokkun kg/löt	Rafmognskostnodur kr/för
30%, 20°C	7.300	18.000
40%, 20°C	29.900	74.000

Lágmarksrokastig miðað við 700 Po gufuprijsling:

Hitosig °C	15	20	22	25	?
Rokastig %	40	30	26,5	22	

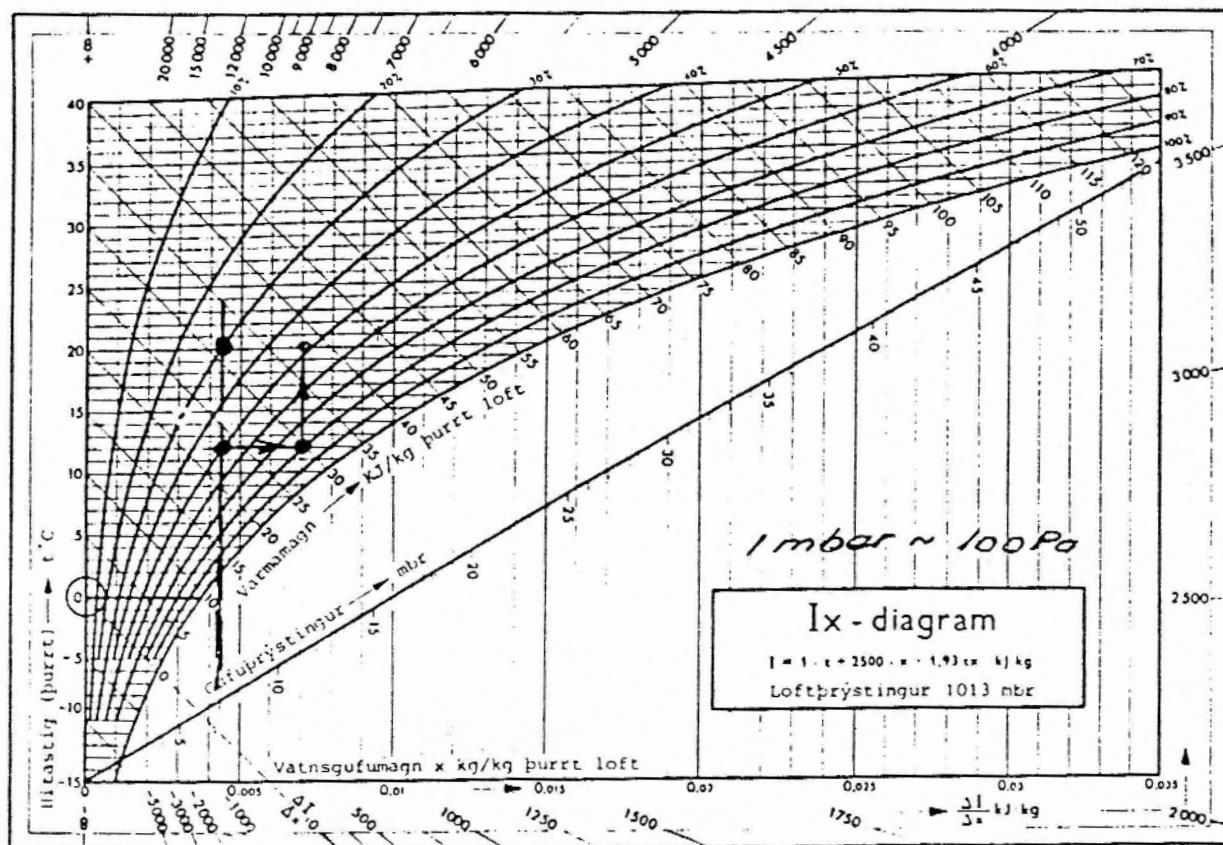
MYND NR 9

Varðandi rakagjöf í loftræsikerfi þau, sem hér hefur verið lýst, hef ég oft valið að nota gufurakatæki. Miðað við hita á innblásturslofti 12°C er auðvelt að ná 45-50% raka innanhúss með slíku tæki, sjá feril á Mollier ferilriti mynd nr 8. Þess ber þó að gæta að þar sem greiða þarf ljósataxta fyrir rafmagn að tækinu verður rekstrarkostnaður mjög hárr ef halda þarf háu rakastigi t.d. 50-60%. Einhver dæmi munu þó til um að einstakir notendur fái rafmagn á hitunartaxta fyrir svona tæki.

Skv. dönskum heimildum hafa rannsóknir sýnt að ekki er hætta á verulegum óþægindum af þurru loft ef hlutþrýstingur gufu í loftinu fer ekki undir 700 Pa. Þetta samsvara 30% rakastigi við $+20^{\circ}\text{C}$ hita, og kemur vel saman við bandarískar heimildir (comfort envelope fig 2 in ANSI/ASHRAE standard 55-1981).

I skólahúsnæði hef ég því valið afköst rakatækisins þannig að rakastig innanhúss fari ekki undir 30%. Þannig má koma í veg fyrir óþægindi af mjög þurru lofti sem margir kannast við þegar kuldaköst koma að veturlagi.

Gufurakatækin koma einnig í veg fyrir sýkingarhættu frá rakatækinu eins og vel er þekkt frá vatnsúðunartækjum (t.d. hermannaveikin), þau taka lítið rými, auðvelt er að stýra rakagjöfinni og viðhald er lítið miðað við vatnsúðunartæki. Dæmi um rekstrarkostnað gufurakatækis er sýnt á mynd nr 9, en það er unnið úr útreikningum fyrir kerfi í kennsluhúsnæði í nágrenni Reykjavíkur með svipaðri uppbyggingu og að framan er lýst, og þar sem rekstrartími alla daga ársins var nákvæmlega uppgefinn af rekstraraðilum.



Úrdráttur úr framsöguerindi Sæbjörns Kristjánssonar,
tæknifræðings:

Ég hef valið mér að fjalla hér nær eingöngu um þau atriði sem varða ákvarðanatöku hönnuða um notkun þessara tækja, þ.e. stofnicostræð þeirra og rekstur. Þessir tveir þettir eru grundvöllur arðsemisreikninga og þar með veigamikill þáttur í ákvarðanatökunni. Einnig verður lítillega fjallað um nokkur einkenni ólíkra varmaskipta, atriði sem líka koma inn í þessa ákvarðanatöku.

En áður en við snúum okkur að þessu aðalefni langar mig að greina í stuttu máli frá reynslu minni í notkun varmaskipta. Kynni míni af þessum tækum eru einskorðuð við eftirtaldar gerðir þeirra:

REKUPERATÍFA PLÖTUVARMASKIPTA

REGENERATÍF HJÓL OG

SERIUTENGÐ ELEMENT

Af þessum gerðum hef ég oftast ferigist við rekuperatífu plötuvarmaskiptana.

Það eru um 8 ár síðan ég hannaði fyrsta varmaskiptakerfið. Þar er um að ræða loftræstikerfi fyrir 30 íbúða hús ásamt tilheyrandi þjónustu Dvalarheimilið Hlíf á Isafirði. Þar má segja að um tvískipta loftræstibörf hafi verið að ræða, t.e. að loftræsta þurfti ganga og annað innrymi með fersklofti og síðan að fjarlægja raka og loftmengun frá inniliggjandi eldhúsum og baðherbergjum.

Orkuverð var og er all hátt á Isafirði eins og víða úti á landi. Því var það strax áhugavert að reyna að nýta eitthvað af þeirri orku sem fólgini var í útsogsloftinu og þá ekki síst vegna þess að útsogsloftið kom að mestu frá gufugleypum yfir eldavélu og hins vegar frá baðherbergjum þar sem tiltölulega mikill raki og hiti lagðist til. Í þessu tilviki kom strax í ljós að varmaskiptir með ca. 55-60% nýtri myndi líklega borga sig niður á tæpu ári. Niðurstaðan var sú að notaður var rekuperatífur plötuvarmaskiptir.

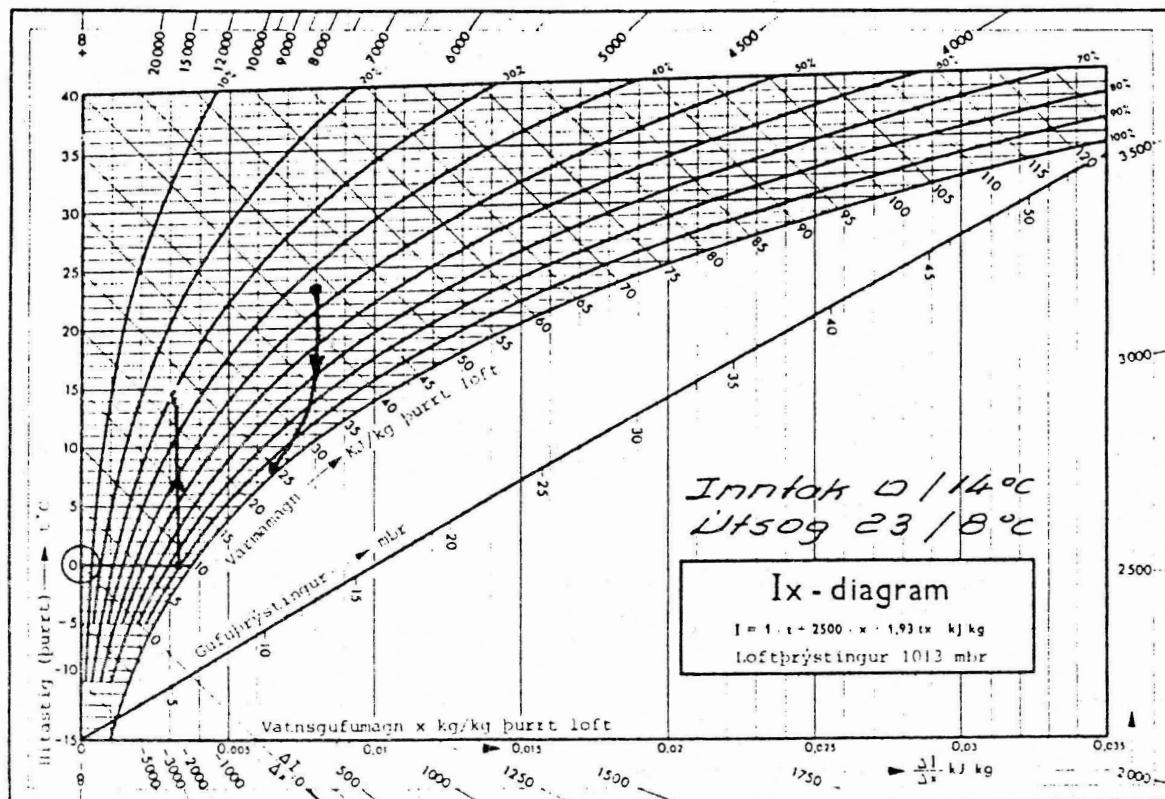
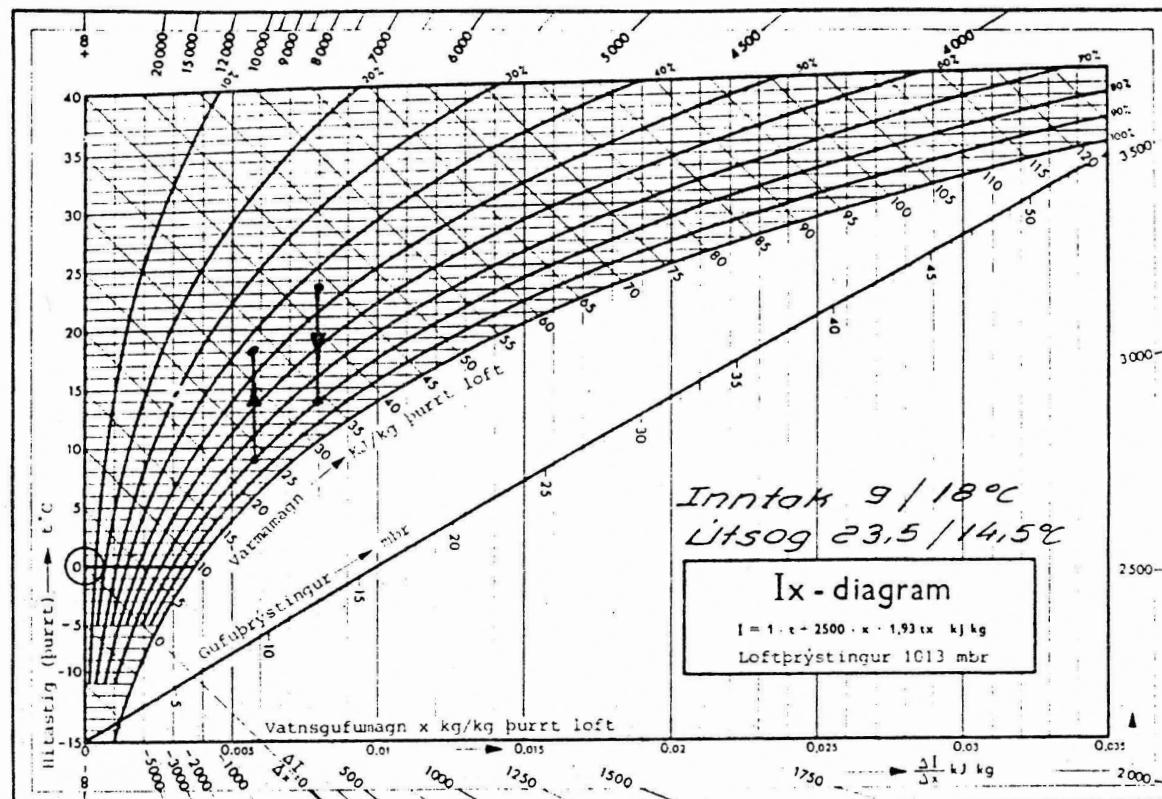
Valið stóð fyrst og fremst á milli regeneráfs hjóls og plötuvarmaskiptis. Plötuvarmaskiptirinn varð ofan á, fyrst og fremst vegna hættu á lyktarflutningi frá útsogslofti yfir í innblástursloft.

Til gamans fékk ég upplýsingar um hitastig við varmaskiptinn eins og þau voru þann 1. október 1986.. Um er að ræða two aflestra , tekna á ólíkum tíma.

Með því að fera þessi gildi inn á Mollier-diagram fáum við fram ferlin. Ég valdi þessa two aflestra úr fleirum vegna þess að i þeim komu fram þessir tveir algengustu ferlar í rekuperatífum varmaskiptum.

MOLLIERLÍNURIT FYRIR RAKT LOFT

SI - KERFIÐ



I stuttu máli er reynsla af þessu kerfi mjög gúð og þegar akveðið var að byggja 42 íbúðir við var strax sett fram sú krafa frá byggjendum að heir vildu eins kerfi í þessa

Þau kerfi sem ég hef notað loft/loft varmaskipta í eru nú eitthvað á annan tug.

Nú skulum við súla okkur að hví að skoða þau atriði sem hönnuðir burfa að hafa í huga þegar ákvörðun um notkun varmaskipta er annars vegar.

Það skal tekið skyrt fram í upphafi að hér er um samspil mjög margra fátta að ræða sem eru mis afgerandi í hverju kerfi fyrir sig. Því verður aldrei hægt að gera þessu nein endanileg skil en það má líta á þær upplýsingar sem hér koma á eftir sem minnislista og leiðbeinandi um kostnað:

VARMASKIPTAR – STOFNKOSTNAÐUR +/-

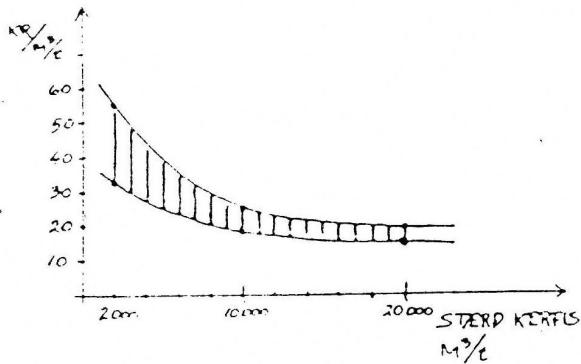
1. Kaupverð varmaskiptis
2. Uppsetningarkostnaður
3. Auka stokkar
4. Auka sigtunararbúnaður
5. Stækjun blásara og mótors
6. Stjórnarbúnaður
7. -Minnkun hitaflatar o. fl.
8. Sparnaður á forhitunarbúnaði
9. Ahrif á stærð tækjaklefa

VARMASKIPTAR – REKSTUR +/-

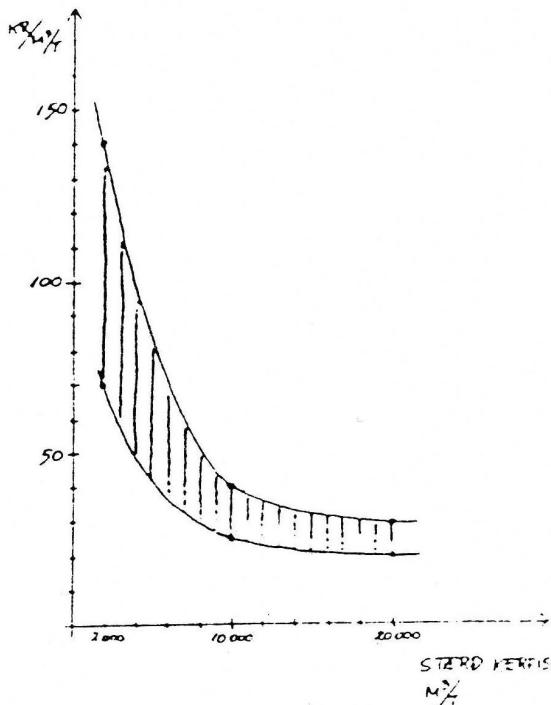
1. Viðhald varmaskiptis
2. Kostnaður við sigti
3. Orkuþörf vegna loftmótstöðu í varmaskipti
4. Orkuþörf mótra við varmaskipti+
5. -Sparnaður á hitunarorku
6. Gangtími kerfis

STOFNKOSTNADUR VARHASKIPTA,
MED UPPSETNINGU.
OKTÓBER 1986

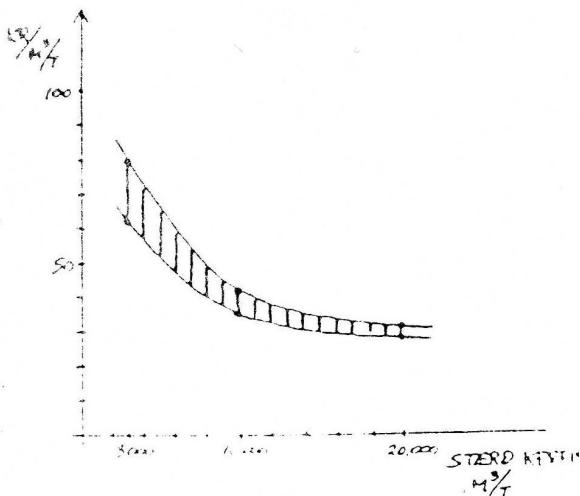
PLÖTUVARMASKIPTAR
NÝTNI UM 50-55 %



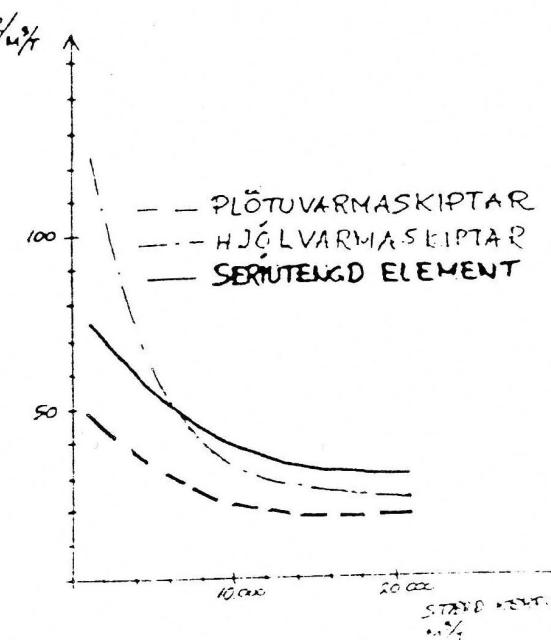
HJÓLVARMASKIPTAR
NÝTNI 70-75 %



SERÍUTENGÐ ELEMENT
NÝTNI 52-57 %



STOFNKOSTNADUR VARHASKIPTA
MEDALTAL



Og þá er komið að stóru spurningunni:

HVAÐ ERU ÞESSI TÆKI LENGI AÐ BORGA SIG??

Til þess að svara þessari spurningu af einhverju viti verður að fastsetja mörg atriði sem hafa áhrif á rekstur. Þar eru líklega lang stærst orkuverð til hitunar og gangtími kerfanna. Möguleikarnir eru mjög margir og útkoman því all ólik en til þess að gefa einhverja hugmynd getum við tekið t.d. eftirfarandi:

Rekuperatífur plötuvarmaskiptir:

Nýtni tær 60%

Stærð kerfis $15.000 \text{ m}^3/\text{t}$

24 klst. gangtími á sólarhring

Vextir 7-8%

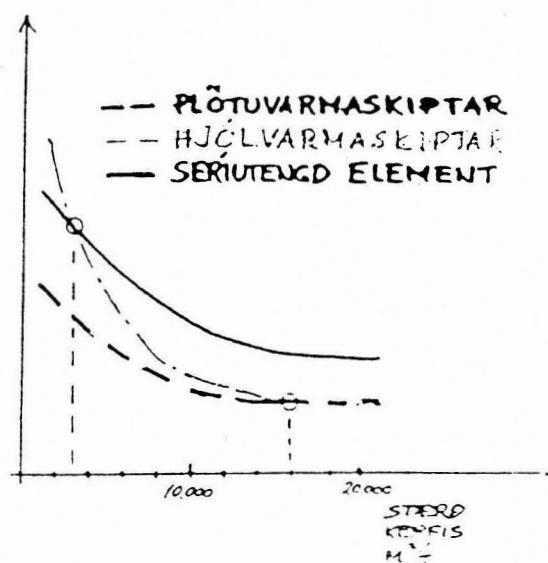
VARMASKIPTAR
SAMANBORDUR Á STOFNKOSTNUÐI
LEIDRÉTT MED TILLITI TIL
NÝTNI.

Reykjavík: 2 - 2.5 ár

Ísafjörður 9 - 12 mánu.

Akureyri 8 - 10 mánu.

Ef gangtími er styttur
í 12 klst./sólarhring
tvöfaldast þessi tími
og örliðið meir.



SAMANBURDUR Á ÝMSUM EGIN LEIKUM.

GERÐ VARMA- SKIPTIS	KRAFA UM SAMLIGG. STOKKA	MÓGULEIKI Á RAKAYFIRT.	NYTNISVÍÐ PURRVARMI %	TEKJA- VERÐ KR/M ³ / (10.000 m ³)	HEILDAR STOFUKOSTN. KR/M ³ /c (10.000 m ³)	VÉLRÉNIR HLUTTR	PLASSFÖRF Í KLEFA (10.000 m ³)
PLÓTU VARMASKIPT.	JÁ	NEI	50-60	10-12	19-25	NEI	2-3
SERÍUTENGÐ ELEMENT	NEI	NEI	40-60	28-30	35-42	JÁ	0,6-0,8
HJÓL- VARMASKIPTIR VENJUL.	JÁ	JÁ LÍTILL	65-75	18-20	25-40	JÁ	1,4-1,6
HJÓL - VARMASKIPTIR HYKROSKOP.	JÁ	JÁ VERULEG	65-75	18-21	25-40	JÁ	1,4-1,6

TIL MINNIS:

VARMASKIPTAR Í LOFTRÆSTIKERFUM

HÖNNUN KERFISAÐLÖGUN

HAGKVÆMNIMAT

REKSTRARÖRYGGI

ÞJONUSTULEIÐIR

LEIÐBEININGAR

UPPSETNING FRAGANGUR ÞETTINGA

SIUN

LOFTMAGNSSTILLING

STILLING HRÍMUNARVANRNA

REKSTUR KERFISNYTNÍ

STREYMISVIÐNAM

HRÍMUNARVARNIR

