



IÐAN
fræðslusetur

Loftræsikerfi

Tilgangur og hönnunarforsendur

Oddur B. Björnsson

IÐAN fræðslusetur
Málm- og véltæknisvið
Janúar 2008

Loftræsikerfi Tilgangur og hönnunarforsendur

Höfundur: Oddur B. Björnsson
Útgefandi: IDAN fræðslusetur ehf
© IDAN fræðslusetur Skúlatúni 2, 105 Reykjavík
Fyrsta útgáfa 2004
Önnur útgáfa 2006
Þriðja útgáfa 2008

**Afritun, dreifing og notkun bókarinnar
er óheimil án skriflegs leyfis útgefanda.**

Efnisyfirlit

1. Loftræsing - tilgangur og aðferðir.....	7
Hvers vegna loftræsing?	7
Aðferðir við loftræingu	7
Lofthreyfing.....	8
Mismunandi aðferðir við dreifingu lofts.....	10
Virkni loftræsingar (ϵ)	10
Staðsetning útsogsristar – áhrif á virkni	12
“Aldur” loftsins og loftskipti	12
Lággraðadreifarar – lagskipting í rými.....	12
Lofthraði og kastlengd.....	13
Blöndunarloftræsing	15
Loftskipti og losun af loftmengun	15
2. Forsendur fyrir vellíðan innandyra	17
Vellíðan innandyra – mat á aðstæðum	17
Skynjaður innihiti	18
Lofthraði	19
Lóðréttur hitamunur.....	20
Gólfhiti	21
Kröfur skv. norskum staðli.....	22
Hljóðstig.....	22
3. Ferskt loft – skilgreining á loftþörf.....	25
Efnaskipti mannsins	25
Loftmagn ákvarðað með hliðsjón af CO ₂ styrk.....	26
Loftmagn ákvarðað út frá kæliþörf	31
Varmaálag frá lýsingu	32
Innfelldir lampar	33
Varmaálag frá tækjum	33
Loftmagn skv. stöðlum og handbókum	34
4. Nýjar aðferðir við ákvörðun loftmagns.....	36
Mat loftgæða - skynmat.....	36
Flokkun loftgæða.....	38
Koltvísýringur, CO ₂	39
Mengunarálag	39

Virkni loftræsingar	41
Mat á ferskloftspörf	42
Aðferðir við mat á loftmagni	43
Aðrar viðmiðunarreglur um loftgæði innandyra	46
5. Ástandsbreiting lofts – hitun, kæling og raki.....	49
Mollier línurit	49
Blöndun lofts.....	52
Upphitun og kæling lofts.....	52
Upphitun.....	52
Kæling.....	53
Rakabæting með vatni	55
Rakabæting með gufu – lofthiti óbreyttur	56
Rakamyndun innandyra	58
6. Varmanýting	59
Varmaskiptar – lofthitafletir - varmanýtar	59
Afköst varmanýtis.....	61
Samanburður á varmanýtum.....	61
Varmahjól.....	61
Samtengdir varmaskiptafletir	62
Kross-varmanýtar.....	62
Loftblöndun.....	65
Varmajafnvægi við blöndun.....	66
7. Orkupörf loftræsikerfa.....	69
Varmapörf	69
Varmanýtar.....	72
Rafmagnspörf.....	73
8. Rafmagnsnotkun í loftræsikerfum	79
Reglur um hámarks rafmagnsnotkun.....	79
Rafmagnsnotkun loftræsikerfis	80
Hæsta leyfilega þrýstifall í loftræsikerfum	81
Til umhugsunar – leiðir til sparnaðar	83
9. Flokkun blásara - rafmagnsnotkun	85
VAS-flokkun (Ventilation Air Conditioning System Class).....	85
Kenniaflþörf loftblásara - SFP-flokkun (Specific Fan Power).....	85
Rafmagnsnotkun blásaramótora.....	86

1. Loftræsing - tilgangur og aðferðir

Hvers vegna loftræsing?

"Loftræsing snýst ekki fyrst og fremst um náttúrlega loftræsing, blendingsloftræsing eða vélræna loftræsing, heldur ekki einvörðungu um blásara, stokka, orkusparnað eða tölvulíkon. Loftræsing snýst um hollustuhætti og heilbrigði, um flæði útilofts, um að bæta loftgæði innandyrna og skapa þannig heilbriggt og þægilegt umhverfi fyrir þá sem inni eru"¹.

Í ofangreindri tilvitnun kemur fram kjarni málsins. Með fersku útilofti er unnt að losna við hita, raka, ryk og gas (ólykt) og ýmis efni og efnisagnir sem koma úr byggingar-efnum eða stafa frá íbúum og tækjum.

Hiti kemur frá fólki, tækjum og sólgeislun. Fólk gefur frá sér raka, raki verður til við matseld, þvotta og þurrkun. Tóbaksreykur er aðaluppspretta efnamengunar innandyrna, en einnig koma til ýmis rokgjörn lífræn efnasambönd úr byggingarefnum, húsgögnum, málningu, snyrtivörum og skrifstofuvörum. Önnur loftkennd efnasambönd sem geta mengað innloft eru koltvísýringur (CO₂), kolsýrlingur (CO), köfnunarefnistvísýringur (NO₂) og óson (O₃); CO₂ er í andrúmslofti og verður til við öndun, kolsýrlingur (CO) og köfnunarefnistvísýringur (NO₂) verða til við ófullkominn bruna (t.d. reykingar, bruna í arni og kertaloga) og osón (O₃) myndast í ljósrítunarvélum og leysiprenturum.

Settar eru fram kröfur um loftgæði og loftræsing í byggingarreglugerð nr. 441 frá 1998, en þar segir í grein 186.1 (1):

186.1 Öll dvalarrými, íbúðar- og skrifstofuherbergi, svo og önnur vinnuherbergi þar sem fólk dvelur langtímum saman skulu hafa fullnægjandi loftræsing. Tryggja skal með hönnun og gerð loftræsingar, hvort sem hún er vélræn eða ekki, að fullnægjandi loftendurnýjun náist.

Aðferðir við loftræsing

Loftræsing getur verið "náttúrleg" eða vélræn, eða sambland þessa tveggja, svokölluð blendingsloftræsing, þ.e. náttúrleg loftræsing með loftblásurum til hjálpar við óhagstæð náttúruskilyrði eða mikið álag.

Einfaldasta gerð náttúrlegrar loftræsingar er opinn gluggi en til að fá eðlilega hreyfingu á loftið þurfa loftrásir að vera a.m.k. tvær í mismunandi hæð.

¹ Jan Sundell hjá International Centre for Indoor Environment and Energy DTU á Roomvent 2002 ráðstefnunni í Kaupmannahöfn, sept. 2002

Ef loftrás er við gólf og loft á sama vegg kemst loftið á hreyfingu vegna munar á eðlisþyngd lofts inni og úti. Einnig hefur mismunur á loftþrýstingi við opin áhrif á hreyfingu loftsins gegnum herbergið.

Loftrásir á gagnstæðum veggjum geta verið mjög virkar ef jákvæður þrýstingsmunur er á milli hliða og fjarlægð á milli veggja er ekki mikið meiri en þreföld lofthæð.

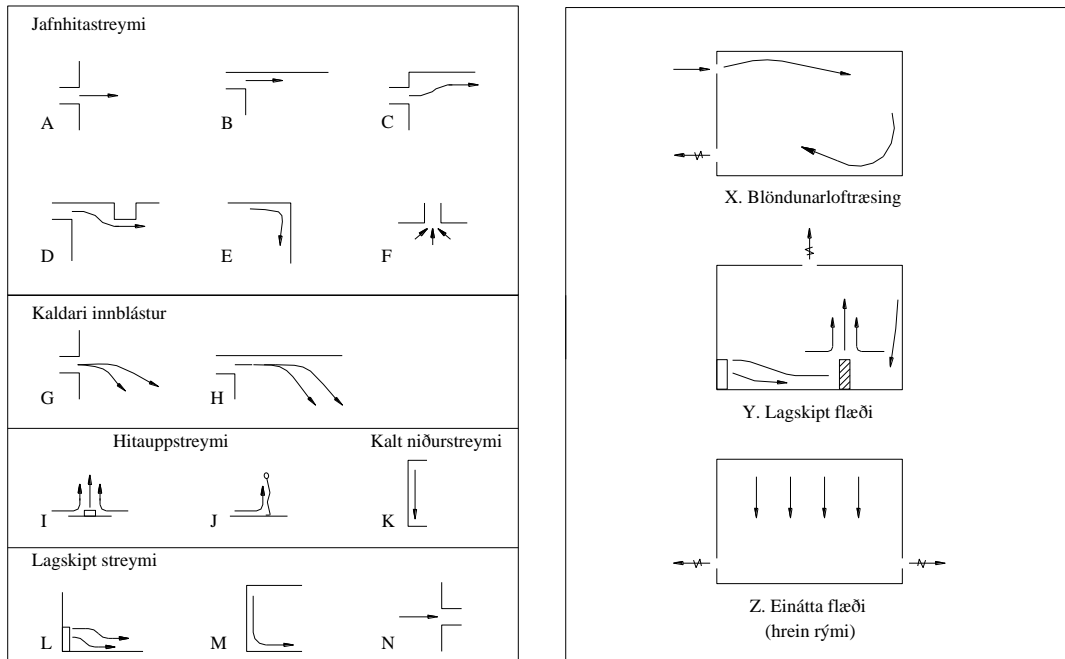
Í byggingarreglugerðinni segir um aðferðir við loftræsingu í grein 186.2 (1):

186.2 Ef dvalarrými hefur einungis eina gluggahlið og ekki næst gegnumloftun til annarrar húshliðar skal tryggja sérstaklega að fullnægjandi loftendurnýjun náist, t.d. með einhverri eftirfarandi aðgerða: með vélrænum innblæstri fersklofts, nægjanlega stórum loftunaropum í mismunandi hæð á útvegg eða með sjálfsgandi eða vélrænum útsogsloftrásum í innhluta herbergis og opnanlegum glugga eða loftunaropi á útvegg.

Vélræn loftræsing getur verið með ýmsum hætti, t.d. eingöngu innblástur (s.k. þrýstingskerfi), eingöngu útsog (undirþrýstingur) eða kerfi í stilltu jafnvægi (inn- og útsog). Þrýstingskerfi getur hentað vel í köldu umhverfi þar sem loftið er forhitað og köldum dragsúgi haldið niðri með yfirþrýstingi. Útsogskerfið á einkum við í rýmum með staðbundinni mengun og er útsogsstútur þá hafður nálægt uppsprettu mengunarinnar. Slík kerfi eru t.d. þekkt í fjölbýlishúsum þar sem einungis er sogað loft úr ákveðnum rýmum eins og baðherbergjum og eldhúsum. Loftræsing með inn- og útblæstri í fyrirfram ákveðnu jafnvægi í hverju rými er sú aðferð sem venjulega er notuð í loftræstum byggingum.

Lofthreyfing

Rannsóknir hafa sýnt að hreyfingu lofts innandyra má lýsa með einföldum streymismynstrum (2). Meðfylgjandi skýringarmyndir, *A* til *F* á mynd 1.1 sýna lofthreyfingu þegar innblásturshitinn er jafn herbergishita, en á myndum *G* til *N* eru sýnd dæmi um lofthreyfingu þegar innblástursloftið er kaldara en loftið í herberginu og hvernig það stígur upp í kringum hitauppsprettur.



Mynd 1.1 Grunnstreymismynstur (2)
lofthreyfing (2)

Mynd 1.2 Mismunandi

Myndir 1.1 A til C sýna dæmi um mismunandi innblástursstróka við herbergishita og D og E hvernig loftstraumar beygja framhjá hindrun og við endavegg. Streymi við útsogsrist þegar innblásturs- og herbergisloftið er fullblandað og jafnheitt er sýnt á mynd F (jafnt streymi úr öllum áttum).

Myndir G og H sýna hvernig svalur innblástur beygir frá lofti og fellur niður í rýmið. Innblástursloftið hefur takmarkað "flöt" en við viss skilyrði "hangir" innblástursstrókurinn við loft herbergisins áður en hann fer að falla (svokölluð "Coanda" áhrif), mynd H. Á mynd I er sýnt uppstreymi lofts við heitan flöt og á mynd J er sýnt náttúrulegt uppstreymi lofts umhverfis standandi mann. Mynd K sýnir niðurslátt lofts við kaldan flöt, t.d. gluggavegg.

Á myndum L og M er sýnt lagskipt streymi frá lághraðadreifara á vegg við gólf og loft. Síðasta myndin sýnir lofthreyfingu við útsogsrist í lagskiptu streymi og sést þar munur frá mynd F sem sýnir streymi við útsogsrist þegar loft er fullblandað (jafnheitt).

Mismunandi aðferðir við dreifingu lofta

Loftdreifing í rými getur verið með blöndun, lagskiptingu eða flæði í eina átt (strokkeða bulluhreyfing). Í blöndunarloftræsingunni er markmiðið að blanda innblásturslofti saman við herbergisloftið þannig að lofthiti og þynning mengunarefna verði jöfn í rýminu, mynd 1.2 X.

Þegar loftdreifing er lagskipt er svalt og hreint loft næst gólfi, upp í u.þ.b. 1 m hæð, og heitt og mengað loft efst í rýminu. Hreina loftið stígur upp þar sem það mætir heitum flötum og fólki, mynd 1.2 Y.

Í skurðstofum og ýmsum öðrum „hreinum“ rýmum er æskilegt að hafa jafna loft-hreyfingu hreinsaðs innblásturslofts frá lofti að gólfi, þannig að bakteríur og óhreinindi berist niður að gólfi og að útsogi neðarlega á vegg, mynd 1.2 Z.

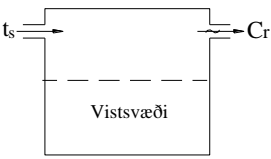
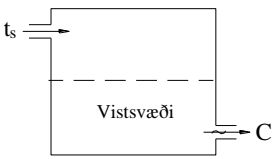
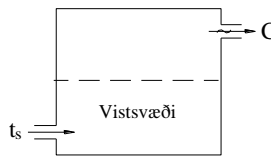
Virgni loftræsingar (ϵ)

Hve virk er loftræsingin, hve hröð er endurnýjun lofta og nær hún til allra kima rýmisins? Virgni loftræsingar sýnir hve fljótt loftborin efni hreinsast úr rýminu og hvernig mengun frá einum stað berst um rýmið. Hún er m.a. háð gerð og eiginleikum loftdreifara, lögun herbergisins og hvar hita- og mengunaruppsprettur eru í rýminu.

Nokkrar skilgreiningar eru til á virkni loftræsikerfis, en einfaldasta skilgreiningin er eftirfarandi (3):

$$\epsilon = 1 - S$$

S er sá hluti innblástursloftsins sem fer út um útsogsristina án þess að fara í gegnum vistsvæðið, þ.e. það svæði í herberginu sem fólk dvelur í. Hluti lofta sleppur m.ö.o. í gegn án þess að nokkur hafi gagn af því. Á mynd 1.3 eru sýnd dæmi um virkni loftræsingar sem miðast við vistsvæðið, sjá skilgreiningu hér á eftir.

Loftræsiaðferð	Blöndun	Blöndun	Lagskipting			
						
^o Hitamunur milli innblásturslofts (ts) og lofts í vistsvæði (ti) ts - ti (°C)	ts - ti ^o (°C) < 0 0 - 2 2 - 5 > 5	Virkni loftræsingar m.v. vistsvæði 0,9 - 1,0 0,9 0,8 0,4 - 0,7	ts - ti ^o (°C) < -5 0 - -5 > 0	Virkni loftræsingar m.v. vistsvæði 0,9 0,9 - 1,0 1,0	ts - ti ^o (°C) > 2 0 - 2 < 0	Virkni loftræsingar m.v. vistsvæði 0,2 - 0,7 0,7 - 0,9 1,2 - 1,4

Mynd 1.3: Virkni loftræsingar við mismunandi innblástursaðferðir og hitamun (4).

Virkni miðuð við vistsvæðið er skilgreind sem:

$$\varepsilon_{víst} = \frac{C_r}{C_{víst}}$$

þar sem:

C_r er efnastyrkur mældur í útsogsrist og

$C_{víst}$ er efnastyrkur í vistsvæðinu

Athugið að virkni miðuð við vistsvæði getur verið yfir 1,0 í lagskiptu streymi (mynd 1.3).

Meðalvirkni loftræsikerfisins er skilgreind sem:

$$\varepsilon_{meðal} = \frac{C_r}{C_{meðal}}$$

Til að mæla virkni loftræsingar er mæligasi sprautað inn í innblástursloftið og styrkur þess mældur í rýminu og við útsogsrist. Mæling á meðalvirkni fer þannig fram að styrkur mæligass í útsogslofti er mældur á meðan blásari gengur og mæligasi er hleypt inn í innblástursstokkinn. Síðan er blásari stöðvaður og lokað fyrir streymi mæligass,

innblásturs- og útsogslokum lokað og lofti og mæligasi sem er í herberginu blandað saman með blásara inni í herberginu.

Þannig fæst meðalstyrkur mæligass í herberginu og unnt er að reikna út meðalvirknina $\epsilon_{\text{meðal}}$ skv. jöfnunni að ofan.

Staðsetning útsogsristar – áhrif á virkni

Staðsetning útsogsristar hefur mjög lítil áhrif á loftdreifingu, en getur haft mikil áhrif á virkni lofttræsikerfis (2). Ef útsog er **neðst** á vegg andspænis innblástursrist sem er við loft verður ϵ að jafnaði **hátt** (0,9-1,0), en ef útsog er við vegg er ϵ yfirleitt lágt (0,4-0,8). Þetta er háð því við hvaða hita lofti er blásið inn í rýmið samanborið við herbergishitann (sjá mynd 1.3).

“Aldur” loftsins og loftskipti

Stundum er talað um „aldur“ loftsins þegar það hefur farið um rými og kemur að útsogsrist. Aldur loftsins er talinn frá því að það kemur inn í rýmið og má skilgreina hann í sekúndum sem rúmmál rýmisins V (m^3) deilt með rúmflæði lofts í gegnum rýmið q (m^3/s), eða $\tau = V/q$ sekúndur.

Mun algengara hugtak er „loftskipti“, en loftskipti segja til um það hve hratt loftið endurnýjast, eða hve oft er skipt um loft í herbergi á hverri klukkustund, og er í raun andhverfa hugtaksins „aldur“. Loftskipti í herbergi eru skilgreind á eftirfarandi hátt:

$$\text{Loftskipti} = q' (\text{m}^3/\text{klst}) / V (\text{m}^3) \quad \text{Einingin er l/klst.}$$

Lághraðadreifarar – lagskipting í rými

Þegar notaðir eru lághraðadreifarar við gólf verður loft í rýminu lagskipt. Hreint og svalt loft sem er kaldara en innloftið er næst gólfi en heitt og mengað loft efst. Loft sem fyllir rýmið næst gólfinu streymir upp í átt að útsogsrist við loft og lagskiptingin nær upp að þeim stað þar sem heildarrúmstreymið lóðrétt upp er orðið jafnt innstreyminu. Mælt er með að lagskiptingin sé í a.m.k. 1,1 m hæð yfir gólfi þar sem fólk situr.

Þar sem hitauppstreymi er, til dæmis umhverfis fólk, nær lagskiptingin hærra upp. Þetta gerir það að verkum að það loft sem maður andar að sér kemur að hluta úr ferskloftslaginu næst gólfi, jafnvel þótt hann standi upp úr því. Uppdrif lofts umhverfis standandi mann er um 35 l/s í höfuðhæð. Ef efnastyrkur er t.d. 0,4 við gólf og 1,0 ofan lagskiptingarinnar, sýna tilraunir að efnastyrkur í lofti sem maður andar að sér er um 0,6 (2). Rétt er þó að benda á að maður „mengar“ sjálfur sitt andrúmsloft við öndun, og

nemur mengunin frá kyrrstæðum manni um 0,3 dp og um 1,1 dp frá manni á hreyfingu (loftgæðum má lýsa með einingunni decipol þar sem 1 dp táknar loftgæði í rými sem loftræst er með 10 l/s og styrkur mengunar er 1 olf sem svarar til eins manns, sjá kafla 4).

Lofthraði og kastlengd

Kastlengd l_{kast} frá veggrist er skilgreind sem sú fjarlægð frá innblástursrist þar sem hámarkslofthraðinn u_{kast} er kominn niður í 0,2 m/s (í iðnaðarkerfum er leyfður meiri hraði). Með réttri hönnun er leitast við að loftdreifing í herbergi sé þannig að hámarkslofthraði í vistrýminu u_{vist} sé undir 0,15 m/s. Reynslan sýnir að þetta verður raunin þegar kastlengdin l_{kast} er jöfn breidd herbergisins L og lofthraðinn í þeirri fjarlægð er $u_{kast} = 0,2$ m/s.

Þar sem tveir eða fleiri gagnstæðir loftdreifarar eru miðast kastlengdin við helming lengdar á milli dreifara, eða lengdina frá dreifara að vegg.

Eins og sést á mynd 1.2 X snýst loftstreymi frá innkastrist við þegar það nálgast gagnstæðan vegg og streymir niður og síðan til baka undir innblástursflæðinu. Hámarkshraðinn í bakstreyminu er nálægt gólfi í fjarlægð frá innblástursristinni sem er um 2/3 af breidd herbergisins L. Þetta verður einnig hámarkshraðinn í vistsvæðinu ef innblástursstrókurinn og endaveggurinn eru utan vistsvæðisins. Tilraunir hafa sýnt að hraðinn í vistsvæðinu u_{vist} er í beinu sambandi við endahraðann u_{kast} í óhindruðum loftstrók, sjá t.d. mynd 1.4.

Ef innblásturinn er tvívíður eins frá línurist og hiti innblásturslofts er nálægt herbergishita er hlutfall u_{vist} og u_{kast} nálægt 0,7, þ.e.

$$u_{vist} = 0,7 * u_{kast}$$

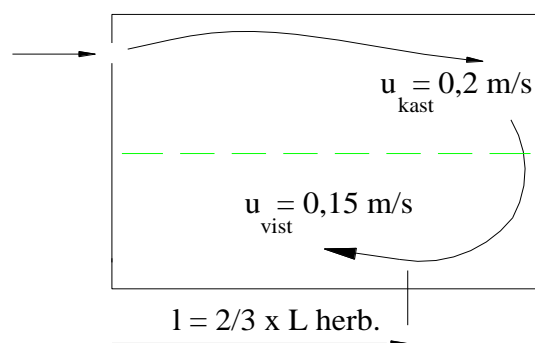
eða $u_{vist} = 0,7 * 0,2$ m/s = 0,14 m/s.

Ef dreifingin er þrívíð og innblásturshiti er jafn herbergishita liggur hlutfallið á milli 0,3 og 0,7, þ.e.

$$0,3 * u_{kast} < u_{vist} < 0,7 * u_{kast}$$

Í því viðum dreifurum með sterkri hliðardreifingu getur hlutfallið þó verið yfir 0,7.

Ef innblásturinn er kaldari en herbergishitinn fellur innblástursstrókurinn niður eftir ákveðna fjarlægð frá innblástursopi og kemur inn í vistsvæðið með meiri hraða en æskilegt er, sjá mynd 1.1 G og H. Einnig getur lofttungan verið óþægilega köld ef hún hefur ekki náð að blandast nægilega við herbergisloftið. Hve hratt loftstrókurinn fellur er háð flatarmáli innblástursristar (dreifara) og s.k. Arkimedesartölu, en hún segir til um hvort og hve hratt innblástursloftið fellur þegar það kemur inn í herbergið. Mælt er með því að stilla þannig saman innblásturshraða og loftblöndun (t.d. með vali á innblástursdreifurum) að kastlengd innblástursstróksins áður en hann fer að falla sé a.m.k. hálf lengdin L (sbr. skilgreininguna að ofan). Með innblástursdreifurum með mikla blöndunareiginleika, t.d. snúningsdreifurum (vortex), má þessi lengd vera styttri.



Mynd 1.4 Kastlengd m.v. tvívíða línurist.

Blöndunarloftræsing

Helsta markmiðið með blöndunarloftræsingu er að koma á nægilega öflugu hring- eða bakstreymi til að fanga óhreinindi frá hinum ýmsu mengunarvöldum í rýminu þannig að styrkur mengunar og loftborinna óhreininda verði alls staðar sem lægstur. Tilraunir sýna að þegar blásið er inn með línurist ofarlega á vegg og útsog er neðarlega á gagnstæðum vegg getur svæðið við gólf næst innblástursveggnum orðið útundan ef ekki næst nægileg hringrás í herberginu. Ef ristin er of breið (há) dregur innblástursstrókurinn ekki með sér nægilega mikið af herbergisloftinu til að koma því á hringhreyfingu. Þekkt er að því hærrí sem innblásturshraðinn er því betri verður blöndun innblásturslofts og herbergislofts. Innblástursstrókurinn dregur með sér því meira herbergisloft sem hraðinn er meiri og þá verður annars vegar jafnari lofthiti og hins vegar síður hættu á að einhverjir hlutar herbergisins verði illa loftræstir. Gæta verður að hljóðmyndun í ristum þegar innblásturshraði er ákveðinn.

Loftskipti og losun af loftmengun

Í byggingarreglugerð nr. 441 frá 1998, grein 186.3, er kveðið á um loftskipti og losun af mengunarefnum (1):

186.3 Bygging skal þannig gerð og komið fyrir búnaði til þess að tryggja loftskipti og losun af loftmengun í þeim mæli að eftirfarandi skilyrðum sé fullnægt:

- a. Loftgæði í hverju rými skulu vera í samræmi við notkun og ávallt þannig að gætt sé heilbrigðis- og hollustuskilyrða.
- b. Komið skal í veg fyrir að heilsuspillandi efni og óþægileg lykt geti dreifst innan viðkomandi rýmis eða úr einu rými í annað.
- c. Loftstreymi milli rýma, ef slíkt á sér stað, skal ætíð vera frá rými með minni loftmengun til rýmis þar sem loftmengun er meiri.
- d. Ekki er heimilt að hleypa daunillum, fitumenguðum eða heilsuspillandi efnum út í andrúmsloftið og skal í þessu efni gætt ákvæða heilbrigðisreglugerðar um loftmengun.
- e. Þar sem loftmengun stafar aðallega frá fólki sem dvelst í herbergi eða frá byggingarefnum skal sjá fyrir almennri loftræsingu.
- f. Þar sem loftmengun stafar aðallega frá starfsemi skal sjá fyrir viðeigandi loftræsingu.

2. Forsendur fyrir vellíðan innandyra

Vellíðan innandyra – mat á aðstæðum

Það sem mest áhrif hefur á vellíðan okkar innandyra, og sér í lagi hvernig við skynjum innihitann, er:

- hve mikið við erum klædd
- hvað við afhöfumst (hreyfing)
- herbergishiti
- meðalgeislunarhiti
- meðallofthraði
- loftraki

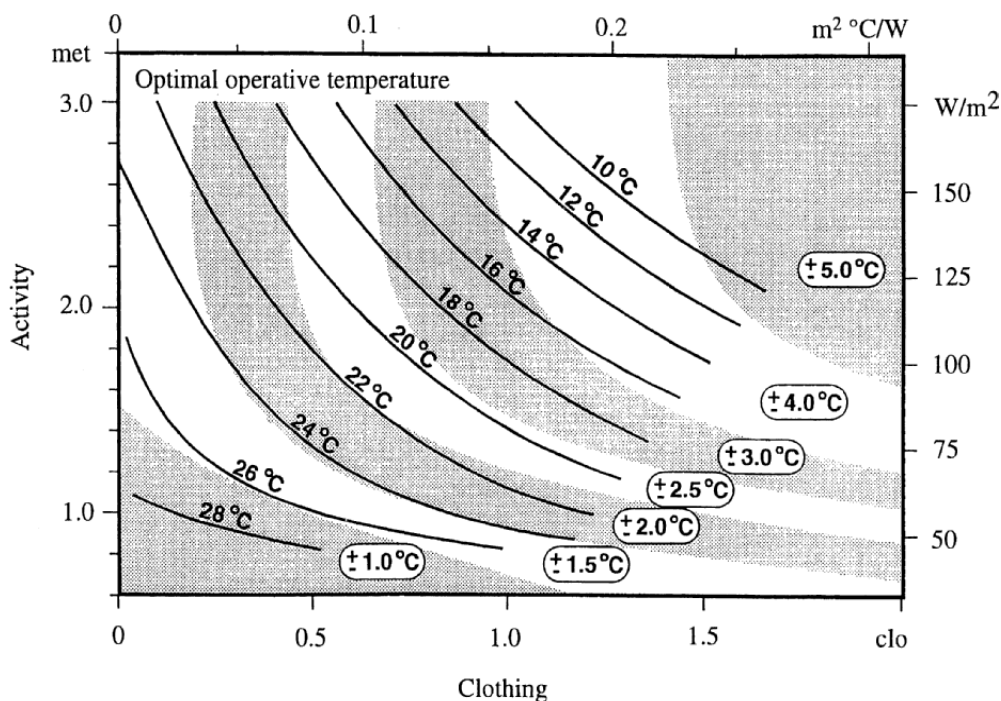
Áhrif herbergishita eru best þekkt og auðskiljanlegust. Ef við hugsum okkur að við færum okkur til í árstíma frá sumri til vetrar og herbergishiti sé óbreyttur finnst okkur kólna í herberginu ef við klæðum okkur ekki betur. Þetta stafar af því að frá líkamanum berst varmi með geislun til kaldra veggja og glugga (stundum er talað um kuldageislun, sem er í raun varmageislun frá heitum fleti til kalds). Ójöfn varmageislun getur verið sérlega óþægileg, svo sem varmageislun frá arineldi annars vegar og varmageislun til kaldra glugga hins vegar. Meðalgeislunarhiti er ímyndaður jafn yfirborðshiti flata í herberginu sem orsakar varmageislun frá manni til umhverfis er samsvarar (mismunandi) yfirborðshita í herberginu.

Loftraki hefur einna minnst áhrif á innvistina svo fremi sem herbergishiti sé eðlilegur (5). Ef heitt er inni er stundum kvartað um „þurrt loft“ þrátt fyrir að rakainnihald þess sé hátt. Nýjar rannsóknir sýna þó að raki er ein meginástæða svokallaðrar húsasóttar (6). Æskilegt rakastig innandyra er 40 til 50%.

Við verðum lítið vör við hreyfingu lofts ef lofthraði er innan við 0,2 m/s. Ef lofthraði er hins vegar aukinn frá 0,2 til 1,0 m/s hefur það svipuð áhrif til kælingar og lækun innihita um 2,5°C. Því ójafnari sem lofthraðinn er (meira iðustreymi) því viðkvæmari erum við gagnvart lofthraða.

Samspil ofangreindra þátta í innivist hefur verið rannsakað ítarlega. Heildaráhrifum þeirra má lýsa með n.k. meðaleinkunn, PMV (enska: Predicted Mean Vote), sem búast má við að verði niðurstaðan ef hópur fólks er látinn gefa loftgæðum einkunn út frá ákveðnum einkunnakvarða, sjá t.d. DS 474 E (5) og prENV 1752:1997 (7). Meðal

annars hefur verið gert línurit sem sýnir ákjósanlegasta skynjunarhita („operative temperature,“) eftir því hvernig fólk er klætt (clo) og hvað það aðhefst (met), sjá mynd 2.1. Slík línurit eru gerð samkvæmt rannsóknum á líðan fólks við tilbúna aðstæður. Niðurstöður sýna að aldrei eru allir fullkomlega ánægðir, en línuritið að neðan sýnir samsetningu sem líklegt er að 90% viðstaddra séu sátt við.



Mynd 2.1: Skynjaður innihiti – áhrif klæðnaðar og hreyfingar (5,7).

Skynjaður innihiti

Skynjaður ákjósanlegasti innihiti er skilgreindur sem meðaltal lofthita og meðal-geislunarhita.

$$t_s = \frac{(t_{loft} + t_{geisl})}{2}$$

Fyrir manneskju, sem situr við vinnu sína (hreyfing svarar til 1,2 met, sjá töflu 3.1) og klædd er hefðbundnum innifötum í samræmi við árstíma, er æskilegasti skynjunarhitinn (5):

20°C til 24°C að vetrarlagi.

23 til 26°C að sumarlagi.

Er þá miðað við að

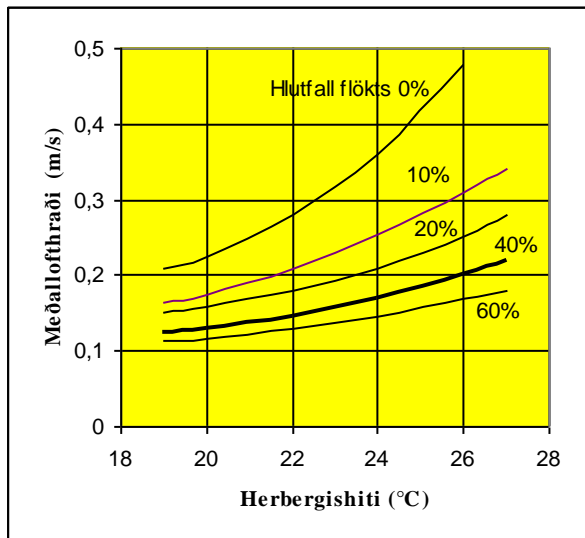
- hlutfall óánægðra sé hæst 10%,
- meðallofthraði sé á bilinu 0,15 til 0,2 m/s (sjá nánar á mynd 2.2),
- hitamunur við gólf (0,1 m hæð) og í 1,1 m hæð sé minni en 3°C (sjá mynd 2.3),
- mismunur á geislunarhita vegna kaldra lóðréttra flata (t.d. glugga) og lóðrétts flatar 0,6 m yfir gólfi sé minni en 10°C,
- mismunur á geislunarhita á milli heits lofts og lárétts flatar 0,6 m yfir gólfi sé minni en 5°C,
- meðalhiti gólfs sé á milli 19°C og 26°C,
- gólfhitakerfi sé hannað fyrir hæst 29°C.

Lofthraði

Áhrif lofthraða á skynjun fólks á innihita og vellíðan hafa einnig verið rannsökuð ítarlega og er línuritið á mynd 2.2 byggt á niðurstöðum slíkra rannsókna (5).

Línuritið sýnir meðallofthraða sem fall af innihita og hlutfalls frávíks frá meðallofthraða (flökt eða iðustreymi). Miðað er við að hlutfall óánægðra sé lægra en 15%. Í venjulegu loftræsikerfi þar sem innblásturslofti er blandað við herbergisloftið er iðueða flökthlutfallið um 40%. Við 22°C innihita og 40% flökt sýnir línuritið að meðallofthraði skuli vera undir 0,15 m/s. Ef innihitinn er 24°C má meðallofthraðinn fara upp í 0,18 m/s, en ef innihiti fer niður í 20°C ætti meðallofthraðinn ekki að fara yfir 0,13 m/s.

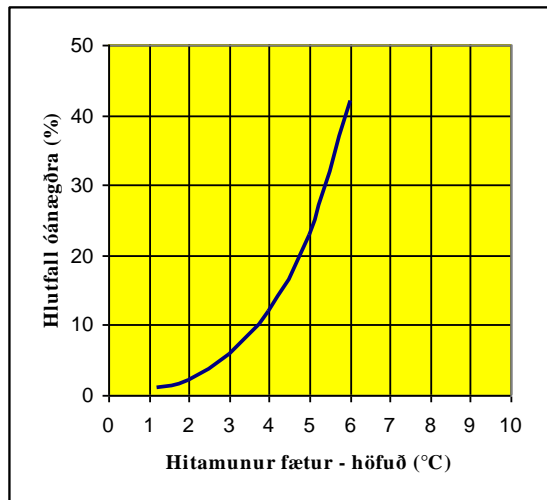
Þetta er þó mjög háð því hve vel innblástursloftið blandast innloftinu og hve mikil hlutfallsleg hraðadreifing verður; því ójafnari sem lofthreyfingin er (hærri flöktprosenta) því meira verður vart við dragsúg. Um lofthraða og blöndun var m.a. fjallað í kafla 1.



Mynd 2.2: Leyfilegur meðallofthraði sem fall af herbergishita ef gert er ráð fyrir að 15% verði vör við óþægilegan dragsúg. Í herbergjum sem loftræst eru með blöndunar- loftræsingu má gera ráð fyrir að hlutfall flökts sé um 40%. Ef það er ekki þekkt er almennt miðað við 40%. Skv. DS 474 E (5).

Lóðréttur hitamunur

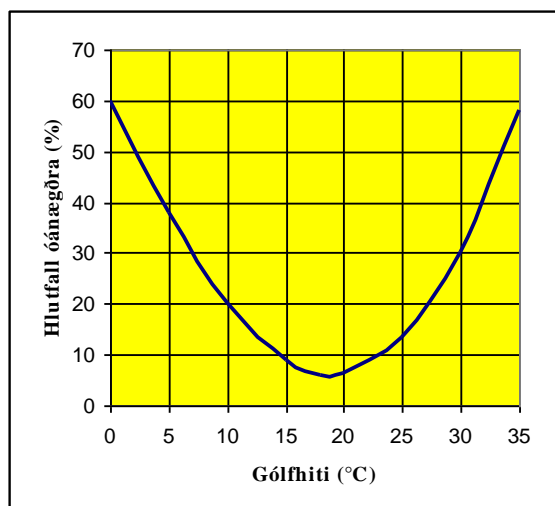
Þekkt er að of mikill munur á lofthita við gólf og í höfuðhæð veldur mönnum óþægindum. Ef hitamunurinn er 4°C má búast við að ríflega 10% finni fyrir ónotum, en ef hitamunurinn fer upp í 6°C má gera ráð fyrir að yfir 40% kvarti, sjá mynd 2.3 (hér er miðað við sitjandi mann, hæð frá gólfi 1,1 m – skv. (5, 7)). Ef hitamunurinn er hins vegar um 2°C eru næstum allir sáttir, þ.e. líklegt er að aðeins ríflega tveir af hverjum hundrað kvarti. Þetta þarf að hafa í huga þegar notaðir eru lághraðadreifarar sem hleypa inn undirkældu lofti nálægt gólfi. Hámarkshitamunur (undirkæling) er miðaður við um 3°C til 5°C, og mælt er með að dreifari sé ekki of nærri viðverustað.



Mynd 2.3: Líklegt hlutfall óánægðra af völdum hitamunar á milli gólfs og höfuðhæðar (5,7).

Gólfhiti

Of hár eða lágur gólfhiti getur einnig valdið óþægindum. Á mynd 2.4 er sýnt hver áhrif yfirborðshiti gólfs hefur á vellíðan fólks (5,7). Flestir eru sáttir ef gólfhitinn er rétt undir herbergishita, u.þ.b. 19°C, en ef gólfhitinn hækkar um 10°C, þ.e. í um 30°C, má búast við að um þriðjungur viðstaddra finni fyrir óþægindum. Almennt er mælt með því að gólfhiti fari ekki yfir 26°C (15% óánægðir skv. mælingum) og 29°C í baðherbergjum.



Mynd 2.4: Líklegt hlutfall óánægðra sem fall af gólfhita (5,7).

Kröfur skv. norskum staðli

Í nýjum norskum staðli, prNS 3563, eru sett viðmiðunarmörk fyrir innloft sem eru byggð á CEN-skýrslu CR 1752 (11). *Tafla 2.1* sýnir áherslurnar á hin ýmsu atriði sem hafa áhrif á skynjaðan innihita og vellíðan innandyra.

Flokkur	Hitaskynjun líkamans almennt, viðbúið hlutfall óánægðra	Staðbundin hitaþægindi, viðbúið hlutfall óánægðra			
		Dragsúgur	Hitamismunur	Gólfhiti	Ójöfn geislun
1	<6%	<15%	<3%	<10%	<5%
2	<10%	<20%	<5%	<10%	<5%
3	<15%	<25%	<10%	<15%	<10%

Tafla 2.1: Flokkun þægindamarka skv. norskum staðli, prNS 3563.

Hljóðstig

Kröfur um hámarks hljóðstig í húsum eru oftast settar fram sem hljóðþrýstingsstig, táknað með L_{pA} . Mælieiningin er dB (decibel). Í *Töflu 2.2* eru sýndi dæmi um leiðbeinandi hámarksgildi L_{pA} dB(A) skv. dönskum og þýskum stöðlum.

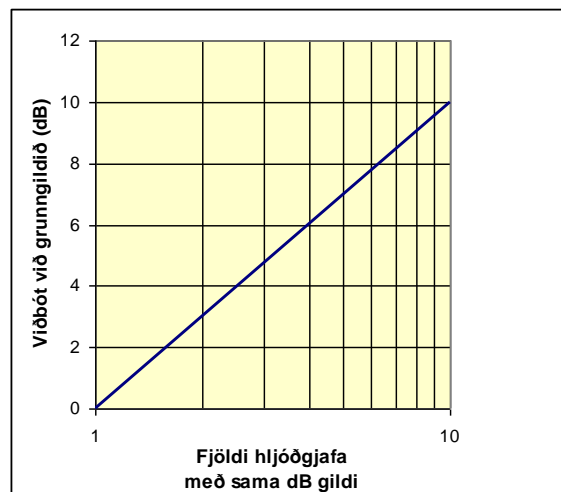
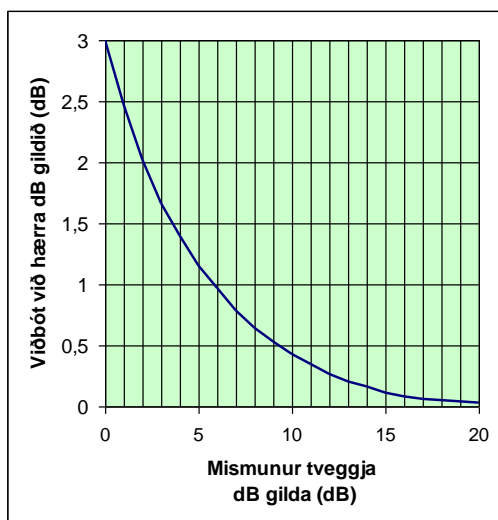
Gjarnan er notaður hljóðmælir með innbyggða hljóðsúu til að mæla hljóðstigið. Mælirinn nemur í raun hljóðþrýstingsstig hverra áttundar, þ.e. við 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz upp í 5000 Hz, en með s.k. A-hljóðsúu er dregið úr styrk lægstu tónanna og þannig líkt eftir næmni mannseyrans. Hljóðþrýstingsstig hverrar áttundar eftir síun er síðan veginn saman í eitt gildi sem mælirinn sýnir, dB(A). Hljóðstigsskalinn er lógaritmískur, þannig að hljóðþrýstingur breytist í raun mun meira en munur tölugilda í dB-skalanum segir til um.

Stundum er hljóðstig táknað með s.k. NR-gildi (Noise Rating Curves), sem tekur mið af hljóðstyrk við mismunandi tíðni (áttundir). NR gildi hljóðsins ákvarðast af þeim NR ferli sem snertir mælt hljóðþrýstingsgildi við hverja áttund. NR-gildið er um það bil 5 einingum lægra en L_{pA} -gildið, þ.e.

$$\text{NR-gildi} + 5 = L_{pA} - \text{gildi.}$$

Staður	DS 447		DIN 1946	Staður	DS 447		DIN 1946
	L _{PA}	NR	L _{PA}		L _{PA}	NR	L _{PA}
Heimili				Kirkur			
Eldhús	30	30	50	Öll rými	30	25	
Íveruherbergi	30	25		Skrifstofur			
Barnagæsla				Fundarherbergi	35	30	35
Barnaheimili	35	30		Einmenningsskrifstofa			45
Vöggustofur	35	30		Opin rými	35	30	
Samkomustaðir				Veitingahús			
Ráðstefnusalur	30	25	35	Kaffisalur	40	35	
Bókasöfn	35	30	30	Matsalur	40	35	
Söfn			35	Skólar			
Kvikmyndahús	35	30	30	Kennslustofur/fyrirlestrar	30	25	35
Tónlistarsalur/ópera	25	20	25	Gangar	35	30	
Réttarsalur	30	25		Leikfimisalur	35	30	
Leikhús	30	25	30	Kennaraherbergi	35	30	
Verðslanir				Íþróttahús/sundlaugar			
Sérverðslanir	40	35		Æfinga-/keppnissalur	40	35	45
Stórmarkaðir	40-50	35-45	45	Sundlaugar	40	35	45
Tölvurými	25	20		Hljóðstofur (stúdíó)			
Sjúkrahús				Tónlist	25	20	
Gangar	35	30	40	Útvarp	20	15	15
Skurðstofur	30	25	40	Sjónvarp m. áhorfendum	30	25	25
Legustofur	25	20	30-35	Sjónvarp án áhorfenda	25	20	
Skoðun	35	30	35-40	Ýmislegt			
Hótel				Snyrtiherbergi	40	35	45
Móttaka	40	35	40	Búningsherbergi	40	35	
Salir	35	30		Aðrir vinnustaðir			
Herbergi			30	Verkstaði			50

Tafla 2: Leiðbeinandi hámarks hljóðstig í byggingum skv. DS 447 og DIN 1946.



Tafla 2.3: Samlagning hljóðþrýstingsstiga, dB, a) ólíkir hljóðgjafar, b) eins hljóðgjafar.

3. Ferskt loft – skilgreining á loftþörf

Efnaskipti mannsins

Maðurinn brennir fæðu og umbreytir henni í orku sem hann annaðhvort notar strax eða geymir í líkamanum. Við þessa brennslu myndast varmi og koltvísýringur sem hann þarf að losna við. Þetta eru kölluð efnaskipti líkamans. Fullorðinn maður andar frá sér koltvísýringi sem nemur 17-földu met-gildi (l/klst CO₂), en met-gildið er mælikvarði á hraða efnaskipta líkamans við brennslu blandaðrar fæðu¹:

$$q_{CO_2} = 17 * M(\text{met})$$

Í töflu 3.1 hér að neðan eru sýnd dæmi um efnaskipti mannlíkamans við mismunandi athafnir. Í tveimur öftustu dálkunum eru sýnd dæmi um varmagjöf og koltvísýringslosun meðalmanns.

Hvað er aðhafst?	Efnaskipti		Meðalmaður ¹⁾	
	W/m ²	met	Varmi (W)	CO ₂ (l/klst)
Liggjandi	46	0,8	81	14
Sitjandi, kyrr	58	1,0	102	17
Standandi, kyrr	70	1,2	123	20
Sitjandi við vinnu (skrifstofa, skóli, heimili)	70	1,2	123	20
Standandi við vinnu (verslun, rannsóknastofa, léttur iðnaður)	93	1,6	163	27
Standandi við vinnu (heimilisstörf, afgreiðsla, vinna við vélar)	116	2,0	203	34
Meðalerfið hreyfing (þung vélavinna, verkstæðisvinna)	165	2,8	289	48
Erfiðisvinna/íþróttir	870	15,0	1523	255

¹⁾ Líkami meðalmanns er um 1,75 m² að flatarmáli (vfirborð) og hann gefur frá sér koltvísýring (CO₂) sem svarar til 17 falds met-gildisins

Tafla 3.1: Efnaskipti mannsins

ⁱ Þetta miðast við framleiðslu CO₂ við neyslu blandaðrar fæðu. Svo kallaður CO₂-kvóti segir til um hve mikið rúmmagn (lítrar) af CO₂ verður til við brennslu eins lítra af súrefni, O₂, við neyslu mismunandi fæðu. Við neyslu 100% kolvetnis er stuðullinn 1,0 ef 100% eggjahvítefna (próteína) er neytt er stuðullinn 0,8 og 0,71 ef neytt er 100% fitu. Í blandaðri fæðu er stuðullinn 0,83 skv. ANSI-ASHRAE Standard 62 (3).

Loftmagn ákvarðað með hliðsjón af CO₂ styrk

Magn koltvísýrings, CO₂, í andrúmslofti er almennt á bilinu 350 til 450 ppm (1 ppm: 1 lítri CO₂ í milljón lítrum af andrúmsloft). Andrúmsloftið er talið mjög „hreint“ ef CO₂ er 300 ppm og í góðu borgarlofti er styrkur CO₂ um 400 til 450 ppm. Í bandaríska gæðastaðlinum um inniloft, ANSI/ASHRAE Standard 62-2001 (3), er miðað við að aukning á CO₂ innandyrá sé ekki meiri en 700 ppm. Í prCEN EN-1752 (7) er miðað við að styrkur innilofts sé ekki meiri en 460 ppm yfir útilofti í flokki A, en þá má reikna með að 85% þeirra sem í húsnæðinu dvelja telji loftið viðunandi. Í evrópskum reglugerðum er hámarksstyrkur CO₂ innandyrá því gjarnan miðaður við 1000 ppm og að meðalstyrkur CO₂ fari ekki yfir 800 ppm. Sama viðmiðun er í drögum að „Samþykkt um loftræsilagnir í Reykjavík“ (9), og í Byggingarreglugerð nr. 441 frá 1998 segir í 186. grein:

186.4 Öll vinnu- og dvalarrými fyrir fólk skal loftræsa þannig að meðalstyrkur koltvísýrings CO₂ fari ekki yfir 800 ppm og hámarksgildið ekki yfir 1000 ppm. Hafa skal hliðsjón af leiðbeiningarritum og stöðlum um ákvörðun ferskloftsmagns til loftræsingar.

Rúmstreymi útilofts sem þarf til að halda CO₂ styrk innandyrá undir ákveðnum mörkum má finna með eftirfarandi jöfnu þegar fullu jafnvægi er náð:

$$q_{\text{útiloft}} = \frac{278 * n * q_{\text{CO}_2}}{\varepsilon * (CO_{2-\text{inni}} - CO_{2-\text{úti}})} \quad \text{l/s}$$

n	fjöldi manna (einstaklingar),
q _{CO₂}	magn koltvísýrings pr. einstakling (l/klst pr. einstakling),
ε	virkni loftræsingar,
CO _{2-x}	styrkur koltvísýrings (ppm).

Loftmagn má einnig finna með aðferðum sem lýst er í prENV-1752 (7), annaðhvort með svokallaðri þæginda- eða loftgæðajöfnu, eða hollustujöfnu, en um það er m.a. fjallað í 4. kafla.

Sýnidæmi 3.1

Maður vinnur á loftræstri skrifstofu og gefur frá sér 20 l/klst af CO₂ (efnaskipti 1,2 met). Hver verður CO₂ styrkur í skrifstofuherbergi mannsins ef blásið er inn 8 l/s, virkni loftræsingar er 1,0 og styrkur CO₂ í útilofti er 350 ppm?

$$\begin{aligned} CO_{2-inni} &= CO_2 + \frac{278 * n * q_{CO_2}}{\varepsilon * q_{útiloft}} \\ &= 350 + \frac{278 * 1 * 20}{1,0 * 8,0} \\ &= 350 + 695 \\ &= 1045 \text{ ppm} \end{aligned}$$

Þetta svarar til um 700 ppm hækkunar á CO₂ umfram útiloftið.

Í dæminu að ofan eru 8,0 l/s útilofts í lágmarki ef tryggja á gott loft á skrifstofunni, þ.e. ef halda á styrk CO₂ innan við 1000 ppm. Útkoman fer eftir því hve hreint útiloftið er og hver er virkni loftræsingarinnar. Almennt er virkni blöndunarloftræsingar í kringum 0,8 og þarf þá a.m.k. 10 l/s til að tryggja viðunandi loftgæði. Með lághraðadreifara við gólf er unnt að ná virkni yfir 1,0 í vistrýminu og þannig getur slík loftræsing notast við minna loftmagn.

Sýnidæmi 3.2

Á skrifstofu starfa 6 fullorðnir við hefðbundin skrifstofustörf allan daginn. Hve mikið útiloft þarf til að styrkur koltvísýrings (CO₂) fari ekki yfir 1000 ppm? Gera skal ráð fyrir að styrkur koltvísýrings (CO₂) í útilofti sé 350 ppm og að virkni loftræsingar sé 90%, þ.e. $\varepsilon=0,9$.

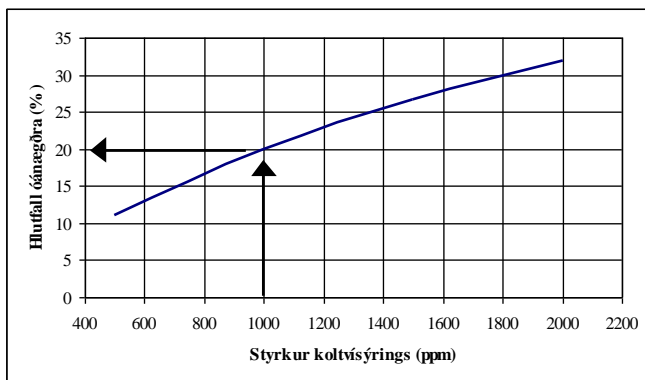
Skv. töflu 3.1 eru efnaskiptin 1,2 met og CO₂ framleiðslan 20 l/klst. Loftmagnið er reiknað með eftirfarandi jöfnu:

$$\begin{aligned} q_{útiloft} &= \frac{278 * n * q_{CO_2}}{\varepsilon * (CO_{2-inni} - CO_{2-úti})} \text{ l/s} \\ q_{útiloft} &= \frac{278 * 6 * 20}{0,9 * (1000 - 350)} \text{ l/s} \\ q_{útiloft} &= 57 \text{ l/s} \end{aligned}$$

Ef miðað er við að styrkur CO₂ fari ekki yfir 1.000 ppm þarf um 10 l/s útilofts á mann við venjulega sitjandi vinnu.

Í verslun eða annars staðar þar sem fólk er á hreyfingu (met-gildi 2,0) verður loftmagnsþörfin um 16 l/s á mann.

Hér að framan er lýst aðferð við að ákvarða rúmstreymi fersklofts sem þarf til að viðhalda ákveðnum loftgæðum þar sem styrkur CO_2 er notaður sem mælikvarði á það hve „mengað“ loftið verður þar sem fólk dvelur um tíma. Mynd 3.1 sýnir hvernig búast má við að maður skynji styrk koltvísýrings, CO_2 , þegar hann kemur inn í herbergi þar sem fólk hefur dvalið um skeið og loftið er orðið „þungt“ af koltvísýringi. Ef styrkurinn er t.d. 1.000 ppm er viðbúið að einn af hverjum fimm sem inn koma, þ.e. um 20%, kvarti um þungt loft. Almennt má segja að ekki sé hægt að ábyrgjast að loftið falli öllum í geð þótt styrkur koltvísýrings sé undir 1.000 ppm, en hitt má segja með nokkurri vissu að ef hann er yfir 1.000 ppm verða flestir varir við þungt loft.



Mynd 3.1 Hlutfall óánægðra með loftgæði miðað við styrk koltvísýrings, CO_2

Í norrænum reglum (NKB) um aðbúnað í byggingum eru settar fram eftirfarandi viðmiðanir um útiloft í loftræsikerfum (10):

- 1) Útiloft skal vera minnst 3,5 l/s á einstakling fyrir hvern sitjandi mann.
- 2) Útiloft miðað við gólfhlöt skal vera minnst 0,7 l/s/m².
- 3) Ef 1) og 2) samanlagt er undir 7 l/s á einstakling skal miða við 7 l/s á einstakling (lágmark).

Ef reykt er í herbergi skal útiloftið vera a.m.k. 20 l/s/ á einstakling.

Í þessum reglum, sem taka mið af loftmengun af völdum manna (CO₂ mengun), er gengið út frá því að:

- útiloftið sé hreint og ómengað, CO₂ styrkur útilofts undir 400 ppm
- virkni loftræsingar sé nálægt 1
- lítil loftmengun sé frá byggingarefnum
- ekki séu nein mengandi efni í rýminu
- loftræsikerfið sé hreint og húsnæði hreinsað reglulega

Sýnidæmi 3.3

Gólfblötur skrifstofunnar sem segir frá í sýnidæmi 3.2 er $A=50 \text{ m}^2$. Starfsmenn eru $n=6$ talsins.

Skv. NKB-reglunum yrði útiloftsmagn eftirfarandi:

$$q_{\text{útiloft}} = n \cdot 3,5 + A \cdot 0,7 \text{ l/s}$$

$$q_{\text{útiloft}} = 6 \cdot 3,5 + 50 \cdot 0,7 \text{ l/s}$$

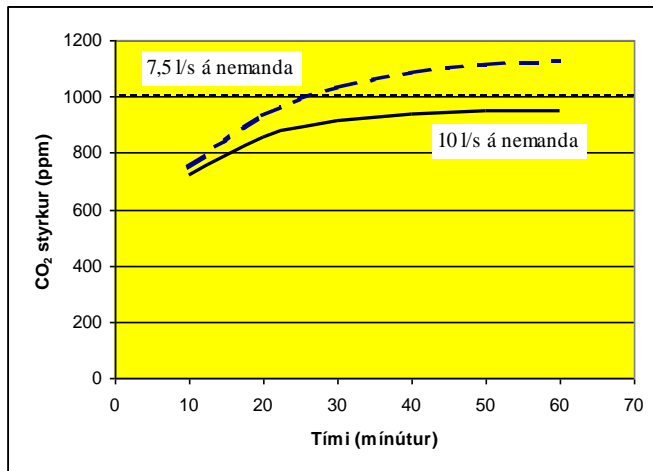
$$q_{\text{útiloft}} = 56 \text{ l/s}$$

Þetta svarar til ríflega 9 l/s á mann.

Sýnidæmi 3.4

Í tveimur jafnstórum kennslustofum eru 40 nemendur, 20 í hvorri, auk kennara. Báðar eru loftræstar með útilofti; önnur fær sem svarar 10 l/s á nemanda en hin aðeins um 7,5 l/s á nemanda. Sýnið hvernig styrkur CO₂ hækkar frá því að nemendur setjast í byrjun kennslustundar ef hver nemandi og kennari gefa frá sér 20 l/klst af CO₂ við útöndun. Virkni loftræsingar er 1,0 og styrkur CO₂ utandyra er 400 ppm.

Notuð er aðferð sem gerir kleift að áætla hækkun efnastyrks í lofti (í þessu tilfelli CO₂) með tíma. Niðurstaðan er sýnd á mynd 3.2: Í kennslustofunni með 7,5 l/s á mann er styrkur CO₂ kominn yfir 1100 ppm í lok kennslustundar, en er innan við 1000 ppm ef loftmagnið er 10,0 l/s á mann.



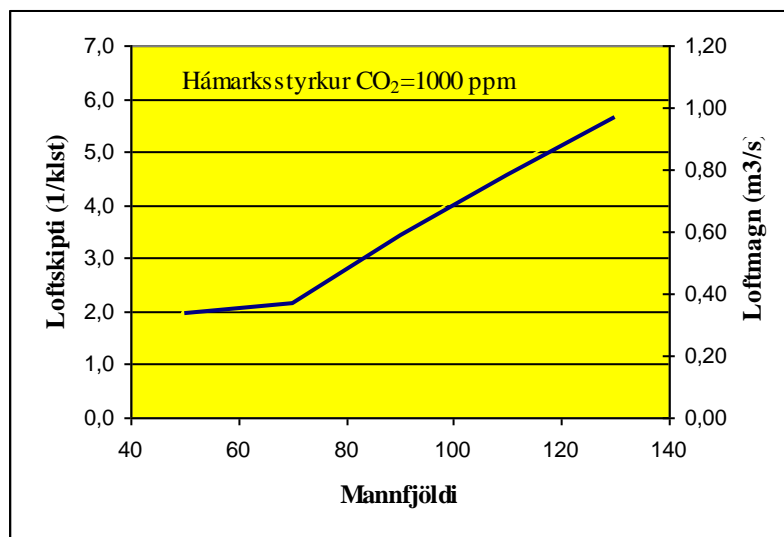
Mynd 3.2 Hækkun á CO₂ styrk í kennslustofu með 20 nemendum frá byrjun kennslustundar

Sýnidæmi 3.5

Fyrirlestrarsalur rúmar 130 manns og loftmagni er stýrt eftir þörfum þannig að CO₂ styrkur fari ekki yfir 1000 ppm. Lágmarksloftskipti eru 2 á klst. sem svarar til 0,33 m³/s (330 l/s). Hve mikið þarf að auka loftmagnið þegar gestum fjölgar í salnum? Miðað er við að útöndun CO₂ sé 20 l/klst. á mann.

Svar:

Þegar 50 gestir eru komnir í salinn er styrkur CO₂ innan við 800 ppm miðað við grunnloftræsinguna og er ekki þörf á að auka innblástur vegna loftgæða fyrr en gestir nálgast töluna 70. Þegar fjölgað hefur í 100 manns er loftþörfin komin í 4 loftskipti og þegar salurinn er fullsetinn þarf hátt í 6 loftskipti, eða 0,97 m³/s (970 l/s). Loftmagn pr. mann er þá um 7,4 l/s.



Mynd 3.3: Loftmagni stýrt eftir CO₂ styrk í fyrirlestrarsal miðað við að hámarksstyrkur verði ekki hærri en 1.000 ppm

Loftmagn ákvarðað út frá kælipörf

Oft þarf að kæla loft innandyra vegna varmaálags frá fólki, lýsingu, tækjum og varma frá sól sem skín inn um glugga. Krafa um innblástur er oft mun hærri vegna kæliparfar en vegna loftgæða og hollustu. Loftmagn vegna kælingar má finna með eftirfarandi jöfnu þegar búið er að áætla samanlagt varmaálag, Q (W):

$$q_{\text{útiloft}} \approx 0,83 * Q / (t_{\text{herb}} - t_{\text{innbl}}) \text{ l/s}$$

Sýnidæmi 3.6

Í 10 m² skrifstofu er lýsing 500 Lux og ein PC- tölva. Varmaálag frá lýsingu er 18 W/m² og tölvan gefur frá sér 120 W. Hve mikill þarf innblástur að vera ef hiti aðloftsins er 14°C og meðalherbergishiti á ekki að fara yfir 22°C?

Varmaálag er:

$$\begin{array}{rcl} \text{Einn maður (sitjandi)} & = & 90 \text{ W} \\ \text{Lýsing } 18 \text{ W/m}^2 \cdot 10 \text{ m}^2 & = & 180 \text{ W} \\ \text{Tölva} & = & \underline{120 \text{ W}} \\ & & 390 \text{ W eða } 39 \text{ W/m}^2 \end{array}$$

Til loftkælingar þarf þá:

$$q_{\text{útiloft}} = 0,83 \cdot 390 / (22 - 14) = 40 \text{ l/s}$$

Ef notuð er orkusparandi lýsing, 7 W/m², verður varmaálag 70 W og kæli loftþörfin minnkar talsvert:

$$q_{\text{útiloft}} = 0,83 \cdot 280 / (22 - 14) = 29 \text{ l/s}$$

Skv. loftgæðakröfum NKB (sjá t.d. sýnidæmi 3.3) er lágmarksloftmagn:

$$q_{\text{útiloft}} = 1 \cdot 3,5 + 10 \cdot 0,7 \text{ l/s} = 10,5 \text{ l/s}$$

Varmaálag frá lýsingu

Dæmi um varmaálag frá lýsingu er sýnt í töflu 3.2.

Staður:	Birta (Lux)	Af (W/m ²)
Skólastofur/dagheimili	300-500	10-17
Skrifstofur	500-800	18-28
Vörugeymslur	300-500	8-15
Verksmiðjur, gróf vinna	300	8-9
Verksmiðjur, fín vinna	500	15-16
Íþróttahús	300-800	10-26
Eldhús/þvottahús	300-500	9-18

Tafla 3.2: Dæmi um varmagjöf á gólfhlöt frá lýsingu (m.v. flúrlampa festa neðan á loft).

Varmagjöfin í töflunni miðast við hefðbundna flúrlampa festa neðan á loft. Mismunandi varmagjöf (W pr. m² gólfs) fer m.a. eftir nýtni lampa og hvernig lýsingunni er beint (minna flatarálag er í stóru rými en litlu við sama birtustig þar sem birta frá mörgum lömpum nýtist saman).

Dæmi:

Skólastofur: jöfn lýsing

Skrifstofur með básum/skilrúmum: meiri lýsing á ákveðna staði.

Ef notaðir eru glólampar er varmagjöfin 3-4 sinnum meiri. Glólampar eru einkum notaðir þar sem nýting er stutt og ekki samfelld og breyta þarf ljósstyrk, ennfremur þar sem ná á sérstökum áhrifum (t.d. í verslunum). Hefðbundnar glóperur og halógenperur tilheyra þessum flokki.

Dæmi:

Fyrirlestrarsalir, fjölnota salir, mötuneyti.

Innfelldir lampar

Ef lampar eru innfelldir í hengiloft fer hluti varmans upp í loftið og hefur ekki áhrif á varmaálag í herberginu. Varmagjöf til herbergis frá lampa í hengilofti minnkar í um 50 til 60% miðað við lampa neðan á lofti, og ef rýmið ofan lofts er notað sem útsogshólf fer þetta hlutfall niður í 40 til 50 % (10). Til eru innfelldir lampar sem tengja má beint við útsog og lækkar þá hlutfall varma sem fer til herbergis niður í 30 til 40% samanborið við lampa sem settir er neðan á loft.

Varmaálag frá tækjum

Dæmi um varmaálag frá ýmsum algengum tækjum eru sýnd í *töflu 3.3*.

Tæki	Varmi (W)
PC tölva	140-200
Faxtæki	100
Kæliskápur	80-150
Sjónvarpstæki	100

Tafla 3.3: Dæmi um varmagjöf frá algengum tækjum.

Loftmagn skv. stöðlum og handbókum

Í stöðlum og handbókum um lofttræsikerfi er settar fram tölur sem hafa skal til viðmiðunar við ákvörðun lágmarksloftmagns í hinum ýmsu rýmum. Dæmi um slíkar lágmarkskröfur eru sýnd í eftirfarandi töflum, sjá *töflur 3.4 og 3.5*.

l/s á mann	l/s á m ²	ppm
25	2,5	
20 ←	2	
15 ←	1,5	
10 ←	1	800 ←
5 ←	0,5	1000 ←
0	0	4000

NKB fyrir reykingasvæði
 DIN 1946
 NKB
 1 olf
 Þreytumörk
 DIN 1946 (skrifstofur)
 Bygg.reglugerð
 DIN 1946, NKB

Tafla 3.4: Kröfur um loftmagn og loftgæði skv. nokkrum evrópskum stöðlum og reglugerðum.

Staður	Bandarískur staðall ASHRAE Std. 62 (2001)		Þýskur staðall DIN 1946 (1994)		Dönsk bygg.reglug. (1995)		Gaute Flatheim (í norska VVS 2002)	
	l/s mann	l/s á m ²	l/s mann	l/s á m ²	l/s mann	l/s á m ²	l/s mann	l/s á m ²
Samkomuhús								
Áhorfendasalur	8		5,6	3,3-6,6	7-15		16	
Skólar								
Kennslustofur	8		8,3	4,2	5	0,4	16	8
Bókasafn	8		5,6	3,3				6
Skrifstofur								
Einmennings	10		11	1,1	15-20		42	4,2
Opið skrifst.rými	10		17	1,7	20			
Fundarherbergi	10		5,6	2,8-5,6	15-30			
Verslanir								
Kjallari og 1. hæð		1,5	5,6	0,8-3,3				
Efri hæðir		1						

Tafla 3.5: Dæmi um lágmarksloftmagn skv. erlendum stöðlum ofl.

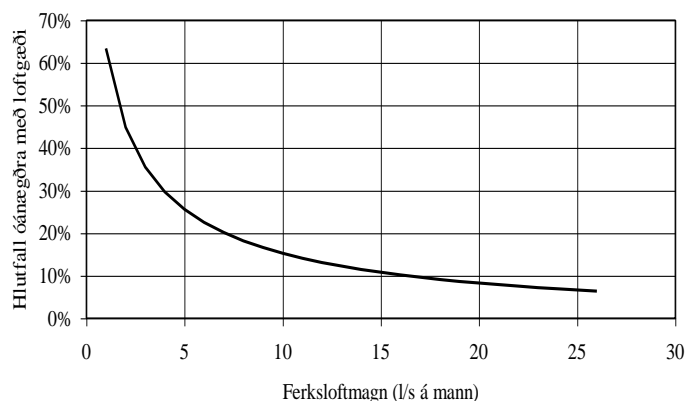
4. Nýjar aðferðir við ákvörðun loftmagns

Eftirfarandi er byggt á tækniskýrslu sem fjallar um nýjar aðferðir við ákvörðun ferskloftmagns til að uppfylla skilgreindar lágmarkskröfur um loftgæði innandyra (4), sjá einnig frumvarp að staðli prENV 1752 (7) og tækniskýrslu CEN CR 1752 (11).

Mat loftgæða - skynmat

Maðurinn skynjar andrúmsloftið umhverfis sig með tvennum hætti, þ.e. með lyktarskyni, sem er í nefgöngunum, og með efnaskyni, sem er í vefjum í nefi og augum. Þannig skynjar maðurinn mörg hundruð þúsund lyktarefni og kemísk efni og getur metið hvort loftið umhverfis hann er ferskt og þægilegt eða „dautt“, þungt og ertandi.

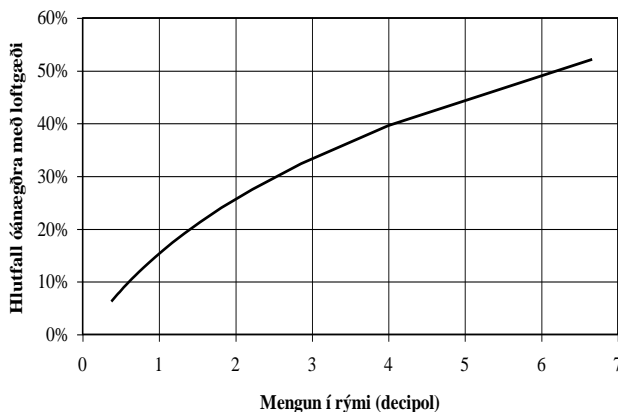
Til þess að búa til mælikvarða á hvort loft í tilteknu rými telst „gott“ eða „vont“ er fólk látið koma inn í tilraunaherbergi, einn og einn í einu, og dæma um gæði loftsins skömmu eftir að inn er komið (skynmat). Í herberginu situr „venjulegt“ fólk og er það helsti mengunarvaldurinn, þ.e. mengunin er líffræðileg, svo sem efnaskipti o.fl. Ef blásið er fersku lofti inn í rýmið til loftræsingar má draga upp feril eins og þann sem sýndur er á mynd 4.1, en hann sýnir hve loftgæðin aukast með aukinni loftræsingu með fersku lofti þegar miðað er við tiltekinn fjölda sitjandi fólks. Y-ásinn sýnir hlutfall óánægðra með loftgæðin, og þegar ferskloftið er aðeins 5 l/s á mann eru 25% þeirra sem inn koma óánægðir með loftið. Ef ferskloftið er aukið í 15 l/s á mann lækkar hlutfall óánægðra í um 10%.



Mynd 4.1: Áhrif loftendunýjunar (ferskloft) á mat á loftgæðum

Hér er miðað við að þeir sem í herberginu sitja séu „venjulegir“ menn, en einn slíkur maður gefur frá sér mengandi efni sem svara til einnar einingar sem kölluð er *olf* (**olfaction** = lyktarskyn), þ.e. mengun frá „staðalmanni“ er 1 *olf*. Einingin á x-ásnum á mynd 4.1 er l/s pr. „staðalmann“, sem þá einnig má tákna sem l/s pr. *olf*, eða (l/s)/*olf*. Til að einfalda mat á loftmengun innandyra má einnig tákna mengun af völdum byggingarefna með einingunni „*olf*“, og þannig má fá samanlagða mengun innandyra af völdum manna og byggingarefna í *olf*-um.

Ef ferskloftmagnið er 10 (l/s)/*olf*, sem er sama og 10 l/s á mann, er einnig talað um „decipol“, eða 1 decipol = 0,1 *olf*/(l/s). Mynd 4.2 sýnir hvernig óánægja með loftgæðin eykst þegar sitjandi fólki í tilteknu rými fjölgar án þess að innblástur fersklofts sé aukinn. Hærri tala á x-ás tákna að minna loft er til ráðstöfunar fyrir hvern mann, eða m.ö.o. meiri lífræn mengun (efnaskipti ofl.) miðað við fast loftmagn.



Mynd 4.2: Áhrif mengunar frá sitjandi fólki á mat á loftgæðum

Flokkun loftgæða

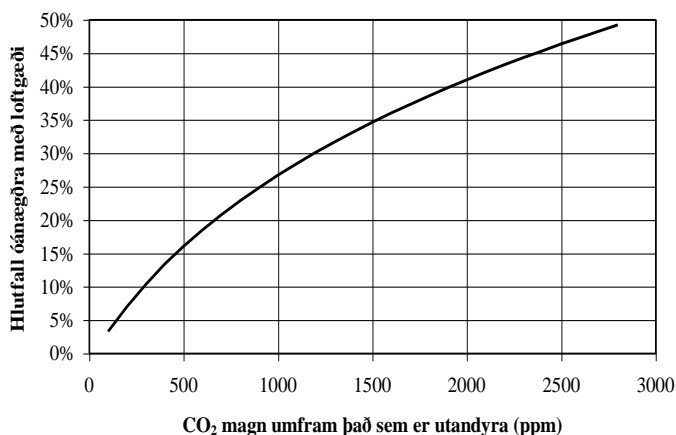
Til að auðvelda skilgreiningu á „góðu“ og „vöndu“ lofti hafa verið búnir til þrjú flokkar, A, B og C. Samkvæmt flokki „A“ eru aðeins 10% manna óánægð með loftgæðin og er það því „besti“ flokkurinn. Samkvæmt flokki „C“ eru 30% óánægð, þannig að ef valið er að miða við þann flokk er krafan um fersklöftmagn aðeins um fjórðungur af því sem krafist er skv. flokki „A“ en þá má líka búast við kvörtun frá þriðja hverjum manni. *Tafla 4.1* sýnir flokkana þrjá og loftmagn á mann, eða (l/s)/olf. Algengt er að sjá í loftræsihandbókum að loftmagn á mann skuli vera um 8 til 10 l/s, sem er rétt ofan við B-flokk (nær A-flokki).

Loftgæðaflokkun	Loftgæði - skynmat		Nauðsynlegt loftmagn
	% óánægðra	decipol	(l/s)/olf
A	10	0,5	16
B	20	1,4	7
C	30	2,5	4

Tafla 4.1: Flokkun loftgæða skv. skynmati

Koltvísýringur, CO₂

Maðurinn gefur frá sér koltvísýring í hlutfalli við hraða efnaskiptanna, eða áreynslu. CO₂ er stundum notað sem mælikvarði á alla líffræðilega mengun frá mönnum. CO₂ mælingar hafa verið notaðar til að stjórna innblæstri fersklofts í loftræsikerfum, einkum á stöðum þar sem margt manna er samankomið og fjöldinn breytist mikið á skömmum tíma, svo sem í fyrirlestrarsölum og á öðrum samkomustöðum. CO₂ mæling getur verið góður mælikvarði á mengun frá sitjandi fólki, en lélegur mælikvarði á loftgæðin eins og fólk skynjar þau, því að CO₂ skynjari getur ekki greint mengun frá efnum sem ekki gefa frá sér koltvísýring. Mælingar hafa sýnt að óánægja með loftgæði eykst með auknu magni CO₂ í lofti eins og mynd 4.3 gefur til kynna, en mælingarnar voru gerðar í rými þar sem margt sitjandi fólk var saman komið. CO₂ í útilofti er um 350 ppm (2).



Mynd 4.3: Áhrif koltvísýrings á loftgæði innandyra.

Mengunarálag

Eins og áður er sagt er loftmengun í húsum oftast frá fólki og er mengunin mismikil eftir því hvað fólkið aðhefst. Auðvitað er mengunin verst þegar fólk reykir, en einnig getur líffræðileg mengun verið mikil við snörp átök eða hreyfingu, t.d. við íþróttaiðkun.

Mengun frá byggingarefnum getur einnig verið talsverð, en mismunandi eftir gerð og ástandi húsa. Mælingar hafa verið gerðar í ýmsum byggingum erlendis og eru sýndar niðurstöður nokkurra þessara mælinga í töflu 4.2.

	Loftgæði - skynmat	
	olf/(m ² gólfs)	
	Meðaltal	Bil
<i>Hefðbundin hús</i>		
Skrifstofur	0,3	0,02-0,95
Kennslustofur	0,3	0,12-0,54
Barnaheimili	0,4	0,2-0,74
Samkomusalir	0,5	0,13-1,32
<i>Lítið mengandi hús</i>		
Markmið:	0,1	0,05-0,1

Tafla 4.2: Loftmengun í byggingum af völdum byggingarefna, innréttinga, loftræsikerfis o.fl.

Í töflu 4.3 eru viðmiðunartölur um loftmengun og efnaskipti manna við mismunandi athafnir.

	Loftmengun	Koltvísýringur	Kolsýrlingur	Vatnsgufa
	olf/mann	CO ₂ l/klst. á mann	CO l/klst. á mann	(raki) g/klst. á mann
<i>Sitjandi</i>				
0% reykja	1	19		50
20% reykja	2	19	0,011	50
40% reykja	3	19	0,021	50
100% reykja	6	19	0,053	50
<i>Hreyfing</i>				
Hæg, 3 met ¹⁾	4	50		200
Meðal-, 6 met	10	100		430
Mikil, íþróttir, 10 met	20	170		750
<i>Börn</i>				
Barnaheimili, 3-6 ára	1,2	18		90
Skólar, 14-16 ára	1,3	19		50

1) 1 met er efnaskiptahraði sitjandi manns (1 met svarar til 58 W/m² hörunds, eða u.p.b.100 W fyrir meðalman).

Tafla 4.3: Mengunarálag frá fólki við mismunandi athafnir.

Það fer eftir byggingum hve mikill gólfflötur er ætlaður á mann og í töflu 4.4 eru tölur sem nota má til viðmiðunar þegar mengunarálag er metið.

	Fjöldi pr. m ² gólfplatar	Gólfflötur (m ²) á mann
Skrifstofur	0,07	14
Fundarsalir	0,5	2
Samkomusalir, leikhús, fyrirlestrarsalir	1,5	0,7
Kennslustofur	0,5	2
Barnaheimili	0,5	2
Heimili	0,05	20

Tafla 4.4: Dæmi um fjölda fólks á gólfflöt, eða gólfflöt á mann, í byggingum.

	Loftgæði skv. skynmati decipol	Koltvísýringur CO ₂ mg/m ³	Kolsýrlingur CO mg/m ³	Köfnunarefnis- tvíildi NO ₂ µg/m ³	Brennisteins- tvíildi SO ₂ µg/m ³
Við sjó	0	680	0-0,2	2	1
Í borg, "gott" loft	< 0,1	700	1-2	5-20	5-20
Í borg, "vont" loft	> 0,5	700-800	4-6	50-80	50-100

Tafla 4.5: Loftgæði andrúmslofts (700 mg/m³ CO₂ svara til um 390 ppm).

Virkni loftræsingar

Loftgæði geta verið mismunandi innan tiltekins loftræsts rýmis, en mestu máli skiptir að loftið sem maður andar að sér, þ.e. í höfuðhæð, sé gott. Ójöfn loftgæði í rýminu geta haft áhrif á kröfur til loftræsikerfisins. Tjá má þessar kröfur með því að tilgreina *virkni* loftræsikerfisins, ε , en hún er skilgreind sem hlutfallið á milli styrks mengunarefna í frálofti (útsogi), C_u , og í höfuðhæð, C_h :

$$\varepsilon = C_u / C_h$$

Virkni loftræsingarinnar fer eftir loftdreifingunni og staðsetningu mengunarvaldanna í rýminu. Hún gæti því verið mismunandi fyrir mismunandi mengunarefni. Ef loft og mengunarefni eru fullblönduð er virknin $\varepsilon = 1$. Ef loftið er betra í höfuðhæð en í frálofti

Er virknin >1 , og æskilegum loftgæðum í höfuðhæð má ná með minna fersklofti. Ef loftið er lakara í höfuðhæð en í frálofti er virknin <1 , og þarf þá að auka innblásturinn á loftinu.

Ef meta á virkni loftræsingar er oft gagnlegt að skipta rýminu í tvo hluta eða svæði. Annars vegar í aðloftshlutann (innblástur) og hins vegar það sem eftir er af herberginu. Þegar lofti er blásið inn þannig að það blandast loftinu sem fyrir er (blöndunar- loftræsing, oftast innblástur við loft), er aðloftshlutinn fyrir ofan höfuðhæð. Bestur árangur fæst þegar blöndunin er það fullkominn að styrkur mengunarefna er eins alls staðar í rýminu. Í loftræsingu með lághraðadreifurum (venjulega nálægt gólfi) eru aðloftssvæði og íverusvæði hið sama og fráloftssvæðið fyrir ofan. Bestur árangur fæst þegar engin eða lítil blöndun er á milli svæðanna.

Virknir loftræsingar er háð staðsetningu og eiginleikum loftdreifara og mengunarvalda. Hún er ennfremur háð lofthita og loftmagni og hraða aðlofts. Virknina má reikna út samkvæmt tölfræðilegri straumfræði eða mæla hana með tilraunum. Í *töflu 1.3* í 1. kafla er yfirlit um virkni loftræsikerfa við mismunandi skilyrði, en þar er gert ráð fyrir að mengunarefni séu jafndreifð um rýmið.

Mat á ferskloftspörf

Reikna má út ferskloftspörf loftræsikerfis út frá tveimur forsendum; annars vegar þegar tekið er mið af hollustusjónarmiðum og hins vegar þegar tekið er mið af loftgæðum og þægindum.

Loftmagn m.v. hollustu má meta skv. eftirfarandi líkingu (hollustujöfnunni):

$$Q_h = G/\varepsilon(C_i - C_o)$$

Þar sem Q_h = loftmagn eða loftstreymi vegna hollustu (l/s).

G = mengunarálag efna og efnasambanda ($\mu\text{g/l}$).

C_i = leyfilegur styrkur efnasambanda ($\mu\text{g/l}$).

C_o = styrkur efnasambanda við loftinntak utanhúss ($\mu\text{g/l}$).

ε = virkni loftræsingar.

Loflmagn sem þarf vegna þæginda má reikna skv. eftirfarandi líkingu (þægindajöfnunni):

$$Q_p = 10 \cdot G^* / \varepsilon (C_i - C_o)$$

Þar sem Q_p = Loflmagn eða loftstreymi vegna þæginda (l/s).
 G^* = Mengunarálag skv. skynmati (olf).
 C_i^* = mengunarstyrkur innandryra skv. skynmati (decipol).
 C_o^* = mengunarstyrkur við loftinntak utanhúss (decipol).
 ε = virkni loftræsingar.

Aðferðir við mat á loftmagni

Að öllu jöfnu er loftmagn ákvarðað út frá loftþægindum. Þess vegna er það venjan að reikna loftmagnið fyrst út frá þægindajöfnunni, Q_p .

Fyrst þarf að skilgreina æskileg loftgæði innandryra og er þá gjarnan miðað við flokkana þrjá sem áður voru nefndir og eru skýrðir í töflu 4.1. Þá þarf einnig að meta loftgæði utandyra, sjá töflu 4.5 til viðmiðunar.

Næsta skref er að meta mengunarálag skv. skynmati. Mat á mengun frá fólki miðað við mismunandi athafnir þess er að finna í töflu 4.3. Í töflu 4.4 eru gefnar viðmiðunartölur um fjölda fólks í mismunandi byggingum. Mengunarálag vegna byggingarefna, innréttinga o.þ.h. er svo að finna í töflu 4.2. Heildarmengun, í einingunni olf, er fengin með því að leggja saman mengunarálag frá fólki og húsi. Upplýsingar um virkni loftræsingarinnar, sem einnig hefur áhrif á loftmagnið, eru í töflu 4.6.

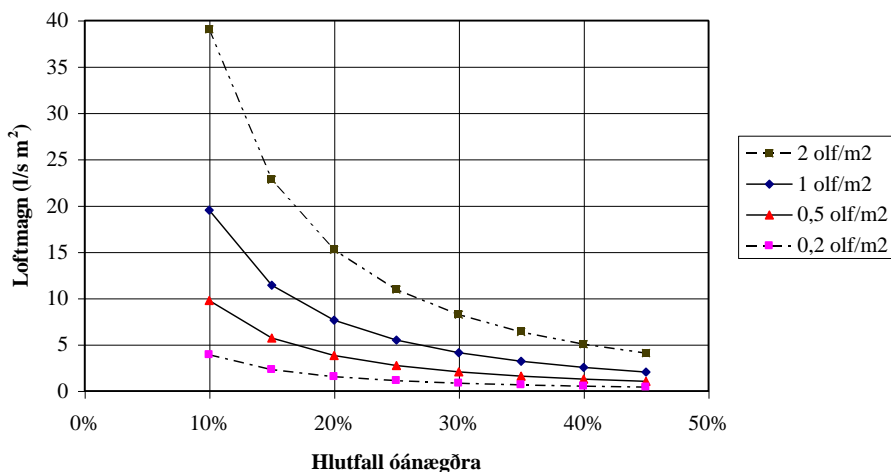
Loftmagnið er síðan reiknað eftir þægindajöfnunni, Q_p .

Til að kanna hvort hættu sé á heilsuspillandi lofti þarf einnig að meta loftmagn út frá heilsujöfnunni, Q_h . Er þá farið eins að og áður, en mikilvægt er að gera sér grein fyrir styrk mengunarefnanna og hæsta leyfilega styrk þeirra. Slíkar tölur er að finna í töflum, m.a. frá Alþjóðaheilbrigðismálastofnuninni, WHO.

Í þægindajöfnunni $Q_p = 10 \times G / \varepsilon (C_i - C_o)$ kemur fyrir stærðin C_i sem táknar mengunarstyrk innandryra, eða hve mörg olf eru á hvern l/s fersks lofts sem blásið er inn í rýmið. Jafna ferilsins í mynd 4.2, þar sem lýst er sambandi á milli C_i og hlutfalls óánægðra með loftgæðin, PD, er

$$C_i = 112 * (\ln(PD) - 5,98)^{-4}$$

Með því að sameina þessar jöfnur má fá jöfnu ferils sem lýsir sambandi á milli krafna um loftgæði (hlutfall óánægðra) og loftmagns. Mynd 4.4 sýnir þannig nauðsynlegt loftmagn miðað við mismikið mengunarálag innandryra, eftir kröfum um loftgæði. Neðsti ferillinn er fyrir hús þar sem mengunarálag er lítið, en sá efsti ef mengun innandryra er í hærra lagi.



Mynd 4.4: Ferskloftmagn miðað við mismunandi kröfur um loftgæði og mismikið mengunarálag.

Á mynd 4.4 sést að til að uppfylla strangar kröfur um loftgæði (10% óánægðir) þarf að auka innblástur fersklofts verulega, einkum þegar mengunarálag er mikið. Því er full ástæða til að halda mengun innandryra í lágmarki, t.d. með því að velja byggingarefni sem menga lítið, halda innréttingum og loftstokkum ávallt hreinum og takmarka reykingar. Þannig má ná fram talsverðum sparnaði í loftræsingu.

Sýnidæmi um ákvörðun loftþarfar með olf-aðferð

Sýnidæmi 4.1: **Eldri skrifstofubygging** er í borg þar sem loft er hreint, $C_o = 0$, og efnastyrkur er lágur og hefur ekki áhrif á heilsu manna. Óskað er eftir að loftgæði innandyra séu í samræmi við C-flokk, sem svarar til að 30% séu óánægðir og $C_i = 2,5$ decipol (sjá töflu 4.1). Reykingar eru leyfðar og er gert ráð fyrir að um 40% reyki, sem svarar til 3 olf/mann, sbr. töflu 4.3. Fólksfjöldi pr. gólfhlöt er 0,07 menn/m² gólfs, skv. töflu 4.4. Hefðbundin efni eru notuð í byggingunni, þ.e. mengunarálag byggingarefna er 0,3 olf/m², tafla 4.2. Notaðir eru lággraðadreifarar með loftræsivirkni 1,3 skv. töflu 4.6.

$$\begin{aligned} \text{Fólk} & 3 * 0,07 & = & 0,2 \text{ olf/m}^2 \\ \text{Bygging} & & = & \frac{0,3 \text{ olf/m}^2}{1,3} \\ \text{Heildarmengunarálag} & & = & 0,5 \text{ olf/m}^2 \end{aligned}$$

Þægindajafnan:

$$Q_p = 10 * 0,5 / 1,3 / (2,5 - 0) = 1,5 \text{ l/s(m}^2 \text{ gólfs)}$$

Vegna reykinganna er hætta á ertingu í augum. CO sem myndast við reykingar er 0,021 l/klst. (á mann) skv. töflu 3 og mörk ertingar eru 2 ppm. Til að koma í veg fyrir ertingu vegna tóbaksreyksins þarf ferskloft eins og hér segir:

Hollustujafnan:

$$Q_n = 0,07 * 0,021 / 1,3 / (3600 * 2E-6) = 0,2 \text{ l/s(m}^2 \text{ gólfs)}$$

Þægindakrafan er mun hærrí, þannig að $Q_p = 1,5 \text{ l/s(m}^2 \text{ gólfs)}$ er valið sem hönnunarloftmagn. Þetta svarar til ríflega 20 l/s á mann.

Sýnidæmi 4.2. Skoðum sams konar byggingu þar sem þess hefur verið gætt að **velja byggingarefni sem mengar lítið**, þ.e. 0,1 olf/m², og reykingar eru ekki leyfðar. Mengunarálagið er því mun minna en áður, eða

$$\begin{aligned} \text{Fólk} & 1 * 0,07 & = & 0,07 \text{ olf/m}^2 \\ \text{Bygging} & & = & \frac{0,1 \text{ olf/m}^2}{1,3} \\ \text{Heildarmengunarálag} & = & & 0,17 \text{ olf/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Miðað við C flokk eins og áður er} & Q_b & = & 0,5 \text{ l/s(m}^2 \text{ gólfs)}, \\ \text{miðað við B flokk (20 \% óánægðir)} & Q_b & = & 0,9 \text{ l/s(m}^2 \text{ gólfs)}, \\ \text{og A flokk (10\% óánægðir)} & Q_b & = & 2,2 \text{ l/s(m}^2 \text{ gólfs)} \end{aligned}$$

Sýnidæmi 1c. **Nýr skóli** er í borg þar sem loft er fremur óhreint, eða $C_o = 0,3$ decipol, og efnastyrkur getur valdið heilsuskaða. Við slík skilyrði ætti að forðast reykingar innandyra. Óskað er eftir að loftgæði innandyra séu í samræmi við C-flokk, sem svarar til að 30% séu óánægðir og $C_i = 2,5$ decipol (sjá töflu 4.1). Reykingar eru ekki leyfðar, þ.e. 1,3 olf/mann, sbr. töflu 4.3. Fólksfjöldi pr. gólfhlöt er 0,5 menn/m² gólfs skv. töflu 4.4. Efni sem menga lítið eru notuð í byggingunni, þ.e. mengunarálag byggingarefna er 0,1 olf/m², tafla 4.2. Loftræsivirkni er 1.

$$\begin{aligned} \text{Fólk} & 1,3 * 0,5 & = & 0,65 \text{ olf/m}^2 \\ \text{Bygging} & & = & \frac{0,1 \text{ olf/m}^2}{1,3} \\ \text{Heildarmengunarálag} & = & & 0,75 \text{ olf/m}^2 \end{aligned}$$

Þægindajafnan:

$$Q_p = 10 * 0,75 / 1,0 / (2,5 - 0,3) = 3,4 \text{ l/s(m}^2 \text{ gólfs)}$$

Notaðar eru spónaplötur í byggingunni og þarf að gaumgæfa útgufun formaldehýðs frá þeim. Yfirborðsflötur spónaplatnanna er $3 \text{ m}^2/\text{m}^2$ (gólf). Valið er að nota spónaplötur sem menga lítið, eða minna en $40 \text{ } \mu\text{g}/\text{klst. m}^2$. Efnamengunin er því $3 \times 40 / 3600 = 0,033 \text{ } \mu\text{g}/\text{s m}^2$ (gólfs). Alþjóðaheilbrigðismálastofnunin (WHO) miðar við að efnaálag á almenning sé ekki meira en $100 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ lofts í 30 mín, og aðeins $10 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ fyrir mjög viðkvæmt fólk. Skv. því þarf eftirfarandi loftmagn út frá hollustusjónarmiðum:

Hollustujafnan:

$$\begin{aligned} \text{Almennt:} \quad Q_n &= 0,033 * 1000 / 1,0 / 100 &= & 0,33 \text{ l/s(m}^2 \text{ gólfs)} \\ \text{Viðkvæmir:} \quad Q_n &= 0,033 * 1000 / 1,0 / 10 &= & 3,3 \text{ l/s(m}^2 \text{ gólfs)} \end{aligned}$$

Þægindajafnan gefur hæstu útkomuna, og er því miðað við loftmagn skv. henni, þ.e. $3,4 \text{ l/s(m}^2 \text{ gólfs)}$. Algeng stærð kennslustofu er 55 m^2 og þarf því um 190 l/s fersklofts til að fullnægja loftræsikröfum m.v. flokk C.

Aðrar viðmiðunarreglur um loftgæði innandryra

Sem dæmi um aðra viðmiðunarflokka en þá sem áður hefur verið lýst má nefna AQ1 og AQ2. Alþjóðaheilbrigðismálastofnunin (WHO) hefur gefið út viðmiðunartölur um hámarksmengunarstyrk í „Air Quality Guidelines for Europe“ og „Indoor Air Quality, 1989“.

Mælt er með að flokka loftgæði innandryra skv. AQ1 og AQ2 á eftirfarandi hátt (4):

	AQ1	AQ2
Íbúðir	(x)	x
Barnaheimili	x	-
Skrifstofur	x	(x)
Kennslustofur	x	(x)
Sjúkrahús	x	-
Verslanir	x	x
Iðnaðarhúsnæði	x	x
x	notað að jafnaði	
(x)	má nota	
-	má ekki nota	

Ef ekki er vitað fullkomlega um útgufun frá byggingarefnum má nota eftirfarandi jöfnu til að ákvarða nauðsynlegt loftmagn:

$$q_1/A = K_1 * (p/n + m) \quad (\text{l/s m}^2)$$

$K_1 = 16$ fyrir AQ1 og 7 fyrir AQ2 (sbr. A-flokkur og B-flokkur hér að framan) ^{*)}

$n =$ gólfplatarmál pr. mann (m^2/mann)

$p =$ stuðull fyrir reykningar.

- $p = 1$ enginn reykingamaður
 $p = 2$ 20% reykingamenn (reykja ekki í sal)
 $p = 3$ 40% reykingamenn (reykja ekki í sal)
 $p = 6$ allir reykingamenn (reykja ekki í sal)

$m =$ efnisstuðull $m = 0,05$ lítið mengandi byggingarefni (MEC-A)
 $m = 0,3$ meðalmengandi byggingarefni (MEC-B)
 $m = 0,6$ mikið mengandi byggingarefni (MEC-C)

¹⁾ K_1 stuðullinn er sambærilegur við liðinn $10/(C_i - C_o)$ í þægindajöfnunni.

AQ jafnan tekur ekki tillit til virkni loftræsingarinnar eða ástands útilofts. Ef $C_o = 0$, er liðurinn $10/1,4 = 7,1$ fyrir flokk B og $10/0,5 = 20$ fyrir flokk A.

MEC-flokkarnir eru s.k. “material emission class”:

- MEC-AEfni sem gefa frá sér lítið af efnagufum, þ.e. $< 40 \mu\text{g}/\text{h m}^2$
 Allur raki skal þurrkaður upp
 Festa skal samskeyti saman með skrúfum eða nöglum, ekki líma
 Þéttingar eru með listum en ekki kíttri
 Forðast skal að nota spartl, lím o.þ.h.
 MEC-BEfni sem láta frá sér efnagufur $< 100 \mu\text{g}/\text{h m}^2$ við 20°C og
 50% rakastig
 Raki skal þurrkaður upp
 Líma, spartl og kíttri skal nota sparlega
 MEC-C Efni sem láta frá sér mikið af efnagufum, að meðaltali $450 \mu\text{g}/\text{h m}^2$ við 20°C og 50% rakastig

Sýnidæmi 4.3:

Skrifstofan í dæmi 1a, m.v. AQ2 (strangari krafa en C-flokkur, sbr. dæmi 1a)
 $q/A = 7 * (3/(1/0,07) + 0,3) = 3,6 \text{ l/s m}^2$

Þessi jafna tekur ekki tillit til virkni loftræsingarinnar, en hún var 1,3 í dæmi 1a.

Dæmi 2b:

Skrifstofan í dæmi 1b

Flokkur AQ2 (svipar til flokks B), nota $m = 0,1$
 $q/A = 7 * (1/(1/0,07) + 0,1) = 1,2 \text{ l/s m}^2$
 eða $= 0,9 \text{ l/s m}^2$ m.v. virkni = 1,3

Flokkur AQ1 (svipar til flokks A)
 $q/A = 16 * (1/(1/0,07) + 0,1) = 2,7 \text{ l/s m}^2$
 eða $= 2,1 \text{ l/s m}^2$ m.v. virkni = 1,3

Sýnidæmi 4.4:

Í 30 m^2 fyrirlestrasal, sem tekur 20 manns, eru byggingarefni í meðalflokki, þ.e. MEC-B. Reiknað er með að 40% viðstaddra séu reykingamenn. Valið er að miða við loftgæði AQ2. Loftræsikerfið nýtir fráloft að hluta (60%) með samblöndun. Finnið ferskloftspörfina og lágmarksinnblástur til að ná þeim loftgæðum sem óskað er eftir:

Skv AQ2-jöfnunni:

$$q/A = 7 * (3/(30/20) + 0,3) = 16,1 \text{ l/s m}^2,$$

eða 483 l/s alls.

Nauðsynlegt innblástursloft er $483/0,6 = 805 \text{ l/s}$.

Skv þægindajöfnunni (flokkur B):

$$\begin{aligned} \text{Fólk } 3 * (20/30) &= 2 \text{ olf/ m}^2 \\ \text{Bygging} &= \frac{0,3 \text{ olf/ m}^2}{2,3} \\ \text{Heildarmengunarálag} &= 2,3 \text{ olf/ m}^2 \end{aligned}$$

$$Q_p = 10 * 2,3/1,0/(1,4 - 0) = 16,4 \text{ l/s(m}^2 \text{ gólfs)},$$

eða 492 l/s alls.

Ef enginn reykingamaður væri í salnum:

Skv AQ2-jöfnunni:

$$q/A = 7 * (1/(30/20) + 0,3) = 8 \text{ l/s m}^2$$

Skv þægindajöfnunni (flokkur B):

$$\begin{aligned} \text{Fólk } 1 * (20/30) &= 0,7 \text{ olf/ m}^2 \\ \text{Bygging} &= \frac{0,3 \text{ olf/ m}^2}{1,0} \\ \text{Heildarmengunarálag} &= 1,0 \text{ olf/ m}^2 \end{aligned}$$

$$Q_p = 10 * 1,0/1,0/(1,4 - 0) = 7 \text{ l/s(m}^2 \text{ gólfs)}$$

5. Ástandsþreyting lofts – hitun, kæling og raki

Mollier línurit

Mollier línurit sýnir tengslin á milli hita ($^{\circ}\text{C}$), rakastigs (%RH), algilds raka (kg vatn í kg þurrs lofts), vermis (kJ/kg) og hlut- eða mettnarþrýstings (kPa) fyrir loft við 1 bar, þ.e. 101,35 kPa þrýsting.

Skoðum eftirfarandi dæmi, sjá punkt **A** á Mollier línuriti á mynd 5.1:

Hiti þurrs lofts (þurrrhiti) er lesinn af y-ásnum $t_{\text{þurr}}=20^{\circ}\text{C}$ og svokallaður vothiti er fundinn með því að fylgja skálínu niður á mettnarferilinn, $t_{\text{vot}}=15^{\circ}\text{C}$. Daggarhiti er fundinn með því að draga lóðrétta línu niður á mettnarferilinn og lesa hitann af y-ásnum, $t_{\text{dögg}} = 12^{\circ}\text{C}$.

Mettunarþrýstingur við 20°C fæst með því að draga lárétta línu að mettnarferlinum og lesa þrýstinginn af ská-ás, $p_{\text{mett}} = 2,3 \text{ kPa}$. Hlutþrýstingur raka loftsins (loftið ekki mettað) er fundinn með því að fylgja lóðréttri línu niður á ská-ásinn, $p_{\text{hlut}} = 1,38 \text{ kPa}$.

Rakastigið, eða mettnarstigið, er lesið af boguferlum út frá mettnarlínunni; í þessu dæmi er **RH = 60%**. Algildur raki er massahlutfall vatnsgufu í þurru lofti, eða x kg vatn í 1 kg af þurru lofti, og er lesinn af lárétta x-ásnum, **$x = 0,0087 \text{ kg/kg þurrt loft}$** .

Varmainnihald loftsins eða vermi (e. enthalpy), er lesið af skákvarða, **$h = 42 \text{ kJ/kg}$** .

Sýnidæmi 5.1

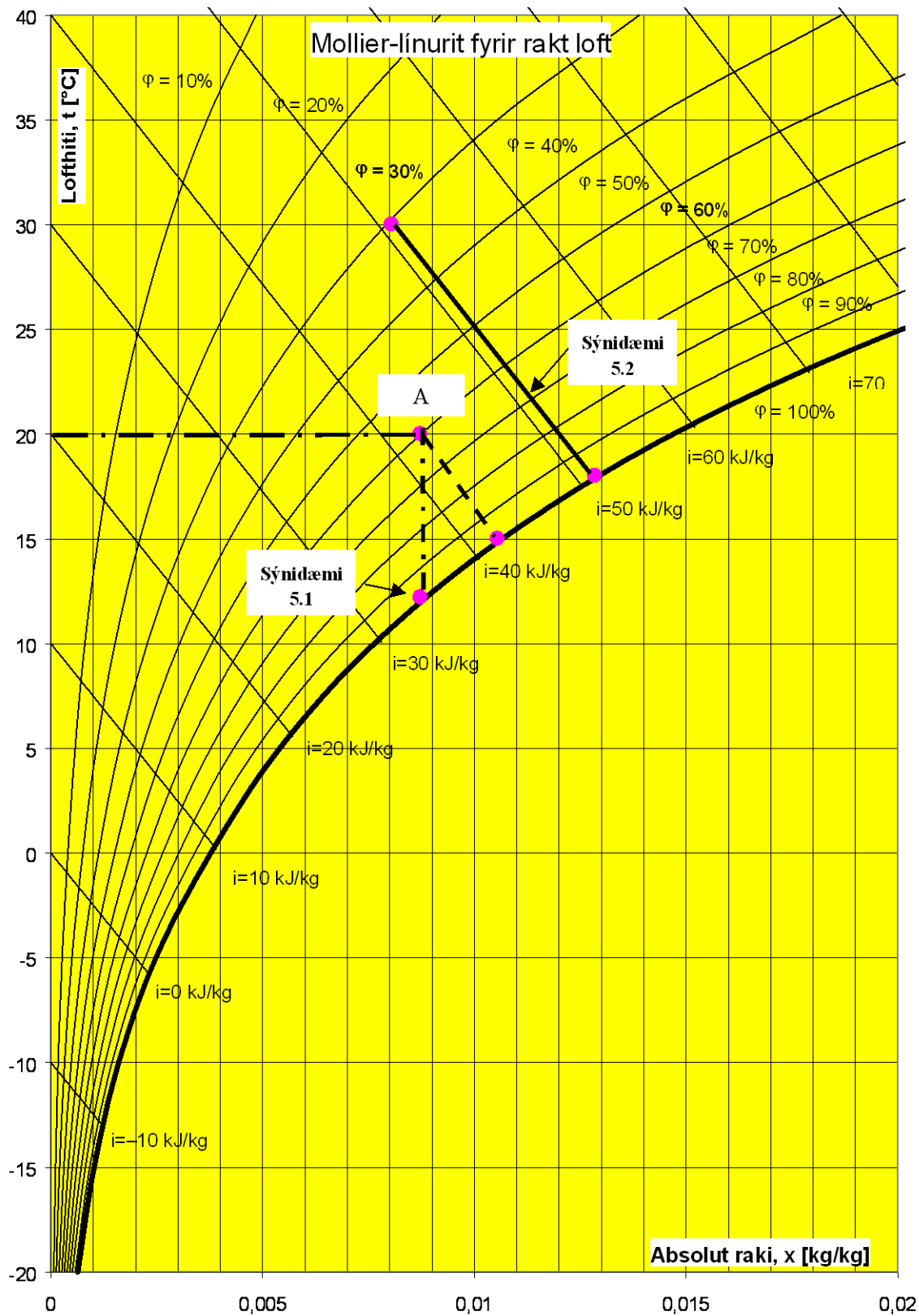
Á krá nokkurri er bjórin 12°C þegar hann kemur úr krana í glas. Í kránni er 20°C hiti og á glasinu myndast dögg þegar raki í lofinu þéttist utan á því. Finnið með aðstoð Mollier línurits hver loftrakinn er á kránni.

Daggarhitinn er 12°C . Dregin er lína frá mettnarlínu við 12°C lóðrét upp þar til hún sker hitalínuna við 20°C . Í skurðpunktinum sést að rakastigið er 60%.

Sýnidæmi 5.2

Ferðamaður í S-Evrópu kaupir sér bjór á götuveitingahúsi. Hlýtt er í veðri, lofthiti 30°C og rakastig 30%. Áður en hann drekkur bjórinn þarf hann að víkja sér frá skamma stund og bjórinn hitnar á meðan í sólskininu. Bjórinn er ólystugur þegar hann kemur til baka og hann ákveður að kæla bjórinn með því að væta handklæði og vefja því utan um glasið og láta þannig uppgufun vatnsins sjá um kælinguna. Hve mikið getur bjórinn kólnað með þessari einföldu aðferð?

Vatnið í handklæðinu gufar upp og notar til þess varma úr glasinu (kælir bjórin). Mestu kælingu sem hægt er að ná með þessum hætti í lofti sem er 30°C heitt og rakastigið 30% má finna með því að fylgja skálínu jafnvermis á Mollier línuriti frá punktinum 30°C og 30% niður að mettunarlínu og lesa hitann 18°C af hitakvarðanum (y-ásnum). Með þessari kæliaðferð er sem sé hægt að kæla bjórin niður í 18°C. E.t.v. væri betra að fá sér nýjan?



Mynd 5.1: Mollier línurit fyrir rakt loft.

Blöndun lofta

Þegar tveimur loftstraumum er blandað saman, t.d. innlofti og útilofti, er dregin bein lína á milli ástandspunktanna (hiti og rakastig) á Mollier línuritinu. Ástandspunktur blöndunnar skiptir línunni skv. massahlutföllum (kg/s) loftstraumanna. Ef hlutfallið er 60% útiloft (punktur 1) og 40% innloft (punktur 2) er línunni skipt í sömu hlutföllum (punktur 3) þannig að 6 hlutar eru útiloftsmegin og 4 hlutar innloftsmegin, sjá mynd 5.2.

Upphitun og kæling lofta

Upphitun

Upphitun lofta í hitaflæti (elementi) er sýnd sem bein lóðrétt lína á Mollier ritinu, lína 3 til 4 á mynd 5.2. Engin breyting verður á rakainnihaldi (algildum raka x).

Afköst hitaflatar má finna með eftirfarandi jöfnu:

$$Q = \rho * q * c_p * (t_2 - t_{úti})$$

Fyrir loft við u.þ.b. 20°C er eðlismassi $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ og eðlisvarmi $c_p = 1,005 \text{ kJ/kg}$.

Jöfnuna má því einfalda:

$$Q \approx 1,2 * q * (t_2 - t_{úti}) \text{ W}$$

þar sem q táknar loftstreymið í l/s og t lofthita fyrir og eftir hitaflötinn.

Sýnidæmi 5.3

Finnið varmaafköst forhitaflatar sem hitar útiloft frá -15°C upp í 15°C í loftræsisamstæðu sem blæs 2000 l/s .

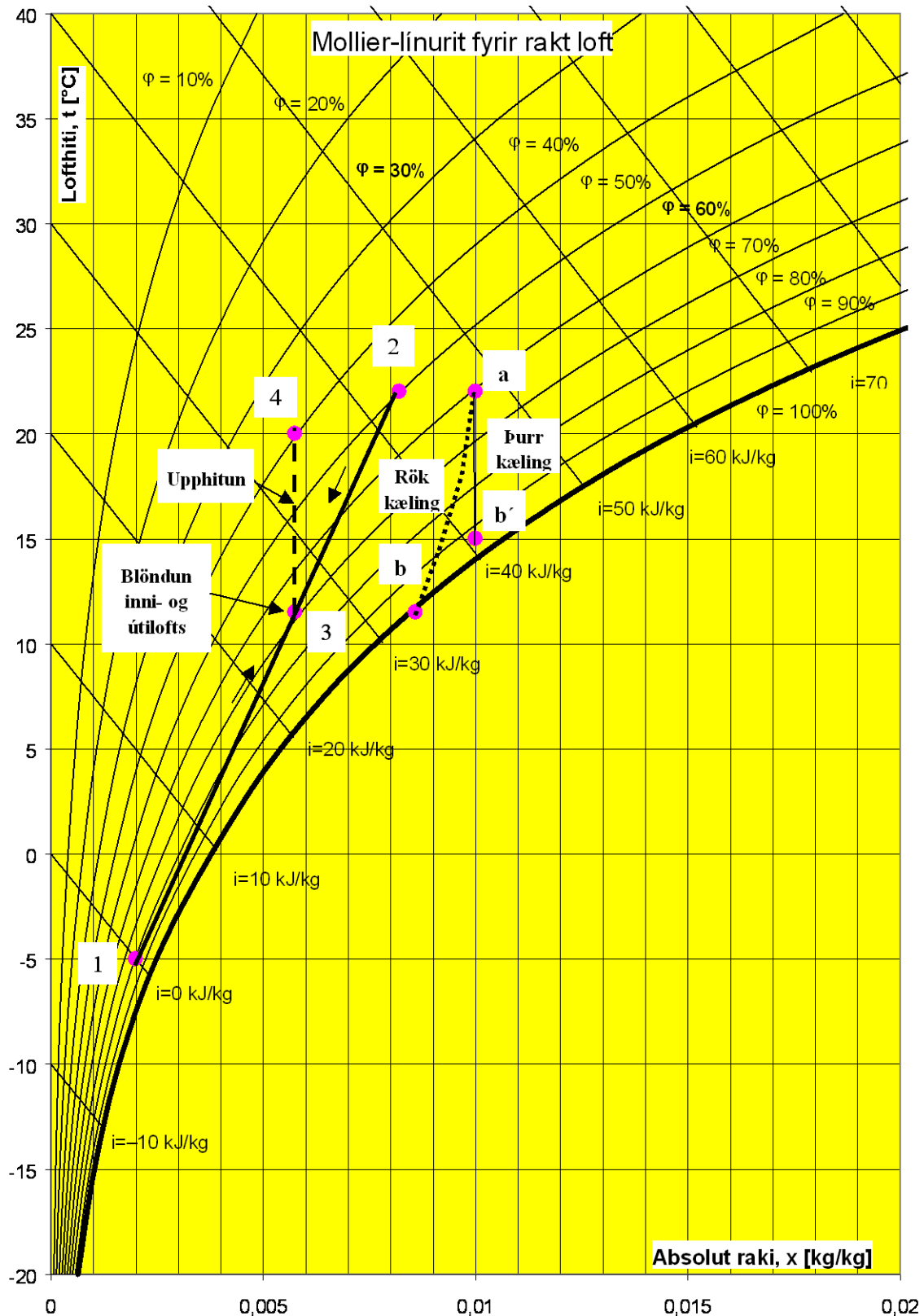
$$Q \approx 1,2 * q * (t_2 - t_{úti}) \text{ W}$$

$$= 1,2 * 2000 * (15 - (-15)) = 72000 \text{ W, eða } 72 \text{ kW.}$$

Kæling

Ef meðalyfirborðshiti kæliflatar er hærri en daggarhiti loftsins að kælifletinum verður kælingin þurr, þ.e. raki í loftinu þéttist ekki. Þurr kæling fylgir beinni lóðréttri línu, **a** til **b'**, sjá mynd 5.2.

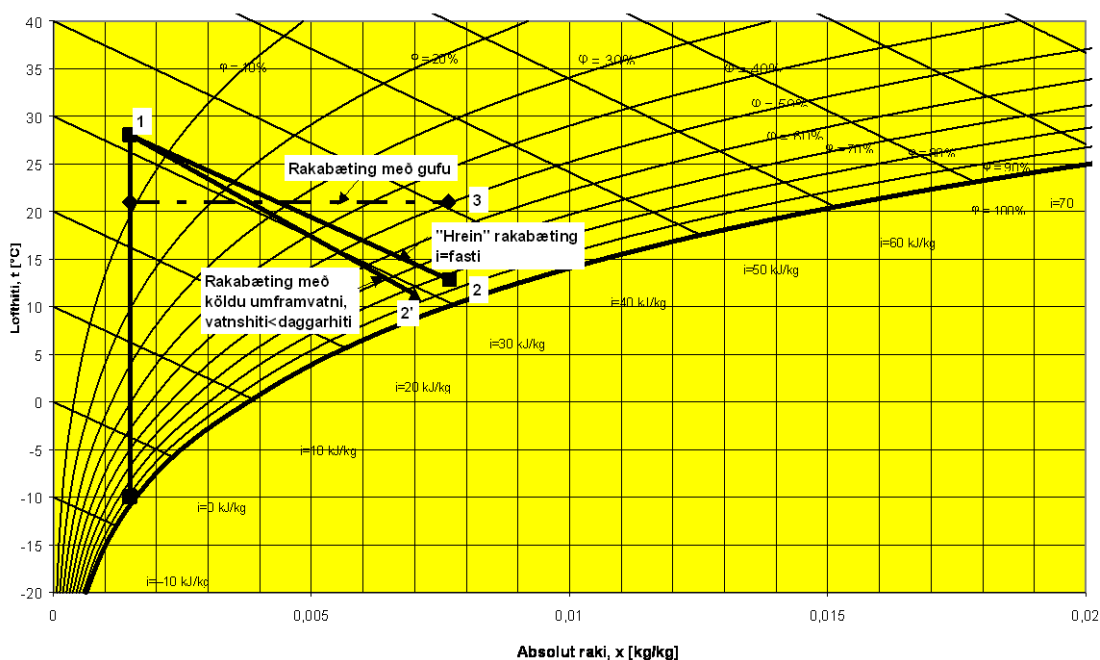
Ef meðalhiti kæliflatar er undir daggarhita loftsins, pkt. **b**, þéttist hluti loftrakans á kælifletinum, loftraki minnkar og loftkælingin fylgir bognum ferli sem stefnir í átt að pkt. **b** eins og mynd 5.2 sýnir. Ef yfirborðshiti kæliflatarins væri jafn yfir allan flötinn væri línan bein.



Mynd 5.2: Blöndun útilofts (pkt. 1) og innilofts (pkt. 2). Upphitun blandaðs lofts (3→4). Þurr og rök kæling (a→b' og a→b).

Rakabæting með vatni

Þegar loft er rakabætt með vatni fylgir ástandsþreytingin beinni línu sem er samsíða eða nokkurn vegin samsíða jafnvermilínu, þ.e. vermi (entalpía) er óbreytt eða lítið breytt. Á mynd 5.3 er ferill ástandsþreytingarinnar sýndur, frá pkt. 1 til pkt. 2. Ef vatni er dælt í hringrás innan rakatækisins frá vatnskeri upp í rakasellur verður meðalhiti vatnsins nálægt meðalhita loftsins og engin breyting verður á vermi loftsins, þ.e. breytingin fylgir jafnvermilínu (þetta getum við nefnt „hreina“ rakabætingu).



Mynd 5.3: Rakabæting með hringrásarvatni, köldu vatni og gufu.

Þegar vatn er tekið beint úr krana inn í rakatæki fylgir ástandsþreytingin ekki jafnvermilínu. Ef vatnsskammturinn er nálægt því sem þarf til rakabætingarinnar, þ.e. ekkert umframvatn, verður halli línunnar eilítið minni. Þetta stafar af því að loftið fær varma úr vatninu og vermið verður því eilítið meira eftir rakatækið en fyrir (t.d. ef vatnið er 10°C heitt og rakabætingin er 0,007 kg/kg þurr loft er aukning á vermi $\Delta h = 4,2 \cdot 10 \cdot 0,007 = 0,3 \text{ kJ/kg}$).

Ef úðað er **meira** vatni en sem nemur rakabætingunni og vatnið er **kaldara** en daggarhiti loftsins þéttist hluti raka loftsins og loftið kólnar. Ástandsþreytingin verður innan svæðis sem afmarkast af línu fyrir hreina rakabætingu með vatni og þurra kælingu.

Kaldavatnsnotkun er minni en í hringrásartæki (“hrein” rakabæting), en hitapörf meiri (loft er forhitað fyrir rakagjöf og oft einnig hitað í eftirhitara). Þessa aðferð má nota til að **kæla loft og fella út raka**.

Virgni rakatækis er skilgreind sem

$$\eta = \frac{(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)}$$

þar sem x_3 er algildur raki (kg vatn /kg þurr loft) á mettnarlínunni. Ekki er unnt að ná fullkominni mettnun (100%) með vatnsrakatæki. Bestum árangri er náð með því að úða meira vatni en loftið getur tekið við og veita umframvatninu í hringrás gegnum úðarana án þess að hita það eða kæla. Því finni sem úðinn er því betri verður upptaka vatnsins. Rétt hlutfall milli loft- og úðahraða skiptir einnig máli.

Þegar talað er um „90% rakatæki“ er átt við að hægt sé að ná mest 9/10 af þeirri rakabætingu sem þarf til að metta loftið, eða ef við fylgjum línunni frá upphafspunkti 1 niður jafnvermilínu að mettnarferlinum, pkt. 3, getum við lengst komist 9/10 hluta leiðarinnar í pkt. 2. Það er því ekki átt við að rakastigið sé 90% eftir rakatækið, en yfirleitt næst rakastigið upp í 80 til 85% með „90% tæki“. Á sama hátt nær „60% rakatæki“ um 6/10 af þeirri rakaviðbót sem þarf til að ná mettnun.

Vatnsrakatæki eru almennt notuð þar sem rakabæta þarf mikið loftmagn. Í hringrásartæki er mikið vatn leitt í hringrás, eða á milli 0,5-1 kg fyrir hvern m^3 lofts, en einnig þarf að vera hröð endurnýjun ferskvatns til að koma í veg fyrir útfellingu í rakatæki og stokkum. Hámarkslofthraði í vatnsrakatækjum er undir 2,5 m/s.

Rakabæting með gufu – lofthiti óbreyttur

Loft má einnig rakabæta með gufu. Ef gufan er mettuð við andrúmsloftsþrýsting og loftið er 20 til 30°C heitt fylgir ferill ástandsþreytingar jafnhitalínu, þ.e. hiti loftsins breytist ekki við rakabætinguna svo fremi að loftið mettist ekki, sjá mynd 5.3. Lokaástandið, þ.e. rakastigið, ræðst af því hve mikilli gufu er hleypt í loftið, þ.e. massi gufu/massi lofts = rakaaukning, þ.e.:

$$\frac{M_g}{M_{loft}} = (x_2 - x_1) \text{ kg vatn/kg loft}$$

Sýnidæmi 5.4

Útiloft við -10°C , rakastig 90%, inniheldur um 0,0015 kg vatns í 1 kg lofts. Eftir upphitun í 20°C er rakastigið aðeins um 10% skv. Mollier línuriti. Hve mikla gufu þarf til að hækka rakastigið í 40% þegar notuð er mettuð gufa við andrúmsloftsþrýsting (hiti lofts er óbreyttur) og innblástur lofts er $10.000 \text{ m}^3/\text{klst}$?

Við 20°C og 40% er rakainnihald lofts um 0,0058 kg vatn/kg loft skv. Mollier línuritinu. Viðbótin sem koma þarf frá gufunni er því $0,0058 - 0,0015 = 0,0043 \text{ kg vatn/kg loft}$. Fyrir $10.000 \text{ m}^3/\text{klst}$, innblástur þarf því $0,0043 \cdot 10000 \cdot 1,2 = 52 \text{ kg/klst}$. af gufu (ath. að eðlismassi lofts er $1,2 \text{ kg/m}^3$).

Gufurakataeki hafa ýmsa kosti (10):

- Hiti loftsins helst óbreyttur. Ekki er því þörf á forhitun loftsins fyrir rakabætingu eins og þegar notuð eru vatnsrakataeki. Þetta sparar heitt vatn.
- Búnaði til rakainnspýtingar má koma fyrir hvar sem er í stökkakerfinu.
- Ekki er hætt á að kalk og önnur steinefni setjist fyrir í stökkakerfinu, hins vegar falla steinefni út í gufukatli tækisins sem þarf að hreinsa og/eða endurnýja reglulega.
- Gufan er lyktarlaus.
- Búnaður til gufuinnspýtingar veldur lítilli sem engri loftmótstöðu.
- Auðvelt er að stilla rakastigið.

Helstu ókostir gufurakataekja:

- Mikill rafmagnskostnaður (raforkupörf 0,7 til 0,8 kWh/pr. kg gufu – ath. þó sparnað á heitu vatni því að ekki þarf að hita upp loft fyrir og eftir rakabætingu).
- Þrif og endurnýjun búnaðar gufuketilsins vegna útfellingar steinefna.

Sýnidæmi 5.5

Hver er raforkukostnaður vegna reksturs gufurakataekisins í sýnidæmi 5.4 og orkukostnaður í heild, samanborið við vatnsrakataeki?

Við þær aðstæður sem lýst er í dæminu (þ.e. -10°C útihita) þarf að framleiða 52 kg á klst. af vatnsgufu. Ef vatnsgufan er soðin úr köldu vatni þarf um 38 kW rafafi (orkuþörfin 2.680 kJ/kg). Ef þetta ástand varir í 12 klst þarf $38 \cdot 12 = 460 \text{ kWh}$. Raforka hjá Orkuveitu Reykjavíkur kostar 7,68 kr/kWh (ágúst 2002) og því kostar raforkan sem þarf til að framleiða þessa gufu í 12 klst um 3.550 kr.

Ef vatnsrakataeki væri notað í stað gufurakataekis í þessu dæmi þyrfti að hita loftið fyrir og eftir rakabætingu, sjá mynd 5.3. Með „90%-vatnsrakataeki“ þyrfti að forhita loftið í 28°C , eða 8°C upp fyrir innblásturshitann (20°C). Við rakabætinguna lækkar lofthitinn niður í tæpar 13°C . Eftirhitun upp í lokaástandið, 20°C , nemur því um 7°C og heildarhitun loftsins fyrir og eftir rakataeki ríflega 15°C . Varmaorkukostnaður m.v. 40°C nýtingu og hitaveituvatn frá Orkuveitu Reykjavíkur í 12 klst. er þá um 955 kr.

Orkukostnaður í heild vegna gufurakataekis **umfram** vatnsrakataeki er því $3.550 - 955 = 2.600 \text{ kr.}$ í þessu dæmi.

Ef útihiti væri 5°C (ársmeðaltal í Reykjavík) og rakastigið um 80%, væri rakainnihald útiloftsins um 0,0044 kg vatn/kg loft og viðbótarraki upp í 0,0058 kg vatn/kg loft (sem er rakainnihaldið við þann innihita og rakastig sem óskað er eftir) um $0,0058 - 0,0044 = 0,0014 \text{ kg vatn/kg loft}$. Við þessar aðstæður þyrfti gufuinnspýtingin einungis að vera um 23 kg á klst., rafafið tæp 18 kW og kostnaður um 1.570 kr í 12 klst í $10.000 \text{ m}^3/\text{klst}$. kerfi.

Ef notað væri vatnsrakatæki við þessar aðstæður þyrfti ekki að hita loftið yfir innblásturshita (20°C) fyrir rakabætingu eins og sjá má á Mollier línuriti, mynd 5.3, en eftirhitun yrði óbreytt (er það í öllum tilfellum). Upphitunarkostnaður væri nú um 450 kr og umfram orkukostnaður um 1570 – 450 = 1220 kr.

Nákvæmari umfjöllun um kostnað við rekstur gufurakatækja er í kafla 7 þar sem fjallað er um orkupörf loftræsikerfa.

Rakamyndun innandyra

Í töflu 5.1 eru sýnd dæmi um rakagjöf frá mönnum og rakamyndun við ýmsar athafnir o.fl.

Rakagjafi	Rakamyndun g/klst.	Uppgufunarvarmi W
Sitjandi maður	40 –45	30
Maður á hreyfingu	120	80
Hlaupandi maður	200-300	135-200
Böðun í baðkari	700	
Böðun í sturtu	2600	
Eldun – suða	600-1000	
Inniplöntur	5-20	

Tafla 5.1: Rakamyndun innandyra við ýmis konar athafnir.

Sitjandi maður gefur frá sér um 43 g/klst af vatni, eða 0,043 kg/klst. Ef loftræsing miðast við 10 l/s á mann, svarar það til 0,01 m³/s eða 0,012 kg/s af þurru lofti. Á einni klst. er loftmagnið 0,012 * 3600 sek/klst = 43 kg/klst. af þurru lofti. Hlutfall raka og þurrs lofts, eða algildur raki, er þá 0,043/43 = 0,001 kg vatn/kg þurrt loft. **Með öðrum orðum eykur sitjandi maður rakainnihald lofts um 0,001 kg af vatni (raka) fyrir hvert kg af þurru lofti þegar loftræsing svarar til 10 l/s á mann.**

6. Varmanýting

Með varmanýtingu í loftræsikerfi er venjulega átt við að varmi sé fluttur úr fráloftinu (útkastloftinu) yfir í aðloftið (innblástursloftið) með beinum eða óbeinum hætti. Dæmi um hið fyrrnefnda er bein blöndun útilofts og hluta frálofts. Með óbeinum varmaflutningi er átt við að varmi sé fluttur með varmaskiptum á milli fráloftsins og aðloftsins. Þetta má gera með s.k. varmahjólum sem skipt er til helminga á milli aðlofts- og fráloftsstokks og flytur varma, og stundum einnig raka, með snúningi úr frálofti í aðloft. Tveir vökva- tengdir varmaskiptafletir („hitaflötur“ í aðlofti og „kæliflötur“ í frálofti) eru gjarnan notaðir þar sem ekki er aðstaða til, eða æskilegt, vegna loftleka, að nota varmahjól. Einnig eru til kross-varmaskiptar þar sem aðloft og fráloft streyma hvor í sinni rásinni í gegnum varmaskipti.

Í dönsku byggingarreglugerðinni frá 1995 er gerð krafa um varmanýtingu í öllum loft- ræsikerfum.

Varmaskiptar – lofthitafletir - varmanýtar

Lofthitafletir eru varmaskiptar með loft á aðra hlið varmaskiptisins og vökva (vatn eða blöndu vatns og frostlagar) á hina.

Framleiðendur varmanýta fyrir loftræsikerfi skilgreina varmanýtni η_t sem einfalt hita- hlutfall:

$$\eta_t = \frac{(t_{a\delta loft \text{ eftir hitaflöt}} - t_{útiloft})}{(t_{herbergi} - t_{útiloft})}$$

Hiti aðlofts eftir varmanýti er því:

$$t_{a\delta loft} = t_{útiloft} + \eta_t * (t_{fráloft} - t_{útiloft})$$

Algengt er að nýtni skv. ofangreindri skilgreiningu sé á bilinu 0,5 til 0,6 (50 til 60%), sjá t.d. mynd 6.1 fyrir vökvatengda varmaskipta. Nýtni varmahjóna getur þó verið allt að 75%.

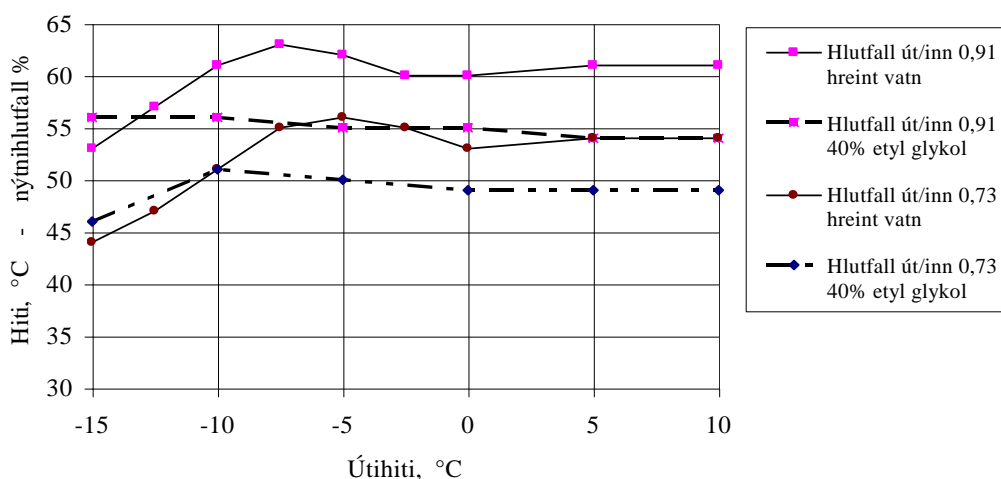
Sýnidæmi 6.1

Í loftræsikerfi er fráloftið 22°C heitt (herbergishiti) og útiloftið er við -5°C. Varmanýtni er 55%. Hve heitt er aðloftið eftir varmaendurvinnsluflötinn?

$$t_{\text{aðloft}} = t_{\text{úthiti}} + \eta t * (t_{\text{herbergi}} - t_{\text{úti}})$$

$$t_{\text{aðloft}} = -5 + 0,55 * (22 - (-5))$$

$$t_{\text{aðloft}} = 9,9^{\circ}\text{C}$$



Mynd 6.1 Dæmi um nýtni vökvatengdra varmaendurvinnslufлата skv. forriti ABB-Fläkt

Mynd 6.1 sýnir dæmi um nýtni í kerfi með tveimur vökvatengdum varmaendurvinnsluflötum eins og hún kemur út í loftræsiforriti frá ABB-Fläkt við mismunandi útihita, annars vegar fyrir hreint vatn og hins vegar fyrir 40% blöndu glýkóls og vatns. Miðað er við 22°C hita frálofts. Athygli vekur hve mikið nýtnin fellur við lægri útihita (< -5°C) þegar notað er vatn, en það stafar af því að dregið er úr afköstum kerfisins með framhjálaupi til að koma í veg fyrir að vatnið frjósi.

Þegar notuð er frostlagarblanda, eins og algengast er í vökvatengdum varmanýtum, helst nýtnin góð yfir allt sviðið ef hlutfall frálofts og aðlofts er hátt (>90%). Þegar hlutfall frá- og aðlofts er á hinn bóginn lágt (70 til 80%) er dregið úr afköstum kerfisins til að

koma í veg fyrir hrímmyndun á kælifletinum (í fráloftinu) með því að hleypa köldum frostleginum framhjá honum.

Afköst varmanýtis

Afköst varmanýtis eru mjög háð hlutfalli baklofts og aðlofts. Ef streymi frálofts er næstum hið sama og streymi aðlofts eru afköst kerfisins góð, þ.e. hægt er að auka hita aðloftsins verulega. Ef hlutfall frálofts og aðlofts er lægra (60 til 70%) er upphitun aðloftsins að sama skapi minni. Þetta kemur fram í varmanýtninni eins og hún er að ofan (sjá einnig mynd 6.2).

Varmanýtni í vökvatengdum varmaendurvinnsluflötum er m.a. háð rakastigi í frálofti, lofthraða og styrk frostlagarblöndu. Þegar fráloftið, sem að öllu jöfnu er nokkuð rakt (40 til 50%) kólnar í loftkælinum niður fyrir metunarmörk, þéttist rakinn og uppgufunarvarminn skilar sér til vökvans. Við það eykst varmaflutningur umfram það sem er þegar loftið er kælt þurr (þ.e. ofan við metunarmörk) og nýtni varmanýtisins batnar.

Lofthraði í gegnum varmaendurvinnslufleti er oft nálægt 2,5 m/s, en varmanýting versnar við vaxandi lofthraða. Sem dæmi má taka varmanýti með 55% nýtni við 2,5 m/s lofthraða: Ef hraðinn væri 2,0 m/s mundi nýtnin aukast í um 58%, en væri hraðinn 3,0 m/s minnkaði nýtnin í 52%, og allt niður í 50% við 3,5 m/s (10). Þetta svarar til um 5 til 6% breytingar á nýtni við breytingu á hraða um 0,5 m/s.

Ennfremur skiptir máli hvort notað er hreint vatn eða blanda frostlagar og vatns. Best er nýtnin ef notað er hreint vatn, en versnar eftir því sem meiri frostlögur er notaður í blönduna. Sem dæmi er nýtni í tilteknu kerfi með vatni og 2,5 m/s lofthraða um 57%, en aðeins um 53% ef notuð er 40/60% blanda vatns og glýkóls. Þumalregla segir að nýtnin minnki um 1% fyrir hver 10% af glýkól-frostlegi (10).

Samanburður á varmanýtum

Varmahjól

Kostir varmahjóls eru:

- Góð varmanýtni (allt að 75%).
- Góð rakanýtni.

- Lítil fyrirferð (varmahjól eru hlutar af loftræsisamstæðu sem er að öllu jöfnu nokkuð há þar sem aðloftsstokkurinn er yfir fráloftsstokki).

Til eru varmahjól með rakadrægum „sellum“ sem gerðar eru til að taka upp raka og flytja hann á milli loftstrauma. Önnur varmahjól geta einnig flutt raka, t.d. ef óhreinindi safnast í „sellurnar“ eða rakt fráloft þéttist á þeim. Þetta er einnig helsti ókosturinn við varmahjólið, þ.e. að óhreinindi, bakteríur, lykt o.fl. getur flust á milli frálofts og aðlofts. Varmahjól eru því t.d. ekki notuð í sjúkrahúsum.

Ókostir varmahjóls eru:

- óhreinindi, lykt, bakteríur o.fl. getur borist frá frálofti í aðloft,
- loftleki á milli frálofts og aðlofts.

Samtengdir varmaskiptaflötir

Kostir:

- hægt að koma varmaskiptaflötunum fyrir, þannig að hver sé óháður öðrum,
- engin hættu á leka (loft, óhreinindi, bakteríur) milli frálofts og aðlofts,
- hægt að nýta varma úr fleiri en einum fráloftsstokki,
- taka lítið rými,
- hægt er að tengja kerfið kælivél eða kælivatni til loftkælingar á sumrin og varmanýtingar frá kælikerfi á vetrum.

Ókostir:

- minni varmanýtni en í varmahjóli,
- pípulögn, dæla, blöndunarloki og tilheyrandi er hluti af kerfinu.

Kross-varmanýtar

Kostir:

- taka lítið rými,
- engin lekahætta.

Ókostir:

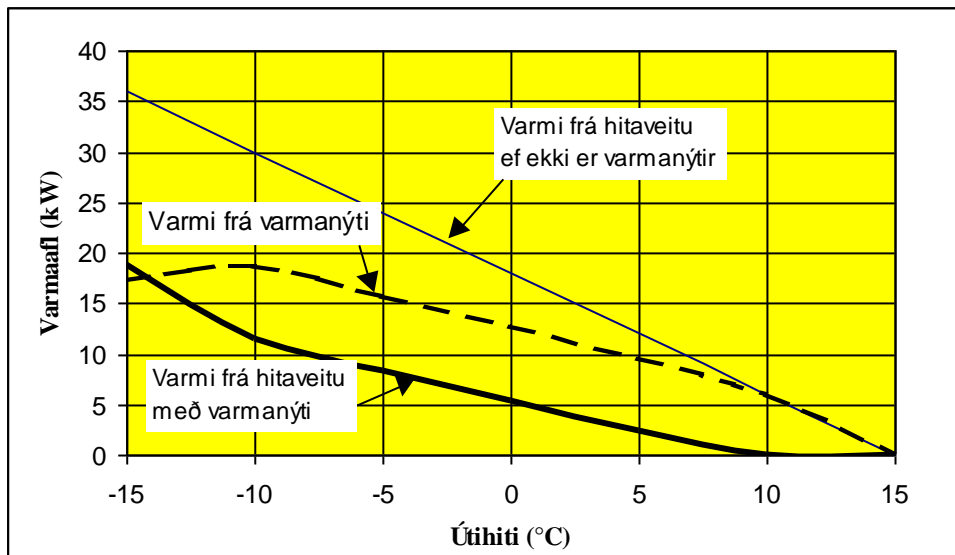
- léleg varmanýtni.

Sýnidæmi 6.2

Hér að neðan er sett upp einfalt dæmi til að meta arðsemi varmanýtis í loftræsikerfi með 1,0 m³/s innblástur og 0,85 m³/s útsog. Tafla 6.1 og mynd 6.3 sýna helstu kennitölur kerfisins við mismunandi aðstæður (útihita).

Útihiti	°C	-15	-10	-5	0	5	10	15
Herbergishiti	°C	21	21	21	21	21	21	21
Varmanýtni		40%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Hiti útilofts eftir endurvinnslu	°C	-0,6	5,5	8	10,5	13	15	15
Innblásturshiti (óskgildi)	°C	15	15	15	15	15	15	15
Hitahækkun með hitaveitu	°C	15,6	9,5	7	4,5	2	0	0
Afl frá hitaveitu ef ekki varmanýtir	kW	36	30	24	18	12	6	0
Afl frá hitaveitu með varmanýti	kW	18,72	11,4	8,4	5,4	2,4	0	0
Afl frá varmanýti = sparað hitav.vatn	kW	17,28	18,6	15,6	12,6	9,6	6	0
Hlutfall varmanýtir/hitaveita		0,48	0,62	0,65	0,7	0,8	1	1

Tafla 6.1: Mat á sparnaði á varmaafli með varmanýti með 50% nýtni m.v. mismunandi útihita.



Mynd 6.2: Þörf varmaafls í loftræsikerfi með 1,0 m³/s afköst.

Notkunartími	h/ár	8000
Spöruð varmaorka m.v. 5°C ársmeðalhita	kWh/ár	76800
Verð varmaorku hjá OR	kr/kWh	1,58
Varmaorkukostnaður á ári	kr/ár	121.344
Raforkunotkun	kWh/ár	5845
Verð raforku hjá OR	kr/kWh	7,68
Raforkukostnaður á ári	kr/ár	44.888
Sparnaður, varmaorka-raforka	kr/ár	76.456
Endurgreiðslutími (krafa)	ár	8
Vaxtakrafa	%/ár	10%
Núvirðisstuðull		5,3
Núvirði		407.889

Tafla 6.2: Einfaldaður útreikningur á arðsemi varmanýtis (pr. 1,0 m³/s innblástur).

Tafla 6.2 að ofan sýnir einfaldaðan útreikning á arðsemi varmanýtis í 1,0 m³/s lofttræsikerfi. Hér er varmaorkan reiknuð út miðað við ársmeðalhita í Reykjavík, nálægt 5°C, og 8.000 klst. notkunartíma á ári. Sparnaður á heitu vatni er um 121 þús. kr./ár og kaup á viðbótarrafmagni fyrir blásara vegna þrýstifalls í endurvinnsluflötum og vegna hringrásardælu er um 45 þús. kr./ár, hvort vegna m.v. verð frá Orkuveitu Reykjavíkur í ágúst 2002. Nettó orkusparnaður er því um 76 þús. kr./ár. Ef gerð er krafa um endurgreiðslu á 8 árum og vaxtakrafa er 10% má varmanýtirinn og tengdur búnaður kosta um 408 þús. kr., uppsettur.

Slíkan útreikning þarf að gera fyrir hvert tilvik miðað við raunverulegar aðstæður, helst miðað við s.k. langæisferil útihita eins og lýst er í kafla 7. Nákvæmar upplýsingar um raunverulegt þrýstifall í varmanýtinum og árlegan notkunartíma þurfa að liggja fyrir til að reikna út raforkuþörf og varmasparnað. Eins skiptir máli hvar á landinu kerfið er vegna mismunandi orkukostnaðar. Loks skiptir miklu hvaða krafa er gerð um afskriftir og vexti af fjárfestingunni. Því stærra sem lofttræsikerfið er, því minni er hlutfallslegur viðbótarkostnaður vegna varmanýta og þar með verður arðsemin meiri.

Loftblöndun

Einfaldasta aðferðin við að nýta varma úr frálofti (útkastlofti) er að blanda hluta af því við útiloftið og nýta þannig vermi þess (þurr og rakur varmi) til að forhita aðloftið (innblástursloftið). Til að vel takist við stjórnun blöndunar þarf að hanna tengingar með spjaldlokum þannig að þrýstifall yfir millistokkinn fyrir fráloft annars vegar og í inntaks- og fráloftsstokk hins vegar sé í réttu jafnvægi. Í Ventilation Stábi (10) eru eftirfarandi forsendur gefnar:

1. Spjaldlokurnar hafi sem næst línulegan feril (loftmagnið breytist í beinu hlutfalli við opnun).
2. Þegar öll spjöld hafa **opið að fullu** á þrýstifall í millistokknum (fráloft) að vera jafnt samanlögðu þrýstifalli í útiloftsstokki og útkaststokki frá þeim stað þar sem milli-sambandið er og út í gegnum inntaks- eða útkastsrist.
3. Þrýstifall í millistokki (fráloft) og spjaldloku skal vera það sama hvort sem spjaldloka er í hámarks- eða lágmarksstillingu.

Lítum nánar á þetta:

Fyrsta atriðið er auðskilið þar sem við viljum geta breytt flæði jafnt í gegnum lokuna með jafnri hreyfingu spjaldanna (línuleg breyting).

Til að skýra annað atriðið skulum við skoða tvo punkta í kerfinu (sjá mynd 6.3), annars vegar punkt **A** í fráloftsstokki við tengingu millistokks og hins vegar punkt **B** við tengingu millistokks og inntaksstokks. Ef við fylgjum fráloftinu þegar það kemur í punkt A og þrýstimótstaða yfir millistokkinn væri jöfn þrýstimótstöðu frá punktinum og út í gegnum útkastsstokkinn myndi helmingur loftsins fara út og helmingur í gegnum millistokkinn. Í punkti B getur aðloftsblásarinn dregið loft að sér frá millistokknum og í gegnum loftinntakið. Útiloftið á eftir að fara í gegnum loftinntakið og stokkinn að punkti B og þarf að yfirvinna þrýstimótstöðuna á leiðinni. Til að jafna blöndunina í punkti B þarf því að bæta sömu mótstöðu við leiðina í gegnum millistokkinn.

Þrýstifalli í stökkakerfi má almennt lýsa með jöfnunni:

$$\Delta p = k * q^2$$

þar sem k táknar heildarmótstöðutölu tiltekins hluta kerfisins (allt meðtalið, s.s. stokkar, tengistykki, spjaldlokur, inntaks- og útkastsristar o.fl.) og q er loftstreymið. Til að ofan-

greindum skilyrðum sé fullnægt verður mótstöðutala fyrir millistokkinn að vera jöfn summu mótstöðutalna fyrir inntaksstokk að millistokk annars vegar og útkaststokk frá millistokki hins vegar (sjá mynd 6.3) eða

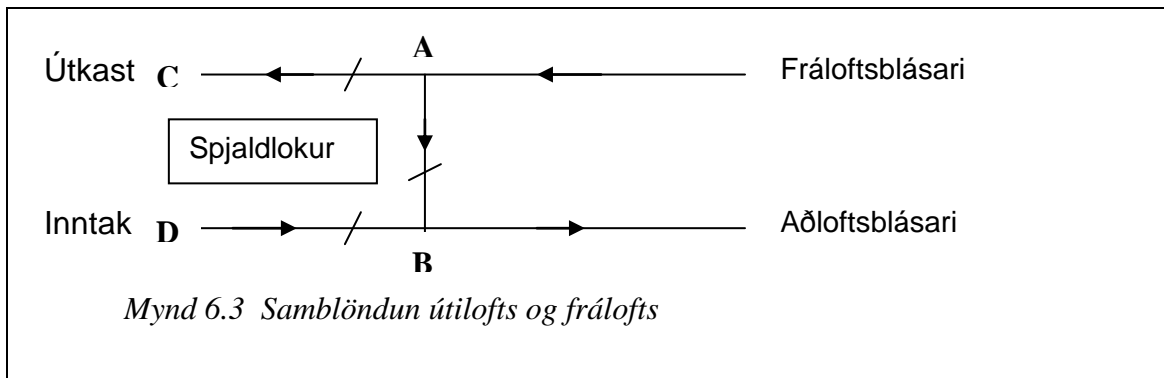
$$k_{A-B} = k_{A-C} + k_{B-D}$$

Þriðja atriðið varðar það að

við hámarksstreymi sé $\Delta p_{\text{stokkur}} = \Delta p_{\text{spjaldloka}}$ við lágmarksstreymi

og öfugt, þ.e.

við lágmarksstreymi sé $\Delta p_{\text{stokkur}} = \Delta p_{\text{spjaldloka}}$ við hámarksstreymi



Varmajafnvægi við blöndun

Aðloftið (innblástursloftið) er blanda útilofts og frálofts:

$$q_{\text{aðloft}} \text{ (l/s)} = q_{\text{útiloft}} \text{ (l/s)} + q^*_{\text{fráloft}} \text{ (l/s)}$$

Hluttur frálofts í loftblöndunni er því:

$$q^*_{\text{fráloft}} = q_{\text{aðloft}} - q_{\text{útiloft}}$$

og blöndunarhlutfallið er skilgreint sem hlutfall frálofts og útilofts við blöndun:

$$n = q^*_{\text{fráloft}} \text{ í blöndun} / q_{\text{útiloft}}$$

Hiti loftsins eftir blöndun fer eftir hita (eða vermi) útiloftsins og fráloftsins og hlutfalli loftstraumanna; það þýðir að ef gert er ráð fyrir sama eðlisvarma úti- og frálofts má nota eftirfarandi jöfnu:

$$t_{\text{aðloft}} = t_{\text{fráloft}} - \frac{q_{\text{útiloft}} * (t_{\text{fráloft}} - t_{\text{útiloft}})}{q_{\text{aðloft}}} \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Sýnidæmi 6.3

Útiloft er 5°C heitt og bakloft er 22°C heitt. Hvert verður hlutfall frálofts ef lofthiti eftir blöndun á að vera 14°C?

Finum fyrst hlutfall útilofts og aðlofts með því að snúa við jöfnunni að ofan:

$$\frac{q_{\text{útiloft}}}{q_{\text{aðloft}}} = \frac{(t_{\text{fráloft}} - t_{\text{aðloft}})}{(t_{\text{fráloft}} - t_{\text{útiloft}})}$$
$$= \frac{(22 - 14)}{(22 - 5)}$$

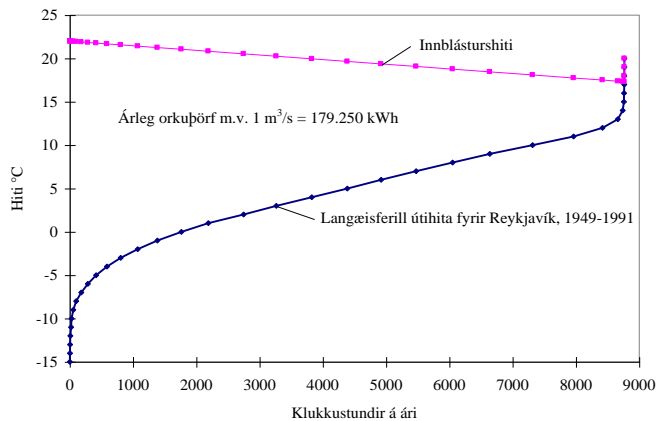
= 0,47 þ.e. hlutfall útilofts er 47%.

Hlutfall frálofts í aðloftinu (innblástursloftinu) er þá 100% - 47% = 53%.

7. Orkuþörf loftræsikerfa

Loftræsikerfi þurfa annars vegar varmaorku, heitt vatn, til að hita upp útiloft og hins vegar rafmagn til að knýja blásara og hugsanlega gufu-rakataeki.

Varmapörf



Mynd 7.1: Langæisferill útihita.

Upphitunarpörfin fer eftir árs-
tíma eins og langæisferill úti-
hita sýnir², sjá mynd 7.1.

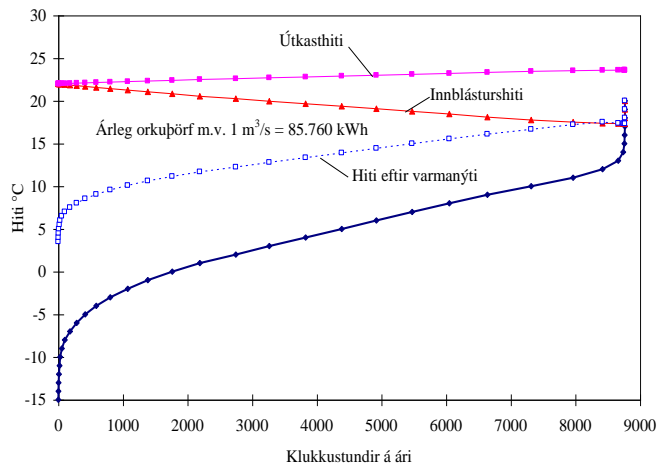
Lofthiti eftir hitaflötinn fer eftir
því hvort loftræsikerfið er gert
til kælingar eða hitunar, eða
einungis til loftskipta, og hvort
loftið er rakabætt. Varmapörfin fer einnig eftir
því hvort í kerfinu er
varmanýtir sem nýtir varma
úr útkastslofti (frálofti) með ó-
beinum varmaflutningi, eða

hvort frálofti er blandað í innblásna loftið (aðloftið). Því getur verið flókið að reikna út
árlega varmaorkuþörf loftræsikerfis og hentugast að gera það t.d. í töflureikni eins og
sýnt er dæmi um í töflu 7.1.

Ef loftræsikerfið er einfalt loftskiptakerfi þar sem innblásturshitinn er þekktur, t.d. eins og
ferillinn á mynd 7.1 sýnir, er árleg varmaorkuþörf fundin með því að reikna út flatarmálið
á milli ferlanna og margfalda það með loftmagninu, q , í m^3/s , eðlismassa loftsins, $\rho = 1,2$
 kg/m^3 , og eðlisvarma loftsins, $c_p = 1,005$ $kJ/kg^\circ C$.

² 42 ára tímabil í Reykjavík, 1949 til 1991.

Ef varmanýti er í kerfinu, eða samblöndun, lítur upphitunarferillinn út eins og mynd 7.2



Mynd 7.2: Orkuþörf loftræsikerfis m. varmanýti

sýnir þegar gert er ráð fyrir að nýtni varmanýtis sé 50%. Varmapörfina má áætla á sama hátt og áður, þ.e. með því að reikna út flatarmál á milli ferilsins „hiti eftir varmanýti“ og ferils innblásturshita.

Nákvæmari aðferð við að finna varmaorkuna er að nota eftirfarandi líkingu:

$$E = c_p \rho \int q_v (t_i - t_u)$$

þar sem $\int (t_i - t_u) \Delta \tau$ er

summa margfeldis hitamunar yfir hitaflöt og tímaskrefs. Þessi líking hentar vel við að reikna út varmaorkupörfina í töflureikni, sjá eftirfarandi dæmi:

Útihiti	Dagar	Tími	Tímaskref	Meðalhiti	Orka vegna upphitunar
°C	fjöldi	klst.	$\Delta \tau$ klst.	t_u °C	$1 \text{ m}^3/\text{s}$ í 20°C kWst
-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	92
-12	0,357	8,571	4,571	-12,5	179
-11	0,786	18,857	10,286	-11,5	391
-10	1,143	27,429	8,571	-10,5	315
-9	2,262	54,286	26,857	-9,5	955
-8	4,143	99,429	45,143	-8,5	1.552
-7	7,524	180,571	81,143	-7,5	2.691
-6	11,857	284,571	104,000	-6,5	3.324
-5	17,286	414,857	130,286	-5,5	4.007
-4	24,429	586,286	171,429	-4,5	5.065
-3	33,476	803,429	217,143	-3,5	6.154
-2	44,714	1073,143	269,714	-2,5	7.319
-1	57,690	1384,571	311,429	-1,5	8.075
0	73,429	1762,286	377,714	-0,5	9.338
1	91,238	2189,714	427,429	0,5	10.052
2	114,405	2745,714	556,000	1,5	12.405
3	135,952	3262,857	517,143	2,5	10.914
4	159,381	3825,143	562,286	3,5	11.189
5	182,714	4385,143	560,000	4,5	10.468
6	205,000	4920,000	534,857	5,5	9.353
7	228,048	5473,143	553,143	6,5	9.006
8	252,071	6049,714	576,571	7,5	8.692
9	276,548	6637,143	587,429	8,5	8.147
10	304,810	7315,429	678,286	9,5	8.589
11	331,786	7962,857	647,429	10,5	7.418
12	350,810	8419,429	456,571	11,5	4.680
13	360,905	8661,714	242,286	12,5	2.191
14	364,095	8738,286	76,571	13,5	600
15	364,881	8757,143	18,857	14,5	125
16	365,024	8760,571	3,429	15,5	19
17	365,167	8764,000	3,429	16,5	14
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
				Alls:	163.370 kWst/ár

Tafla 7.1: Gráðudagar fyrir Reykjavík og dæmi um útreikning á varmaorku til upphitunar lofts (fastur innblásturshiti 20°C).

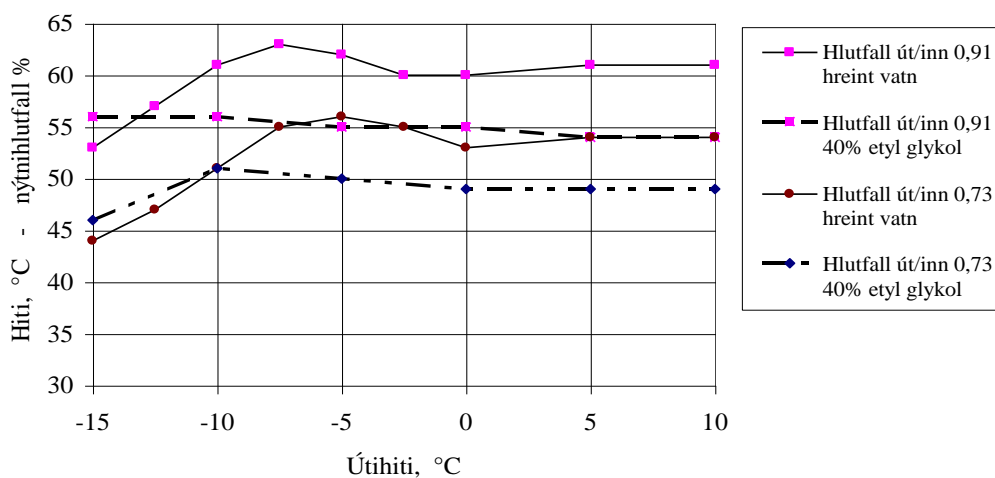
Varmanýtar

Varmanýtar eru tæki til að nýta varma úr útkastslofti (frálofti) til upphitunar á aðlofti og spara þá notkun á heitu vatni (sjá nánar í kafla 6).

Kaldasta loftið í loftræsikerfi er útiloftið en heitasta loftið er innloftið sem kastað er út. Markmiðið með notkun varmanýtanna er að nýta þennan hitamun sem best. Reynslan sýnir að nýtingin er um 50 til 55% og fer hún m.a. eftir hlutfalli aðlofts og frálofts, útihita, hagkvæmri stærð hitaflatanna (fjölda raða), reglun o.fl. Er þá miðað við upphitun aðlofts eins og framleiðendur loftræsibúnaðar gera gjarnan (þetta er ekki í samræmi við venjur um nýtni varmaskipta, þar sem miðað væri við kólnun fráloftsins, en massastreymi þess er venjulega minna en aðloftsins):

$$\text{Nýtni varmanýtis} = \frac{\text{hitamismunur aðlofts}}{(\text{hiti frálofts} - \text{útihiti})} \cong 0,5 - 0,55$$

Mynd 7.3 sýnir útreiknaða nýtni varmanýtis (samtengdir hitafletir) skv. tölvuforriti ABB og er miðað við þriggja raða hitafleti og hlutfall frálofts og aðlofts 0,91 og 0,73. Venjulega er notað vatn, blandað frostlegi, en til samanburðar er einnig sýnd nýtnin ef notað væri óblandað vatn. Nýtnin er að jafnaði minnst þegar kaldast er úti því að dregið er úr afköstum varmanýtisins til að koma í veg fyrir að hrím myndist á fráloftsflötinum. Nýtnin yrði nokkuð betri ef hreint vatn væri notað í stað



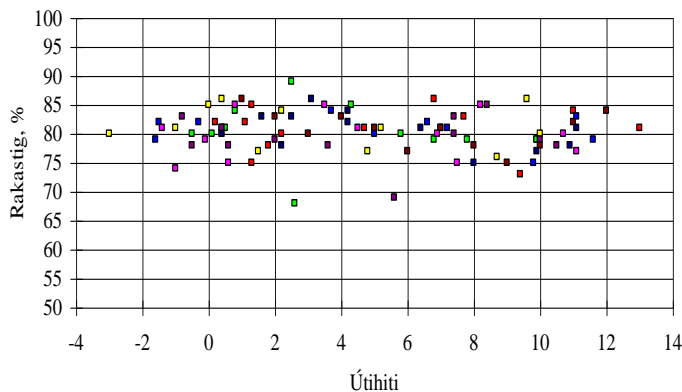
Mynd 7.3: Nýtni varmanýtis skv. ABB miðað við að a) vatn sé í hitaflötum b) 40% etýlglykól.

frostlagarblöndu, og er munurinn um 5% miðað við 40% etýlglykól. Nýtnin með frostlagarblöndu er hins vegar betri í miklu frosti. Í Ventilations Stábi (10) er þumalregla sem segir að miða megi við að nýtnin minnki um 1% fyrir hver 10% í glykólstyrk.

Rafmagnspörf

Rafmagnspörf blásara í loftræsikerfum getur verið allmisjöfn eftir því hvernig þau eru hönnuð og rekin. Rafmagnskostnaður getur verið mjög hár, hærri en varmakostnaður, og er full ástæða til að fylgjast vel með honum. Sérstaklega er fjallað um rafmagnspörf blásara í kafla 8.

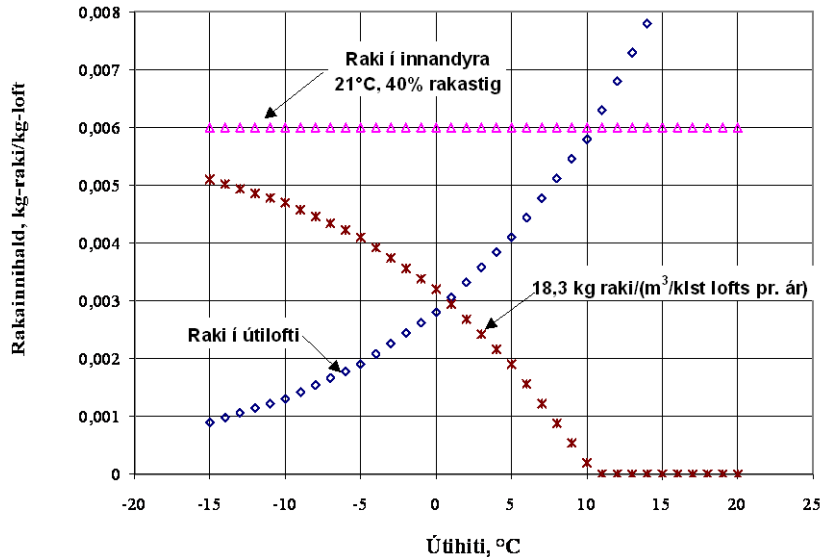
Ef notað er **gufurakataeki**, sem nú færast í vöxt, getur orkunotkun þess verið mun meiri en blásaranna. Til þess að meta orkunotkunina þarf að byrja á því að skoða rakainnihald útilofts og hvernig það er á mismunandi árstímum.



Mynd 7.4: Meðalrakastig og útihiti í Reykjavík 1986 til 1992

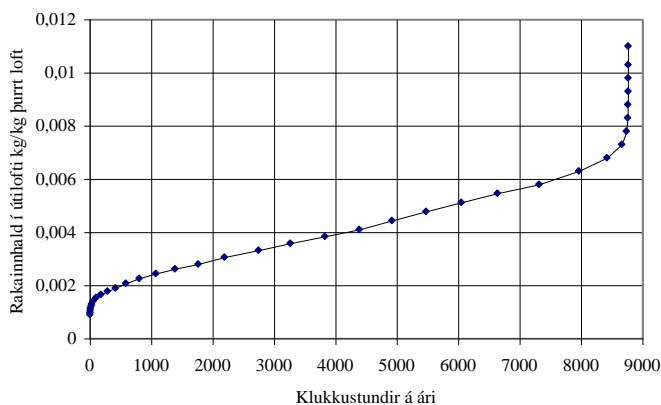
Með því að tengja saman langæisferil útihita og rakainnihaldið má því næst reikna út samanlagða rakagjöf yfir árið til þess að viðhalda tilteknu rakainnhaldi - eða rakastigi við gefinn herbergishita - í innloftinu.

Í „Veðráttunni“ sem Veðurstofa Íslands gefur út, má finna upplýsingar um meðalhita og meðalrakastig hvers mánaðar, sjá mynd 7.4. Með Mollier línuriti má síðan finna rakainnihald kg H₂O/kg loft í útilofti við mismunandi útihita, sjá mynd 7.5.



Mynd 7.5: Rakagjöf við mismunandi útihita (m.v. Reykjavík).

Mynd 7.5 sýnir, auk raka í útilofti, raka í innlofti miðað við 21°C og 40% rakastig og magn raka sem bæta þarf í útiloftið til að fá þann raka inni sem sóst er eftir, m.v. að engin rakamyndun sé innandyra. Við 21°C og 40% rakastig er rakainnihald, kg H₂O/kg loft, um 0,006, eða um 6 grömm vatns í 1 kg þurrs lofts.



Mynd 7.6: Langæisferill fyrir meðalraka útilofts í Reykjavík.

samanlagt yfir árið til að rakabæta 1 m³/klst. af lofti.

Rakaferli útilofts, sem sýndur er á mynd 7.5, svipar til gráðudagaferils fyrir lofthita, en venjan er að teikna slíkan feril sem fall af tíma. Þetta er gert á mynd 7.6. Með sama hætti og gert var í töflu 7.1 má út frá langæisferli raka, mynd 7.6, reikna út árlega raka-bætingu í loftræsikerfi, t.d. hve mörg kg af vatni þarf

Þrjár aðferðir við rakabætingu hafa verið notaðar í loftræsikerfum, þ.e. hefðbundin rakatæki með vatni (rakasellur), gufutæki og hljóðbylgjutæki. Ef ekki er unnt að koma hefðbundnu rakatæki fyrir í innblásturssamstæðu, t.d. þegar ákveðið er að bæta raka í loftið eftir að loftræsikerfið er komið í notkun, verður að velja á milli gufutækis og hljóðbylgjutækis. Hljóðbylgjutækið er dýrt í innkaupum en notar lítið rafmagn, en gufutækið er tiltölulega ódýrt en notar mikið rafmagn.

Eins og áður segir sýnir mynd 7.5 nauðsynlega rakagjöf ef engin rakamyndun er innandyra, eins og gera má ráð fyrir að næturlagi í venjulegum kerfum. Þegar flest fólk er innandyra og hreyfing mikil má gera ráð fyrir að hver maður gefi frá sér allt að 200 g á klst. af raka. Rakabæting er því háð því hver innri rakamyndun er í húsinu hverju sinni.

Sýnidæmi um félagsmiðstöð:

Í félagsmiðstöð er aðsókn mjög mismikil eftir tíma dags og árs. Við verstu skilyrði hvað varðar rakagjöf, þ.e. þegar mjög fátt er í húsinu og rakamyndun þar af leiðandi mjög lítil, þarf allt að 18,3 kg vatns á ári fyrir hvern m^3 /klst. aðlofts, sjá mynd 7.5. Í gufutæki kostar rafmagnið til að sjóða þetta vatn (búa til gufu) um 97 kr á m^3 /klst. yfir árið. Þannig kostar rafmagn á gufutæki um 2,1 mkr. árlega ef blásið er inn 22.000 m^3 /klst., svo að dæmi sé tekið. Útilokað er því vegna kostnaðar að nota gufutæki ef slíkt loftræsikerfi er rekið á fullum afköstum allt árið. Hér er því full ástæða til að reka loftræsikerfið eftir álagi.

Einföld álagsskipting gæti falist í því að skipta sólarhringnum í þrjú tímabil, þ.e. 0 til 08, 08 til 16 og 16 til 24. Enginn innblástur eða rakagjöf er að næturlagi, en loftræsikerfið er rekið á fullum afköstum frá 08 til 24. Rakamyndun í húsinu er mest á tímabilinu frá 16 til 24, en einnig kemur raki frá fólki á milli 08 og 16, en þó í minna mæli. Samkvæmt slíkri skiptingu má gera ráð fyrir að kostnaður verði 45 til 55 kr pr. m^3 /klst. á ári, í stað 105 kr./(m^3 /klst.), sem miðast við full afköst allt árið. Ef hámarksafköst loftræsikerfisins eru 22.000 m^3 /klst. er árlegur rafmagnskostnaður gufutækis því áætlaður um 970 þús. kr. miðað við þessa grófu skiptingu. Væri loftræsikerfið hins vegar rekið eftir álagi yrði kostnaður vegna gufurakatækis innan við 550 þús. kr. á ári.

Varmaverð

Í töflu 7.2 hér að neðan er gjaldskrá nokkurra hitaveitna og útreiknað verð á varmaorku, kr/kWh, miðað við 40°C nýtingu. Verðmunur er talsverður á milli hitaveitna í landinu, þannig að arðsemi varmanýta er mjög mismunandi eftir stöðum eða landshlutum. Varmanýtar eru arðbærastir þar sem varmaorkan er dýr.

Hitaveita	Gjaldskrá		Útreiknað orkugjald alls ¹⁾ Kr./kWh
	Vatnsgjald Kr./m ³	Orkugjald Kr./kWh	
Norðurorka	100,65		2,15
Hitaveita Egilsstaða og Fella	77,00		1,66
Orkuveita Reykjavíkur	73,46		1,58
Orkubú Vestfjarða	22,73	1,44	1,93

¹⁾ Orkugjald miðað við 40°C nýtingu

Tafla 7.2: Gjaldskrá nokkurra hitaveitna 1. ágúst 2002.

Rafmagnsverð

Verð á rafmagni frá nokkrum rafveitum í ágúst 2002 er eins og sýnt er í töflu 7.3 að neðan:

Rafveita	Orkuverð A1 (almenn notkun)	Orkuverð B1	Sumar	Vetur
	m.vsk.			
Norðurorka	Orka 7,54 Kr./kWh	Orka Kr./kWh Hlutfall notkunar Afl Kr./kW/ár Fastagj. Kr./ár	2,18 0,4 9.831 70.412	4,38 0,6
Egilsstaðir (Rarik)	Orka 9,64 Kr./kWh	Orka Kr./kWh Hlutfall notkunar Afl Kr./kW/mán Fastagj. Kr./ár	3,10 5 mán. 939 52.452	4,87 7 mán. 1.877
Reykjavík (RR)	Orka 7,68 Kr./kWh	Orka Kr./kWh Hlutfall notkunar Afl Kr./kW/dag Fastagj. Kr./dag	2,20 0,4 29,48 173,95	4,78 0,6
Ísafjörður (OV)	Orka 8,06 Kr./kWh	Orka Kr./kWh Afl Kr./kW/ár Fastagj. Kr./ár	2,96 13.460 0	2,96

Tafla 7.3: Rafmagnsverð nokkurra rafveitna 1. ágúst 2002.

Taxti A1 er venjulegur heimilistaxti sem á við minni notendur, en taxti B1 er afl- og orkutaxti fyrir stærri notendur.

Fróðlegt er að skoða árlegan rafmagnskostnað í ljósi þessara gjaldskráa og hvort það myndi borga sig fyrir þá notendur sem greiða háa rafmagnsreikninga vegna loftræsikerfa að nota B1 taxa í stað A1.

Flestir stórir notendur, svo sem spítalar og stærstu skólar, eru á afltaxta, en skilyrðin fyrir að mega greiða skv. þeim taxa er að notandi kaupi árlega tiltekna lágmarksorku og afl. Hjá Orkubúi Vestfjarða er miðað við 15 kW og hjá Orkuveitu Reykjavíkur er miðað við 200.000 kWh á ári.

Sýnidæmi um taxtanotkun

Loftræsikerfi er með $6 \text{ m}^3/\text{s}$ heildarloftmagn (aðloft og fráloft) í byggingu þar sem álag er lítið á kvöldin og um nætur. Með álagsstýringu verður orkunotkun aðeins um þriðjungur af raforkuþörf miðað við fast loftmagn. Mesta málafl (netafli) er 10 kW.

Gerð loftræsikerfis	Netafli kW	Orka kWh/ár	Taxti OR:	
			A-1	B-1
Loftmagn fast: CAV	3	7.884	60.549	124.983
	5	13.140	100.915	165.976
	10	26.280	201.830	268.461
VAV:	15	65.700	302.746	370.946
CAV:	10	87.600	672.768	495.652

Tafla 7.4: Samanburður rafmagnstaxta OR fyrir stór loftræsikerfi.

Sýnidæmi um varmanýta

Ef tekið er mið af ferlunum sem sýndir eru á myndum 7.1 og 7.2 sparast varmaorka í loftræsikerfi með $1 \text{ m}^3/\text{s}$ innblæstri: $179.250 - 85.760 = 93.490 \text{ kWh}$ á ári.

Áætla má þrýstifall í varmanýti (hitafliötum) um 150 Pa (getur þó verið mun hærra, sjá síðar). Fyrir loftræsikerfi með $1 \text{ m}^3/\text{s}$ innblástur og $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ útsog er aflþörf rafmótors til að yfirvinna þrýstifallið í hitafliötunum um $(1+0,9) \times 150 / 0,5 = 570 \text{ W}$. Hér er miðað við nýtni blásara með framsveigð blöð, $\eta = 0,5$. Raforkuþörf vegna varmaflatanna er því um 5.000 kWh pr. $1 \text{ m}^3/\text{s}$ á ári.

Einnig þarf að taka raforkuþörf hringrásardællunnar með í reikninginn, en skv. ABB eru afköst dælu um 0,3 l/s miðað við hreint vatn, en 0,54 l/s m.v. 40% glýkólblöndu. Þrýstifallið er mun meira þegar glýkólblandan er notuð, þannig að aflþörf dælu getur verið allt að 160W. Yfir árið er orkuþörf dællunnar þá 1.400 kWh. Heildarraforkunotkun vegna varmanýtanna er því um 6.400 kWh á ári pr. 1 m³/s.

Nettó sparnaður sem fæst með varmanýtunum er því áætlaður eins og fram kemur í töflu 7.5.

Annars vegar er tekið mið af taxta fyrir almenna notkun, A1, og hins vegar afltaxta, B1. Í þessu tiltekna kerfi er viðbótarafli vegna varmanýtisins um 730 W. Það eykur afltoppinn mjög lítið en vegur þyngra í árlegri orkunotkun. Því er ávinningur af varmanýtum meiri þar sem raforka er keypt skv. afltaxta, B1.

Miðað við almennan taxta A1:

Staður	Varmasparnaður	Rafmagnskostnaður	Nettó sparnaður
	(pr. m ³ /s) r./ár	m.v. alm. taxta A1 kr./ár	kr./ár
Akureyri	201.004	48.256	152.748
Egilsstaðir	155.193	61.696	93.497
Reykjavík	147.714	49.152	98.562
Ísafjörður	180.436	51.584	128.852

Miðað við afltaxta B1:

Staður	Varmasparnaður	Rafmagnskostnaður	Nettó sparnaður
	(pr. m ³ /s) kr./ár	m.v. afltaxta B1 kr./ár	kr./ár
Akureyri	201.004	28.962	172.042
Egilsstaðir	155.193	33.199	121.994
Reykjavík	147.714	30.549	117.165
Ísafjörður	180.436	25.506	154.930

Tafla 7.5: Samanburður á sparnaði með varmanýti fyrir lítið lofttræsikerfi, 1 m³/s.

8. Rafmagnsnotkun í loftræsikerfum

Reglur um hámarks rafmagnsnotkun

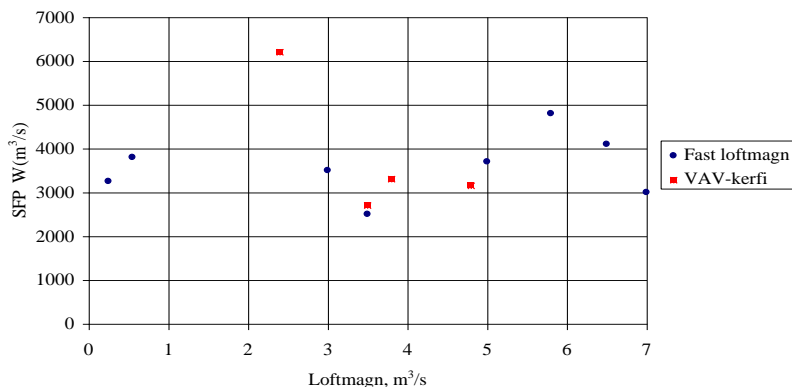
Rafmagns**aflþörf** í loftræsikerfum ræðst einkum af tvennu: Annars vegar loftmagni (m^3/s) og hins vegar eiginlegri rafmagnspörf (W pr. m^3/s) tækjanna sem notuð eru til að blása loftinu og meðhöndla það, eða hve mikið rafmagn tækin nota pr. blásið loftmagn. Árleg raforkunotkun er svo háð notkunartíma og rekstri loftræsikerfisins.

Loftmagnið getur verið háð ýmsu, svo sem þörf eða ósk notanda varðandi hreint loft, þægindi, kælingu o.s.frv. og er slíkt mjög mismunandi eftir byggingum og aðstæðum. Þar getur mat á þörf fyrir loftræsingu bæði verið huglægt og heilsufarslegt. Rafmagnspörf loftræsibúnaðarins er hins vegar tæknilegs eðlis, og geta hönnuðir og framleiðendur haft áhrif á hana.

Í nýlegum reglum frá Danmörku og Svíþjóð eru skilgreind **viðmiðunarmörk fyrir rafmagnsnotkun í loftræsikerfum**. Enn sem komið er eru þessar reglur í mótun, en í höfuðdráttum má segja að verið sé að flokka loftræsikerfi eftir eiginlegri rafmagnsnotkun í tiltekna flokka skv. aflþörf - J/m^3 , eða $W/(m^3/s)$.

Svenska Inneklimainstitutet (SI) hefur lagt til að loftræsikerfi séu flokkuð í s.k. VAS flokka. Flokkarnir eru VAS-1500, VAS-2500, VAS-4000. Dæmi: VAS-1500 merkir að kenniaflþörf blásarans eða loftræsikerfisins sé mest $1500 W/(m^3/s)$. Sænsku samtökin Ventilation - Klimat – Miljö (12) hafa tekið saman greinargerð um þessar reglur SI þar sem farið er yfir helstu skilgreiningar og atriði er varða notkun þeirra (sjá hér á eftir).

Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins í Danmörku (SBI) hefur rannsakað rafmagnsnotkun í allmörgum loftræsikerfum í nýlegum byggingum í Danmörku, sjá mynd 8.1. Niðurstöðurnar eru þær að flestar byggingar nota á milli 3.000 og $4.000 J/m^3$ lofts. Lægst, eða undir $3.000 J/m^3$, var rafmagnsnotkunin í kerfum án varmanýtis, og í einföldum útstogskerfum var notkunin talsvert undir $3.000 J/m^3$. Athygli vekur að í þeim tilfellum sem notkunin var yfir $4.000 J/m^3$ voru þrengsli í loftræsiklefa mikil, en það hefur leitt til óhagkvæmra lausna.



Mynd 8.1: Athuganir á rafmagnsnotkun í dönskum loftræsikerfum.

Í dönsku byggingarreglugerðinni frá 1995 kafla 12.3 segir að í loftræsikerfi með föstu loftmagnni má rafmagnsnotkun ekki vera meiri en 2.500 J/m³ útilofts. Í loftræsikerfum með breytilegu loftmagnni má rafmagnsnotkun ekki vera meiri en 3.200 J/m³ útilofts (13).

Rafmagnsnotkun loftræsikerfis

Rafmagnsnotkun loftræsikerfis, eða s.k. kenniaflþörf (Specific Fan Power), má tákna sem (2):

$$\text{SFP} = (P_{\text{AL}} + P_{\text{FL}}) / q_{\text{max}} \quad \text{W}/(\text{m}^3/\text{s})$$

þar sem $P_{\text{AL}} = q_{\text{AL}} \times \Delta p_{\text{AL}} / (\eta_{\text{heildAL}})$ er aflþörf aðloftsblásara (hönnunarálag), W

og $P_{\text{FL}} = q_{\text{FL}} \times \Delta p_{\text{FL}} / (\eta_{\text{heildFL}})$ er aflþörf fráloftsblásara (hönnunarálag), W

q_{AL} er aðloft (skv. hönnun), m³/s,

q_{FL} er fráloft (skv. hönnun), m³/s,

q_{max} er það sem er hærra, q_{AL} eða q_{FL} ,

Δp_{AL} er þrýstiaukning í aðloftsblásara, Pa,

Δp_{FL} er þrýstiaukning í fráloftsblásara, Pa,

η_{heildAL} er heildarnýtni aðloftsblásara, drifs, rafmótors og reglunarbúnaðar við hönnunarálag,

η_{heildBL} er heildarnýtni fráloftsblásara, drifs, rafmótors og reglunarbúnaðar við hönnunarálag.

Með nálgun, þ.e. að $q_{\text{max}} \cong q_{\text{AL}} \cong q_{\text{FL}}$, og $\eta_{\text{heild}} \cong \eta_{\text{heildAL}} \cong \eta_{\text{heildFL}}$, má einnig tákna SFP sem:

$$\text{SFP} \cong p_{\text{AL}}/\eta_{\text{heildAL}} + p_{\text{FL}}/\eta_{\text{heildFL}}$$

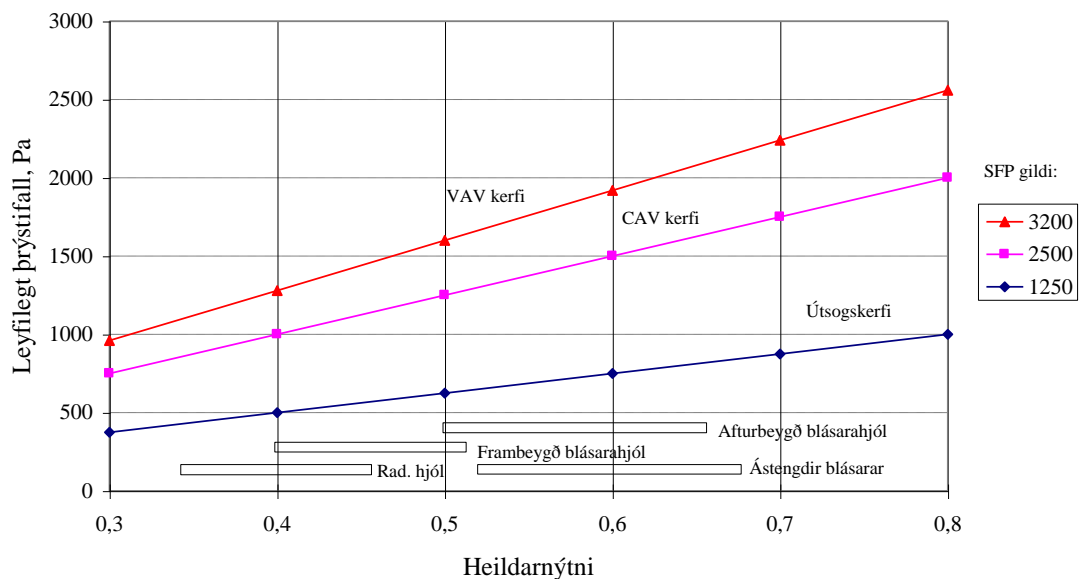
eða $\cong p/\eta_{\text{heild}}$

og $p \cong \eta_{\text{heild}} \times \text{SFP}$

Þannig má leggja mat á hve hátt heildarþrýstifall í loftræsikerfum má vera m.v. tiltekinn VAS-flokk og heildarnýtni, sjá mynd 8.2.

Hæsta leyfilega þrýstifall í loftræsikerfum

Í dönsku reglugerðinni er miðað við að SFP sé innan við 2.500 W/(m³/s) fyrir loftræsikerfi með föstu loftmagni (CAV) og 3.200 W/(m³/s) fyrir kerfi með breytilegu loftmagni (VAV). Fyrir útsogskerfi er SFP < 1.250 W/(m³/s).



Mynd 8.2: Leyfilegt hæsta þrýstifall í loftræsikerfum m.v. nýjar reglur um aflþörf.

Heildarnýtni loftblásara er skilgreind þannig:

$$\eta_{\text{heild}} = \eta_{\text{bl}} \times \eta_{\text{D}} \times \eta_{\text{M}} \times \eta_{\text{R}}$$

þar sem η_{bl} = nýtni blásara fyrir utan legutap,
 η_{D} = mekanísk nýtni drifs m.v. ásafl mótors,
 η_{M} = nýtni rafmótors,
 η_{R} = nýtni reglunarbúnaðar að meðtöldum áhrifum hans á tap í mótör.

Skv. (1) er heildarnýtnin sjaldnast yfir 0,65, og þá aðeins ef notaðir eru áslægir blásarar eða blásarar með aftursveigð blöð. Að jafnaði liggur heildarnýtnin í neðri hluta þeirra svæða sem sýnd eru á mynd 8.2.

Sýnidæmi 8.1

Sem dæmi má taka blásara með aftursveigð blöð sem hefur blásaranýtni $\eta_{\text{bl}} = 0,83$, drifnýtni (kílreim) $\eta_{\text{D}} = 0,9$ og nýtni rafmótors $\eta_{\text{M}} = 0,8$. Heildarnýtnin verður þá $\eta_{\text{heild}} = 0,6$.

Samanlagt þrýstifall í aðlofts- og fráloftskerfum má því hæst vera 1.500 Pa, samtals innra og ytra þrýstifall, svo að loftræsikerfið uppfylli $SFP < 2500 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$.

Til umhugsunar – leiðir til sparnaðar

Jafnframt því að halda nýtni einstakra hluta kerfisins í hámarki er mikilvægt að hanna loftræsikerfið með það að markmiði að heildarþrýstifall verði sem minnst. Hanna þarf stokkakerfi og vanda smíði og uppsetningu þess með þetta í huga, staðsetja blásaraklefa þannig í byggingunni að stokkar verði sem stystir, hafa beygjur eins fáar og kostur er og forðast of mikinn hraða eða snöggar hraðabreytingar. Sívalir stokkar hafa lægra eða svipað þrýstifall og réttthyrndir. Rétt er þó að benda á að sívalar liðabeygjur með litlum beygjuradius hafa hæstan þrýstifallsstuðul af öllum hefðbundnum stokkabeygjum, en kantaðar beygjur með rétt frágengnum leiðiblöðum hafa minnsta mótstöðu.

Sparnaður á rafmagni á endingartíma blásara og loftræsikerfis getur borgað upp viðbótarkostnað við dýrara kerfi, svo sem blásara með betri nýtni og víðari stokka, á tiltölulega skömmum tíma.

Dæmi: Rafmagnskostnaður vegna 100 Pa þrýstifalls í 1 m³/s loftræsikerfi er um 13.500 kr á ári. Í stærra kerfi, t.d. 10 m³/s þar sem unnt væri að “spara” 200 Pa þrýstifall, svaraði rafmagnskostnaður til u.þ.b. 270.000 kr. á ári, miðað við almennan taxta hjá OR í ágúst 2002.

Einnig má benda á að loftræsikerfi þarf að yfirfara reglulega til að lengja endingu þeirra og viðhalda góðri nýtni allra tækja, en það er forsenda lágs rafmagnskostnaðar.

Ýmsar góðar ráðleggingar um hvernig lækka má rafmagnskostnað loftræsikerfa er að finna í handbókum og víðar, sjá t.d. (13, 16 og 17).

Dæmi:

Ráðleggingar um reimadrif (13)

- notið kílræim með góða nýtni,
- notið eins fáar kílræimar og kostur er, helst aðeins eina,
- notið minnst 180 mm skífur fyrir hvort tveggja, mótur og blásara,
- veljið afköst reimadrifsins miðað við ásafll blásara (ekki nafnstærð mótors),
- reimadrifið á að stilla af með réttsskeið og herða rétt,
- nýja reim skal endurherða eftir sólarhring.

9. Flokkun blásara - rafmagnsnotkun

Það sem hér fer á eftir er að mestu byggt á leiðbeiningum sænsku samtakanna Ventilation-Klimat-Miljö frá 1995 (12):

VAS-flokkun (Ventilation Air Conditioning System Class)

Með s.k. VAS-flokkun eru blásarar og loftræsisamstæður í loftræsikerfum flokkað í gæðaflokka í samræmi við orkunotkun. Flokkarnir eru VAS-1500, VAS-2500, VAS-4000 og VAS-X. Dæmi: VAS-1500 merkir að aflþörf blásarans eða loftræsikerfisins sé mest 1,5 kW/(m³/s).

Við útsogskerfi skal helminga VAS-gildin. Þannig ætti fráloftsblásari skv. VAS-1500 að nota mest 0,75 kW/(m³/s).

Hugmyndin með VAS-flokkuninni er að *ákvarða og takmarka þörf rafafis, og þar með orkunotkun loftræsítækja og loftræsikerfa í byggingum á hönnunarstigi*. Með því að skilgreina VAS-flokkinn er hönnuður, og hugsanlega verkkaupi, að setja fram tilteknar kröfur um hagkvæma notkun raforku í byggingunni.

Kenniaflþörf loftblásara - SFP-flokkun (Specific Fan Power)³

Kenniaflþörf blásara er samanlögð aflþörf allra blásaramótora, kW, deilt með mesta loftmagni (m³/s) skv. hönnun, annað hvort aðlofti (fersklofti) eða frálofti. SFP hefur því eininguna kW/(m³/s).

SFP-flokkun á annars vegar við alla blásara eða loftræsisamstæður í byggingu og hins vegar einstaka blásara eða samstæður. Í síðara tilfellinu er talað um SFP_V.

Heild:

$$\text{SFP} = \text{summa aflþarfar allra blásara/mesta loftmagn} = \Delta P/q_{\max}$$

Einstök tæki:

$$\text{SFP}_V = P/q_{\max}$$

³ Í dönsku byggingarreglugerðinni frá 1995 er kenniafl blásara nefnt **SEL** (det specifikke elforbrug).

Ef t.d. er um að ræða samstæðu með varmanýti og aðlofts- (P_{AL}) og fráloftsblásurum (P_{FL}) er SFP_V skilgreint þannig:

$$SFP_V = (P_{AL} + P_{FL})/q_{max}$$

Sýnidæm 9.1

$$P_{AL} = 1,3 \text{ kW við } q_{AL} = 1,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_{FL} = 1,1 \text{ kW við } q_{FL} = 0,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$SFP_V = (P_{AL} + P_{FL})/q_{max} = (1,3 + 1,1)/1,0 = 2,4 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s}) < \text{VAS-2500}$$

Ath. Við loftræsikerfi með föstu loftmagni er SFP-gildið reiknað m.v. 100% loftmagn skv. hönnun, en við kerfi með álagsstýrðu loftmagni (VAV) er miðað við 80% þess loftflæðis.

Rafmagnsnotkun blásaramótora

Aflþörf hvers blásaramótors má tákna þannig:

$$P = q \cdot \Delta p_{bl} / (\eta_{bl} \cdot \eta_D \cdot \eta_M \cdot \eta_R \cdot 1.000)$$

eða $P = P_{bl} / (\eta_{bl} \cdot \eta_D \cdot \eta_M \cdot \eta_R)$

þar sem

$$P = \text{aflþörf, (kW), } ^*)$$

$$q = \text{loftflæðið um blásarann, (m}^3/\text{s),}$$

$$\Delta p_{bl} = \text{heildaraukning þrýstings yfir blásara, (Pa),}$$

$$P_{bl} = \text{ásafli blásara, (kW),}$$

$$\eta_{bl} = \text{nýtni blásara fyrir utan legutap,}$$

$$\eta_D = \text{mekanísk nýtni drifs m.v. ásafli mótors,}$$

$$\eta_M = \text{nýtni rafmótors,}$$

$$\eta_R = \text{nýtni reglunarbúnaðar að meðtöldum áhrifum hans á tap í mótör.}$$

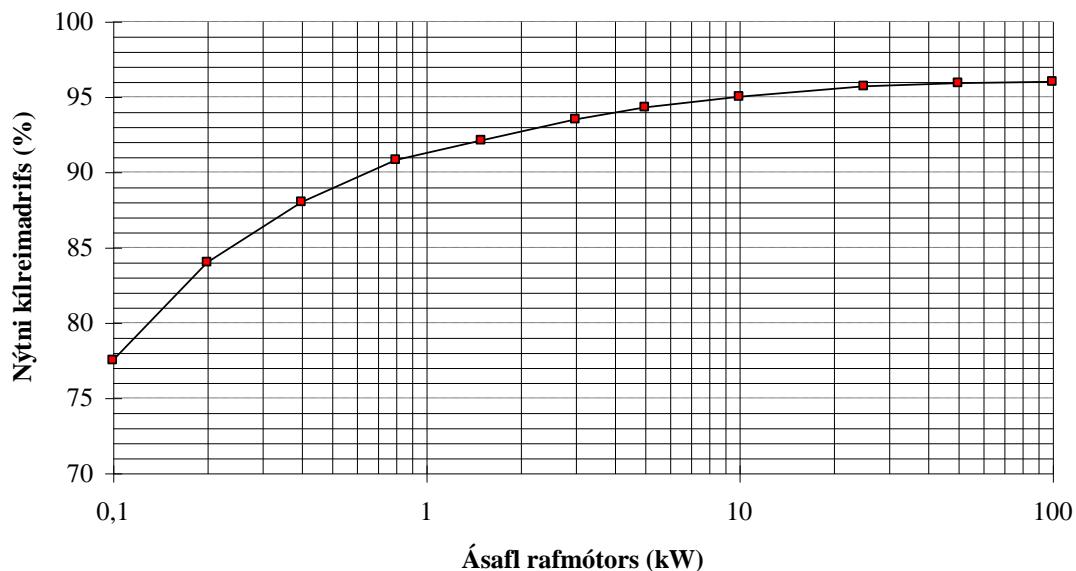
^{*)} Ef um VAV-kerfi er að ræða reiknast P við 80% af mesta flæði. Athuga ber áhrif mismunandi flæðisreglunar á η_{BL} , η_D , η_M og η_R .

Aukning þrýstings yfir blásarann, Δp_{BL} , er til að mæta Δp_{ytri} og Δp_{innri} . Δp_{ytri} tákna þrýstímótstöðu í stökkakerfinu utan við blásarasamstæðuna, bæði sogmegin og þrýstingsmegin, þ.m.t. hljóðdeyfar, lokur o.þ.h. sem kunna að vera úti í kerfinu. Δp_{innri} er samanlagt þrýstifall í hinum ýmsu hlutum loftræsisamstæðunnar og þrýstitap við úttak úr blásara.

Innra þrýstifall Δp_{innri} skal miðast við hönnunarþrýstifall í síu og þurra varmafleti og rakatæki.

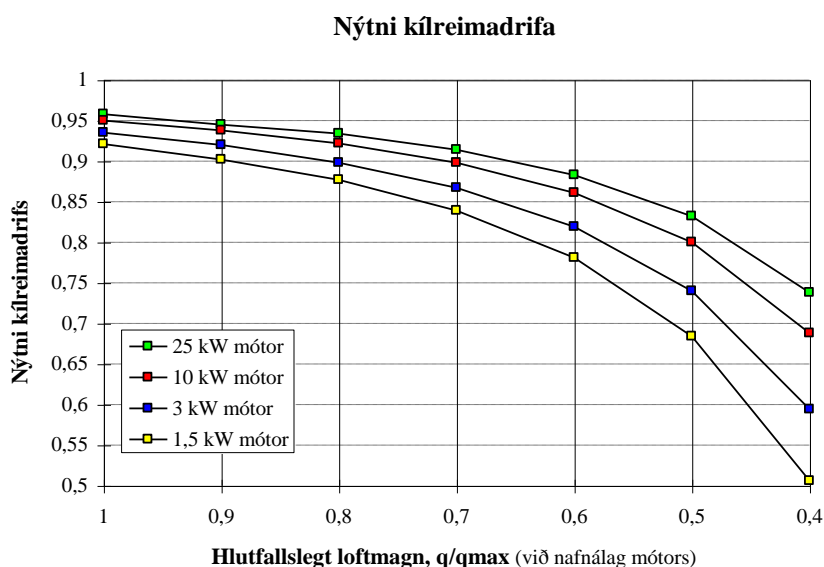
Hönnunarþrýstifall í síu $\Delta p_{hönsía} = \Delta p_{hreinsía} + 0,1 (\Delta p_{ytri} + \Delta p_{innri} \text{ án síu})$.

Upplýsingar um "mekaníska" nýtni kílréimadrifa, η_{D-kil} , miðað við ásafl mótors er að finna í handbókum, en kílréimadrif eru að jafnaði hönnuð fyrir málafli. Því gilda slíkar nýtnitölur einungis þegar mótörinn er vel nýttur, eða 75 til 100% af málafli. Línuritid að neðan sýnir dæmi um nýtni kílréimadrifs við slíkar aðstæður.



Mynd 9.1: Nýtni kílréimadrifs við fullt álag á mótör.

Tap í kílréimadrifi breytist hlutfallslega með hraða blásarans. Ef dæmi er tekið um 3 kW mótur sem hefur um 94% nýtni við 100% streymi skv. mynd 1, er tapið $(1-0,94) \cdot 3 = 0,18$ kW. Við 80% streymi verður tapið $0,8 \cdot 0,18 = 0,144$ kW. Aflþörf blásarans minnkar hins vegar mun meira, eða með hlutfalli hraða í þriðja veldi, og verður $0,8^3 \cdot 3 = 1,536$ kW. Þetta þýðir að nýtni kílréimadrifsins versnar og verður $(1,536 - 0,144) \cdot 100/1,536 = 90,6\%$ í stað 94% við fullt álag. Þetta er sýnt á mynd 2 fyrir nokkrar móturstærðir.



Mynd 9.2: Nýtni kílréimadrifa versnar við hlutaálag.

Í töflunni að neðan, töflu 9.1, er að finna nokkuð lægri gildi en á mynd 9.2, og má gera ráð fyrir að tekið sé að nokkru tillit til þeirrar lækkunar sem verður á nýtni við hlutaálag. Í töflu 9.2 eru sýnd dæmi um nýtni mismunandi gerða af reimdrifum við fullt álag.

Ásafli, kW	Nýtni kílréimadrifs η_{D-kil} %
< 3	85
3 - 10	90
10 - 50	93
> 50	95

Tafla 9.1: Nýtni kílréimadrifa er háð afli mótors (13)

Tegund reimadrifs	Nýtni reimadrifs η_{D-kil} %
Venjuleg kíltreim (ein)	93-98
Venjulegar kíltreimar (fleiri en ein)	90-93
Tenntar, formaðar kíltreimar	96-98
Tannreimadrif	97-99
Flöt reim	97-99

Tafla 9.2: Dæmi um nýtni mismunandi reimadrifa (13)

Ef blásarahjólíð er fest beint á snúningsás mótors er $\eta_D = 1$. Blásarar með öxultengi hafa $\eta_D = 0,98$.

Vísað er til framleiðenda rafmótora um *nýtni rafmótors*, η_M , (sjá t.d. meðfylgjandi töflur).
Nota má gildin í *töflu 2* til leiðbeiningar.

Málafli, kW	Mótornýtni, η_M %		
	2-póla	4-póla	6-póla
	3000 sn/mín	1500 sn/mín	1000 sn/mín
0,18 - 0,75	71	66	61
1,1 - 3	83	79	78
4 - 11	87	86	85
15 - 55	92	92	92
> 55	95	95	95

Tafla 9.2: Nýtni rafmótora, leiðbeinandi gildi.

Nýtni tíðnibreyta, η_R , og áhrif þeirra til minnkunar á nýtni rafmótora er best að fá frá framleiðanda. Ef mótórin gengur á eða nálægt mál-snúningshraða má setja nýtnina $\eta_R \sim 0,96$, og við u.þ.b. 80% streymi er $\eta_R \sim 0,93$.

Skilgreining SFP_v-gildis

Þegar afköst blásara eru skilgreind, t.d. í útboðsgögnum, er venja að tilgreina a.m.k. loftmagn og ytri þrýstímótstöðu. Nú er þess almennt krafist að aflþörf blásaramótors sé innan vissra marka, og til að auðvelda bjóðendum að velja blásara eða samstæðu sem uppfyllir kröfurnar er æskilegt að tilgreina einnig leyfilegt SFP_V -gildi. Dæmi um kröfur í verklýsingu:

Sýnidæmi 9.2

Samstæða með varmanýtum og aðlofts- og fráloftsblásurum:

$$q_{\text{aðloft}} = 10,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\square p_{\text{ytri}} = 200 \text{ Pa}$$

$$q_{\text{fráloft}} = 9,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\square p_{\text{ytri}} = 180 \text{ Pa}$$

$$SFP_V \square 2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$$

Sýnidæmi 9.3

Fráloftssamstæða:

$$q_{\text{fráloft}} = 1,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\square p_{\text{ytri}} = 150 \text{ Pa}$$

$$SFP_V \square 1,25 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$$

Þegar um er að ræða stakar aðlofts- eða fráloftssamstæður, og orkunotkun alls lofttræsikerfisins á að vera skv. VAS-2500, verður að krefjast þess að SFP_V -gildi samstæðu svari til VAS 2500/2, þ.e. $1,25 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

Mæling SFP_V -gilda

SFP_V -gildið er skilgreint við hönnunarforsendur, þ.e. hönnunarþrýstifall í síu og hönnunarloftmagn. Þegar meta á SFP_V -gildið við raunverulegar aðstæður er að öllu jöfnu auðveldara að mæla aflþörf aðlofts- og fráloftsblásara við það loftmagn með því sem næst hreinni síu. Aflþörfin, sem þannig er mæld, er síðan umreiknuð yfir í aflþörf við hönnunarþrýstifall í síu og hönnunarloftmagn. Þá er reiknað út SFP_V leiðrétt og það borið saman við SFP_V .

Hönnuður ætti að skilgreina SFP_V með vikmörkum, $m_1 (\pm)$. Ef það hefur ekki verið gert má miða við $m_1 = \pm 0,05$.

Gerum ráð fyrir að mælinákvæmni afl- og flæðismælitækja sé m_2 og m_3 . Til að uppfylla kröfur um SFP_V verður eftirfarandi að gilda:

$$SFP_{\text{leiðrétt}} (1 - \sqrt{m_2^2 + m_3^2}) \square SFP_V (1 + m_1)$$

Aflþörf rafmótors er mæld með því að mæla rafstrauminn, I , við gefna spennu, U . $\cos\varphi$ mótorsins er þekkt (ástimplað eða skv. upplýsingum framleiðanda). Ef motorinn er af yfirstærð verður að nota leiðréttan $\cos\varphi$:

$$P = \sqrt{3} \square U \square I \square \cos\varphi$$

Sýnidæmi 9.4

Skv. hönnun:

$$P_{AL} = 1,3 \text{ kW við } q_{AL} = 1,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_{FL} = 1,1 \text{ kW við } q_{FL} = 0,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$SFP_V = (P_{AL} + P_{FL})/q_{\text{max}} = (1,3 + 1,1)/1,0 = 2,4 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s}), \quad m_1 = \pm 0,05$$

Mælt:

$$P_{AL\text{mælt}} = 1,4 \text{ kW}, \quad m_2 = \pm 0,03 \text{ við } q_{AL\text{mælt}} = 1,05 \text{ m}^3/\text{s}, \quad m_3 = \pm 0,08$$

$$P_{FL\text{mælt}} = 1,0 \text{ kW}, \quad m_2 = \pm 0,03 \text{ við } q_{FL\text{mælt}} = 0,85 \text{ m}^3/\text{s}, \quad m_3 = \pm 0,08$$

Leiðrétt gildi:

Umreikna þarf aflþörfina, sem mæld var, í aflþörf við hönnunarflæði. Aflþörfin er háð flæði í þriðja veldi og því verða umreiknistuðlarnir $(q_{AL}/q_{AL\text{mælt}})^3$ og $(q_{FL}/q_{FL\text{mælt}})^3$. Því næst þarf að umreikna aflþörfina fyrir hönnunarþrýsting síu, þar sem hún var mæld með hreinum síum. Aflþörfin er í beinu hlutfalli við heildarþrýsting blásara. Gera má ráð fyrir að heildarþrýstifall með hönnunarþrýstifalli í síu sé um 8% hærra en með hreinum síum; leiðréttingarstuðullinn verður því 1,08.

Með hliðsjón af þessu verða leiðréttu gildin:

$$P_{AL\text{leiðrétt}} = P_{AL\text{mælt}} (q_{AL}/q_{AL\text{mælt}})^3 \cdot 1,08 = 1,4 (1,0/1,05)^3 = 1,31 \text{ kW}$$

$$P_{FL\text{leiðrétt}} = P_{FL\text{mælt}} (q_{FL}/q_{FL\text{mælt}})^3 \cdot 1,08 = 1,0 (0,9/0,85)^3 = 1,28 \text{ kW}$$

$$SFP_{\text{leiðrétt}} = (P_{AL\text{leiðrétt}} + P_{FL\text{leiðrétt}})/q_{\text{max}} = (1,31 + 1,28)/1,0 = 2,59 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$$

Viðurkennt leiðrétt mæligildi, $SFP_{V\text{ leiðrétt}}$:

Leiðrétt mælt $SFP_{\text{leiðrétt}}$ að teknu tilliti til hámarks mæliskekkju =

$$SFP_{\text{leiðrétt}} (1 - \sqrt{m_2^2 + m_3^2}) = 2,59 (1 - \sqrt{0,03^2 + 0,08^2}) = 2,37 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$$

Leyfilegt SFP_V gildi að meðtölu hönnunarvirkmáli =

$$SFP_V (1 + m_1) = 2,4 (1 + 0,05) = 2,52 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$$

Leiðrétt mæligildi á SFP_V með frádrætti vegna mæliskekkju, $2,37 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$, er viðurkennt, þar sem það er lægra en fyrirskrifað gildi að viðbættum vikmörkum, $2,52 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

Heimildir

- (1) Byggingarreglugerð nr. 441 (1998).
- (2) P.V. Nielsen. Aalborg University, Denmark.
"Ventilation in Commercial and Residential Buildings". Ventilation Systems and Air Quality. Von Karman Institute for Fluid Dynamics, Lecture Series 1998-07.
- (3) ANSI/ASHRAE Standard 62-2001.
- (4) „Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings“, Report No. 11. European Concerted Action – Indoor Air Quality & its Impact on Man. EUR 14449 EN. 1992.
- (5) DS 447 E.
„Code for Thermal Indoor Climate“, 1. útgáfa. Dansk Standard 1995.
- (6) „Húsasótt – viðtækt vandamál“. Viðtal við Björn Marteinson. Mbl. 27. ágúst 2002.
- (7) prENV 1752:1997 – „Ventilation for buildings – Design criteria for the indoor environment“. Frumvarp að EN-staðli. 1997.
- (8) Thor Lexow (Norges Byggstandardiseringsråd)
„Dimensioneringsmetoder for inneklime“
Norsk VVS. 7/2002, bls.15.
- (9) „Samþykkt um loftræsilagnir í Reykjavík“ (drög)
Borgarverkfræðingur, Byggingarfulltrúi, Gatnamálastjórnin í Reykjavík, Orkuveita Reykjavíkur.
September 1997.
- (10) Ventilation Ståbi. 2. útgáfa 1996. Teknisk Forlag A/S.
- (11) CEN CR 1752 – „Ventilation for buildings – Design criteria for the indoor environment“. European Committee for Standardization, Brussel, 1998.
Frumvarp að EN-staðli. 1997.
- (12) „Effektivitet hos flåktar och luftbehandlingsaggregat – Beräkning och kontroll af SFP_v – värden“. Foreningen Ventilation-Klimat-Miljø. V-skrift 1995:1.

- (13) „Den lille blå om ventilation – Spareventilator“.
Útgefandi: Dönsku rafveiturnar (ELFOR), 1. útgáfa 2002.
- (14) N.F. Bisgaard: „Klima og ventilationsteknik“, 2. útgáfa, Polyteknisk Forlag 1973.
- (15) DS 447: „Ventilationsanlæg“, 1. útgáfa. Dansk Standard 1981.
- (16) „Loftræsikerfi-nýjungar. Leiðir til lækkunar rekstrarkostnaðar í loftræsikerfum“.
Háskóli Íslands, Endurmenntunarstofnun. Námskeið nr. 216, nóvember 1995.
- (17) „Ökonomisk dimensionering af VENTILATIONSANLÆG“.
Danvak. Námskeið nr. K 124, 1994.
- (18) DIN 1946, Teil 2: „Ventilation and air conditioning; Technical health requirements (VDI ventilation rules)“ Deutsche Norm, 1994.