

6.0 Loftun og súrefnisblöndun

Valdimar Ingi Gunnarsson, Helgi Thorarensen, Guðmundur Einarsson, Hjalti Bogason, Jóhann Geirsson og Sigurgeir Bjarnason

Efnisyfirlit

6.1 FRÆÐI	79
6.1.1 Lofttegundir í vatni	79
6.1.2 Flutningur lofttegunda	79
6.1.3 Aðferðir	80
6.1.4 Samanburður	80
6.2 LOFTUN Í KARI – FASTUR BÚNAÐUR	81
6.2.1 Karaloftun	81
6.2.2 Loftdreifarar og loftpressur	82
6.2.3 Lágþrýstikaraloftari	82
6.2.4 Háþrýstings karaloftari	85
6.3 LOFTUN Í KARI – LAUS BÚNAÐUR	85
6.3.1 Úðaðar	85
6.3.2 Spaðahjólaloftari	86
6.3.3 Loftskrúfudæla	87
6.4 LOFTUN Á MILLI ELÐISEININGA	87
6.4.1 Þyngdarafloftun	87
6.4.2 Afloftari	88
6.5 SÚREFNISÍBLÖNDUN	90
6.5.1 Súrefnisframleiðsla	90
6.5.2 Súrefnisíblöndun í kari	90
6.5.3 Súrefnisíblöndun utan við kar	92
6.6 SÚREFNISÍBLÖNDUN OG LOFTUN	94
6.6.1 Hvort er hagkvæmara?	94
6.6.2 Hringlaga kör	95
6.6.3 Lengdarstraumskör	96
6.7 NIÐURSTÖÐUR OG TILLÖGUR	97
6.7.1 Loftun	97
6.7.2 Súrefnisíblöndun	98
6.7.3 Loftun og súrefnisíblöndun	98

6.1 Fræði

6.1.1 Lofttegundir í vatni

Þær lofttegundir sem finnast í vatni eru einnig í andrúmsloftinu (tafla 6.1). Hver lofttegund fyrir sig veldur ákveðnum hlutaprýstingi sem er samsvarandi við rúmmál lofttegundanna í andrúmsloftinu. Heildarloftprýstingur andrúmsloftsins er summa hlutprýstings þeirra lofttegunda sem það er samsett úr.

Hlutfall lofttegunda í vatni er annað en í lofti vegna mismunandi leysanleika þeirra í vatni (tafla 6.2). Sem

dæmi má nefna að hlutfallið $O_2:N_2$ er um 1:4 í lofti en er 1:2 í vatni, þannig að súrefni leysist mun betur en köfnunarefni í vatni. Leysni loft-

tegunda, oftast mælt í mg/l, er háð hita, seltu, samsetningu lofttegunda og heildarþrýstings í vatninu.

Tafla 6.1. Styrkur lofttegunda í purru andrúmslofti.

Lofttegund	Rúmmál (%)	Þyngd (%)
Köfnunarefni	78,082	75,6
Súrefni	20,946	23,2
Koltvísýringur	0,032	0,048
Argon	0,934	1,3

6.1.2 Flutningur lofttegunda

Leitar jafnvægis

Hlutprýstingur lofttegunda í vökva og lofti leitar jafnvægis þar til hann er sá sami í báðum fösum. Flutningshraði er í réttu hlutfalli við þrýstingsmuninn fyrir hverja lofttegund milli lofts og vökvaþasa. Flutningur lofttegunda stjórnast því af þrýstingsmun. Sem dæmi má nefna að ef súrefni vatns er undir loftþrýstingi og köfnunarefni yfir loftþrýstingi mun súrefni loftast inn og köfnunarefni loftast út. Þeir þættir sem hafa áhrif á hve mikið magn af lofttegund skiptir um fasa á tímaeiningu eru:

- Stærð flatar milli lofts og vatns (yfirborð/rúmmál)
- Mismunur hlutþrýstings milli vatns og loftfasa (mettunarhlutfall)
- Yfirborðsspenna

Yfirborðsspenna

Við skil vökva og andrúmslofts myndast kraftur sem hefur áhrif á blöndun þessara tveggja efna. Þessi kraftur kallast yfirborðsspenna sem myndar einskonar varnarlag sem tefur fyrir efnaskiptum vatns og lofts. Þessi himna (yfirborðsspenna) brotnar upp þegar vatn freyðir í fossun og lofturum og verða þá öll efnaskipti

Tafla 6.2. Leysni lofttegunda í ósöltu vatni við mismunandi hitastig og í jafnvægi við andrúmsloft við 760 mm Hg.

	5°C		10°C		15°C	
Lofttegund	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%
Köfnunarefni	20,33	58,5	18,14	58,5	16,36	58,8
Súrefni	12,76	36,7	11,28	36,6	10,07	36,4
Argon	0,78	2,2	0,69	2,2	0,62	2,2
Kolsýringur	0,89	2,6	0,75	2,4	0,63	2,3

hraðari. Yfirborðsspenna fer lækandi með hækkandi hitastigi.

Yfirborð/rúmmál

Snertiflötur vatns og andrúmslofts hefur verulega áhrif á flæði lofttegunda og er hún meiri eftir því sem snertiflöturinn stækkar. Þess vegna er mikilvægt að sprengja vatnið upp í sem allra smæstu dropa við loftun eða mynda smáar loftbólur við loftun í vatni og súrefnisíblöndun.

Mettunarhlutfall

Mettunarhlutfall hefur einnig áhrif á hve fljótt lofttegundir berast milli vatnsflatarsins og andrúmsloftsins. Vatn með lága súrefnismettun bætir auðveldar við sig súrefni, en vatn sem er nálægt mettnarmörkum síður (mynd 6.1).

6.1.3 Aðferðir

Tvær aðferðir við loftun

Það er í grunninn tvær aðferðir að koma súrefni í vatn við loftun; annað hvort með að loftið blandist vatninu eða vatnið loftinu (mynd 6.2). Súrefni blandast eingöngu með að dæla því í vatnið.

Loftun við yfirþrýsting

Þegar loftað er undir þrýstingi á sér stað yfirmettun á köfnunarefni sem getur haft skaðlega áhrif á fiskinn. Það setur því takmarkanir á það á hve miklu dýpi loftunin getur átt sér stað.

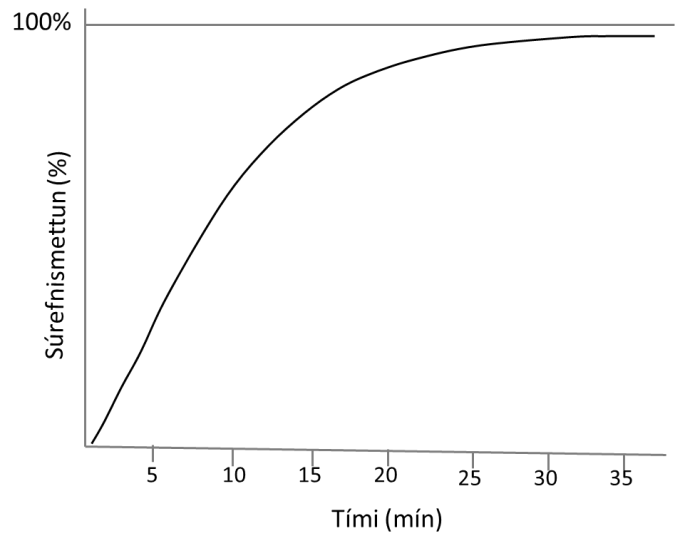
Í dönsku landeldi þar sem lofti er dælt á 2-4 metra dýpi myndast allt að 10% köfnunarefnisyfirmettun. Það hefur þó ekki valdið afföllum á fiski þar sem súrefnismettun fer sjaldan yfir 80% og heildaryfirmettun allra lofttegunda fer því ekki yfir 3-4%. Á því gæti þó orðið breyting ef súrefnisinnihald vatnsins yrði haft hærra eða með allt að 100% mettnun (Skov o.fl. 2011).

Loftun við undirþrýsting

Ef vökvi er loftaður við undirþrýsting verður magn lofttegunda í vatninu minna en gerist við náttúrulegar aðstæður (eina loftþyngd). Með því að lofta við undirþrýsting er hægt að losna við stóran hluta lofttegunda úr vatninu. Á þennan hátt er t.d. hægt að tryggja að engin köfnunarefnisyfirmettun sé í vatninu. Þegar búið er að minnka magn köfnunarefnis, koltvísýrings og fleiri lofttegunda er auðveldara að bæta súrefni í vatnið t.d. með súrefnisíblöndun.

Súrefnisíblöndun

Með loftun er aðeins hægt að ná súrefnismettun vatns upp að 100%. Við 15°C hita er um 10,07 mg O₂ /l við eina loftþyngd (1 atm). Ef súrefni er eina lofttegundin í vatninu fer það allt upp í 48,09 mg O₂ /l. Yfirmettunin er þá orðin tæp 500%. Ef auka á súrefnismettunina enn frekar þarf að auka þrýstinginn.



Mynd 6.1. Það hægist mjög mikið á flutningi súrefnis úr andrúmslofti yfir í vatn eftir því sem nær dregur mettnarmörkum.

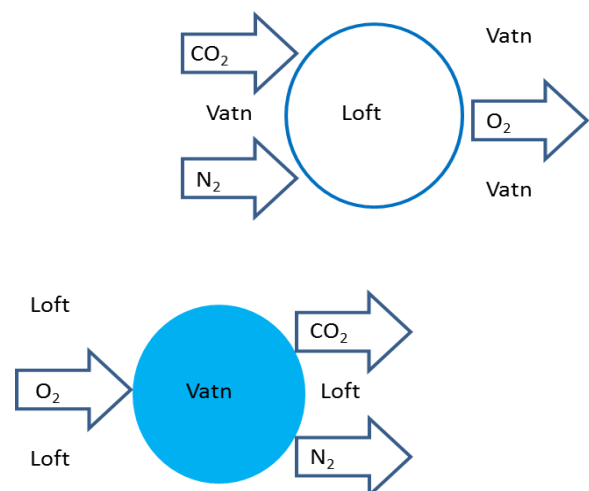
6.1.4 Samanburður

Mæliaðferðir

Þegar verið er að meta virkni loftunnar er það gert við staðal aðstæður, þ.e.a.s. í súrefnissnaudu vatni við 20°C. Stöðluð uppsetning auðveldar að meta muninn á mismunandi loftunarbúnaði. Afkastageta búnaðarinnar er metinn eftir því hve mikið súrefni framleitt er á einni klukkustund (kg O₂/klst). Það sem skiptir mestu máli er hve mikið magn af súrefni er framleitt á kWst. Þá er einfaldlega orkunotkuninni deilt í súrefnisframleiðslunni og fæst þá kg O₂/kWst (Colt 2000a).

Framleiðsla á súrefni við eldisaðstæður

Mæla súrefnisnotkun við staðlaðar aðstæður (20°C og 0% súrefni) gefur ekki upplýsingar um raunverulega framleiðslu á súrefni við eldisaðstæður. Hér skiptir mestu máli hver súrefnismettunin er í upphafi loftunnar



Mynd 6.2. Tilgangur með loftun er að auka súrefnisinnihald og lækka styrk koltvísýrings og köfnunarefnis. Efri mynd; Andrúmsloft í vatni. Neðri mynd; Vatn (dropi) í andrúmslofti (Teikning: Valdimar Ingi Gunnarsson).

(Colt 2000a). Eftir því sem súrefnismettunin er lægri er framleiðslan á súrefni (kg O₂/klst) meiri og það hægir síðan verulega á súrefnisframleiðslu eftir því sem nær dregur 100%. Það er því dýrara að lofta vatnið eftir því sem súrefnismettun nálgast 100% (mynd 6.3).

Áhrif vatnshita á virkni loftunnar

Vatnshiti hefur verulega áhrif á virkni loftunnar sem minnkar með lækkanði hitastigi. Í þessum samhengi má nefna að til að ná svipaðri loftun við 5°C og 20°C þarf að hækka þyngdarafloftara um tæpan metra (Colt og Bouck 1984). Í reynd þýðir þetta að það þarf meiri og dýrari búnað til að lofta vatn í eldisstöð sem er með 4-5°C hita í samanburði við 10°C.

Áhrif seltu á virkni loftunnar

Virkni loftunnar (kg O₂/kwst) eykst með hækkanði seltu. Ástæðan er talin vera sú að við loftun í sjó myndast minni loftbólur og vatnsdropar við loftun í andrúmslofti (Fast o.fl. 1999; Vinatea og Carvalho 2007). Aukning í virkni loftunnar með aukinni seltu viðist vera mismunandi eftir aðferðum. Þegar lofti var dælt í vatn með skúfuloftdælu jókst virknin um 185% og var mest við 35 ppm seltu. Aftur á móti jókst virknin aðeins um 70% við að hækka seltuna upp í 30 ppm þegar notaður var spaðahjólalofitari sem þylar vatninu upp í andrúmsloftið (Vinatea og Carvalho 2007).

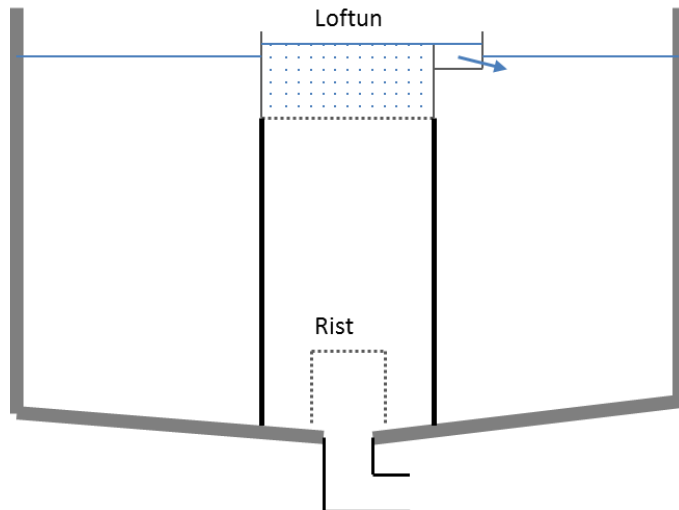
6.2 Loftun í kari – fastur búnaður

6.2.1 Karalofun

Hönnun

Við hönnun á karalofutara skiptir megin máli eftirfarandi (Laursen o.fl. 2008):

- *Blástursdýpi*; Eftir því sem blásið er dýpra er meiri



Mynd 6.4. Lágþrýstikaralofitari í hringlaga kari (Teikning: Valdimar Ingi Gunnarsson).

þrýstingur og hraðari flutningur súrefnis úr andrúmslofti yfir í vatnið. Undir þrýstingi er metnunarmörk lofttegunda í vatni hærri og þegar vatnið kemur upp í yfirborð lækkar þrýstingurinn og það myndast yfirmettun. Alltaf er hætta á afföllum á fiski vegna köfnunarefnisyfirmettunar þegar loftað er undir þrýstingi.

- *Loftbólustærð*: Því minni sem loftbólurnar eru eykst yfirboð á milli vatns og andrúmslofts sem hraðar flutningi lofttegunda á milli vatns og lofts.
- *Uppdrif loftbóla*: Eftir því sem blásið er af meira dýpi er tíminn lengri sem loftbólurnar eru í snertingu við vatnið og virkni loftunnar meiri. Það hægir einnig á uppdrifi loftbóla eftir því sem þær eru minni.

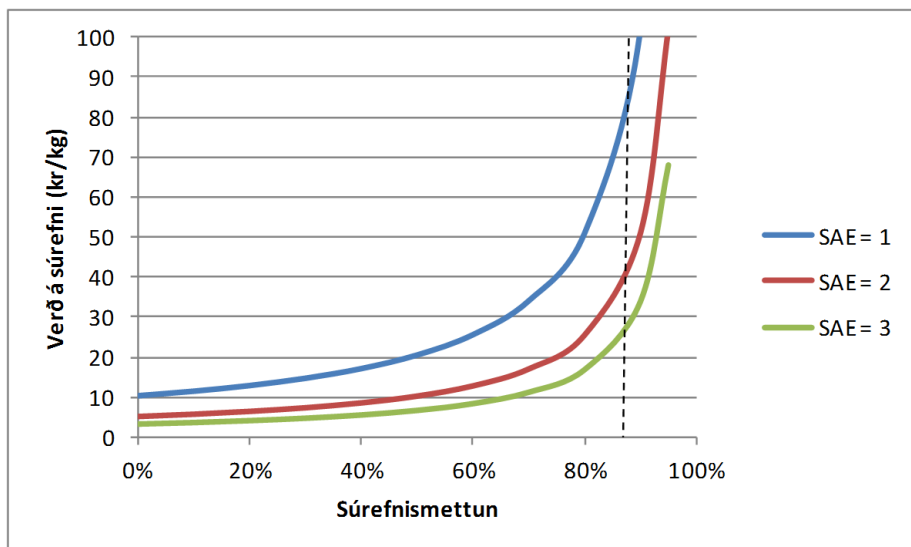
Tvær gerðir karalofutara

Skipta má karalofuturum í lágþrýsti- og háþrýstikaralofutara. Lágþrýstikaralofutara blása af litlu dýpi (um 80 cm) (mynd 6.4), köfnunaryfirmettun er ekki vandamál en virkni (kg O₂/kwst) loftunnar er minni en með notkun háþrýstikaralofutara.

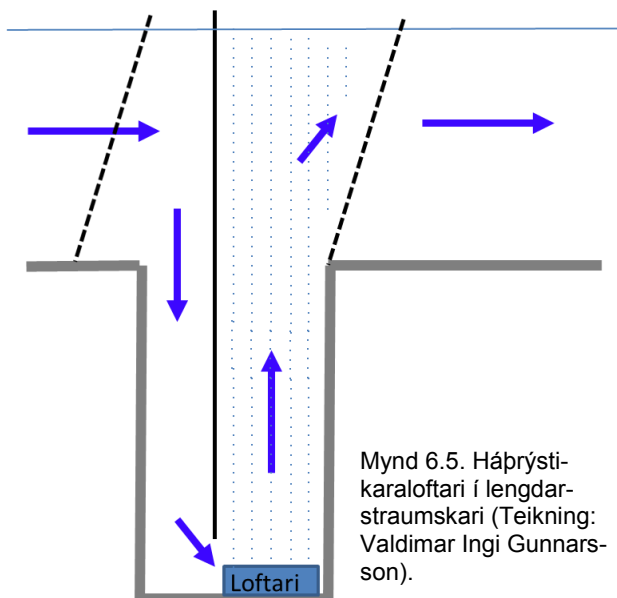
Lágþrýstikaralofitari er ekki mjög virkur við súrefnismettun yfir 80% en virkar vel við koltvísýringslosun vegna hversu grunnur hann er og loftmagn mikið (Laursen o.fl. 2008). Í háþrýstikaralofutara er loftdreifarinn staðsettur rétt fyrir ofan botn í djúpu kari eða ofan í gryfju eins og algengt er í lengdarstraumskörum í Danmörku (mynd 6.5). Hér er þrýstingurinn meiri og næst því hærri súrefnismettun en einnig myndast yfirmettun á köfnunarefni.

Loftbólustærð

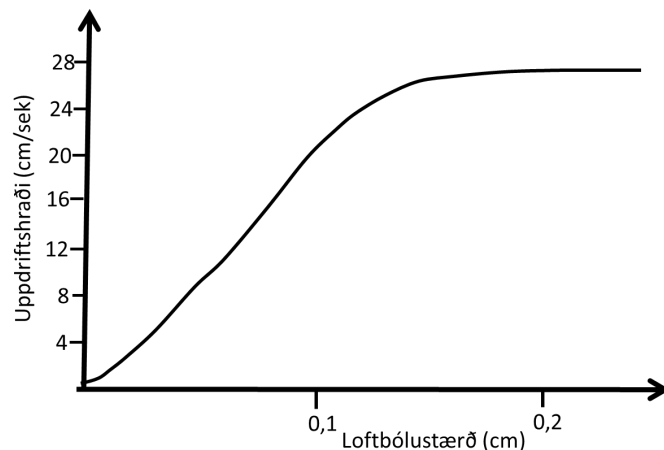
Loftbólustærðin ákvarðast af stærð



Mynd 6.3. Áætlaður verð á hvert framleitt kg af súrefni miðað við mismunandi metnun vatns og virkni lofunarbúnaðar (kg O₂/kwst, merkt SAE á mynd) (Mynd: Helgi Thorarensen).



Mynd 6.5. Háþrýsti-karaloftari í lengdarstraumskari (Teikning: Valdimar Ingi Gunnarsson).



Mynd 6.6. Uppdrifshraði eftir stærð loftbóla (Laursen o.fl. 2008).

6.2.2 Loftdreifarar og loftpressur

Loftdreifarar

Nokkrar gerðir eru til af loftdreifurum, s.s. keramik steinar, diskaloftdreifari og slönguloftdreifari (lekaslagna eða banani) (mynd 6.7).

Súrefnisupptaka eykst með auknu loftmagni sem dælt er í vatnið (mynd 6.8). Virkni loftunnar er þó mismunandi eftir þrýstingi, þ.e.a.s. magni lofts sem dælt er í gegnum loftdreifarann. Til að ná sem bestri virkni þarf þrýstingurinn að vera hæfilegur, en virkinn minnkar síðan eftir því sem meira lofti er dælt í gegnum loftdreifarann.

Loftblásarar

Nokkrar gerðir af loftblásurum eru notaðar í fiskeldi. Hér verður ekki fjallað um kosti og ókosti mismunandi gerða af lofturum eða hvaða tegund hentar fyrir hin mismunandi dýpi. Vanda þarf valið þar sem orkunotkun eða framleiðsla af súrefni á kWst getur verið mismunandi (Pedersen 2009).

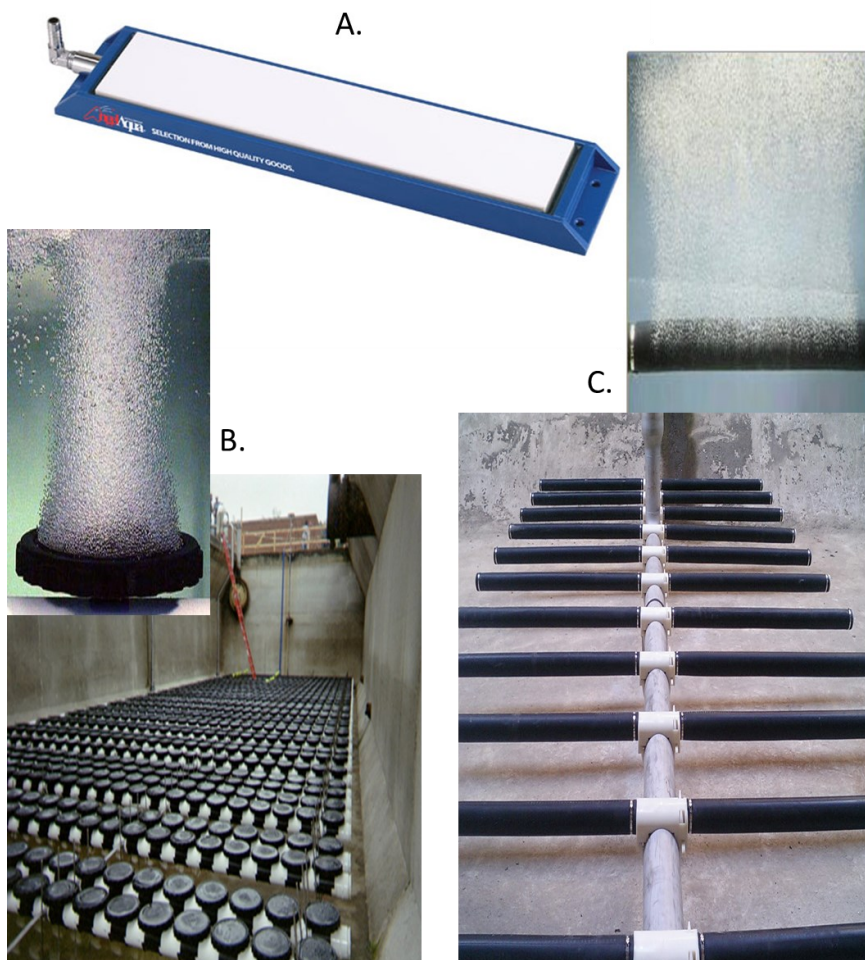
Uppsetning á loftunarkerfi fyrir karaloftun er mismunandi. Í einni danskri útfærslu er öflugur loftblásar staðsettur á karabrún og rör frá honum út í loftdreifara fyrir miðju kari (sjá mynd 6.12). Algengari útfærsla í Danmörku er miðlægur staður þar sem loftblásarnir eru staðsettir og röralagnir sem flytja andrúmsloftið út í lengdarstraumskör (mynd 6.9 og 6.10).

6.2.3 Lágþrýstikaraloftari

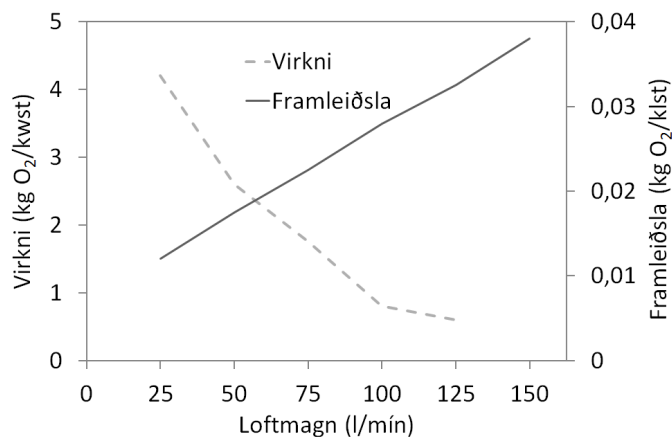
Kostir og ókostir

Nokkrar tegundir eru af karalofturum

gata á loftdreifaranum. Smærri göt á dreifara gefa minni loftbólur en samtímis eykst mótþrýstingur og því þarf kraftmiklar loftpressur (Laursen o.fl. 2008). Uppdrifshraði eykst með aukinni loftbólustærð og er kominn upp í 26 cm/s þegar þvermál loftbóla nær 1,5 mm en eykst lítið eftir það (mynd 6.6).



Mynd 6.7. Nokkrar gerðir af loftdreifurum. A. Keramik steinn. B. Diskaloftdreifari. C. Slönguloftdreifari (myndir frá söluaðilum teknar af netinu).



Mynd 6.8. Súrefnisupptaka (framleiðsla) (kg O₂/klst) eykst með aukinni loftun en virkni loftunnar (kg O₂/kWst) lækkar (Loyless og Malone 1998).

sem staðsettir er í miðju hringlaga kari. Loftdreifarinn er yfirleitt staðsettur á um eins metra dýpi. Kosturinn við að hafa loftunninn fyrir miðju kari er að þar er súrefnismettun vatnsins að jafnaði lægst. Karaloftarinn nær yfir stóran hluta af karinu og verndar fiskinn vel fyrir utanaðkomandi áreiti eins og sólskyni (tafla 6.3).

Ókostir eru að búnaðurinn er fyrirferðamikill og það þarf að hafa stólpa sem ná niður á botn til að halda loftaranum uppi sem getur haft neikvæð áhrif þegar það þarf að vinna með fiskinn í karinu. Ókostur við þessa gerð loftara er einnig að hann virkar ekki þegar lækkað er í karinu. Þegar öflug loftun er fyrir miðju kari er alltaf hætt við að uppstreymi dragi með sér gruggagnir sérstaklega í grunnum körum. Það getur því sett vissar takmarkanir að vera með samsett miðjufrárennsli í eldiskari.

BRIM útfærslan

BRIM karaloftari þekur stóran hluta yfirborðs karsins (mynd 6.11). Loftarinn er mjög stór og tekur um 5-6% af rúmmáli karsins. BRIM loftari er smíðaður úr PE efni og orkunotkunin er 3,75 kW í kari sem er 12 m í þvermál. Loftarinn lyftir vatninu upp og beinir því út um ákveðnar rásir sem viðheldur hringstreymi í karinu (www.fishtec.no).

Dönsk útgáfa af karaloftara

Dönsk útgáfa af lágrýstikaraloftara nær yfir minna svæði í karinu (mynd 6.12) en BRIM karaloftari. Loftdreifararnir eru grind staðsett á um 80 cm dýpi (Laursen o.fl. 2008). Það er ekki lögð sama áhersla á að mynda hringstreymi eins og með BRIM karaloftaranum. Vatnið fer beit út úr rammanum, berst að karavegg og myndar hliðarstraum í karinu. Tilraunir benda til að



Mynd 6.9. Loftblásarar sem notaðir eru í dönskum landeðisstöðum með lengdarstraumskör (Ljósmynd: Søren Jøker Trachsel).



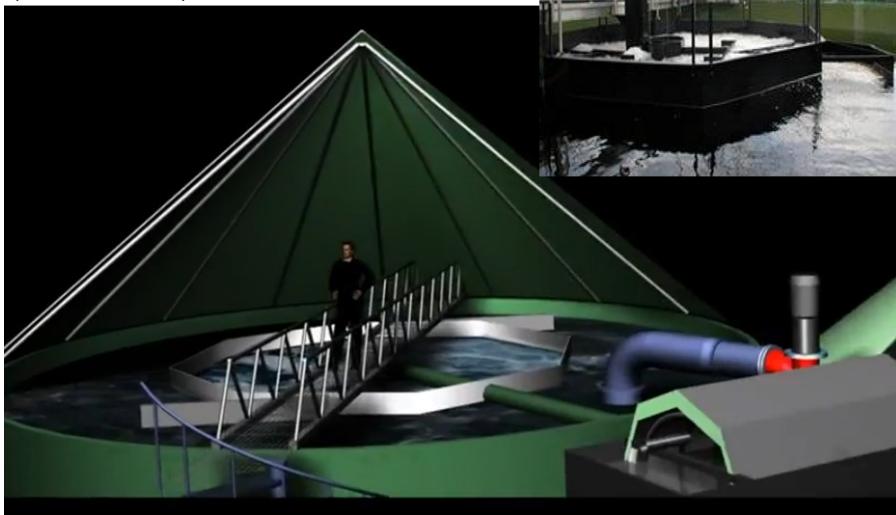
Mynd 6.10. Loftlagnir sem flytja andrúmsloft að loftdreifara (Ljósmynd: Søren Jøker Trachsel).

lágþrýstikaraloftari sé hagkvæmari í rekstri en háþrýstikaraloftari en þurfa meira rými (Laursen o.fl. 2008).

Bandarísk útgáfa

Þessi útgáfa er að því leyti frábrugðin að

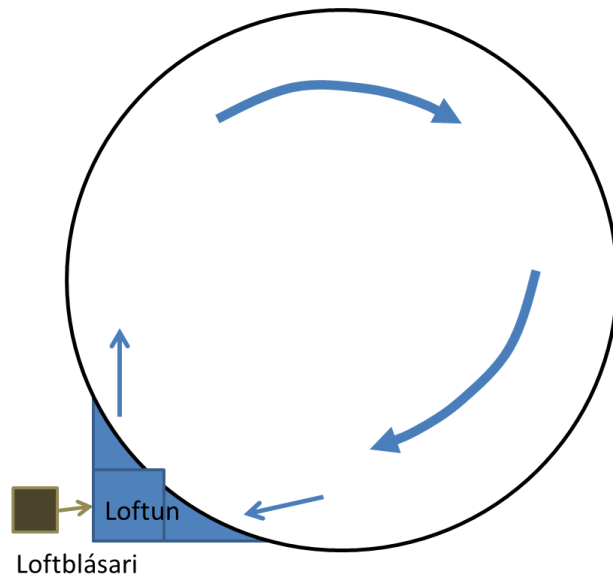
Mynd 6.11. BRIM lágrýstingskaraloftari (www.fishtec.no).





Mynd 6.12. Loftun fyrir miðju kari hjá Kærhede Dambrug í Danmörku. Á neðri myndinni sést ofan í loftarann (www.youtube.com/watch?v=36MXyTfshFE).

loftunarbúnaðurinn er utan við karið (mynd 6.13). Vatnið er leitt inn í sérstakt hólfi áfast karinu. Í botni hólfsins er loftdreifari sem dælir lofti í vatnið. Loftunin í hólfinu dregur vatnið inn í það og ýtir því síðan út. Við það að keyra vatnið í gegnum loftarann hækkaði súrefnisinnihald vatnsins um 1 mg/l og koltvísýringsinnihaldið lækkaði um 2 mg/l. Súrefnisinnihald vatnsins var 7 mg/l (66% mettn við 13°C) þegar það fór inn í loftarann. Stærð karsins var 11,5 m³ og magn sem keyrt var í gegnum loftarann var 1,9 m³/mín. Það tók því um 6 mínútur að dæla öllu vatni sem var í karinu í gegnum loftarann og hafði það jákvæð áhrif á straumhraðann.



Mynd 6.13. Bandarísk útgáfa þar sem vatn er leitt inn í sérstakt hólfi áfast karinu. Neðst í hólfinu eru loftdreifarar sem dæla lofti í vatnið (Byggt á Summerfelt o.fl. 2009).

Til að varna því að fiskur berist inn í loftarann eru ristar hafðar bæði í inntaki og úttaki loftbúnaðar (Summerfelt o.fl. 2009). Það er ekki vitað til að þessi búnaður hafi verið reyndur á stórum kórum. Hugsanlegt er að súrefnisdreifing í karinu verði ójöfn, mest upp við karaveggi, sérstaklega í stórum kórum með lítil vatnskipti.

Virgni

Rannsóknir sýna að hægt er að ná góðri virkni með lágþrýstikaraloftara eða frá 0,5 kg upp í rúmlega 2,0 kg O₂/kWst. Loftdreifararnir voru á tæplega eins meters dýpi og minnkaði virknin eftir því sem meira lofti var dælt í gegnum dreifarana (Loyless og Malone 1998). Í annarri tilraun náðist meiri virkni með lágþrýstikaraloftara en spaðahjólaloftara og jókst munurinn eftir því sem seltuinnihald í vatninu hækkaði (Hicks og Johnson 2008). Í danskri tilraun þar sem

Tafla 6.3. Samanburður á kostum og ókostum mismunandi gerða loftara við loftun í ferskvatni.

	Virgni (kg O ₂ /kWst)	Súrefnismetun	Áhrif á straum- myndun	„Buffer“ virkni	Köfnunarefnis- yfímetun	Aflöftun	Stofnkostraður	Skjól fyrir fisk
Lágþrýstings karaloftari	Yellow	Red	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Green
Háþrýstings karaloftari	Green	Green	Green	Yellow	Red	Green	Red	Red
Úðaðar	Yellow	Red	Red	Green	Green	Yellow	Green	Green
Spaðahjólaloftari	Green	Red	Green	Green	Green	Yellow	Green	Yellow
Loftskrúfudæla	Red	Red	Green	Green	Green	Yellow	Green	Red
Þyngdarafisloftari	Yellow	Green	Green	Red	Green	Yellow	Yellow	Red
Aflöftari	Yellow	Green	Green	Red	Green	Green	Yellow	Red

boruð voru 1,2 mm göt í rör sem staðsett voru á 0,84 metra dýpi voru framleidd 0,8 kg af súrefni á hverja kWst. Í þessari tilraun hækkaði sérefnismettunin aðeins út 69% í 72% en upp í 77% þegar loftdreifarinn var staðsettur á 1,84 m dýpi (Plesner o. fl. 2011). Í annarri tilraun þar sem súrefnismettun vatns var 66% þegar það fór inn í loftara sem var áfastur karinu (mynd 6.13) var virknin aðeins 0,18 kg O₂/kWst. Loftdreifarinn var á rúmlega eins metra dýpi (Summerfelt o.fl. 2009).

6.2.4 Háþrýstings karaloftari

Danska útgáfan

Í dönsku landeldi eru háþrýstikaraloftarar algengir í lengdarstraumskörum. Þeir eru einnig notaðir til að lyfta vatninu til að viðhalda hringstreymi í karinu. Dýptin á brunnunum er bæði 2 og 4 metrar mismunandi eftir landeldisstöðvum, en nýrri stöðvar eru þó yfirleitt með 2 m dýpi. Háþrýstikaraloftari nær að lyfta súrefnismettun vatnsins úr 65-70% upp í 90-95%. Vegna mikils þrýstings er afgösun ekki mjög virk (Laursen o.fl. 2008).

Kosturinn við þessa gerð af karaloftara er að þeir eru mjög öryggir í rekstri, ódýrt að koma þeim fyrir og þurfa ekki mikið rými (Laursen o.fl. 2008).

Virgni

Ef rétt er staðið að loftun með háþrýstikaraloftara þá er hægt að ná meiri virkni (kg O₂/kWst) en með notkun úðara (Boyd 1998; Pedersen 2009). Það sem ræður mestu ásamt loftbólustærð er að vera með stóra loftdreifara og hafa lítinn þrýsting á andrúmsloftinu og næst þá að framleiða 2-2,5 kg O₂/kWst (Boyd og Moore 1993). Náðst hefur allt upp í 6,37 kg O₂/kWst við að dæla lofti í gegnum rör sem var 3,3 m á lengd og 33 cm í þvermál og dýpi var rúmlega 4,34 m (Boyd 1993). Við eldisaðstæður er virknin þó mun lægri og í danskri landeldisstöð mældist framleiðsla súrefnis 0,4 kg O₂ / kWst þegar loftdreifarinn var á 1,84 m dýpi og súrefnismettun hækkaði úr 69% upp í 77%. Í samanburði við loftdreifara sem staðsettir voru á minna dýpi (0,8 m) var virknin töluvert lægri (Plesner o.fl. 2011).

6.3 Loftun í kari – laus búnaður

6.3.1 Úðaðar

Hönnun

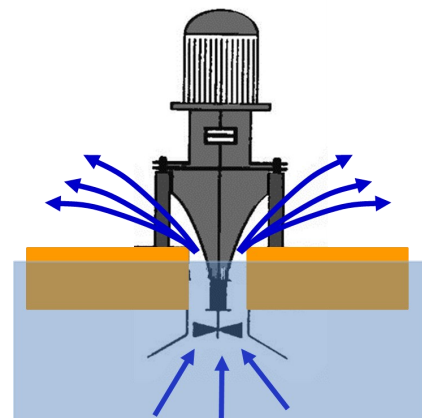
Úðari eða þeytari lyftir vatninu upp yfir vatnsborðið og þeytir upp í andrúmsloftið. Í honum er skrúfa sem dregur vatnið undan úðaranum, lyftir upp og því er síðan beint til hliðar í hringlaga úða (mynd 6.15 og 6.16). Til að viðhalda eða auka straumhraða í karinu er hægt að fá stefnumótandi úðara þar sem stærð geislans er takmarkaður (mynd 6.17). Úðarar er algengasta gerð af lausum litlum lofturum í eldiskörum hér á landi.



Mynd 6.14. Karaloftun í lengdarstraumskari í danskri landeldisstöð (Ljósmynd: Jóhann Geirsson).

Virgni

Rannsóknir á mismunandi útfærslum á úðara sýna að hámarki náðist virkni upp á 1,8 kg O₂ /kWst (Cancino 2004). Þessar niðurstöður miðast við að geislinn sem úðarinn myndar sé 360°. Við það að minnka geislan til að hafa jákvæð áhrif á karinu minnkar virknin. Við eldisaðstæður hefur virknin mælst 0,37-0,74 kg O₂ / kWst (Clark 2003).



Mynd 6.15. Uppbygging á úðara (Teikning: Valdimar Ingi Gunnarsson).



Mynd 6.16. Úðari með 360°geisla hjá Fiskeldinu Haukamýri (Ljósmynd: Valdimar Ingi Gunnarsson).



Mynd 6.17. Stefnumótandi úðari hjá Bæjarvík í Tálknafirði (Ljósmynd: Ingólfur Arnarsson).

Kostir og ókostir

Úðaðar henta ekki vel þegar markmiðið er að viðhalda hárrí súrefnismettun. Virkni þeirra eykst með lækkandi súrefnismettun í karinu og henta vel til að halda fiskinum á lífi þegar mettni í vatninu er lág (Laursen o.fl. 2008). Þeir eru mjög meðfærilegir og hafa reynst vel við aðstæður eins og eru hér á landi. Ókosturinn við úðara er að þeir hafa neikvæð áhrif á straummyndun sérstaklega í hringlaga kari. Hjá Fiskeldinu Haukamýri hefur náðst viðunandi árangur í 200 m³ hringlaga kari með að hafa annan úðarann stefnumótandi.

6.3.2 Spaðahjólaloftari

Hönnun

Spaðahjólaloftari er mótur sem öxull gengur út úr og á



Mynd 6.18. Spjaldhjólaloftari í lengdarstraumskari í stórrí landeldisstöð á Ítalíu (Ljósmynd: Valdimar Ingi Gunnarsson).

honum eru spaðar (mynd 6.18 og 6.19). Við snúning þeytist vatnið upp og þegar spaðarnir fara niður í vatnið draga þeir loft með sér og loftbólur stíga upp í yfirborð. Þeir lofta vatnið niður á 1,5-2,0 metra dýpi, eru stefnumótandi og koma góðri hreyfingu á vatnið (Bird og Cassels 2001). Varðandi hönnun spaðahjólaloftara næst besti árangurinn með að hafa spaðahjól sem eru um 90 cm í þvermáli, hafa þríhyrningslöguna á spöðum, snúningshraða upp á 77 hringi á mínútu og að spaðarnir nái 12,5 cm niður í vatnið (Ahmad & Boyd 1988).

Virkni

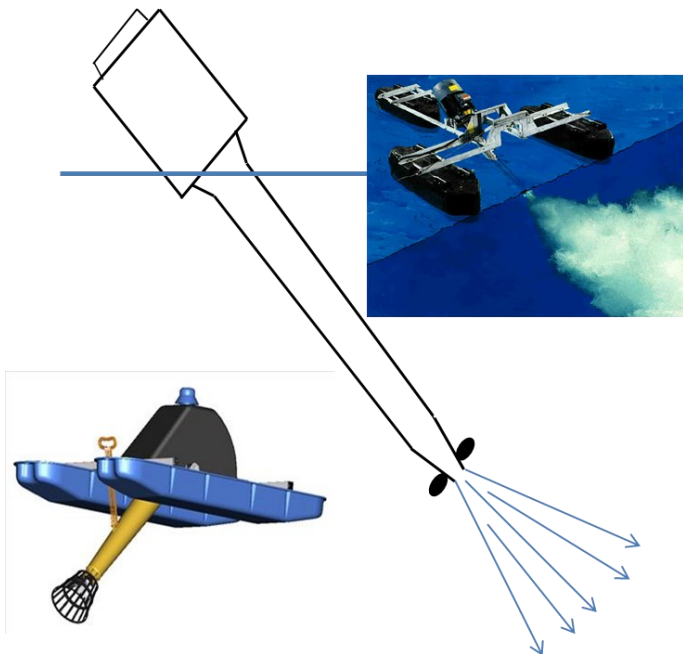
Spaðahjólaloftarar eru með meiri virkni (kg O₂ /kWst) en úðaðar (Boyd 1998) og loftskúfudælur (Vinatea og Carvalho 2007). Þeir eru jafnframt taldir besti valkostur við loftun á vatni í jarðtjörnum (Bird og Cassels 2001). Það er munur á virkni spaðahjólaloftara á milli framleiðanda og bestu loftaranir skiluðu 2,7-2,9 kg O₂ /kWst. Í tilraun með margar útfærslur af spaðahjólaloftara náðist best 2,96 kg O₂/kWst í ferskvatni (Ahmad & Boyd 1988). Afköst spaðahjólaloftara eykst með aukinni seltu og fór yfir 3,0 kg O₂ /kWst í hálsöltum og fullsöltum sjó (Fast o.fl. 1999; Vinatea og Carvalho 2007).

Kostir og ókostir

Augljós kostur spaðahjólaloftara fram yfir úðara er að virkni hans er meiri og hann hefur jafnframt jákvæð áhrif á straummyndunna í karinu. Spaðahjólaloftari hefur ekki verið reyndur



Mynd 6.19. Nokkrar gerðir af spjaldhjólaloftara (myndir frá söluaðilum, teknar af netinu).



Mynd 6.20. Nokkrar gerðir af loftskrúfudælur (myndir frá sölu-aðilum, teknar af netinu).

við íslenskar aðstæður. Þeim fylgir meiri buslugangur og er hugsanlegt að þeir séu ekki mjög hentugir á opnum svæðum þegar það eru mikil frost. Það vex einnig meiri gróður á þeim en úðurum.

Aðstæður eða selta vatns skiptir einnig mál varðandi val á búnaði til loftunnar. Við lága seltu (< 15 ppm) er spaðahjóladaela betri valkostur en skrúfloftdæla. Þar fyrir ofan er enginn munur (Vinatea og Carvalho 2007).

6.3.3 Loftskrúfudæla

Hönnun

Með loftskrúfudælu er loftinu dælt niður í vatnið og til að mynda iðustraum er skrúfa í endanum á dælunni (mynd 6.20). Það myndast litlar loftbólur sem stíga upp í yfirborðið. Loftun með loftskrúfudælu er því svipuð því sem gerist í karalofturum en þó á minna dýpi. Loftskrúfudæla er frábrugðin karaloftara að því leyti að auðvelt er að flytja hana á milli kara.

Virkni

Virkni loftskrúfudæla er 1,7-1,9 kg O_2 /kWst (Boyd og Martinson 1984). Nýrri rannsóknir sýna þó að virkni er mjög mismunandi eftir framleiðendum og hefur t.d. mælt 0,4 kg O_2 /kWst hjá einum framleiðenda (Kumar o.fl. 2010). Í annarri rannsókn kom fram að virkni loftskrúfudælu jókst úr 1,27 kg O_2 /kWst í fersku vatni upp í 3,62 kg O_2 /kWst í 35 ppm sjó (Vinatea og Carvalho 2007).

Kostir og ókostir

Kosturinn við loftskrúfudælu er



Mynd 6.21. Loftskrúfudælur í lengdastraumskari á Ítalíu (Ljósmynd: Valdimar Ingi Gunnarsson).

að hún er stefnumótandi og getur haft jákvæð áhrif á straummyndunina. Slæmt veðurfar hefur jafnframt mun minni áhrif á loftskrúfudælu en úðara og spaðahjóladaelu. Ókosturinn er að loftunin nær stutt niður og hentar loftskrúfudæla því ekki vel í djúpum körum.

6.4 Loftun á milli eldiseininga

6.4.1 Þyngdaraflsloftun

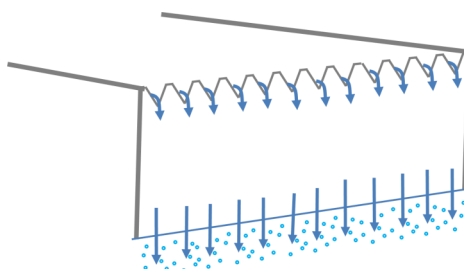
Margar gerðir

Það eru til margar gerðir af þyngdaraflslofturum. Þeir eiga það allir sammerkt að auka yfirborð milli vatns og lofts til að hraða loftskiptum sem mest. Til að brjóta upp vatnsyfirborðið í dropa þarf afl og því fylgir orkunotkun. Hægt er að nýta sér þyngdaraflið ef um hæðarmun er að ræða milli innstreymis og útstreymis sem getur verið hin hagkvæmasta lausn, en í mörgum tilfellum þarf að dæla vatni.

Loftun í innrennsli

Einfaldasta gerð af þyngdaraflsloftara er vatnsfall. Ef innrennsli er haft fyrir ofan vatnsyfirborð á sér stað loftun þegar það fellur ofan í vatnið rífur með sér loft, myndar iðustreymi og loftbólur stíga upp í yfirborðið (mynd 6.22). Vatnsfall er ekki mjög virkur loftari og í þeim tilvikum sem það er undirmerkt og til ráðstöfunar hæðarmunur borgar sig að brjóta vatnið meira niður í sérútbúnum lofturum (Soderberg 1982).

Í þeim tilvikum sem fullmettað vatn fellur niður í undirmerkt vatn eins og t.d. aftarlega í lengdarstraumskari getur vatnsfall verið valkostur. Hér skiptir lögun bununnar miklu máli en ekki er mælt með samfelldri bunu eins og algengt er í lengdarstraumskörum. Besti árangurinn næst með að skera þríhyrnings raufar í



Mynd 6.22. Þríhyrningslagaðar raufar skornar í yfirfall á lengdarstraumskari til að hámarka virkni loftunnar (Teikning: Valdimar Ingi Gunnarsson).

yfirfallið (mynd mynd 6.21). Mælt var áhrif vatnsrennsli (1 til 4 l/s) í gegnum raufina, loftunin metin og var niðurstaðan að eftir því sem vatnsflæðið var meira var loftunin lakari (Bylar og Bagatur 2000).

Hólkloftari

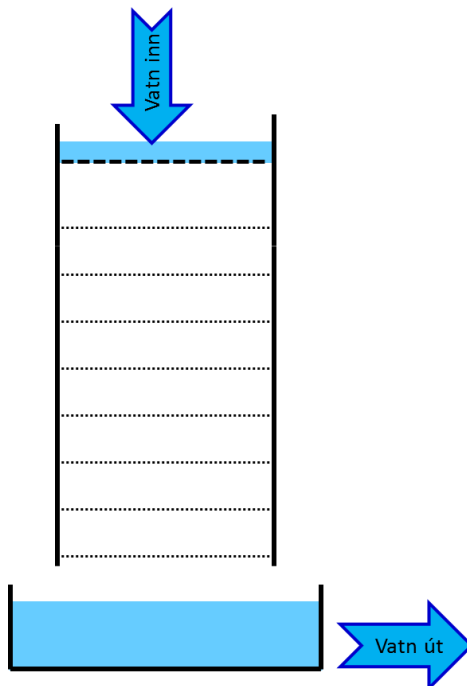
Hér á landi eru hólkloftarar algengastir en þeir samanstanda oftast af plaströri (mynd 6.23). Efst er dreifiplata með mörgum smáum götum eða annar búnaður til að dreifa vatninu um hólkin. Inn í hólkinu er fylling og hann er hafður aðeins fyrir ofan miðlunartank. Margar rannsóknir hafa verið gerðar á hólklofturum sem hægt er að nota við hönnun og smíði (Colt og Bouck 1984).

Fylling í loftara

Loftarar hafa jafnan fyllingu með mikið yfirborðsflatarmál og er algengt að nota plastkubba (mynd 6.24). Við loftun á vatni sem kemur úr eldiskörum vill oft fylgja með gruggagnir sem geta stíflað fyllinguna. Þegar notað er fín fylling stífla lífrænar leifar loftarann smá saman. Það þarf því með reglulegu millibili að hreinsa fyllinguna. Til að koma í veg fyrir að lífrænar leifar úr eldiskarinu stífla loftarann eða draga úr líkum á því er í sumum tilvikum hafðar plötur með götum með reglulegu millibili í loftaranum eða notuð grófari fylling (Timmons o.fl. 2002). Við það verður loftunin lakari en minna vandamál verður með hreinsun.



Mynd 6.25. Þyngdarafisloftari hjá Fiskeldinu Haukamýri (Ljósmynd: Valdimar Ingi Gunnarsson).



Mynd 6.23. Uppbygging á hólkloftara (Teikning: Valdimar Ingi Gunnarsson).



Mynd 6.24. Plastkubbar sem notaðir eru sem fylling í hólkloftara (mynd frá sölu-aðila, tekið af netinu).

Í þeim tilvikum sem vatnið er hreinsað mjög vel fyrir loftun eins og t.d. með tromlusíum er hægt að hafa tiltölulega fína fyllingu. Aftur á móti þegar lítil sem engin hreinsun á sér stað þarf loftarinn að vera með grófar ristar.

Virgni hólkloftara

Virgni hólkloftara er 1,2-2,4 kg O₂/kWst þegar það þarf að dæla vatninu (Hackney og Colt 1982; Colt 2000a). Í þeim tilvikum sem nægilegur hæðamunur er til staðar er súrefnisupptakan allt að 80 kg O₂/kWst enda er eina orkunotkunin frá loftdælu (Hackney og Colt 1982).

Loftarar án fyllingar

Í þeim tilvikum sem loftunnað er mikil þarf ekki að vanda eins til við val á fyllingu í loftara. Hjá Fiskeldinu Haukamýri hefur verið byggður stór loftari með grófum grindum til að brjóta niður vatnið. Með loftuninni í safntanki þar sem vatnið fellur fyrst niður næst súrefnisstyrkur vatnsins upp í rúm 95%. Hæð á loftara er um 1,8 metrar (mynd 6.25). Engin þörf er á að hreinsa loftarann til að auka virkni loftunnar.

6.4.2 Afloftari

Af hverju afloftara ?

Fiskar gefa frá sér 1,38 g af koltvísýringi fyrir hvert eitt gramm af súrefni sem þeir nýta í vatninu. Við mikinn þéttleika og endurnýtingu á vatni getur styrkur koltvísýring safnast upp og haft neikvæð áhrif á fiskinn. Það er meira mál að lofta koltvísýring úr vatni en að auka magn súrefnis með loftun. Það þarf því að lofta vatnið betur eftir því sem endurnýting eykst (Timmons o.fl. 2002). Til að komast hjá því að byggja mjög háan loftara er farin sú leið að blása lofti á móti vatnsfallinu og tryggja þannig stöðugan mikinn mun í mettnarhlutfalli súrefnis í vatni og lofti (mynd 6.27).

Hönnun

Í hefðbundnum lofturum er hlutfall lofts og vökva yfirleitt minna en 3:1. Í koltvísýringsloftara er hlutfallið 5:1 allt upp í 20:1 (Timmons o.fl. 2002; Vinci o.fl. 2011). Með því að hafa afloftarann 1,5 metra á hæð og hlutfall á milli lofts og vatns 5:1 næst að fjarlægja um 70% af koltvísýringinum (mynd 6.26). Aukinn loftblástur eykur tiltölulega lítið við afloftunina.

Tafla 6.4 Virkni afloftara þar sem hlutföll vatns og lofts er 1:10 og súrefnismettun fyrir loftun var um 13% (Byggt á Plesner o.fl. 2011).

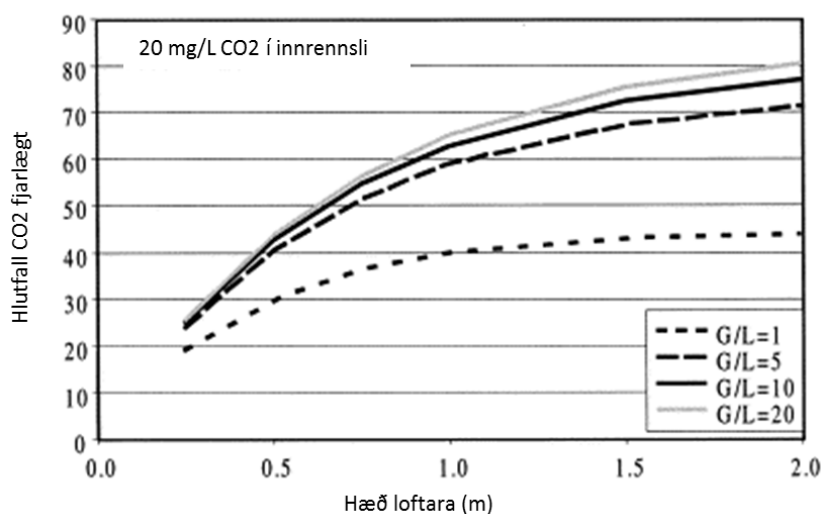
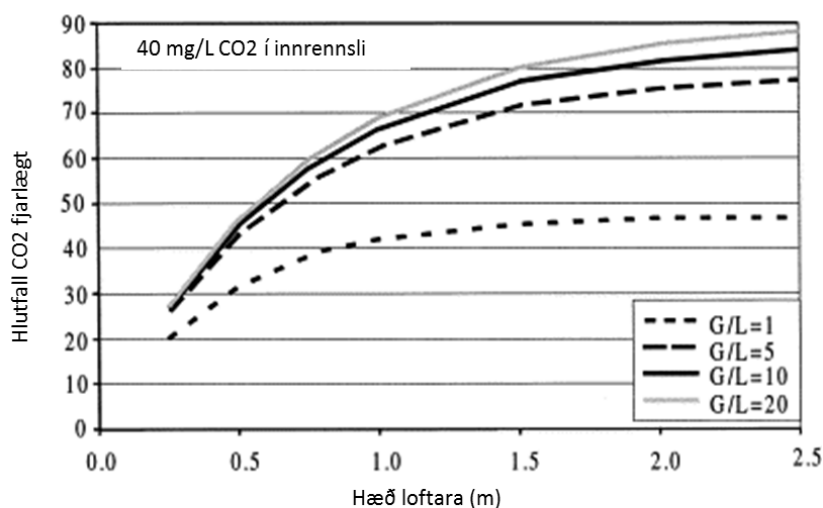
	Hólkloftari með gataplötum	Hólkloftari með tvær lífblokkir og gataplötu	Hólkloftari með eina lífblokk, gataplötu og minna vatnsrennsli
Lyftihæð (m)	1,2	1,4	0,7
Kg O ₂ /kWst	0,77	0,84	1,55
Kg CO ₂ /kWst	0,92	0,8	1,81

Eins og fyrir þyngdaafloftara er mikilvægt að hafa fína fyllingu til að fá góða afloftun (mynd 6.28). Hér á landi er algengast að útbúa afloftara úr fiskikörum (mynd 6.29).

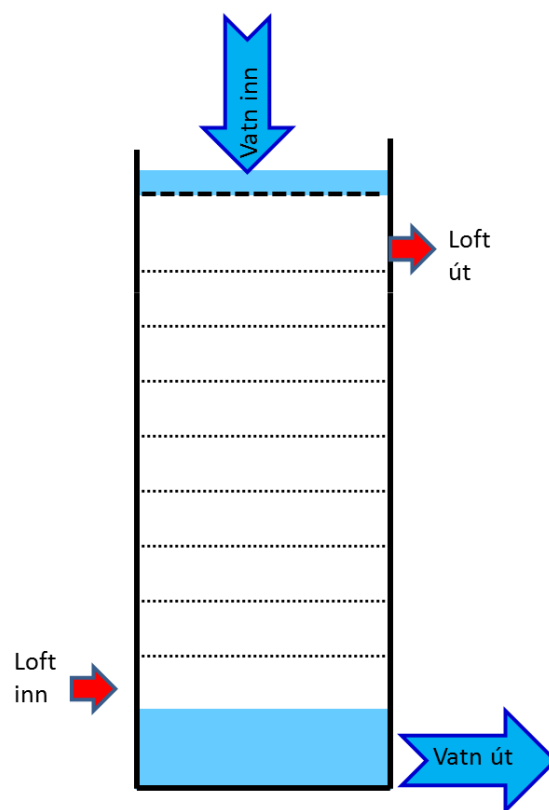
Allnokkrar rannsóknir hafa verið gerðar á afloftara og eru til leiðbeiningar um hönnun og einnig reiknilíkön til að meta nauðsynlega stærð loftara (Timmons o.fl. 2002; Vinci o.fl. 2011).

Virgni

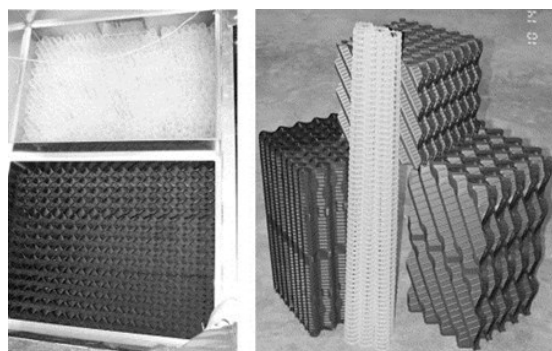
Gera má ráð fyrir að virkni afloftara sé töluvert lakari en þyngdaraflsloftara, enda er loftunin mun meiri en þörf er á til að metta vatnið af súrefni. Eftir því sem meira lofti er dælt inn í afloftarann minnkar virkni hans mælt í kg O₂/kWst. Það hefur þó verið sýnt fram á að hægt er að ná góðri virkni með lágum afloftara (0,7 metrar á hæð) eða um 1,55 kg O₂/kWst fyrir en virknin lækkar með aukinni hæð þegar það þarf að dæla vatninu upp í loftarann (tafla 6.4). Haft skal í huga að virknin miðast við að súrefnismettunin vatnsins var um 13% fyrir loftun. Einnig næst að fjarlægja mikið magn af koltvísýringi eða allt að 1,8 kg CO₂/kWst í lágum afloftara (tafla 6.4). Það skal þó haft í huga að virknin fer mikið eftir magni af koltvísýringi í vatninu þegar það er tekið til afloftunar en í þessari tilraun var magn koltvísýring 18 mg/l (Plesner o.fl. 2011).



Mynd 6.26. Hlutfall koltvísýringss sem er fjarlægður úr vatni miðað við mismunandi loftunnar hæð og hlutfalls loft og vatns (G/L) (Summerfelt o.fl. 2000c).



Mynd 6.27. Afloftari eða koltvísýrlingsloftari (Summerfelt o.fl. 2000c).



Mynd 6.28. Fylling eins og m.a. er notað í afloftara (Summerfelt o.fl. 2003).



Mynd 6.29. Afloftari hjá Hólalaxi (Ljósmynd: Ingólfur Arnarson).

6.5 Súrefnisíblöndun

6.5.1 Súrefnisframleiðsla

Hægt er að fá hreint súrefni með þrennum hætti. Í fyrsta lagi á þrýstiflöskum og þá gjarnan í búntum sem innihald annaðhvort 10 eða 12 flöskur af súrefnigasi undir þrýstingi. Þessi leið er oftast notuð þegar um litla notkun er að ræða eða til að nota sem öryggiskerfi. Þessi lausn er dýr og því ekki notuð í miklu mæli.

Önnur lausn er að nota fljótandi súrefni á kæligeymi eins og t.d. hjá Íslandsbleikju á Stað og Vatnsleysu (mynd 6.31). Þessi leið er mun ódýrari en notkun á þrýstiflöskum. Kostnaður getur verið allhár en er hlutfallega lægri eftir því sem meira er notað. Á móti kemur að þetta er mjög öruggt kerfi og hægt er að halda lífi í fiskum og komast af án rafmagns þegar súrefnisdreifarar eru hafðir í karinu. Ef það þarf að flytja súrefnið lengri vegalengdir getur kostnaðurinn verið umtalsverður.

Súrefni er einnig hægt að framleiða á staðnum og er það m.a. gert hjá Silfurstjörnunni í Öxarfirði. Verð á súrefni til stærri kaupenda í desember 2011 er frá 20 kr/kg upp í 50 kr/kg og hækkar það með aukinni flutningsvegalengd. Súrefnisframleiðsla á eldisstað getur því hugsanlega verið valkostur þegar það þarf að

flytja það lengri vegalengdir.

6.5.2 Súrefnisíblöndun í kari

Súrefnisdreifarar – keramik steinar

Nokkrar gerðir eru af súrefnisdreifurum t.d. keramik steinar sem reyndir voru í byrjun tíunda áratugarins í strandeldisstöðinni á Stað við Grindavík (mynd 6.31). Hafðir voru allt 10 keramik steinar (30 cm langir) í 2.000 m³ kari. Það var fljótlega hætt með steinana, en mikil vinna var við að halda þeim hreinum, þeir voru dýrir og líftími aðeins 1-2 ár (Skúli Skúlason o.fl. 1995). Það er mikill munur á gæðum steinanna og þeir steinar sem notaðir eru hjá Íslandsbleikju í dag endast meira en fjögur ár.

Virgni keramik steina

Nýting á súrefni þegar notaðir eru súrefnisdreifarar er almennt talin lítil eða 3-7% (tafla 6.5). Nýjustu gerðir af súrefnisdreifurum framleiða litlar loftbólur og súrefnisnýtingin getur náð 40-60% þegar súrefnisdreifarnir eru á 1-2 metra dýpi (Colt 2000b). Súrefnisdreifarar eru almennt ekki notaðir til súrefnisíblöndunar í matfiskeldi. Aðstæður hjá Íslandsbleikju eru sérstæðar að því leyti að dýpi í körnunum er meira en 4 metrar. Vegna hringstraumsins er leið loftbólanna lengri en bara dýpið gefur til kynna og tryggir það að viðstöðutími þeirra verður lengri (mynd 6.32). Súrefnisnýting getur því verið viðunandi en engar mælingar hafa verið gerðar. Í upplýsingum frá framleiðanda kemur fram að nýting á súrefni geti verið allt að 80% en háð dýpi, hita og upphaflegri súrefnismettun á vatninu (<http://en.oxyvision.com>). Á keramik steina myndast úrfelling og lífræn ásæta. Hjá Íslandableikju eru keramik steinar sem hafðir eru í sjó hreinsaðir með nokkurra mánaða millibili með því að keyra ferskvatni í gegnum þá.

Einn kostur við súrefnisdreifara er að virgni þeirra eykst eftir því sem súrefnisinnihald í vatninu minnkar.



Mynd 6.30. Geymslutankur (Kæligeymir) með fljótandi súrefni (Ljósmynd: Guðmundur Einarsson).

Tafla 6.5. Samanburður á nokkrum súrefniskerfum (Colt og Watten 1988).

	Súrefnis- nýting (%)	Virknir (kg O ₂ /kwst)	Mettun (mg O ₂ /l)
U-rör	30-50	1,0 - 1,5	20-40
U-rör, afgas nýtt	60-90	2,0 - 3,0	20-40
Hólkloftari	40-55	0,5 – 1,0	10-15
Háprýstibúnaður	95-100	1,0	30-90
Súrefnisdreifari	3-7	-	10-20

Súrefnisdreifarinn hefur því einskonar dempunaráhrif („bufferáhrif“) þ.e.a.s. hann dregur úr sveiflum í súrefnisinnihaldi sjávar í eldiskari.

Það er meira öryggi með súrefnisíblöndun í kari en utan við kar. Ástæðan er sú að þó svo að rennslið í karið stöðvist heldur súrefnisíblöndun með dreifurum áfram, enda er þessi tækni notuð sem öryggisbúnaður í mörgum fiskeldisstöðvum (tafla 6.6).

Súrefnisdreifarar í innstreymishólk

Hægt er að setja súrefnið beint inn í innstreymishólk með að staðsetja súrefnisdreifara inn í rörinu. Til að þessi búnaður virki þarf innstreymishólkurinn að vera rétt hannaður og dýpi á karinu meira en 1,5-2,0 metrar (Lekland og Fjæra 1997).

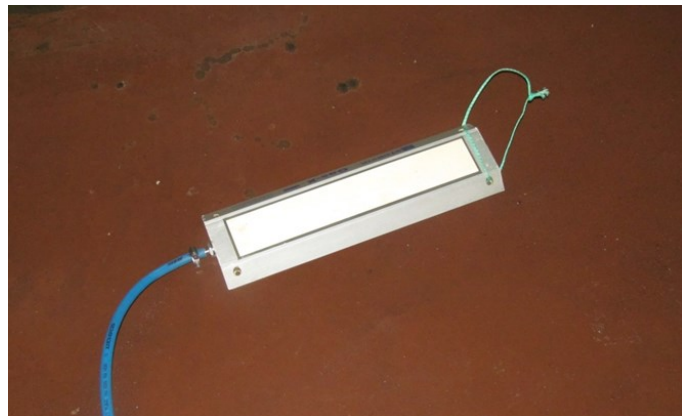
Hjá Íslandsbleikju er súrefninu dælt í innstreymishólk um súrefnisdreifara (mynd 6.33). Súrefninu er dælt neðarlega í innstreymishólkinn sem berst síðan út um raufar neðarlega á hólkinum. Útfærslur eru mismunandi og á myndinni er útfærsla sem notuð er hjá Íslandsbleikju á Stað, en á Vatnsleysu er súrefnisdreifarinn í lágréttum hluta dreifilagnar rétt áður en vatnið fer niður í innstreymishólkinn. Takmarkaðar mælingar hafa verið gerðar á nýtingu við súrefnisgjöf í innrennsli. Í mælingum sem gerðar voru hjá Fiskey benda til þess að súrefnisnýting sé 50-74% (Erlendur Jónsson 1999).

Í öðrum útfærslum er súrefninu dælt í vatnið utan við karið með ventri stút (mynd 6.34). Útfærslan á innstreymisrörinu er einnig önnur, rörið er sverara og í sumum tilvikum er einnig annað röð inn í því en þá hefur súrefnið lengri tíma til að blandast við vatnið en í útfærslu Íslandsbleikju. Með þessari útfærslu er eflaust hægt að ná viðunandi súrefnisnýtingu í grunnum körum.

6.5.3 Súrefnisíblöndun utan við kar

U-rör

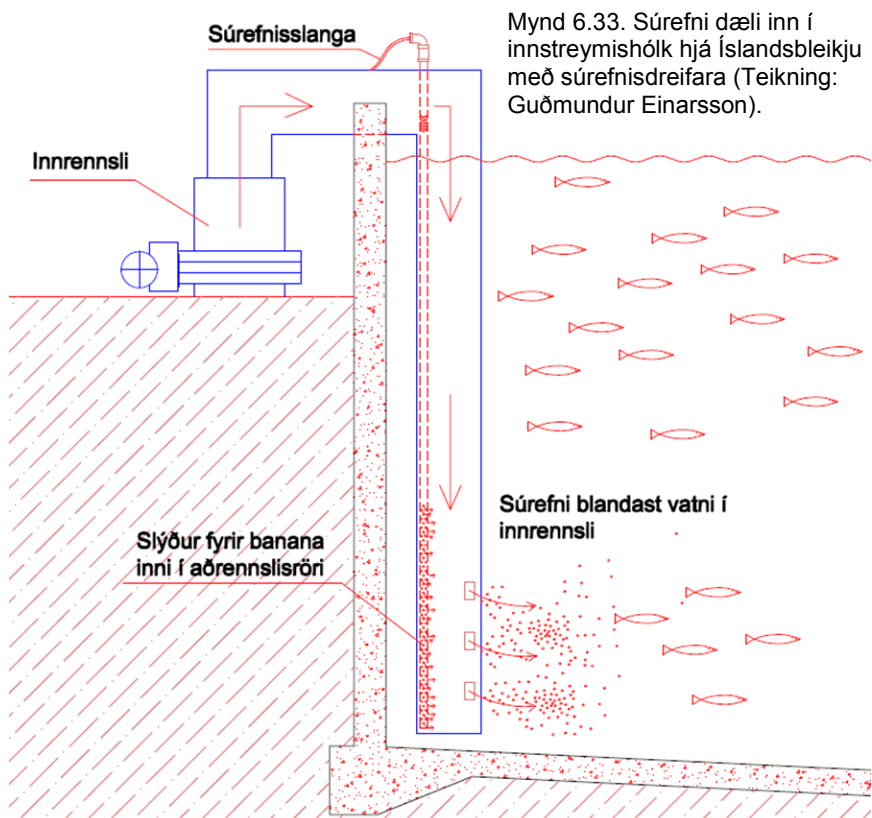
Búnaðurinn samanstendur annað hvort af tveimur samhliða rörum sem

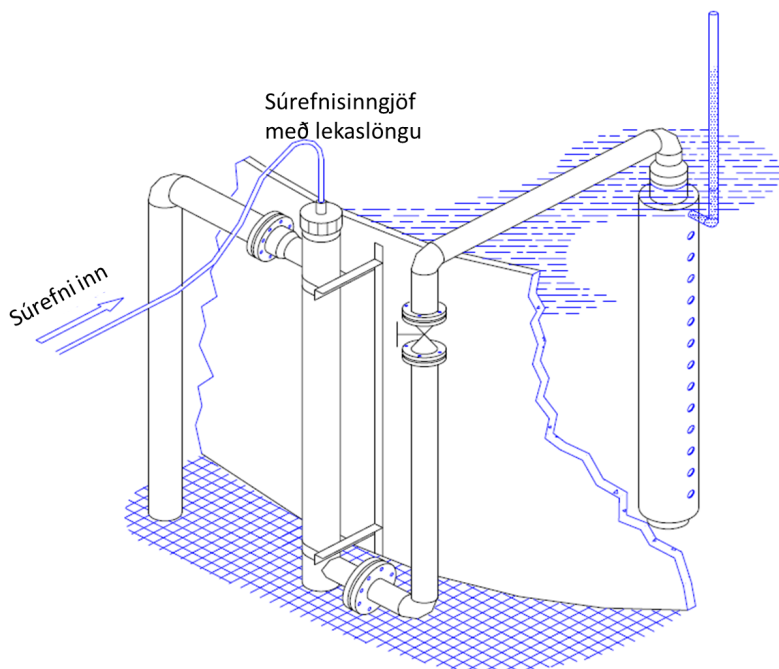


Mynd 6.31. Steinar sem notaðir eru hjá Íslandsbleikju (Ljósmynd: Guðmundur Einarsson).

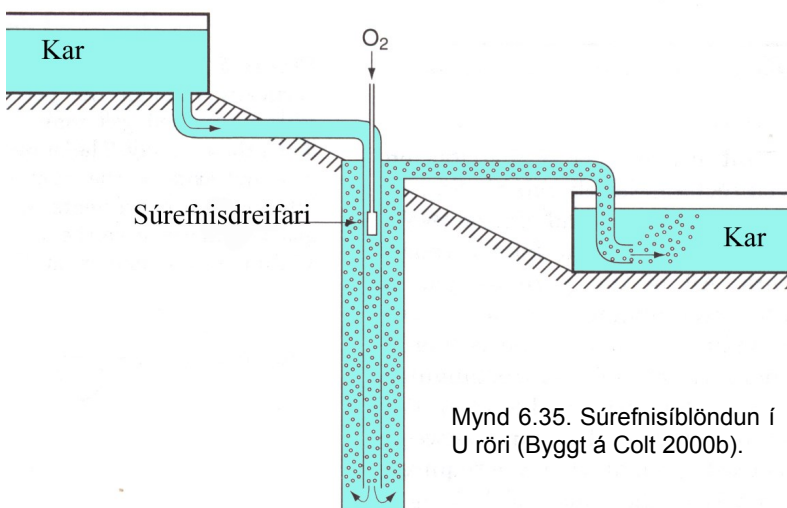


Mynd 6.32. Keramik steinar í eldiskari hjá Íslandsbleikju
(Ljósmynd: Guðmundur Einarsson).





Mynd 6.34. Súrefnisinnngjöf utan við kar með súrefnisdreifurum og súrefnisríkt vatn tekið inn í karið um innstremishólk (www.aga.com).



Mynd 6.35. Súrefnisblöndun í U röri (Byggt á Colt 2000b).

samtengd eru á botni eða mjórri rör inn í breiðara (mynd 6.35). Dýpt búnaðar er á 10 – 45 metrar. Súrefni er bætt inn í efri enda þess leggs þar sem vatnið kemur inn. Eftir því sem U rörið er dýpra er þrýstingurinn meiri og leysni súrefni eykst. Ef það er 2-

3 metra hæðarmunur er hægt að vera með súrefnisblöndun án dælingar (Colt 2000b).

Hægt er að ná 20 - 40 mg/l metnun en súrefnisnýtni er aðeins milli 30-50%. Ef afgasið er endurnýtt fer súrefnisnýtingin upp 60-90% og virknin fer upp í 2-3 kg O₂/kWst (tafla 6.5). Kostir U rörs er að orkunotkun er lítil og það þarf enga viðbótaorku ef vatn er sjálfrennandi. Helstu ókostir er að köfnunarefni og koltvísýringur loftast ekki nægilega vel út og stofnkostnaður getur verið hár. Vatnshraði er hafður milli 2-3 m/sek á niðurleiðinni. Ef of mikið súrefni er keyrt inn í lögnina er hætt á loftþöppum sem minnka vatnsstreymið. Það getur gerst ef loft/vatn hlutfallið fer yfir 25% (Timmons o.fl. 2002).

Venturi stútur

Hægt er að bæta súrefni beint í lögn og nýta sér þrýstingsbreytingar í lögninni. Það er gert með venturi stúti en það er einfalt stykki með þröngingu þar sem súrefni er dælt inn (mynd 6.36). Þegar vatnið kemur í gegnum þrönginguna eykst hraðinn og jafnframt þrýstingurinn. Aftur á móti þegar vatnið kemur út úr þröngingunni minnkar hraðinn og það myndast undirþrýstingur, litlar loftbólur og súrefni blandast betur við vatnið (Ozkan o.fl. 2006). Súrefnisnýting er 15-70% og súrefni í útstreymi um 30-50 mg/l (Timmons o.fl. 2002). Venturi stútur er einfaldur og ódýr búnaður sem auðvelt er að koma fyrir í nýjum og eldri vatnskerfum. Rannsóknir hafa verið gerðar sem nýtast við hönnun á Venturi stútum og val á staðsetningu í vatnskerfinu (Ozkan o.fl. 2006). Það eru einnig til aðrar útfærslur á ventri stút sem er staðsettur niðri í karinu. Skv. upplýsingum frá framleiðanda er virknin um 3-4 kg O₂/kWst (www.linde-gas.com).

Tafla 6.6. Samanburður á kostum og ókostum mismunandi búnaðar til súrefnisblöndunar.

	Súrefnis- nýting	Orkupörf	Fjarlægja N ₂ og CO ₂	Öryggi	Stofn- kostnaður
Súrefnisdreifarar í inntaki					
Súrefnisdreifarar í kari					
U rör					
Venturi stútur					
Lágþrýstings súrefnismettari					
Keilur					

Lágþrýstings súrefnismettarar

Lágþrýstings súrefnismettarar eða svokallaðir „Low head Oxygenators (LHO)” eru í mörgum mismunandi útgáfum en meginþættir eru þeir sömu. Vatn er látið renna yfir gataplötu og undir henni er rými skipt niður í allnokkur hólf (5-10) (mynd 6.37). Þess er gætt að loft sogist ekki niður með vatninu. Súrefni er dælt inn um fyrsta hólf, þar blandast það með vatni og koltvísýringur, köfnunarefni og aðrar lofttegundir loftast út (mynd 6.38). Loftið fer síðan yfir í næsta hólf þar sem súrefnisstyrkur lækkar enn frekar og hlutfall annarra lofttegunda eykst. Að síðustu yfirgefur loftið síðasta hólf og fer út (Timmons o.fl. 2002). Nýtni getur verið allt að 95% þegar hlutfall súrefnis og vatns er 0,5%. Súrefnisnýting lækkar síðan eftir því sem meira af súrefni er dælt í lágþrýstings súrefnismettarann en magn súrefnis í hverjum lítra eykst (mynd 6.39).

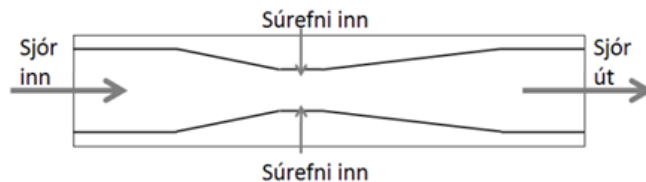
Virgni lágþrýstings súrefnismettara getur verið tiltölulega há. Við eldisaðstæður mældist virknin 1,4 kg O₂ /kWst þrátt fyrir að búnaðurinn væri aðeins 18 cm á hæð, en mælt er með að hæðin sé 60 cm. Með að keyra hæfilegt magn af vatni og súrefni í gegnum lágþrýstings súrefnismettarann náðist um 60% nýting á súrefninu (Clark 2003). Við samanburð á lágþrýstings súrefnismettara þar sem gert var ráð fyrir 70% nýtingu á súrefni og súrefniskeilu þar sem nýtingin er 90% var niðurstaðan sú að þrátt fyrir meiri orkunotkun með keilu er hún hagkvæmari í rekstri (Plesner o.fl. 2011). Haft skal í huga að samanburður á þessum tveimur aðferðum við súrefnisblöndun getur sýnt aðra niðurstöðu allt eftir orku- og súrefnisverði í hverju tilviki.

Kostur við lágþrýstings súrefnismettara fram yfir háþrýstings súrefnismettara eins og keilur og U-rör er að hann loftar út köfnunarefni og koltvísýring. Afloftunin er þó ekki mjög virk og þurfti hlutfall súrefnis og vatns að fara yfir 0,64% til að fá köfnunarefnismettunina undir 100% (Wagner o.fl. 1995).

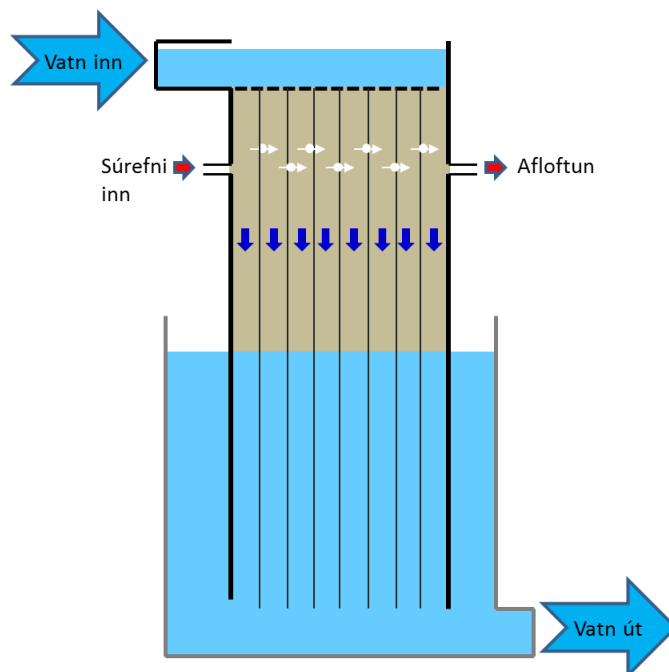
Allnokkrar rannsóknir hafa verið gerðar sem gefa upplýsingar hvernig best er að hanna lágþrýstings súrefnismettara (Timmons o.fl. 2002).

Súrefniskeilur

Við súrefnisblöndun í keilu er bæði vatn og súrefni tekið inn að ofanverðu undir þrýstingi, það myndast iðustreymi efst og vatn og súrefni blandast saman (mynd 6.40). Hraði vatnsins minnkar eftir því sem neðar kemur í keiluna og breidd keilunnar eykst. Súrefnið leysist síðan upp í keilunni áður en vatnið fer út úr henni ef innrennsli af vatni og súrefni er hæfilegt. Nýting á súrefni í keilum er



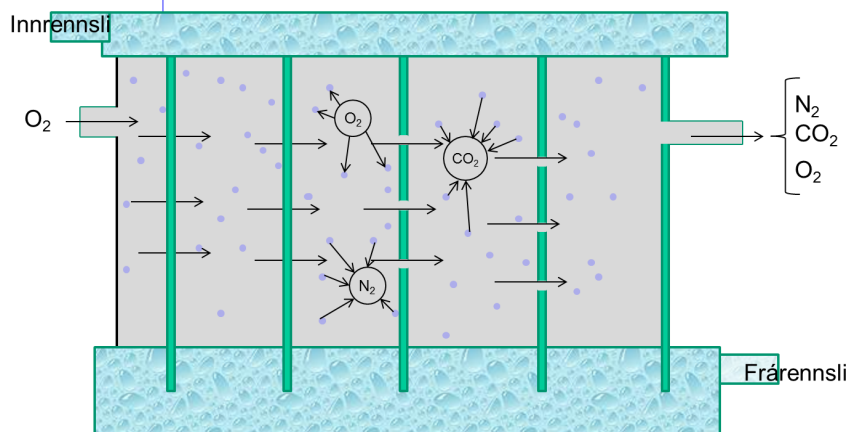
Mynd 6.36. Súrefnisinnngöf í lögn með ventri stút (Ozkan o.fl. 2006).



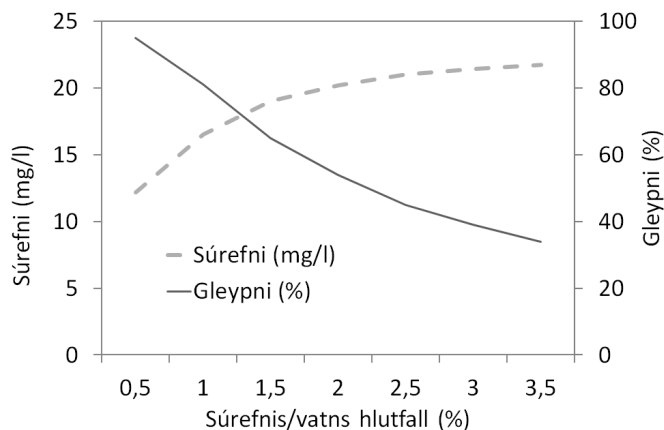
Mynd 6.37. Lágþrýstings súrefnismettari (Teikning: Valdimar Ingi Gunnarsson).

góð eða 95-100% og í útrennsli hennar er súrefnisinnihald vatnsins 30-90 mg O₂/l (Timmons o.fl. 2002). Aftur á móti er virknin ekki mikil og hefur hún mælst 0,6 kg O₂/kWst í danskri landeðisstöð vegna mikilla orkunotkunar (Plesner o.fl. 2011).

Súrefniskeilur voru notaðar í strandeðisstöð á Stað við Grindavík í nokkur ár. Um 15% af sjónum var keyrður í



Mynd 6.38. Súrefnisblöndun í lágþrýstings súrefnismettara. Koltvísýringur og köfnunarefni loftast út og súrefni inn í vatnið (Teikning: Helgi Thorarensen).



Mynd 6.39. Áætluð upptaka (gleypni) og magn súrefnis út úr lágþrýstings súrefnismettara miðað við mismunandi hlutfall á milli súrefnis og vatns. Hæð á lágþrýstings súrefnismettara var 61 cm og súrefnisinnihald vatns í innrennsli var 6 mg/l (Timmons o.fl. 2001).



Mynd 6.40. Keilur (gular) við eldiskör (<http://responsibleaquaculture.wordpress.com>).



Mynd 6.41. Súrefniskeila hjá Íslandsbleikju á Vatnsleysu og til hægri á myndinni má sjá jektor (Ljósmynd: Valdimar Ingi Gunnarsson).

gegnum keilu, þaðan í jektor sem var á um tveggja metra dýpi rétt við karavegg (mynd 6.41). Súrefnisinngjöf með jektornum hafði jákvæð áhrif á straumhraðann í karinu og jók súrefnismettunina í ytri hluta karsins. Helstu vandamálín sem upp komu var að

dæla sem dældi sjónum inn í keiluna stíflaðist vegna þara sem barst úr miðlunartanki (Grímur Kjartansson o.fl. 1995; Skúli Skúlason o.fl. 2005).

Ókostur keila er mikill orkukostnaður sem stafar af því að tiltölulega mikla orku þarf til að ná þeim þrýstingi sem þarf. Fljótlega eftir að Íslandsbleikja tók yfir rekstur strandeldistöðvarinnar var hætt með keilur vegna mikils rekstararkostnaðar samfara hækkandi rafmagnsverði. Ókosturinn við keilur er einnig ef rafmagn fer af stöðvast einnig öll súrefnisíblöndun. Jafnframt er ókostur við keilur að þær aflofta ekki köfnunarefni og koltvísýringi úr vatninu. Einnig er rekstraröruggi minna en með notkun keramik steina þar sem hætta er á loftþöppum ef of miklu súrefni er dælt inn á kerfið.

6.6 Súrefnisíblöndun og loftun

6.6.1 Hvort er hagkvæmara?

Loftun gegnir fjölbættu hlutverki og er meira en súrefnisíblöndun

Það fer eftir aðstæðum og eðli eldisins hvort hagkvæmara er að lofta vatnið eða vera með súrefnisíblöndun. Með súrefnisíblöndun er eingöngu verið að bæta súrefni í vatnið. Aftur á móti er gagnsemi loftunnar mun víðtækari:

- Auka súrefnisinnihald í vatninu.
- Lofta út koltvísýringi, köfnunarefni og öðrum óæskilegum lofttegundum.
- Viðhalda (buffer) stöðugri súrefnismettun.

Að vísu getur súrefnisíblöndun með súrefnisdreifurum sem staðsettir eru í eldiskari einnig virkað sem buffer, þ.e.a.s. nýtingin á súrefninu er betri eftir því sem súrefnisinnihald í vatninu lækkar.

Loftun hentar síður þegar körfur eru gerðar um hátt súrefnisinnihald í vatni

Loftun í kari hentar ekki vel til að viðhalda hárrí súrefnismettun (mynd 6.41). Loftunin er mjög virk á meðan súrefnismettunin er lág en það verður dýrara að lofta eftir því sem mettnin nálgast 100%. Kostnaður við loftun í kari getur því verið umtalsverður ef viðhalda á meira en 80-90% súrefnismettun í karinu. Ef viðhalda á 90-100% súrefnismettun í kari er súrefnisíblöndun betri valkostur.

Þegar lagt er mat á það hvort hagkvæmara sé að nota loftun eða súrefnisíblöndun verður einnig að taka tillit til þess að það dregur m.a. úr vexti og fódurstuðull hækkar með lækkandi súrefnisinnihaldi (kaflí 2).

Loftun og súrefnisíblöndun í sama kari

Með aukinni endurnýtingu er ekki hægt að vera eingöngu með súrefnisíblöndun vegna uppsöfnunar á

koltvísýringi í vatninu. Í endurnýtingarkerfum í seiðaeldisstöðvum er almennt bæði notuð loftun og súrefnisíblöndun. Vatnið er fyrst loftað og síðan súrefnisbætt áður en það rennur í karið. Með aukinni endurnotkun í landeðisstöðvum er eðlilegt að reynsla úr seiðaeldi verði nýtt við útfærslu á loftun og súrefnisíblöndun. Matfiskeldi í landeðisstöðvum er frábrugðið seiðaeldi því að allar eldiseiningar eru mun stærri sem kallar að hluta til á nýjar lausnir.

6.6.2 Hringlaga kör

Súrefnisíblöndun

Allt frá seinni hluta níunda áratugarins hefur súrefnisíblöndun í strandeðisstöðum hér á landi verið framkvæmd í festum tilvikum með keramik steinum staðsettir í botni karsins. Einnig voru gerðar tilraunir með súrefnisíblöndun í dreifilögnum og miðlunartanki áður en vatnið rann í eldiskarið. Í einu tilviki voru súrefnisdreifarar notaðir til að auka straumhraðann í karinu, en það var gert með að setja þá neðst í hallandi rör sem náði upp að yfirborði. Einnig voru keilur notaðar í nokkrum tilvikum (Erlendur Jónsson 1993; Valdimar Ingi Gunnarsson 1991a). Nú er súrefnisíblöndun að mestu framkvæmd í eldisstöðvum hér á landi með súrefnisdreifum í innstreymishólki eða á botni karsins, en einnig eru keilur notaðar.

Loftun í kari

Allt fram á síðustu ár hefur því sem næst engin loftun verið í eldiskörum hér á landi. Nú er að finna úðaðar í mörgum landeðisstöðvum bæði með 360° geisla og stefnumótandi þar sem geislinn er minnkaður. Hjá t.d. Stofnfiski og Hólaxi er loftarinn ekki beint í eldiskarinu en þar er vatnið endurnýtt með að dæla því upp í afloftara sem er við hliðina á karinu og þaðan fer það síðan aftur í sama kar.

Þrjár útfærslur

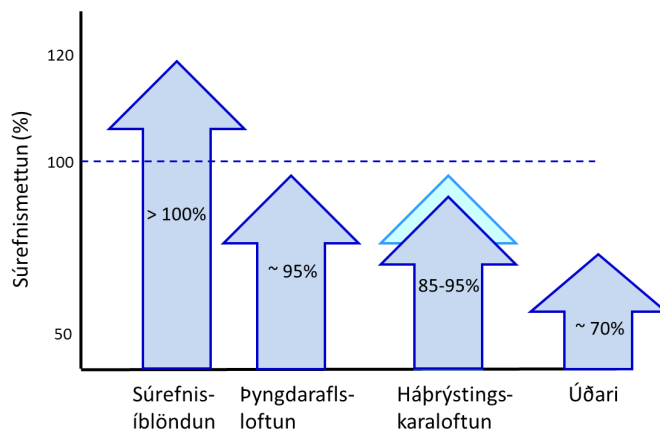
Þegar vatnið er endurnýtt er hægt að vera með þrjár útfærslur, þ.e.a.s. taka vatnið út um:

- Efra miðjufrárennsli.
- Hliðarúttak á kari við karavegg.
- Hliðarúttak á kari þar sem vatn er sótt inn í mitt kar með röri.

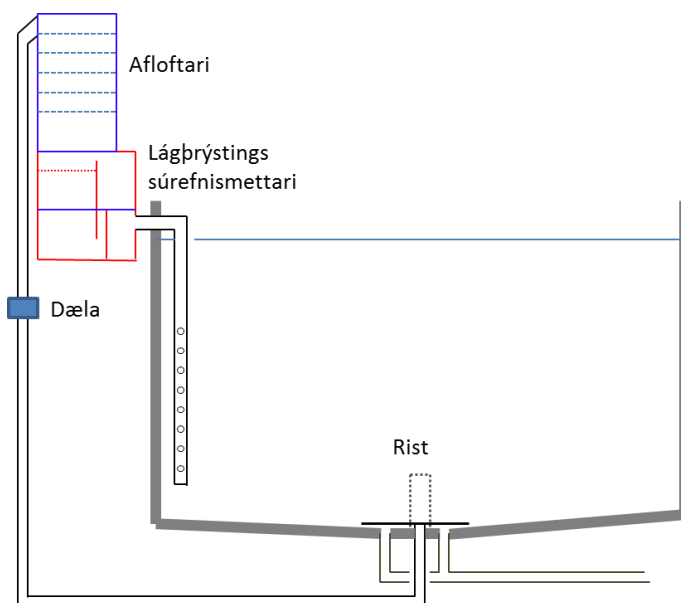
Vatnið er síðan loftað og/eða súrefnisbætt áður en það fer aftur í karið eða í næsta kar.

Útfærsla 1: Afloftun og lágþrýstings súrefnismettari

Hér er t.d. hægt að taka vatn úr hliðarúttaki kars eða neðra miðjufrárennsli, lyfta upp með dælingu í 2-3 metra hæð. Fyrst er vatnið tekið í afloftara til að hækka súrefnismettunina upp að 100% og losa koltvísýring, þaðan niður í lágþrýstings súrefnismettara sem yfirmettar það af súrefni og að lokum aftur í karið (mynd 6.42).



Mynd 6.41. Súrefnismettun vatns miðað við mismunandi aðferðir við loftun og súrefnisíblöndun (www.biomar.dk).



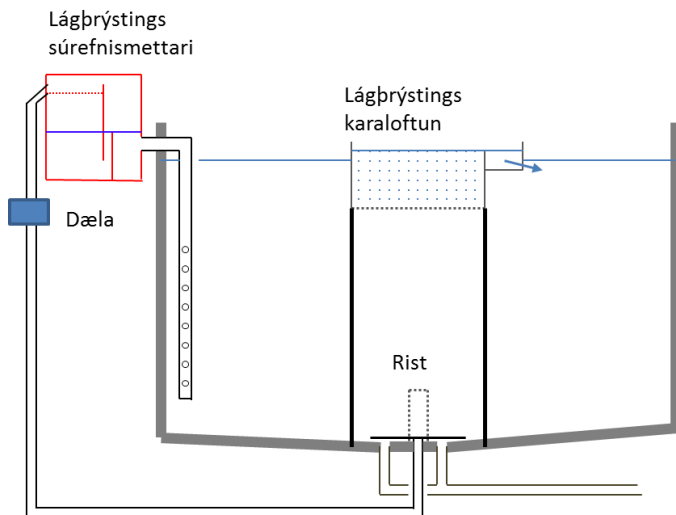
Mynd 6.42. Hringlaga kar með afloftara og lágþrýstings súrefnismettara (Teikning: Valdimar Ingi Gunnarsson).

Útfærsla 2: Afloftun og keilur

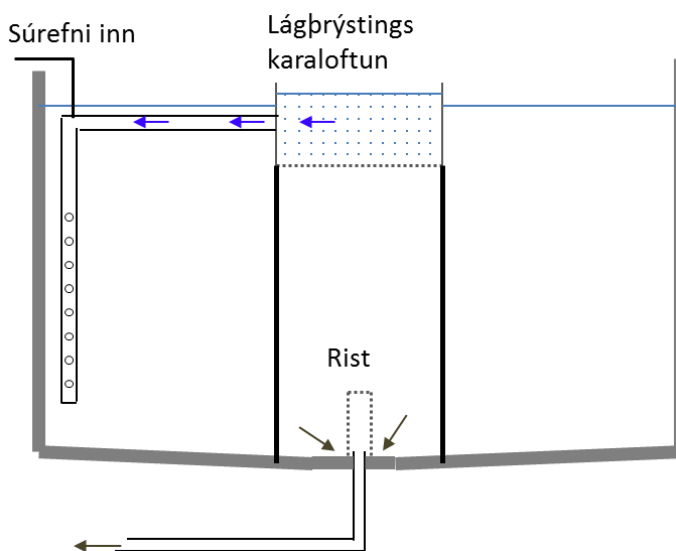
Það er í sjálfum sér einnig hægt að yfirmetta vatnið af súrefni t.d. með keilum eftir afloftun (mynd 6.42). Mælingar í 2.000 m³ kari þar sem súrefni var dælt um jektor við karavegg sýna háa súrefnismettun við karavegg sem lækkar er nær dregur miðjufrárennsli (Grimur Kjartansson o.fl. 1995). Til að fá jafnara súrefnisinnihald í karið er hægt að dæla því inn á fleiri stöðum í karinu.

Útfærsla 3: Lágþrýstings karalofun og súrefnismettarar

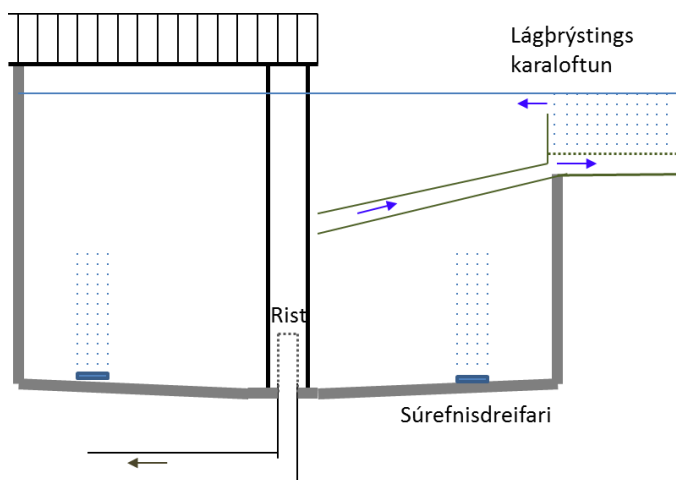
Hér er gert ráð fyrir að lágþrýstings karalofun fyrir miðju kari (mynd 6.43). Vatni úr efra miðjufrárennsli er dælt tæpan metra upp í lágþrýstings súrefnismettara og þaðan fer það aftur í karið. Kostur við þessa útfærslu er að orkukostnaður vegna dælingar er minni en við fyrri útfærslu 1 og 2. Ökosturinn getur verið að kröftug loftun í miðjum grunnum körum valdi of miklu uppdrifi



Mynd 6.43. Hringlaga kar með lágþrýstings súrefnismettara og lágþrýstings karaloftara (Teikning: Valdimar Ingi Gunnarsson).



Mynd 6.44. Hringlaga kar með loftun fyrir miðju kari og súrefnisblöndun með keramik steinum í botni karsins (Teikning: Valdimar Ingi Gunnarsson).



Mynd 6.45. Hringlaga kar með loftun utan við kar og súrefnisblöndun með keramik steinum í botni karsins (Teikning: Valdimar Ingi Gunnarsson).

á gruggögnum sem dregur verulega út virkni samsetts miðjufrænnslis.

Útfærsla 4: Karaloftun og súrefnisblöndun með dreifurum

Til að lágmarka dælingarhæð er hægt að vera með rör úr karaloftara sem staðsettur er fyrir miðju kar yfir að karavegg (mynd 6.44). Súrefnisblöndun færir síðan fram í innstremishólknum og/eða með súrefnisdreifurum í botni karsins. Megnið af vatninu er tekið úr karaloftara og hringrásað, en vatn með gruggögnum tekið út um miðjufrænnslis.

Útfærsla 5: Loftun utan við kar og súrefnisblöndun með dreifurum

Í þessari útgáfu er einnig lágmarkað dælingarhæðin, en loftunin er utan við karið (mynd 6.45). Hér er gert ráð fyrir að vatnið sem er loftað verði sótt inn í mitt kar. Líklegt er að það þurfi að nota þessa útfærslu í stórum körum til að jafna súrefnismettunina í karinu. Súrefnisblöndun færir síðan fram með súrefnisdreifurum í botni karsins. Megnið af vatninu í karinu er hringrásað í gegnum loftarann, en vatn með gruggögnum tekið út um miðjufrænnslis.

6.6.3 Lengdarstraumskör

Loftun

Í nýju lengdarstraumskari hjá Fiskeldinu Haukamýri eru notaðir úðaðar til að lofta vatnið í karinu. Í landeðisstöðvum í Evrópu er algengt að lofta vatnið í lengdarstraumskörum með úðurum, spaðahjólaloflara og loftskrúfudælu. Í nýrri landeðisstöðvum í Danmörku eru notaðir háþrýstings karaloftarar.

Súrefnisblöndun

Súrefnisblöndun er ekki algeng í lengdarstraumskörum enda ekki eins hentugt og í hringlaga körum. Ástæðan er sú að þar sem súrefnisblöndunin á sér stað er yfirmettun á súrefni og súrefnismettun mjög ójöfn í karinu (kafla 3.2.4). Það eru þó dæmi um súrefnisblöndun með lágþrýstings súrefnismetturum í lengdarstraumskörum (Clark 2003; Hosler 2010).

Þegar loftað er á 2-4 metra dýpi með loftdreifurum getur verið varasamt að vera einnig með súrefnisblöndun. Ástæðan er að við loftun á miklu dýpi myndast köfnunarefnisyfirmettun og ef einnig er súrefnisblöndun er hætta á að heildarþrýstingur lofttegunda í vatninu verði það mikill að það hafi neikvæð áhrif á fiskinn. Með að grynka á loftdreifurum, minnkar þrýstingurinn og köfnunaryfirmettun verður minna mál.

Útfærsla 1: Lágþrýstings karaloftun og súrefnisdreifarar

Í þessari útfærslu er gert ráð fyrir lágþrýstings karaloftun til að auka súrefnisinnihaldið og lofta út

koltvísýring (mynd 6.46). Vatninu er síðan beint niður að súrefnisdreifurum sem auka súrefnismettunina í rúm 100%. Ókosturinn við þessa útfærslu er að það þarf að fjarlægja bæði loftdreifarann og súrefnisdreifarann ef vinna á í karinu með grindum.

Útfærsla 2: Lágþrýstings karaloftun og súrefnismettari

Einn af kostum lágþrýstings súrefnismettara er að það þarf ekki mikinn hæðarmun eða t.d. 45-60 cm á milli lengdarstraumskara (mynd 6.47). Lágþrýstings súrefnis-mettari þarf að ná um 45 cm niður fyrir vatnsyfirborð að tryggja nægilegan bakþrýsting og koma í veg fyrir að súrefni sleppi upp í andrúmsloftið (Hosler 2010). Hér er t.d. fyrst hægt að hafa lágþrýstings karaloftara, jafnvel úðara eða annan lausan loftunarbúnað í fyrsta lengdarstraumskarinu. Fremst í næsta lengdarstraumskari væri síðan komið fyrir lágþrýstings súrefnismettara. Ókosturinn við þessa aðferð er að erfitt getur verið að ná fiskinum undan lágþrýstings súrefnismettara þegar tæma á fisk úr karinu.

Útfærsla 3: Afloftun og lágþrýstings súrefnismettari

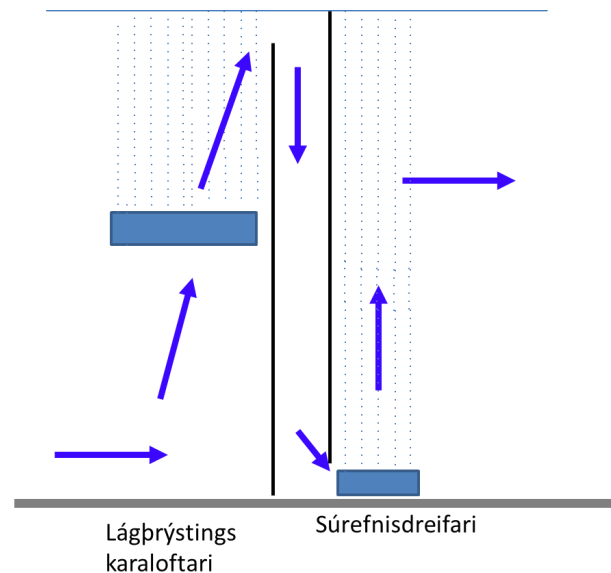
Þar sem mikill hæðarmunur er á milli lengdarstraumskara og jafnfram mikil endurnýting á vatni er hægt að lofta vatnið fyrst í afloftara til að losa koltvísýring og síðan auka súrefnismagnið í vatninu með lágþrýstings súrefnismettara. Með þessu móti er hægt að minnka nauðsynlegan hæðarmun í samanburði við að hafa eingöngu þyngdarafloftun.

6.7 Niðurstöður og tillögur

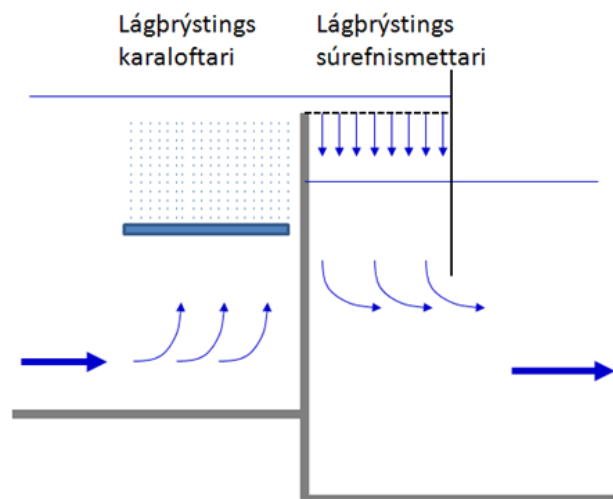
6.7.1 Loftun

Niðurstöður

- *Laus eða fastur búnaður:* Kostur við litla hreyfanlega loftara er að auðvelt er að hafa eftirlit og viðhald með þeim. Búnaðurinn er einfaldlega fjarlægður og nýr settur í staðinn. Allt eftirlit og viðhald á háþrýstings karaloftara getur verið erfitt þar sem loftdreifararnir er á nokkurra metra dýpi. Bæði háþrýstings og lágþrýstings karaloftari eru fyrirferðameiri en litlir hreyfanlegir loftarar og minna rými er til ráðstöfunar fyrir fiskinn.
- *Umhverfisþættir og loftun:* Þegar loftað er í karinu er virkni loftara meiri í sjó en ferskvatni. Virkni loftara sem blása lofti í vatn eykst meira með aukinni seltu en loftara sem úða vatninu upp í loftið.
- *Lágþrýstings karaloftari:* Góður valkostur að hafa karaloftarann fyrir miðju á stóru hringlaga kari. Öflugir loftarar sem geta viðhaldið góðri straummyndun í karinu og loftað út koltvísýring.
- *Háþrýstings karaloftari:* Afköst og virkni góð en ókostur er að það myndast köfnunarefnisyfirmettun þegar loftað er á 2-4 metra dýpi. Til að koma í veg fyrir skaða af köfnunarefnisyfirmettun má



Mynd 6.46. Einföld útgáfa af lágþrýstings karaloftara og súrefnisblöndun með dreifurum í lengdarstraumskari (Teikning: Valdimar Ingi Gunnarsson).



Mynd 6.47. Loftun með lágþrýstings karaloftara og súrefnisblöndun með lágþrýstings súrefnismettara í lengdarstraumskari (Teikning: Valdimar Ingi Gunnarsson).

súrefnisinnihald vatnsins ekki fara mikið yfir 80%.

- *Úðaðar:* Mjög meðfærilegir og hafa reynst vel hér á landi. Ókosturinn er að virkni er ekki mikil og súrefnismettun í vatninu tiltölulega lág. Jafnframt hefur loftarinn neikvæð áhrif á straummyndunina í karinu.
- *Spaðahjólaloftari:* Af minni gerðum loftara er þessi gerð með bestu virkni. Ókosturinn er að hann þeytir vatninu mikið sem getur verið vandamál í vindum og frostum á veturna.
- *Loftskrúfudæla:* Loftskrúfudæla er stefnumótandi, hentar vel þar sem álag vegna veðurs er mikið. Betri valkostur í eldisstöðvum með sjó en ferskvatni.
- *Þyngdarafloftarar:* Með því að dæla vatni upp í loftara er hægt að ná súrefnismettun allt að 100%. Mjög góður valkostur þar sem það þarf ekki að dæla vatninu eða lyftihæð er lítil.

- *Afloftari:* Mjög öflugur að losa koltvísýring úr vatninu. Betri valkostur en þyngdarafloftari í þeim tilvikum sem endurnýting er mikil.

Tillögur

- Prófa við hvaða aðstæður spaðahjólaloftari geti hentað hér á landi.
- Afla meiri upplýsinga um lágrýstings karaloftara og meta kosti og ókosti hans í samanburði við aðrar gerðir af lofturum.
- Afla meiri upplýsinga um kosti og ókosti mismunandi gerða loftdreifara.

6.7.2 Súrefnisíblöndun

Niðurstöður

- *Framleiða eða kaupa:* Flutningskostnaður á súrefni getur verið mikill ef um langa vegalengdir er að ræða. Hvort hagkvæmara er að kaupa eða framleiðan súrefni verður að meta út frá flutningsvegalendum.
- *Súrefnisdreifarar í kari:* Góður valkostur m.t.t. öryggis þegar þeir eru staðsettir á botni í djúpum körum. Megin ókostur er að nýting á súrefni getur verið lök sem vegur þungt þegar verð á súrefni er hátt.
- *Súrefnisdreifarar í innrennsli:* Ódýr og einföld útfærsla og getur verið góður valkostur.
- *U-rör:* Getur verið góður valkostur sérstaklega þar sem hæðarmunur er 2-3 metrar á milli eldiseininga. Ókosturinn er mikill stofnkostnaður.
- *Lágprýstings súrefnismettari:* Súrefnisnýting viðunandi og er jafnframt með afloftun. Getur hentað vel við aðstæður þar sem hæðarmunur er lítill.
- *Keilur:* Góð nýting á súrefni, en rekstrarkostnaður er mikill.

Tillögur

- Lagt mat á það hvort hagkvæmra sé fyrir fiskeldisstöðvar sem eru staðsettar langt frá súrefnisframleiðanda að framleiða sitt eigið súrefni á staðnum.
- Afla frekari upplýsinga um mismunandi tegundir súrefnisdreifara og hvernig þeir hafa reynst.

6.7.3 Loftun og súrefnisíblöndun

Niðurstöður

- *Loftun og/eða súrefnisíblöndun:* Það verður að leggja mat á það í hverju tilviki hvort það sé hagkvæmara að lofta vatnið, vera með súrefnisíblöndun eða bæði. Þar verði m.a. haft til viðmiðunar hve mikið vatnið er endurnýtt.
- *Hringlaga kar:* Notkun á bæði loftun og súrefnisíblöndun er talinn góður valkostur fyrir hringlaga kör. Ýmsar útfærslur koma til greina og er



Mynd 6.48. Úðarar í eldiskasri hjá Fiskeldinu Haukamýri (Ljósmynd: Valdimar Ingi Gunnarsson).

hugsanlega besti valkosturinn að hafa lágrýstings karaloftun í miðju kari og súrefnisíblöndun með lágrýstings súrefnismettara eða súrefnisdreifara.

- *Lengdarstraumskar:* Mikil súrefnisíblöndun er ekki talinn góður valkostur fyrir lengdarstraumskar.
 - a) Í þeim tilvikum sem hæðarmunur er lítill eða enginn er mælt með lágrýstings karaloftara og súrefnisíblöndum með súrefnisdreifurum sem staðsettir eru á botni á djúpum körum.
 - b) Ef hæðarmunur er minna en 0,5 metrar er lágrýstings karaloftun og lágrýstings súrefnismettari besti valkosturinn.
 - c) Í þeim tilvikum sem hæðarmunurinn er meiri er hægt að nota afloftara og lágrýstings súrefnismettara.

Tillögur

- Próa og prófa ofanefndar útfærslur.