
Hitaveituhandbók Samorku

Verkfræðistofa Á.G.

Árni Gunnarsson

5. kafli

Heitavatnsdælur

Júní 1992

Júní 1993 stöðvadælur

Jón Eggertsson og Snælaugur Stefánsson aðstoðuðu við gerð kafla 5.2.1.5, 5.2.1.6 og 5.2.2.2.

Efnisyfirlit

5.1	Inngangur	.6
5.2	Borholudætur	.6
5.2.1	Öxuldjúpdætur	7
5.2.1.1	Söguyfirlit	.7
5.2.1.2	Uppbygging	.8
5.2.1.3	Val á stærð dælu og mótors	12
5.2.1.3.1	NAUÐSYNLEGAR FORSENDUR	12
5.2.1.3.2	VAL Á STÆRÐ DÆLU	12
5.2.1.3.3	FÆRSLA DÆLUHJÓLA	19
5.2.1.3.4	VAL Á MÓTOR	25
5.2.1.3.5	VAL Á DÆLUBÚNAÐI	29
5.2.1.3.6	HELSTU TAKMARKANIR DJÚPDÆLUBÚNAÐAR	30
5.2.1.4.	Smíði á dælubúnaði	32
5.2.1.4.1	VAL Á EFNI	32
5.2.1.4.3	GÆÐAEFTIRLIT	34
5.2.1.5	Niðursetning og gangsetning	35
5.2.1.5.1	ÞYNGD DÆLUBÚNAÐAR	35
5.2.1.5.2	TÆKI OG ÁHÖLD	36
5.2.1.5.3	NIÐURSETNING	37
5.2.1.5.4	STILLING DÆLUHJÓLA OG GANGSETNING	40
5.2.1.6	Viðhald djúpdælna	41
5.2.1.6.1	SLITMÖRK	41
5.2.1.6.2	VIÐHALD BÚNAÐAR	42
5.2.1.6.3	RÉTTING DÆLUÖXLA	43
5.2.1.7	Rekstur	44
5.2.1.7.1	INNGANGUR	44
5.2.1.7.2	EFTIRLIT OG MÆLINGAR	45
5.2.1.7.3	RAFMAGNSKOSTNAÐUR	46

5.2.1.7.4	DÆMISÖGUR	48
5.2.2	Sambyggðar dælur	50
5.2.2.1	Inngangur	50
5.2.2.2	RAFKNÚNAR SAMBYGGÐAR DÆLUR	50
5.2.2.3	Vökvaknúnar sambyggðar dælur	52
5.3	Stöðvardælur	53
5.3.1	Lóðréttar öxulstöðvardælur	54
5.3.1.1	Uppbygging	54
5.3.1.1	Rekstur	60
	Listi yfir lykilhugtök fyrir öxuldjúpdælur	63
	Heimildaskrá	64
	Skrá yfir tákn og reiknistærðir	65
Viðauki 1	Sýnishorn af dælu- og mótörpöntun.	67
Viðauki 2	Floway dælukúrfur [1]	68
Viðauki 3	Þrýstifall í dælurörum, [9].	69
Viðauki 4	Þrýstifall í toppstykki, [1].	70
Viðauki 5	Kennilínur 8JKH – dælu frá FLOWAY	71
Viðauki 6	Þversnið af borholudælumótör og stillanlegu ástengi	72
Viðauki 7	Upplýsingar um borholudælumótora, [11]	73
Viðauki 8	Upplýsingar um borholudælumótora [11].	74
Viðauki 9	Sýnidæmi 1, 8KJH-10 dæla, 6”*2”*1 3/16”, venjuleg dæluhjól.	75
Viðauki 10	Sýnidæmi 2, 8KJH-10 dæla, 6”*2”*1 3/16”, 7 dæluhjól afþrýst.	76
Viðauki 11	Sýnidæmi 3, 8JKH-10 dæla, 6”*2,5”*1 11/16”, venjuleg dæluhjól.	77
Viðauki 12	Sýnidæmi 4, 8JKH-10 dæla, 8”*2,5”*1 11/16”, venjuleg dæluhjól.	78
Viðauki 13	Sýnidæmi 5, 8JKH-10 dæla, 8”*2,5”*1 11/16”, 7 hjól afþrýst.	79
Viðauki 14	Sambyggð rafknúin djúpdæla	80
Viðauki 15	Sambyggð vökvaknúin djúpdæla	81
Viðauki 16	Mæliblað fyrir borholueftirlit.	82

5. Heitavatnsdælar

5.1 Inngangur

Þær dælar, sem hitaveitur nota í rekstri sínum, er í þessum kafla skipt niður í tvo höfuðflokka. Annars vegar borholudælar, öðru nafni djúpdælar, og hins vegar stöðvardælar.

Dæling á borholuvatni hitaveitna er oft nauðsynleg. Djúpdælar eru notaðar til að ná því upp úr borholum. Stöðvardælar eru notaðar til að flytja vatnið á milli staða til dreifingar til notenda.

Þar sem rekstur borholudæla er mun vandasamari en rekstur stöðvardæla, þá er höfuðáhersla lögð á að gera þeim góð skil í kafla 5.2. Um val á og rekstur stöðvardæla verður sérstaklega fjallað um í kafla 5.3.

5.2 Borholudælar

Íslensku jarðhitasvæðin voru í byrjun virkjuð á fyrstu áratugum þessarar aldar með sjálfrennandi borholum, enda voru þá ekki komnar til sögunnar djúpdælar og borun víðra hola. Nú háttar svo til á flestum íslenskum jarðhitasvæðum að dæla þarf heita vatninu upp úr borholum þeirra. Í mörgum tilfellum hefur tekist að stórauka afkastagetu þeirra með þeim hætti.

Einungis er fjallað um dælingu á heitu vatni frá jarðhitasvæðum sem ekki tærir venjulegt stál þegar súrefni er haldið frá því. Þrátt fyrir þessa takmörkun næst til allra lágheitsvæða íslenskra hitaveitna, þar sem notaðar eru djúpdælar. Undanskilin eru t.d. jarðhitasvæði með heitum jarðsjó, þó hefur verið reynt að beita sömu dælutækni við slíkar aðstæður.

Á nokkrum erlendum jarðhitasvæðum þar sem vatnið inniheldur mikið magn af CO₂, er hægt að koma í veg fyrir kalkútfellingar með því að halda vatninu undir þrýstingi með djúpdælum. Í öðrum tilfellum reynist unnt að koma í veg fyrir útfellingar með því að breyta efnasamsetningu vatnsins með efnaiblöndun í borholurnar. Ekki verður fjallað um slík jaðartilfelli.

Borholudælum (djúpdælum) er skipt í tvær aðalgerðir:

- 1) öxuldjúpdælar (deep well pumps eða lineshaft turbine pumps)
- 2) sambyggðar dælar (submersible pumps)

Aðrar gerðir borholudæla, t.d. loftknúna dælar, hafa ekki reynst hagnýtar fyrir vinnsluholur hitaveitna. Dæling með lofti í gegnum borstangir er tíðkuð til að hreinsa borholur að borun lokinni. Ekki verður frekar fjallað um þessar dælugerðir.

Öxuldjúpdælar og sambyggðar dælar eru hvoru tveggja af miðflóttaaflsgerð. Það sem skilur þær að er staðsetning mótorsins. Í öxuldjúpdælum er honum komið fyrir uppi á holutoppnum. Hann knýr dæluna með samsettum öxli sem getur verið allt að 600 m að lengd.

Í sambyggðum dælum er mótornum vanalega komið fyrir rétt neðan við dæluna og tengist hann henni með stuttum öxli. Þar sem sambyggða dælan er með stuttan öxul þá eru ekki vandamál með núningstöp og togkrafta í öxlum. Af þeim sökum eru sambyggðar dælar samkeppnisfærar við öxuldjúpdælar á miklu dýpi.

Í sumum tilvikum ræðst val á djúpdælgerð af nauðsynlegri dælulengd, sverleika borholunnar, borholuhalla og vatnshita. Ef ekkert af þessum atriðum takmarka valið á dælugerð þá ber að velja þá gerð sem hagkvæmust er, að teknu tilliti til mikilvægra atriða svo sem áætlaðan líftíma dællunnar, viðhaldskostnað, kostnað við niður- og upptekningu og viðgerðartíma. Orkunýtni dællunnar skiptir máli, þó fyrrgreind atriði vegi oftast þyngra.

Í kafla 5.2.2, sem fjallar um sambyggðar dælar, er gerður nákvæmari samanburður á þessum tveimur djúpdælugerðum. Öxuldjúpdælar eru notaðar hjá íslenskum hitaveitum að frátaldri einni borholu hjá Hitaveitu Akureyrar þar sem rafknúin sambyggð dæla er notuð.

5.2.1 Öxuldjúpdælar

5.2.1.1 Söguyfirlit

Hér er saga öxuldjúpdællunnar hjá Hitaveitu Reykjavíkur rakin í stuttu máli.

- 1955 Fyrsta hitaveituborhola í landinu var virkjuð með djúpdælu hjá Hitaveitu Reykjavíkur við Rauðará á Laugarnessvæðinu. Notuð var sænsk dæla frá Crealium og var hún á um 60 m dýpi í yfir 80°C vatnshita. Hún var með opnum hjólum (semi open impellers) og mótórin var með gegnheilan öxul (VSS). Þessar dælar var því mjög erfitt að stilla, enda þurfti að taka mótórin af toppstykkinu til þess að gera það og afköst dællunnar mjög háð stillingu dæluhjólanna.
- 1958 Gufuborinn Dofri kemur til landsins og hefur djúpboranir á Laugarnessvæðinu.
- 1960-62 Á þessum árum eru fyrstu borholur Gufuborsins á Laugarnessvæðinu virkjaðar með Crealium dælum. Rekstur þeirra gekk mjög erfiðlega og var meðal endingartími þeirra í borholunum aðeins nokkrar vikur, oft á tíðum aðeins nokkrir dagar. Notaðar voru opnar gúmmilegur sem urðu á skömmum tíma grjótharðar. Einnig fóru óhreinindi, sandur og leir í vatninu illa með þær.
- 1964-65 Í tímaritsgrein var greint frá árangri Bandaríkjamanna með djúpdælar í kalda vatnsholum. Í opnu útboði urðu þar í landi Fairbanks Morse (FM) hlutskarpastir. Keyptar voru dælar frá þeim til að virkja borholur á Laugarnessvæðinu. Nú voru dæluhjolin lokuð (enclosed impellers) og mótórnir með gegnumboraðan ás (VHS), sem gerðu stillingu dællanna miklu auðveldari. En ending dællanna í borholunum var enn mjög stutt og rekstur þeirra ótryggur, þar sem legurnar entust stuttan tíma í senn. Reynd voru ýmis konar leguefni, svo sem gúmmí, kopar og hvítmálmur. Í fyrstu voru legurnar óvarðar inni í dæluörunum, seinna var reynt að nota smurrör og smyrja legurnar með olíu. Endingartími þeirra batnaði lítið við þessa breytingu. Þá var brugðið á það ráð að nota borholuvatnið, eftir hreinsun, til að smyrja legurnar. Það bar ekki árangur og var því kennt um að seigja vatnsins væri ekki nægjanleg.
- 1966 Jóhannes Zoëga, hitaveitustjóri, fékk eftir að hafa lesið grein í tímariti um teflon, upplýsginar frá Orku hf um efnið, sem var sagt hafa góða smureiginleika og vera hitaþolið. Þetta efni uppgötvaði DuPont í tengslum við Gemini geimferðaráætlun Bandaríkjanna. Hitaveitan kom þeirri ósk á framfæri við FM verksmiðjurnar að þeir notuðu teflon í legurnar, nokkuð sem þeir höfðu ekki reynt áður. Eftir nokkrar málalengingar samdi FM við vélaverkstæði í New York um smíði á teflonlegum í 8-HC tilraunadælu, sem sett var í borholu RV-20 með 129°C vatnshita á Laugarnessvæðinu.
- 1967 Um vorið var dælan tekin upp til skoðunar, eftir að hafa gengið sleitulaust í næstum eitt ár. Reynslan af þessari dælu var það góð að menn frá Hitaveitunni fóru til Kansas City, höfuðstöðvar Fairbanks Morse, og sömdu við þá um kaup á sjö 6-HC og 6-HC dælum til virkjunar borhola á Laugarnessvæðinu. Er skemmst frá því að segja að þessar dælar reyndust betur en bjartsýnustu menn þorðu að vona og eru flestar þeirra enn í rekstri. Hér var fundinn sá djúpdæluþúnaður sem nú er notaður af hitaveitum, með smurrörum, vatnssmurðum teflonlegum, lokuðum dæluhjólum og mótórum með holan öxul. Þar sem afgangur á legum frá vélaverkstæðinu í N.Y. gekk stíðlega og þær voru rándýrar, þá aflaði Hitaveitan tilboða í teflon-efnisrör og lét smíða þær innanlands. Í framhaldi af þessu hófst hér einnig smíði á öðrum hlutum dæluþúnaðarins. Vélaverkstæði Sigurðar Sveinbjörnssonar í Garðabæ hefur sérhæft sig í þessum smíðum. Eftir það var einungis sjálf dælan og mótórin keypt erlendis frá svo og smíðaefni í hinn þúnaðinn.
- 1968 Sambandið við FM verksmiðjuna rofnaði í tengslum við endurskipulagningu á starfsemi þeirra. Hitaveitan bauð því út djúpdælar að nýju, m.a. í U.S.A., Þýskalandi og Svíþjóð. Hagstæðustu tilboðin komu frá Floway í Kaliforníu. Síðan hafa flestar öxuldjúpdælar verið keyptar frá þeim.
- 1992 Nú eru í rekstri hjá Hitaveitu Reykjavíkur 52 djúpdælar. Meðal endingartími dællanna er einhversstaðar á bilinu 7-12 ár, háð því hvort með í útreikninginn séu teknar vandræðaholur sem
-

5.2.1.2 Uppbygging

Öxuldjúpdælur eru samansettar úr þremur aðalhlutum talið ofan frá og niður:

- / toppstykki ásamt mótör
- / dælubúnaður
- / dælu

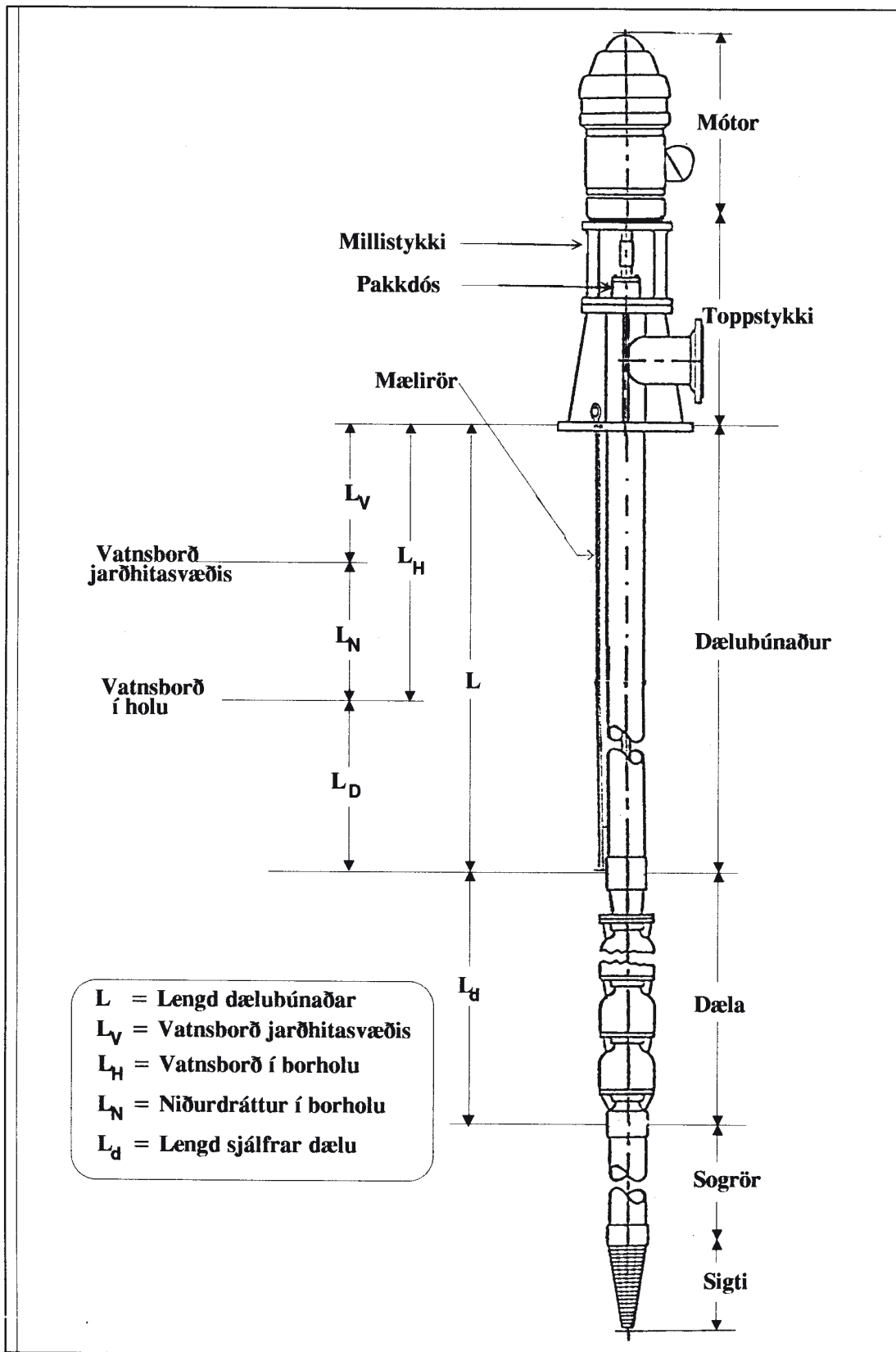
Efst trjónir mótörinn. Toppstykkinu er komið fyrir á borholuflansinum og samaþnstendur af hinu eiginlega toppstykki sem tengir dæluna við safnæð, millistykki fyrir mótör og pakkdós sem þéttir að öxlinum þar sem hann gengur upp úr toppstykkinu. Dælubúnaðurinn samanstendur af dælurörum, smurrörum, öxlum, öxullegum og stýriþgrindum. Dælan samanstendur af raðtengdum dæluhúsum með dæluhjólum (svokölluð þrepadæla), dæluúttaki með dælunippli, dæluinntaki með kónísku sigti og dæluöxli, sjá mynd 5.1. Raðtenging margra dæluhúsa/hjóna með þessum hætti gerir það kleift að byggja upp háan þrýsting/lyftihæð. Mjög auðvelt er að fjölga eða fækka að vild dæluhjólum og dælurörum (lengd) í þessari dælugerð, sem skýrir að stórum hluta hversu einfalt er að laga hana að breyttum aðstæðum.

Mynd 5.1 sýnir þversnið öxuldjúpdælu sem er með öxlana inni í smurrörum (enclosed lineshaft). Öxullegurnar eru smurðar með sama vatni og dælt er, eftir að það hefur verið síað og afloftað uppi í dæluhúsinu (water lubricated). Smurvatnið rennur niður smurvatnsrörið og út um raufar á efsta dæluhúsinu, sjá mynd 5.2. Þessi dælugerð er einnig framleidd með opnum öxlum án smurröra (open lineshaft), þar sem legurnar eru smurðar beint í dælda vatninu, en hún er ekki notuð í hitaveituholum en stundum í kaldavatnsholum svo og sem stöðvardælur. Dælurörin eru venjulega 3 m (3.042 mm) að lengd og skrúfuð saman með dælurörsmúffum, sjá mynd 5.3. Smurrörin eru 1,5 m að lengd og skrúfuð saman á öxullegunum. Smurrörin, og þar með öxlarnir, eru miðjustillt með stýrigrindum, einni í hverjum dælurörsenda.

Dæluhjólin eru venjulega fest á dæluásinn með kónum (sumir framleiðendur eru með kón og festiró) sem þau eru rekin upp á eftir að hafa verið hituð. Þegar tíðar hitabreytingar eiga sér stað í rekstri viðkomandi dælu er öruggara að panta hana með dæluhjólum sem fest eru á dæluásinn með kíl og lásskífu (double keyed). Þess gerist venjulega ekki þörf í borholum en er oft haft í stöðvardælum.

Dæluöxlarnir ásamt dæluhjólunum eru bornir uppi af burðarlegu mótorsins. Ef mótörinn er með gegnumboraðan ás (VHS, vertical hollow shaft motor) er stilliró efst á honum til að stilla dæluhjólin í rétta stöðu inni í dæluhúsunum fyrir gangsetningu. Þegar mótör með gegnheilan ás er notaður eru dæluhjólin stillt með sérbyggðu stillanlegu ástengi sem komið er fyrir milli mótors og toppstykkis.

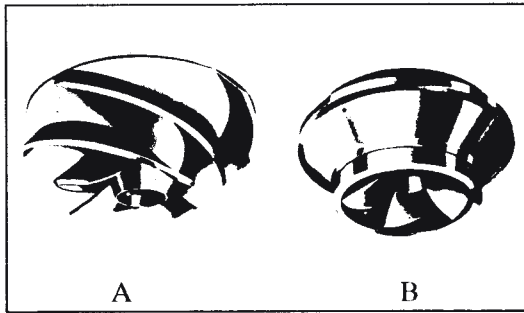
Mynd 5.2 sýnir þversnið dælu af staðlaðri gerð. Dæluhúsin eru skrúfuð saman og er það ódýrasta útfærslan á minni dælum. Þau eru boltuð saman með flönsum á stærri dælunum (10") og á þeim minni ef óskað er eftir því sérstaklega eða ef dælan er með afþrýstum hjólum og mesta hlaupi (max axial clearance). Mynd 5.2 sýnir dælu með venjuleg lokuð hjól (enclosed impellers). Þessa dælugerð er einnig hægt að fá með svokölluðum hálfopnum hjólum (semi open impellers), sjá mynd 5.4. Í djúpdælur eru eingöngu notuð lokuð hjól þar sem færsla opinna hjóna í dæluhúsunum hefur mjög mikil áhrif á afkastagetu dællunnar, svo mjög erfitt er að stilla þau nákvæmlega fyrir gangsetningu. Einnig hefur slit á opnum dæluhjólum bein áhrif á afköst þeirra en ekki að sama skapi hjá lokuðum hjólum. Opin hjól eru stundum notuð í stöðvardælum.



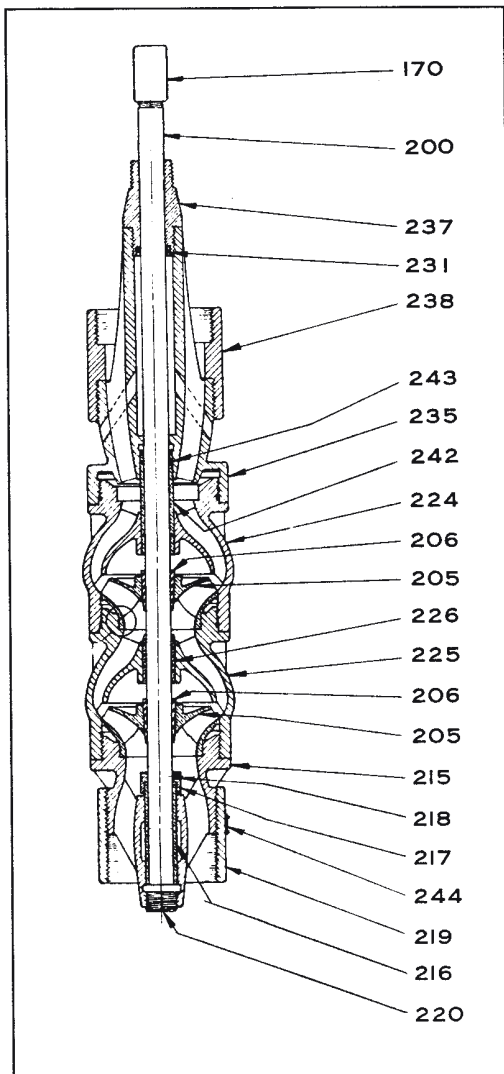
Mynd 5.1: Þversnið í öxuldjúpdælu

Mynd 5.1: Þversnið í öxuldjúpdælu

Mynd 5.2: Þversnið dælu, [2]

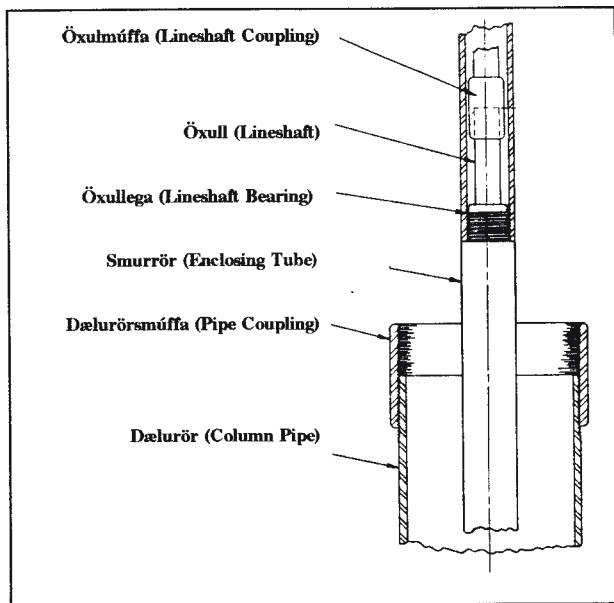


Mynd 5.4: Dæluhjólagerðir:
A: Hálf-opið (semi-open imp.)
B: Lokað (enclosed impeller)



Nr.	Heiti á íslensku	Heiti á ensku
170	Oxulmúffa	Shaft Coupling
200	Dæluás	Bowl Shaft
205	Dæluhjól	Impeller
206	Könn	Impeller Collet
215	Söggrein	Suction Case
216	Neðsta lega	Suction Bearing
217	Sandskilja	Sand Collar
218	Festiskrufa Sandskilja	Sand Collar Set Screw
219	Sigtismúffa	Suction Adaptor
220	Léutappi	Suction Plug
224	Efsti Dæluhús	Top Bowl

225	Dæluhús	Intermediate Bowl
226	Dælulega	Bowl Bearing
231	Þéttihringur	Lip Seals
235	Úttaksgræn	Discharge Case
237	Dælunippill	Tube Adaptor Bearing
238	Dælumúffa	Column Adaptor
242	Efsti dælulega	Throttle Bearing
243	Þéttihringur	Throttle Bearing "O" Ring
244	Nafinspjald dælu	Bowl Nameplate



Mynd 5.3: Þversnið dæluþúnaðar.

Á myndina vantar stýrigrindina

Eins og áður er getið sýnir mynd 5.2 dælu af staðlaðri gerð. Reynolds hjá íslenskum hitaveitum hefur breytt þessari útfærslu (íslenskur hitaveitustaðall) hjá dæluframleiðanda Floway, þannig:

1. Dælunippill (tube adaptor bearing) nr. 237 á mynd 5.2 er smíðaður hér innanlands. Nippillinn er smíðaður án þéttihrings, þar sem hann hefur viljað slíta dæluásnum. Einnig eru gengjur hans frábrugðnar þar sem smurrör hitaveitnanna eru ekki samskonar og hjá dæluframleiðanda.
2. Dælan er pöntuð án þéttihrings (throttle bearing "O"-ring) nr. 231 á mynd 5.2 í efstu dælulegu þar sem hann hefur einnig haft tilhneigingu til að slíta dæluásnum.
3. Dælan er oft pöntuð án öxulmúffu (shaft coupling) nr. 170 á mynd 5.2 þar sem stærð og gengjur hitaveituöxlanna eru frábrugðnar þeim hjá dæluframleiðendum, einkum á minni dælunum.
4. Dælumúffan (column adaptor) nr. 238 á mynd 5.2 er pöntuð með dælunni en oft þarf að renna út gengjur hennar fyrir neðsta dælurör, þar sem gengjur framleiðenda eru þrengri en dælurörs gengjur hitaveitna.

Í viðauka 1 er gefið dæmi á enskri tungu um pöntun á öxuldjúpdælu. Helstu hugtök eru þýdd á myndum 5.2 og 5.3.

Í viðauka 5 er sýnt dæmi um kennilínur öxuldjúpdælu. Helstu upplýsingar um kennitölur og uppbyggingu dæluþúnaðar koma þar fram. Yfirleitt gefa framleiðendur upp afkastagetu dæluþúnaðar miðað við eitt dæluhjóla. Ef þörf er á meiri þrýstigeitu er fleiri dæluþrepum bætt við dæluna. Vinsældir öxuldjúpdæluþúnaðar eru ekki síst vegna þess hve einfalt er að laga hana að breyttum aðstæðum hvað snertir þrýstipörf, t.d. vegna breytinga á vatnsborði jarðhitasvæðisins. Einnig er rétt að bæta við þeirri staðreynd að auðvelt er að viðhalda þessum þúnaði á íslenskum vélaverkstæðum.

5.2.1.3 Val á stærð dælu og mótors

5.2.1.3.1 NAUÐSYNLEGAR FORSENDUR

Þegar hitaveita velur stöðvardælu til að dæla inn á ákveðið leiðslukerfi er oftast tiltölulega auðvelt að reikna út kerfiskennilínuna og ákvarða rennslisþörfina. Mun vandasamara er að velja rétta dælu í borholu. Þar verður að taka tillit til fleiri þátta, sem oft á tíðum er erfitt að mæla eða meta.

Til að velja djúpdælu í ákveðna borholu á tilteknu jarðhitasvæði þurfa eftirtaldir forsendur að vera þekktar:

1. *Hvernig vatnsborð (L_v) jarðhitakerfisins breytist með vinnslu og tíma. Leiðni og rýmd kerfisins eru lykilhutgök sem skýra eiginleika þess, sjá [6].*

Ekki verður hér fjallað nánar um vinnslueiginleika jarðhitakerfis, heldur gengið út frá því að hann sé þekktur frá vinnsluprófun eða rekstri svæðisins, þ.e.a.s. sambandið á milli vatnsborðsins L_v og dælingarinnar m [1/s].

2. *Hvernig vatnsborðið (L_N) lækkar í borholunni í hlutfalli við vatnsmagnið sem dælt er.*

Vinnsluferil borholu er hægt að mæla með því að dæluþróa hana. Þar er niðurdráttur mældur við mismunandi rennsli. Oftast ákvarðast ferillinn af iðurstreymistöpum rennslisins inn í holuna og þá er hægt að tákna hann á einfaldan hátt með jöfnu 5.1. Ekki verður fjallað nánar um aðferðir til að mæla vinnsluferil borhola.

$$L_N = c_1 \cdot m^2 \quad [m] \quad [5.1]$$

þar sem

$$\begin{aligned} c_1 &= \text{iðustreymisstuðull borholu} & [m/(l/s)^2] \\ m &= \text{rennsli} & [l/s] \end{aligned}$$

3. *Hver er þörfin fyrir hámarksafköst dæluinnar. Ef borholan takmarkar ekki hámarksrennslið, þá geta ytri aðstæður t.d. miðlunargeymar haft áhrif til lækkunar á hámarks afkastapörf dæluinnar og þar með stærð hennar. Ef of stór dæla er valin hefur það í för með sér hærri stofnkostnað í byrjun og dýrari rekstur í formi orkunotkunar og viðhaldskostnaðar. Það er því mikilvægt að vanda vel til valsins og greina þörfina rétt. Bent er á að sjálfsagt er að nýta sér þann eiginleika öxuldjúpdælu til hins ítrasta að geta mætt breyttum aðstæðum í rekstri, með því að fjölga/fækka dæluhjólum og/eða skipta um hjólastærð.*
4. *Hver er vatnshiti jarðhitasvæðisins. Hitinn hefur áhrif á hversu langt dælan þarf að vera fyrir neðan vatnsborð í holunni (h_{\min}) til að koma í veg fyrir slagsuðu (kavitation) í inntaki hennar. Einnig hefur hann áhrif á eðlismassa vatnsins (ρ).*
5. *Hver er sverleiki fódurrörsins í holunni. Það getur takmarkað val á sverleika dælurörs og þar með stærð dælu.*
6. *Er sveigja í holunni á þeim kafla sem dælan kemur til með að liggja um. Ef hún er mikil getur hún komið í veg fyrir að hægt sé að virkja hana með öxuldjúpdælu. Sveigja í dæluþúnaðinum orsakar að dæluöxullinn leggst út í öxullegur og slítur þeim, þannig að endingartími þúnaðarins verður ófullnægjandi.*

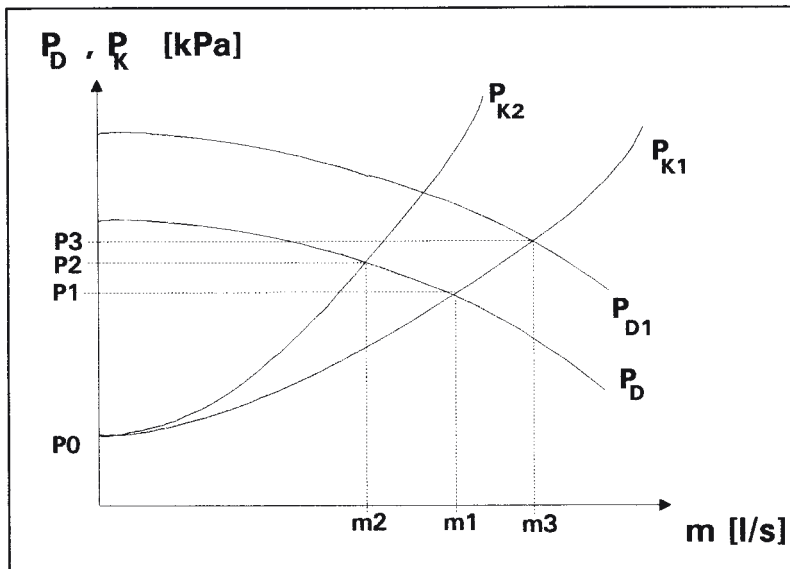
Þegar forsendur samkvæmt liðum 1-6 liggja fyrir er fyrst hægt að snúa sér að því að velja rétta stærð og gerð af dælu, dæluþúnaði og mótor í viðkomandi borholu, þ.e.a.s. að virkja hana.

5.2.1.3.2 VAL Á STÆRÐ DÆLU

Í þessum kafla verður fjallað um aðferðir til að velja öxuldjúpdælu í ákveðna borholu á tilteknu jarðhitasvæði.

Til að velja borholudælu í ákveðið hlutverk verður kerfiskennilínan að vera þekkt og það hámarks magn sem hún á að geta afkastað á tímaeiningu. Kerfiskennilínan segir til um það hvernig þrýstingurinn í leiðslukerfinu breytist með rennsli, þ.e.a.s. sá þrýstingur sem dælan þarf að yfirvinna hverju sinni. Mynd 5.5 sýnir einfalda mynd af dæmigerðri kerfiskennilínu, P_K .

Inn á myndina er einnig sett kennilína fyrir dæmigerða öxuldjúpdælu, P_D .



Mynd 5.5: Dæmi um kennilínur kerfis og dælu.

Þar sem kerfiskennilínan P_{K1} og kennilína dæluvar P_D mætast er vinnslupunktur dælukerfisins (m_1, P_1). Ef þessi vinnslupunktur hentar ekki er hægt að breyta honum annað hvort með því að breyta kerfiskennilínunni eða dælukenilínunni.

Kerfiskennilínunni er hægt að breyta með því að:

1. Velja aðra stærð af dæluröri og toppstykki.
2. Breyta kerfiskennilínu safnæðarinnar sem dælan tengist inn á.
3. Setja stjórnloka á safnæðina sem þrengir að dælu eftir þörfum. Kennilína P_{K2} er dæmi um áhrif stjórnlokans, þar sem dregið hefur verið úr rennslisafköstum dæluvar úr m_1 í m_2 [l/s].

Dælukenilínunni er hægt að breyta með því að:

4. Velja aðra dælu/dæluhjól með kennilínu sem hentar betur.
5. Breyta fjölda dæluhjóla.
6. Breyta snúningshraða dæluvar með hraðastýrðum mótör.

Ekki verður fjallað nánar um hraðastýringar, en þær eru víða notaðar þar sem rennslisþörf kerfisins er mjög breytileg, enda sparar þessi aðferð raforku borið saman við stjórnloka. Dæmi um þetta er hitaveita sem notar eina borholu sem þarf að fylgja eftir dægur- og árstíðarsveiflum í álaga á veituna.

Aðferðum 4 og 6 er að sjálfsögðu beitt í upphafi þegar kaup á dælu eru ákveðin. Þá er valin stærð á dælu með ákveðna stærð á dæluhjólum (t.d. A, B eða C hjól) og fjölda dæluhjóla. Seinna í rekstrinum er hægt að laga viðkomandi dælu að breyttum aðstæðum með því að panta í hana aðra stærð af hjólum og/eða fækka/fjölga þeim. Á mynd 5.5 er sett inn ný kennilína fyrir sömu dælu, P_{D1} , þegar bætt hefur verið hjólum í hana. Við það hliðrast einfaldlega kennilínan upp eftir y-ásnum.

Fyrsta skrefið er að reikna út kerfiskennilínuna frá gefnum forsendum og síðan að velja hentuga dælu með kennilínu sem sker kerfiskennilínuna í ákveðnum punkti sem gefur rennslid m [l/s] sem næst því rennslis sem óskað er eftir að ná með dæluvar,

sjá mynd 5.5. Þetta geta reynst tímafrekir útreikningar sem æskilegast væri að leysa með aðstoð tölvu. Engu að síður er nauðsynlegt að framkvæma þessa útreikninga til að tryggja rétt val á dælu í viðkomandi borholu. Óvæntar niðurstöður þegar dælan er gangsett eru dýru verði keyptar ef nauðsynlegt reynist að breyta dæluvar vegna þess að hún vinnur ekki eins og til var ætlast.

Fyrst byrjum við á að skilgreina kerfið þannig að það nái frá vatnsborði jarðhitasvæðisins sem leið liggur upp dælurörin að safnæð þar sem hún tengist toppstykki dælnnar. Kennilína dælnnar er að sjálfsögðu undanskilin. Með þessum hætti er eiginleikum jarðhitasvæðisins (L_V) og borholunnar (L_N), sem liggja fyrir aftan dæluna, til einföldunar skeytt saman við eiginleika dælubúnaðarins og safnæðarinnar, sem eru fyrir framan dæluna.

Ytri mörk kerfisins afmarkast þannig annars vegar af vatnsborði jarðhitasvæðisins (L_V) og hins vegar af þrýstingi í safnæð (P_s) við holutopp:

Í útreikningum er gengið út frá því að L_V sé föst stærð, enda er um flókið ferli að ræða, eins og áður hefur verið vikið að. Venjulega er hér áætluð lægsta staða vatnsborðsins notuð til að ákvarða nauðsynlega stærð á dælu. Til að mæla áhrif breytinga á vatnsborðinu á afköst dælnnar, t.d. í hæstu stöðu þess að sumarlagi, er einfalt að reikna það út, þar sem L_V hefur einungis áhrif á P_0 (upphafspunktinn) á kerfislínunni skv. mynd 5.5, þ.e.a.s. hliðrar henni upp eða niður eftir y-ásnum. Nýr skurðpunktur við dælukenilínuna gefur þá rennsli dælnnar við þessar breyttu aðstæður.

Þrýstingurinn á safnæð við holutopp, P_s , öðru nafni holutoppþrýstingur, er háður t.d. rennsli frá dælu, rekstri annarra borhola og vatnshæð í gasskilju eða safngeymi. Sambandið þar á milli, þ.e.a.s. kerfiskennilína safnæðarinnar, getur verið mjög flókið og margbreytilegt, t.d. þar sem margar borholur eru tengdar inn á sömu safnæðina. Einfalt líkan af safnæðarþrýstingnum verður notað hér og er táknað með jöfnu 5.2.

HOLUTOPPSÞRÝSTINGUR, P_s

$$P_s = P_0 + c_3 \cdot m^2 \quad [kPa] \quad (5.2)$$

þar sem

$$\begin{aligned} P_0 &= \text{þrýstingur í safnæð þegar dæla er stöpp (m=0 l/s)} && [kPa] \\ c_3 &= \text{þrýstimótstöðustuðull safnæðar} && [kPa/(l/s)^2] \\ m &= \text{rennsli} && [l/s] \end{aligned}$$

Nú hefur kerfiskennilínan verið skilgreind og þá er hægt að hefjast handa við að stilla upp jöfnu fyrir hana. Þar sem kennilína dælnnar hefur verið undanskilin er þrýstingurinn P_K skilgreindur sem sú heildarþrýstiaukning sem dælan þarf að gefa við tiltekið rennsli. Þetta táknar að „dýnamíski“ þrýstingurinn P_d við útstreymisop dælnnar reiknast með kerfiskennilínunni.

Kerfiskennilínan er táknuð með jöfnu 5.3:

$$P_K = P_s + P_H + P_t + P_d \quad [kPa] \quad (5.3)$$

þar sem

$$\begin{aligned} P_s &= \text{holutoppþrýstingur} && [kPa] \\ P_H &= \text{lyftihæð dælnnar} && [kPa] \\ P_t &= \text{þrýstitöþ í dælubúnaðinum} && [kPa] \\ P_d &= \text{„dýnamískur“ þrýstingur í dæluröri við dæluúttak} && [kPa] \end{aligned}$$

LYFTIHÆÐ DÆLUNNAR, P_H

Með því að vísa í mynd 5.1 sést að dælan þarf að lyfta vatninu frá vatnsborðinu í borholunni upp í safnæð, hæðina L_H . Fjarlægðin er samsett út tveimur stærðum, sjá jöfnu 5.4, og er hún reiknuð frá holutoppi og niður á vatnsborðið:

$$L_H = L_V + L_N \quad [m] \quad (5.4)$$

Þessi lyftihæð er umreiknuð í þrýsting með jöfnu 5.5:

$$P_H = (L_V + L_N) \cdot \rho_t \cdot g \cdot 10^{-3} \quad [kPa] \quad (5.5)$$

þar sem

$$\begin{aligned} L_V &= \text{vatnsborð jarðhitasvæðisins} & [m] \\ L_N &= \text{niðurdráttur í borholu} & [m] \\ \rho_t &= \text{eðlisþyngd dælda vökvans við hita } t \text{ [}^\circ\text{C]} & [kg/m^3] \\ g &= \text{þyngdarhröðunin} = 9,81 & [m/s^2] \end{aligned}$$

„DÝNAMÍSKUR“ ÞRÝSTINGUR, P_d

„Dýnamíski“ þrýstingurinn í dæluröri við dæluúttak er sá þrýstingur frá dælnni sem umbreytist í hreyfiorku og fölginn er í hraða vatnsins þar. Hann er táknaður með jöfnu 5.6:

$$P_d = v^2/2 \rho_t = (m/Fr)^2/\rho_t \cdot 10^{-3} \quad [kPa]$$

eða

$$P_d = m^2 \cdot \rho_t / (D_{di}^2 - D_{su}^2) \cdot 0,811 \cdot 10^{-9} \quad [kPa] \quad (5.6)$$

Þar sem

$$Fr = \pi \cdot (D_{di}^2 - D_{su}^2) \quad [m^2] \quad (5.7)$$

$$\begin{aligned} F_r &= \text{þverskurðarflatarmál milli dælu- og smurrörs} & [m^2] \\ D_{di} &= \text{innra þvermál dælurörs} & [m] \\ D_{su} &= \text{ytra þvermál smurrörs} & [m] \\ m &= \text{rennsli} & [l/s] \\ v &= \text{vatnshraði í dæluröri} & [m/s] \end{aligned}$$

Í flestum tilvikum er hægt að sleppa P_d í útreikningunum vegna smæðar sinnar án þess að það valdi teljandi skekkju.

Dæmi 5.1: Fyrir dælu sem dælir um 38 [l/s] og er með 6" dælurör, 2" smurrör og er 225 [m] að lengd gefur jafna 5.6 $P_d = 2,8$ [kPa] á sama tíma og jafna 5.8 gefur $P_t = 136$ [kPa]. Í þessu dæmi gæti P_K verið um 1700 [kPa]. Af þessu leiðir að P_d er innan við 0,2% af heildarþrýstingi dælnnar og kemur það því ekki að sök þótt þeim lið sé sleppt í útreikningunum.

ÞRÝSTITÖP Í DÆLUBÚNAÐINUM, P_t

Þrýstitöp verða í dælubúnaðinum á leið vatnsins frá dælnni upp dælurörin og út gegnum toppstykkið inn í safnæð. Þessi þrýstitöp eru gefin með jöfnu 5.8:

$$P_T = P_{t1} + P_{t2} = c_{21} \cdot m^y \cdot L/100 + c_{22} \cdot m^2 \quad (5.8)$$

þar sem

$$\begin{aligned} P_{t1} &= \text{þrýstitöp í dæluröri} & [kPa] \\ P_{t2} &= \text{þrýstitöp í toppstykki} & [kPa] \\ c_{21} &= \text{stuðull fyrir þrýstitöp í dæluröri þegar } L= 100 \text{ [m]} & [kPa/(l/s)^2] \\ y &= \text{veldisvísir} & [-] \\ L &= \text{lengd dælurörs} & [m] \\ c_{22} &= \text{stuðull fyrir þrýstitöp í toppstykki} & [kPa/(l/s)^2] \\ m &= \text{rennsli} & [l/s] \end{aligned}$$

Þrýstítöþ í dælurörum Pt1 verða á leið vatnsins upp þau, í opina milli þeirra og smurröranna. Stýrigrindurnar sem verða á leið þess auka við þrýstifallið og er reiknað með því í jöfnunni. Stuðlarnir í jöfnu 5.8 eru sóttir á handbækur dæluframleiðenda. Þannig eru stuðlarnir c_{21} og y fyrir P_{t1} fengnir úr [9], sjá viðauka 3. Í töflum framleiðanda er þrýstifallið gefið upp fyrir nokkrar rennslistölur og ólíkar dælurörs- og smurrörsstærðir þegar dælurörið er 100 ft á lengd. Stuðullinn c_{21} hefur verið umreiknaður miðað við dælurör sem er 100 m á lengd.

Á sama hátt er stuðullinn c_{22} í jöfnu P_{t2} fenginn úr [1], sjá viðauka 4. Þrýstítöþ í toppstykkinu eru venjulega einungis lítið brot af heildartöþum og því hægt að sleppa þeim í útreikningum til einföldunar, án þess að það hafi teljandi skekkju í för með sér.

Í töflu 5.1 eru stuðlar fyrir helstu stærðir á dælubúnaði birtir og eru þeir sóttir í ofangreindar töflur framleiðenda og felldir að jöfnu 5.8, eftir að einungum hefur verið breytt til samræmis við SI-einingakerfið.

Dælubúnaður	5" * 2"	6" * 2"	6" * 2½"	8" * 2½"	10" * 2½"
Toppstykki	6"	6"	6"	8"	10"
c_{21}	0,321	0,100	0,145	$2,24 \cdot 10^{-2}$	$5,62 \cdot 10^{-3}$
y	1,797	1,787	1,786	1,799	1,802
c_{22}	$2,02 \cdot 10^{-3}$	$2,02 \cdot 10^{-3}$	$2,02 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-4}$	$3,29 \cdot 10^{-4}$

Tafla 5.1: Þrýstítapsstuðlar fyrir djúpdælubúnað, sjá jöfnu 5.7.

Áður en hægt er að byrja að reikna kerfiskennilínuna P_K fyrir mismunandi gildi á m [l/s] með jöfnu 5.3, verðum við að doka við og áætla hvaða stærð af dælubúnaði við ætlum að nota og hve langur hann þarf að vera, þ.e.a.s. hversu langt niður í holuna þurfum við að setja dæluna.

Minnt er á að við höfum þegar gert upp við okkur í grófum dráttum hver afköst dælnnar eiga að vera þ.e.a.s. hversu mikil þörfin er. Þar með er hægt að velja stærð dælu og stærð dælubúnaðarins. Í viðauka 2 er birt yfirlit yfir kennilínur Floway dælna, algengustu stærðir hjá hitaveitunum, þar sem nýtni þeirra er gefin sem fall af rennsli. Þar er auðvelt að velja þá dælu sem hentar best hverju sinni þegar rennslisviðið er þekkt. Á það er bent að enn vitum við ekki hversu mörg hjól við þurfum í dæluna til að hún geti sinnt sínu hlutverki eins og til er ætlast. Ákveðin stærð á dælu kallar á ákveðna stærð á djúpdælubúnaði. Í kafla 5.2.1.4 er fjallað um þann dælubúnað sem algengastur er hjá hitaveitunum og þangað eru sóttar upplýsingar um einstaka stærðir, t.d. D_{di} , D_{su} o.s.frv.

Þessu næst verðum við að áætla nauðsynlega lengd á dælunni L [m].

Lágmarkslengd dælu, L_{min}

Lágmarks heildarlengd dælubúnaðarins fæst með jöfnu 5.9. Vísað er í mynd 5.1 til glöggvunar á samhengi hinna ýmsu lengda:

$$L_{min} \geq L_V + L_N + h_{min} - L_d \quad [m] \quad (5.9)$$

þar sem

L_V = vatnsborð jarðhitasvæðisins [m]

L_N = niðurdráttur í borholu [m]

h_{min} = lágmarksdýpt dælu í vatni [m]

L_d = lengd sjálfrar dælnnar [m]

Lágmarksdýpi dælu í vatni (h_{min}) er háð dælugerð og vatnshita og segir til um það dýpi sem dælan verður að vera á svo ekki slagsjóði (kaviteri) í neðsta hjóli hennar.

Til að tryggja öruggan rekstur þá er bætt við L_{min} ákveðinni öryggislengd sem háð er áreiðanleika upplýsinga um eiginleika jarðhitasvæðisins L_V , eiginleika borholunnar L_N , vatnshita, uppleyst gös o.s.frv.

Lágmarksdýpt dælu í vatni, h_{\min}

Í rekstri dælna er mjög mikilvægt að tryggja að sogþrýstingur þeirra sé nægilega hár til að koma í veg fyrir slagsuðu (kavitation) í neðsta dæluþrepinu. Í rekstri borholudælu er venjan að reikna út lágmarks vatnsborð í holunni miðað við dæluinntak, h_{\min} [m].

Hinar ýmsu dælugerðir þurfa mismunandi þrýsting í dæluinntakinu sem er táknað með NPSHR (Net Positive Suction Head required). Þessi þrýstingur er háður afköstum dæluinnar og er af dæluframleiðendum venjulega gefinn upp sem fall af rennsli með kennilínum viðkomandi dælu miðað við vatnshita 15°C, sjá viðauka 5.

Til þess að reikna út h_{\min} er notuð jafna 5.10, þegar $t < 100^\circ\text{C}$:

$$h_{\min} = (P_a - P_u) / (\rho_t * g) * 10^5 + NPSH_R * \rho_{15} * p_t + h_f * \rho_{15} / \rho_t \text{ [m]} \quad (5.10)$$

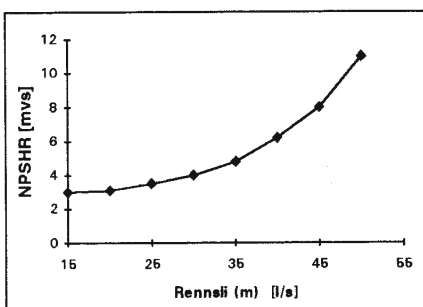
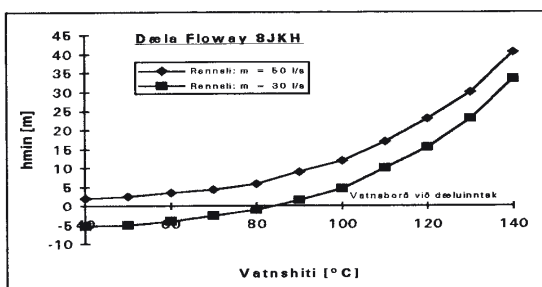
þar sem

P_a = suðuþrýstingur dælda vökvans	[bara]
P_u = umhverfisþrýstingur í borholu, venjulega 0,96 (kröpp lægð)	[bara]
ρ_t = eðlisþyngd vökvans við hita t [°C]	[kg/m ³]
ρ_{15} = eðlisþyngd vökvans við hita 15°C (=1000 fyrir vatn)	[kg/m ³]
$NPSH_R$ = lágmarks sogþrýstingur við dæluinntak skv. framleiðanda	[mvs]
h_f = þrýstitöpp í innsogsgrein dæluinnar	[mvs]
t = vatnshiti	[°C]

Þegar $t > 100^\circ\text{C}$ skal nota $(\rho_t + \rho_{100})/2$ í stað ρ_t í jöfnu 5.10 þar sem gert er ráð fyrir að vatnssúlan sé á suðumarksferlinum upp til vatnsyfirborðs. Fyrir ofan vatnsyfirborðið ríki andrúmsloftsþrýstingur.

Venjulega er h_f sleppt þegar h_{\min} er reiknað út fyrir borholudælur vegna smæðar sinnar, algengt á bilinu 0,1 – 1 [mvs]. Sogrör eru venjulega ekki notuð og þrýstitöpp í sigtinu eru lítil þar sem það er hlutfallslega gróft. Mælieiningin fyrir h_f er hér metrar vatnssúla [mvs] til einföldunar, þar sem verið er að reikna út h_{\min} með sömu mælieiningu.

Ef mikið er af uppleystum gösum í borholuvatninu, t.d. H₂S eða CO₂, er rétt að vera á varðbergi þar sem þau geta hækkað suðuþrýsting vatnsins, P_a .



Dæmi 5.2 Til að undirstrika mikilvægi vatnshitans við útreikning á h_{\min} er 8JKH dæla frá Floway tekin sem dæmi, sjá viðauka 5. Fyrst er $NPSH_R$, sem fall af rennsli, sótt úr kennilínum hennar, sjá

mynd 5.6. Þessu næst er h_{\min} , sem fall af vatnshita, reiknað út með aðstoð jöfnu 5.10, ($h_f = 0$), fyrir tvær rennslistölur, sjá mynd 5.7.

Mynd 5.6: $NPSH_R = f(m)$

Mynd 5.7: $h_{\min} = f(^{\circ}C)$

Af mynd 5.7 má lesa að ef vatnshitinn er t.d. $60^{\circ}C$ má vatnsborðið vera um 4 m fyrir neðan dæluinntak (sogrör notað) ef rennslið ≤ 30 l/s, en 3 m fyrir ofan dæluinntak ef rennslið er 50 l/s. Ef vatnshitinn er hins vegar $130^{\circ}C$ og rennsli 50 l/s verður dælan að vera á um 30 m lágmarksdýpi.

Kerfiskennilína teiknuð

Nú höfum við skilgreint allar jöfnur sem við þurfum á að halda til að reikna út kennilínu kerfisins með jöfnu 5.3.

$$P_K = P_S + P_H + P_t + P_d \quad [kPa] \quad (5.3)$$

Til að teikna upp kerfiskennilínuna $P_K = f(m)$ á því rennslibili sem um er að ræða hverju sinni þarf að reikna út þrjú til fimm gildi og velja þau beggja megin óskarennslisins, þ.e.a.s. þess rennslis sem stefnt er að að dæla gefi. Af framangreindu er ljóst að þessir útreikningar eru tímafrekir ef tölva er ekki til aðstoðar. Hægt er að stytta sér leið, eins og áður er getið, með því að sleppa þeim liðum sem vega lítið, svo sem P_d , P_{t2} og h_f .

Þegar kerfiskennilínan hefur verið færð inn á línuritið er dælukenilínan $P_D = f(m)$ sett inn á sama línurit. Athygli er vakin á því að yfirleitt þarf að umreikna dælukenilínurnar yfir í SI-einingakerfið, þar sem Bandaríkjamenn nota iðulega aðrar einingar ($[USGPM] * 0,06306 = [l/s]$ og $[ft] * 2,9901 = [kPa]$). Áður en það er gert verður að áætla hversu mörg þrep þurfa að vera í dæluinni, þar sem kennilínur dælnanna eru oftast dregnar upp af framleiðendum fyrir eitt dæluhjól, sjá sem dæmi í viðauka 5.

Nauðsynlegur fjöldi dæluþrepa er áætlaður með því að lesa út úr dælukenilínunni hversu mikinn þrýsting eitt hjól gefur við óskarennslid og deila þeirri stærð upp í kerfisþrýstinginn við sama rennsli. Sú tala sem þannig fæst, hækkuð upp í næstu heilu tölu, segir til um nauðsynlegan fjölda dæluhjóla.

$$z = |P_K (\text{óskarennslí}) / P_D (\text{fyrir eitt dæluhjól})|$$

Eins og áður var sýnt á mynd 5.4 fæst vinnslupunktur kerfisins, þar sem þessar tvær kennilínur skerast. Ef dæluhjólum er fækkað eða fjölgað má fá nýjan vinnslupunkt einfaldlega með því að hliðra dælukenilínunni í stefnu y-ássins, upp eða niður eftir því hvort hjólum er bætt við eða fækkað.

Á sama hátt er hægt með einfaldri hliðrun á kerfiskennilínunni í stefnu y-ássins að fá fram nýjan vinnslupunkt, þegar stöðu vatnsborðs í jarðhitasvæðinu L_v er breytt.

Þar með hefur stærð og þrepafjöldi dæluinnar verið áætlaður. Næstu skref eru að reikna út færslu dæluhjóla við gangsetningu til að ganga úr skugga um hvort hún hefur áhrif á dæluvalið og/eða dæluþunaðinn. Einnig þarf að reikna út togkraftinn á öxlana til að ákvarða nauðsynlega lágmarks burðargetu mótorsins, um leið og nauðsynleg stærð hans er reiknuð út.

5.2.1.3.3 FÆRSLA DÆLUHJÓLA

Í þessum kafla er reiknuð út færsla á dæluhjólum öxuldjúpdælna eftir að dæluþunaðurinn hefur náð hitajafnvægi þegar þær eru settar í gang. Nauðsynlegt er að reikna út færslu dæluhjólanna, sérstaklega þegar lengd dæluinnar fer yfir 120 – 150 m, til að geta ákveðið hvernig stilla eigi þau fyrir gangsetningu.

Í handbókum dæluframleiðenda eru venjulega birt gröf sem gera okkur kleift að reikna út lenginguna

fyrir ýmsar stærðir af dæluöxlum þegar hreyfikrafturinn (dynamic force) sem verkar á þá frá dæluhjólunum niður á við í ásstefnuna hefur verið ákvarðaður.

Hins vegar kemur í ljós að það er ekki nóg, sérstaklega þegar dælurnar eru orðnar mjög langar (> 250 m), að reikna eingöngu með tognun dæluöxlanna. Það verður einnig að taka tillit til lengingar dæluröra vegna hreyfikrafta (dynamic force), styttingar dæluröra vegna þrýstings inni í þeim (og í sumum tilvikum lengingar smurröra vegna ytri þrýstings á vegg þeirra) [5].

Til að hægt sé að gangsetja dæluna verður hlaupið í henni (max axial clearance) að vera meira en endanleg færsla dæluhjólanna við gangsetningu. Stilling á stöðu dæluhjólanna fyrir gangsetningu verður að taka mið af þessari færslu svo hjólin gangi ekki út í dæluhúsin við gangsetningu og þar með skemmi dæluna.

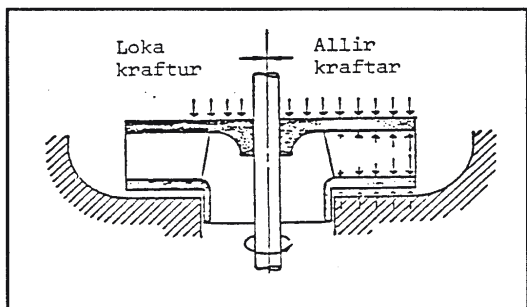
Lenging dæluöxla – E_A

Jafna 5.11 gefur þann hreyfi-togkraft (dynamic thrust) á dæluöxlana sem stafar frá dæluhjólunum þegar dælan er í gangi. Eins og nafn hans bendir til þá togar hann niður á við í ásstefnuna:

$$T_A = (k_1 * P_D) - (k_2 * m^2) \quad [N] \quad (5.11)$$

þar sem

T_A = hreyfi-togkraftur á dæluöxla	[N]
k_1 = þrýstistuðull (thrust constant) dælu	[lb/ft]
P_D = dæluþrýstingur	[kPa]
k_2 = fasti	[kPa/(l/s) ²]
m = rennsli	[l/s]



Fyrri liður jöfnunnar gefur togkraft niður vegna þrýstimunar yfir dæluhjólin, sjá mynd 5.8, en sá síðari þrýstikraft upp í ásstefnuna vegna stefnubreytingar á vatnsstreyminu á leið þess í gegnum dæluhjólin.

Mynd 5.8: Þrýstikraftar á lokað dæluhjól.

Á hægri helmingi myndarinnar er sýnd þrýstidreifingin á fleti dæluhjólsins í heild sinni. Þegar þrýstingur á gagnstæða fleti hefur verið stytur út á vinstra helmingi hjólsins stendur eftir óútfafnaður þrýstingur á efri hluta hjólsins á því svæði sem afmarkast af dæluöxli að innanverðu og ytri brún hjólkraga að utanverðu. Þetta er vegna þrýstiaukningarinnar sem á sér stað á leið vatnsins upp í gegnum dæluhjólið.

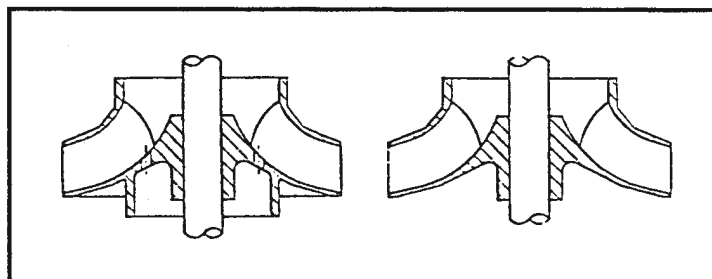
Ef öll dæluhjólin eru eins í dæluinni fæst heildartogkrafturinn með því að margfalda dæluþrýstinginn með þrýstistuðlinum k_1 . Ef sum af dæluhjólunum eru afþrýst (thrust balanced), þ.e.a.s. enginn óútfafnaður þrýstingur hvílir á þeim (ofangreint svæði á efri hluta dæluhjólsins hefur verið innilokað með dæluhraga og göt boruð niður úr því til þrýstiútfjöfnunar, sjá mynd 5.9), verður að margfalda fyrsta liðinn í jöfnu 5.11 með

hlutfallinu r sem skilgreint er með jöfnu 5.12:

$$r = z_o / z \quad (5.12)$$

þar sem

r = margfeldisstuðull fyrir dælur með afþrýst hjól	[-]
z_o = fjöldi dæluhjóla sem ekki eru afþrýst	[-]
z_b = fjöldi dæluhjóla sem eru afþrýst	[-]
z = heildarfjöldi dæluhjóla = $z_o + z_b$	[-]



Mynd 5.9: Venjulegt dæluhjól (t.v.) og afþrýst dæluhjól (t.h.).

Jafna 5.12 gildir eingöngu þegar ytra þvermál efri hjólkraga er það sama og á þeim neðri. Þegar ytra þvermál efri kraga er minna er hjólið ekki fullkomlega afþrýst og verður að taka tillit til þess í jöfnu 5.12.

Seinni liðurinn í jöfnu 5.11 gefur upp þrýstikraft vegna breytingar á rennslisstefnu á leið vatnsins upp í gegnum dæluhjólið (allir kannast við kraftinn sem leitast við að rétta úr garðslöngu í straumstefnuna þegar hún er sveigð).

Yfirleitt er mjög erfitt að fá uppgefna hjá dæluframleiðendum stuðlana k_1 og k_2 fyrir tiltekna dælugerðir. Í staðinn gefa þeir einungis upp einn stuðul, k , sem þeir nefna þrýstistuðul dæluinnar (thrust constant) og jafna 5.11 fyrir T_A er þannig einfölduð með jöfnu 5.13:

$$T_A = 1,488 \cdot k \cdot P_D \cdot r \quad [N] \quad (5.13)$$

þar sem

k = þrýstistuðull (thrust constant)	[lb/ft]
P_D = dæluþrýstingur	[kPa]
r = margfeldisstuðull fyrir dælur með afþrýstum hjólum	[-]

Þar sem þrýstistuðullinn k er venjulega gefinn upp af framleiðendum í einingunni lb/ft er hún notuð í jöfnu 5.13.

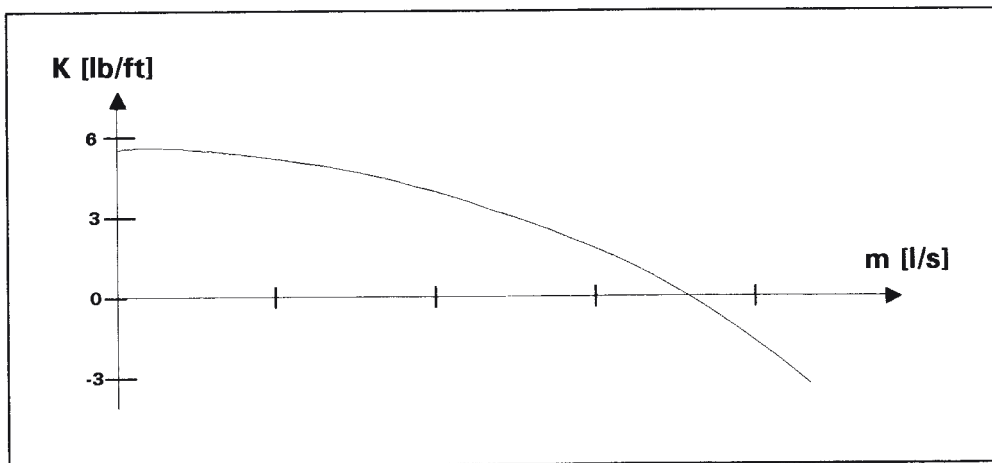
Tognun dæluöxlanna vegna togkraftsins T_A er reiknuð með jöfnu 5.14 samkvæmt lögmáli Hooke's:

$$E_A = (T_A \cdot L) / (A_o \cdot E) = 6,366 \cdot 10^{-12} \cdot (T_A + L) / (D_o)^2 \quad [m] \quad (5.14)$$

þar sem

E = teygnistuðull járns = 20×10^{10}	[N/m ²]
E_A = lenging dæluöxla vegna hreyfi-togkrafta	[m]
T_A = hreyfi-togkraftar á dæluöxla	[N]
L = lengd dæluöxla	[m]
D_o = þvermál dæluöxla	[m]
A_o = þverskurðarflatarmál dæluöxla	[m ²]

Eins og áður er getið er það mikil einföldun við útreikning á togkraftinum T_A að líta á þrýstistuðulinn k sem fasta og nægir í því sambandi að benda á jöfnu 5.11. Þrýstistuðullinn k breytist í raunveruleikanum með rennsli dælnnar og það gildi sem framleiðendur gefa upp gildir því einungis í kringum besta nýtnipunkt dælnnar (bep). Á mynd 5.10 er sýnt dæmi um hvernig þrýstistuðullinn getur breyst með rennsli, fyrir dælu með lokuð dæluhjól.



Mynd 5.10: Þrýstistuðull k , skv. jöfnu 5.13, sem fall af rennsli dælu m [l/s]

Athygli er vakin á því að hjá vissum dælugerðum getur k verið verulega hærri við lítið rennsli en í kringum besta nýtnipunkt. Af þessum sökum getur verið varasamt að knífa mikið á langri borholudælu því togkrafturinn eykst að sama skapi og þar með færsla dæluhjólanna.

Í vissum tilvikum verður að gæta sín á þeirri staðreynd að þegar farið er ofarlega á rennslisferil dælnnar virkar þrýstikraftur upp í stað togkrafts niður, sjá mynd 5.10. Þetta er skýringin á því að slíkt ástand skapast oft í gangsetningaraugnablikinu. Þá er rennslið mest, því það tekur dæluna nokkurn tíma að byggja upp þrýsting. Vegna mikillar eiginþyngdar dæluöxlanna eru ekki líkur til þess að þessi þrýstikraftur náði að lyfta þeim hjá djúpdælum. Hins vegar er nauðsynlegt að taka tillit til þessa hjá stöðvardælum af öxuldjúpdælugerð og nota þar rafmótora sem eru í stakk búnir til að taka við þrýstikröftum upp, a.m.k. tímabundið, sjá nánar kafla 5.2.1.3.4.

Lenging dæluröra vegna dæluþrýstings - E_{R1}

Vegna dæluþrýstingsins P_D , sem leggst á þversniðið A_r milli dælurörs og smurrörs, myndast togkraftur niður á við, sem dælurörin bera með tilheyrandi tognun. Frá þessum togkrafti þarf að draga frá þrýstikraftinn T_A , sem er mótkraftur þess krafts sem virkar á dæluöxulinn frá dæluhjólínu skv. jöfnu 5.11, til að fá lokakraftinn T_R á dælurörin niður í ásstefnuna:

$$T_R = P_D \cdot F_r - T_A = 785,4 \cdot (D_{di}^2 - D_{su}^2) \cdot P_D - T_A \quad [N] \quad (5.15)$$

þar sem

T_R = hreyfi-togkraftur á dælurör	[N]
T_A = hreyfi-togkraftur á dæluöxla	[N]
P_D = dæluþrýstingur	[kPa]
F_r = þverskurðarflatarmál ópsins milli dælu- og smurrörs	[m ²]

$$D_{di} = \text{innra þvermál dælurörs} \quad [\text{m}]$$

$$D_{su} = \text{ytra þvermál smurrörs} \quad [\text{m}]$$

Lenging dæluröra vegna togkraftsins T_R er síðan reiknuð með jöfnu 5.16 samkvæmt lögmáli Hookes. Gengið er út frá því að þéttiró smurrörsins í toppstykkinu sé frágengin þannig (lauslega hert eftir gangsetingu) að smurrörin beri ekki uppi þennan togkraft með dælurörunum:

$$E_{R1} = (T_R * L) / (F_R * E) = (6,366 * 10^{-12} * T_R * L) / (D_{du}^2 - D_{di}^2) \quad [\text{m}] \quad (5.16)$$

og

$$FR = \pi/4 * (D_{du}^2 - D_{di}^2) \quad [\text{m}^2] \quad (5.17)$$

þar sem

$$E_{R1} = \text{lenging dæluröra vegna togkraftsins } T_R \quad [\text{m}]$$

$$F_R = \text{þverskurðarflatarmál dælurörsefnisins} \quad [\text{m}^2]$$

$$E = \text{teygnistuðull járn} \quad [\text{N/m}^2]$$

$$D_{du} = \text{ytra þvermál dælurörs} \quad [\text{m}]$$

$$D_{di} = \text{innra þvermál dælurörs} \quad [\text{m}]$$

$$L = \text{lengd dæluöxla} \quad [\text{m}]$$

$$T_R = \text{hreyfi-togkraftur á dælurör} \quad [\text{N}]$$

Ef smurrörin bera uppi togkraftinn T_R með dælurörunum bætist við F_R þverskurðarflatarmál smurrörsefnisins. Þegar það gerist lengjast dælurörin minna. Skilyrðið fyrir því að það gerist er mjög flókið og verður ekki farið út í það nánar. Almennt gerist þetta ekki ef smurrörspéttiróin er ekki mikið hert eftir gangsetningu, eins og áður hefur verið vikið að.

Stytting dæluröra vegna innri þrýstings – E_{R2}

Dælurörin stytast um E_{R2} [mm] vegna þrýstingsins frá dælunni inni í rörunum (samkvæmt Poisson, þegar $\nu=0,29$ fyrir stál). Þrýstingurinn er hæstur neðst, P_D , og minnkar til yfirborðs þar sem hann er P_S (safnæðarþrýstingur). Til frádráttar kemur þrýstingur utan á rörin, á þann hluta þeirra sem í vatni eru:

$$E_{R2} = [1,40 * 10^{-9} * [P_D + P_S - (p_t * L_D^2 * 9,81 * 10^{-3} / L)] * L / (D_{du} / D_{di})^2 - 1] \quad [\text{m}] \quad (5.18)$$

þar sem

$$E_{R2} = \text{stytting dæluröra vegna innri þrýstings} \quad [\text{m}]$$

$$L = \text{lengd dæluöxla} \quad [\text{m}]$$

$$L_D = \text{lengd dæluröra í vatni} \quad [\text{m}]$$

$$D_{du} = \text{ytra þvermál dælurörs} \quad [\text{m}]$$

$$D_{di} = \text{innra þvermál dælurörs} \quad [\text{m}]$$

$$P_D = \text{dæluþrýstingur} \quad [\text{kPa}]$$

$$P_S = \text{safnæðarþrýstingur} \quad [\text{kPa}]$$

$$p_t = \text{eðlisþyngd vökvans við hita } t \quad [^\circ\text{C}] \quad [\text{kg/m}^3]$$

Heildarlenging dæluröranna er síðan reiknuð út með jöfnu 5.19:

$$E_R = E_{R1} - E_{R2} \quad [\text{m}] \quad (5.19)$$

þar sem

$$E_R = \text{heildarlenging dæluröra} \quad [\text{m}]$$

$$E_{R1} = \text{lenging dæluröra vegna togkraftsins } T_R \quad [\text{m}]$$

$$E_{R2} = \text{stytting dæluröra vegna innri þrýstings} \quad [m]$$

Færsla dæluhjólanna

Að endingu fæst færsla dæluhjólanna við gangsetningu með því að draga frá lengingu dæluöxlanna, skv. jöfnu 5.14, lengingu dæluröranna, skv. jöfnu 5.19:

$$E_E = E_A - E_R \quad [m] \quad (5.20)$$

Útreikningur á færslu dæluhjólanna er tímafrekur, ef tölva er ekki höfð til aðstoðar, þegar einnig er reiknað með lengingu dæluröranna. En það er nauðsynlegt í mjög löngum dælum þegar verið er að teygja sig út að ystu getumörkum dæluhjólanna til að mæta færslu hjólanna, þ.e.a.s. þegar færslan nálgast stærð hlaupsins í dælunni (axial clearance).

Þegar aðstoðar tölva nýtur ekki við er oft nægjanlegt að reikna eingöngu lengingu dæluöxlanna með jöfnu 5.14 til að meta færslu dæluhjólanna við gangsetningu. Lenging dæluröranna samkvæmt jöfnu 5.19 verður þá nokkurs konar öryggisstuðull, því þau draga úr færslu hjólanna.

Flestar öxuldjúpdælur eru pantaðar með mesta mögulega hlaupi (max axial clearance). Þær kosta um 10% meira en þær sem eru pantaðar með venjulegu hlaupi [4]. Í þeim tilfellum þar sem mesta hlaup dugar ekki til er hægt að mæta því með eftirtöldum aðgerðum:

1. skipta yfir í dælugerð með lægri þrýstistuðul, k.
2. auka sverleika dæluöxlanna en gæta þarf þess að við það eykst álagið á burðarlegu mótorsins.
3. panta dæluna með hluta af dæluhjólunum afþrýstum, sjá stuðulinn r í jöfnu 5.12. Nýtni dæluhjólanna, skv. upplýsingum frá Floway, rýrnar um 2% ef þau eru afþrýst. með tilvísan í jöfnu 5.12 og ef nýtni dælu án afþrýstra hjóla er táknuð með n_d fæst nýtni dælu n_{db} , sem er með hluta af hjólunum afþrýstum, með jöfnu 5.21:

$$n_{db} = n_d (z_o - 0,98 * z_b) / z \quad [%] \quad (5.21)$$

4. panta dælu með óvenju stóru hlaupi (deep setting bowl unit) sem sumir dæluframleiðendur bjóða upp á. T.d. er Floway 8JKH dæla í staðlaðri útfærslu með 14 mm hlaup, meðan mesta hlaup er 19 mm, sjá viðauka 5. Í sérútfærslu með tilheyrandi kostnaðrauka er hægt að fá hana með 28 mm hlaupi.

Dæmi 5.3: Í viðaukum 8.1 – 8.5 eru birtir útreikningar á færslu dæluhjólanna EE, þar sem farnar eru mismunandi leiðir við val á dælu og dæluþúnaði í tiltekna borholu. Í sýnidæmunum hefur lengd dæluhjólanna verið valin 246 m. Dælan sem notuð er er af gerðinni 8JKH með 10 þrep og 19 mm hlaup. Niðurstöður útreikninga eru birtar í töflu 5.2:

	Dæla 1	Dæla 2	Dæla 3	Dæla 4	Dæla 5
L_v	EE (mm)	EE (mm)	EE (mm)	EE (mm)	EE (mm)
100	20,3	1,2	10,3	5,6	-3,9
130	21,9	0,8	10,7	5,6	-4,9
160	23,4	0,3	11,1	5,6	6,1
190	24,8	-0,3	11,3	5,4	-7,4
220	26,1	-0,9	11,5	5,2	-8,8

Tafla 5.2: Færsla dæluhjóla skv. sýnidæmunum í viðauka 8.

Dæla 1: Dælan er með 6" dælurör og 1^{3/16"} öxla.

Hér er færsla dæluhjólanna meiri en hlaupið í dælunni, svo ekki gengur að nota þennan

dælubúnað í borholunni.

Dæla 2: Dælan er með 6" dælurör og 1^{3/16"} öxla eins og dæla 1, en nú er hún með 7 hjól af 10 afþrýst, því er $r = 0,3$.

Hér er færsla dæluhjólanna mjög lítil, svo auðvelt er að nota hana. Fyrir gangsetningu eftir upphitun væri hæfilegt að stilla hjólin um 12 mm frá botni.

Dæla 3: Dælan er með 6" dælurör og 1^{11/16"} öxla, þ.e.a.s. sverleiki öxla hefur verið aukinn, borið saman við dælu 1.

Hér er færsla dæluhjólanna tiltölulega mikil, svo aðgát þarf að viðhafa við stillingu á dæluhjólunum og í rekstri hennar með tilliti til hitamisþensla. Fyrir gangsetningu eftir upphitun væri hæfilegt að stilla hjólin um 15,5 mm frá botni.

Dæla 4: Dælan er með 8" dælurör og 1^{11/16"} öxla, en að öðru leyti eins og dæla 1.

Hér er færsla dæluhjólanna tiltölulega lítil, svo auðvelt er að nota hana. Fyrir gangsetningu eftir upphitun væri hæfilegt að stilla hjólin um 13 mm frá botni.

Dæla 5: Dælan er með 8" dælurör og 1^{11/16"} öxla eins og dæla 4, en nú eru 7 af 10 hjólum hennar afþrýst eins og í dælu 2.

Hér er færsla dæluhjólanna upp á við í stað niður á við eins og hjá hinum dælunum, vegna lengingar dæluröranna umfram lengingu dæluöxlanna. Fyrir gangsetningu eftir upphitun væri hæfilegt að stilla hjólin um 3 mm frá botni.

5.2.1.3.4 VAL Á MÓTOR

Inngangur

Hjá íslenskum hitaveitum er algengast að nota lóðrétt borholudælumótora með holan (gegnumboraðan) ás (vertical hollow shaft motor, VHS). Dæluöxullinn gengur upp í gegnum mótórasinn og tengist honum þar með kíl og stilliró við mótorkúplingu, sjá viðauka 6. Þessi mótorgerð einkennist af öflugri burðarlegu að ofanverðu undir mótorkúplingunni til að bera uppi stóra togkrafta niður á við. Burðargetan er breytileg eftir fjölda lega sem valinn er hverju sinni, sjá viðauka 7.2.

Algengast er að panta mótórana með „afturábak“ bremsu (non-reverse coupling) til að koma í veg fyrir að dælan geti snúist aftur á bak þegar hún er stöðvuð og meðan hún er að tæmast af vatni niður að vatnsborði jarðhitasvæðisins.

Í viðauka 1 er sýnt dæmi á enskri tungu um pöntun á dælumótora með holan ás (VHS). Þar koma fram helstu þættir sem nauðsynlegt er að skilgreina við val á réttri gerð hans.

Vinsældir þessarar mótorgerðar stafa fyrst og fremst af því hversu aðgengilegt er að stilla dæluöxulinn, þ.e.a.s. dæluhjólin, með stillirónni fyrir gangsetningu. Þessi mótortegund er einnig framleidd með gegnheilan ás (vertical solid shaft motor, VSS) og þar sem aflgeta þeirra og burðargeta er meiri en þeirra sem hafa holan ás reynist stundum nauðsynlegt að nota þá þegar dælur gerast öflugar og langar með sverum öxlum.

Kraftur á burðarlegu mótors – T_T

Heildartogkraftur á dæluöxulinn sem burðarlega dælumótors verður að bera uppi fæst með jöfnu 5.22:

$$T_T = T_A + T_S \quad [N] \quad (5.22)$$

þar sem

T_T	= heildartogkraftur á efsta dæluöxul	[N]
T_A	= hreyfi-togkraftur á dæluöxla skv. jöfnu 5.13	[N]
T_S	= heildarþyngd dæluöxla + þyngd dæluhjóla skv. jöfnu 5.23	[N]

og

$$T_s = 6,417 \cdot 10^4 \cdot D_o^2 \cdot (L + L_d) + T_d \quad [N] \quad (5.23)$$

þar sem

L = heildarlengd dæluöxla (dæluröra)	[m]
L_d = lengd dælu (dæluöxuls)	[m]
D_o = þvermál öxla	[m]
T_d = heildarþyngd dæluhjóla	[N]

Í jöfnu 5.23 er tekið tillit til áætlaðrar þyngdar öxulmúffa og öxulslífa og gengið út frá því að allir öxlar séu jafn sverir, þar með talin sjálfur dæluöxullinn.

Í töflu 5.3 er hámarks burðargeta nokkurra algengra VHS dælumótora gefin.

		3000 sn/mín	1500 sn/mín				
	Afl kW	90	110	150	110	150	185
Fram- leiðandi	GE	23400	26700	38270	53734	62300	62300
	Newmann	29800	-	-	66750	66750	8100

Tafla 5.3: Dæmi um hámarks burðargetu [N] borholumótora með holan ás, [10], [11].

Algengast er að þessir mótorar geti tekið á móti tímabundnum þrýstikrafti (upthrust) sem nemur um 30% af uppgefni burðargetu (downthrust capacity) þeirra.

Ef dælulengd er minni en 22 m eða holutoppþrýstingur P_s er hærri en 25% af dæluþrýstingnum P_D er tryggast að mótórin hafi getu til að taka á móti þrýstikrafti. Til að forðast slys, þar sem mótorar eru iðulega fluttir á milli dælna á lífsferli sínum hjá hitaveitunum, er mjög mikilvægt að merkja sérstaklega þá mótora sem ekki þola þrýstikrafta.

Líflengd burðarlega mótorsins er mjög háð álaginu T_T . Samkvæmt [11] er L_{10} líftími legu (skilgreindur þannig að 90% lega hafi lengri líftíma) um 8.800 klst. við mesta leyfilega álag. En við 84% af mesta álagi er hann 15.400 klst., við 76% álag er hann 20.000 klst., við 66% er hann 30.000 klst., við 60% er hann 40.000 klst. og við 56% er hann 50.000 klst.

Öxulafþörf dælumótors – A_M

Það afl sem mótórin þarf að gefa frá sér út á öxul ákvarðast hverju sinni af afþörf dæluinnar A_D og „mekanískum“ töpum í dæluþúnaðinum. Töpin samanstanda af núningstöpum í öxullegum, A_A , og töpum í burðarlegu mótorsins, A_L :

$$A_M = A_D + A_L + A_o = A_D + A_F \quad [kW] \quad (5.24)$$

$$A_D = (P_d * p_t * m) / n_t * 10^{-6} \quad [kW] \quad (5.25)$$

þar sem

A_M = öxulaf mótors	[kW]
A_D = afþörf dælu	[kW]
A_F = „mekanísk“ töp í dæluþúnaðinum	[kW]
A_L = „mekanísk“ töp í burðarlegu mótors	[kW]
A_o = „mekanísk“ töp í dæluöxullegum	[kW]

m = rennsli	[l/s]
P_D = dæluþrýstingur	[kPa]
p_t = eðlisþyngd vökvans við hita t [°C]	[kg/m ³]
n_d = nýtni dælu	[%]

$$A_L = n \cdot T_T \cdot 2,85 \cdot 10^{-8} \quad [kW] \quad (5.26)$$

þar sem

A_L = „mekanísk“ töp í burðarlegu mótors	[kW]
T_T = heildartogkraftur á efsta dæluöxl	[N]
n = snúningshraði mótors	[sn./mín]

Jafna 5.26 gildir fyrir mótora með NEMA byggingarnúmer (frame nos) B44TP-505TP, sem eru algengir hjá hitaveitunum. Til að reikna út margföldunarstuðulinn í jöfnunni fyrir aðrar gerðir af mótorum verður að snúa sér til framleiðenda.

$$A_O = f \cdot L \cdot 10^{-2} \quad [kW] \quad (5.27)$$

þar sem

A_O = „mekanísk“ töp í dæluöxullegum	[kW]
f = núningstapstuðull fyrir „mekanísk“ töp í öxullegum	[kW/L = 100m]
L = heildarlengd dæluöxla	[m]

Núningstapstuðullinn er sóttur í handbækur dæluframleiðenda fyrir ólíkar stærðir af öxlum og mismunandi snúningshraða mótora. Í töflu 5.4 er þessi stuðull gefinn fyrir tvær algengustu stærðir af öxlum og tvo snúningshraða, fyrir 100 m öxullengd í senn, [1].

	n (sn/mín)	
D_ø (in)	2900	1450
1 3/16"	6,95	3,52
1 11/16"	11,55	5,77

Tafla 5.4: Núningstapstuðull f [kW/L = 100m]

Aflnotkun mótors – A_N

Það afl sem mótörinn tekur út úr raforkunetinu hverju sinni er táknað með A_N . Sambandið á milli aflnotkunar hans og öxulaflsins A_M , þ.e.a.s. það afl sem hann gefur út á öxul, segir til um heildarnýtni mótorsins n_m :

$$n_m = A_M / A_N \quad [%] \quad (5.28)$$

þar sem

A_N = aflnotkun mótors	[kW]
A_M = öxulafli („mekanískt“) mótors	[kW]
n_m = nýtni mótors	[%]

Í rekstri er hægt, ef amper- og spennumælar eru til staðar í startskáp mótorsins, að reikna út raunverulega

afnotkun þriggja fasa mótors með jöfnu 5.29:

$$\begin{aligned} A_N &= 2,32 \cdot 10^{-3} \cdot V \cdot A \cdot p_f \quad [\text{HP}] \\ &= 1,73 \cdot 10^{-3} \cdot V \cdot A \cdot p_f \quad [\text{kW}] \end{aligned} \quad (5.29)$$

þar sem

A_N = afnotkun mótors	[kW]
V = spenna	[Volt]
A = straumur	[Amper]
p_f = aflstuðull mótors, á bilinu 0,85 – 0,90 fyrir stóra mótora	[-]

Upplýsingar um nýtni og aflstuðul mótorsins, sem fall af álagi, fást úr handbókum mótórframleiðenda. Gagnlegt er að hafa í huga þá staðreynd, þegar VHS borholumótorar eru valdir fyrir tiltekna dælur, að nýtni stærri mótora breytist ekki teljandi þótt þeir gangi ekki full lestaðir. Það táknað að þótt yfirstærð á mótór sé valin, t.d. til að mæta síðari tíma stækkun dælu (fjölgu þrepa), hefur það ekki teljandi áhrif á nýtni hans. Í þessu tilviki fæst einnig lengri líftími á burðarlegum mótorsins. Dæmi um þetta er 150 kW, 1470 sn/mín mótór skv. viðauka 7.2. Fulllestaður er hann með 92,7% (0,87) nýtni en 91% (0,77) við 50% álag, (tölur innan sviga gefa aflstuðulinn, p_f). Ókosturinn við að velja yfirstærð á mótór er hærri gangsetningarstraumur og hugsanlega öflugri og dýrari rafbúnaður, háð stærðarþrepum hans.

Dæmi 5.4: **Dæmi um val á dælumótór.** Í sýnidæmum 2 og 3 í viðauka 8 eru gefin dæmi um tvær ólíkar leiðir við að virkja tiltekna borholu.

Sýnidæmi 2 í viðauka 8.2: Hér hefur verið farin sú leið að nota dælu með stóran hluta af dæluhjólunum afþrýstum, þannig að heildartogkrafturinn T_T á burðarlegu mótors hefur minnkað til muna (sjá viðauka 8.1) eða 20.100 N. Mesta aflþörf dælubúnaðarins er 120 kW (161 hp).

Hæfilegt er að velja mótór af stærðinni 150 kW. Ef valinn er mótór með holan ás, þá fæst úr töflu 5.3 að burðargeta hans er 38.270 N. Aflgeta mótorsins er um 25% umfram þörf og burðargetan 90%. Þetta er ákjósanleg staða og gefur möguleika á að fjölga dæluhjólum um allt að tvö síðar meir. Einnig ætti líftími burðarlega að reynast góður.

Sýnidæmi í viðauka 8.3: Hér hefur verið farin sú leið að nota dælu með venjulegum dæluhjólum, en auka sverleika dæluöxlanna í staðinn, til að draga úr tognun þeirra. Við það eykst heildartogkrafturinn T_T á burðarlegu mótors til muna eða 48.500 N. Mesta aflþörf dælubúnaðarins er hér um 133 kW (178 hp).

Hér er á mörkunum að það sé forsvaranlegt að velja mótór af stærðinni 150 kW, eða 13% umfram reiknaða aflþörf. Þó gefur hann möguleika á að bæta við einu hjóli í dæluna. Nú háttar svo til hjá þeim framleiðendum, sem tilgreindir eru í töflu 5.3, að þeir framleiða ekki stærri mótora en 150 kW með holan ás (VHS). Ef velja skal stærri mótór en 150 kW, verður hann að vera með gegnheilum ás (VSS). Við komumst að sömu niðurstöðu, þegar burðargeta mótorsins með holan ás er skoðuð. Burðargetan er aðeins 38.270 N, þegar þörfin er 48.500 N, sem hann þar af leiðandi ræður ekki við.

Heildarnýtni dælukerfisins – n_k

Heildarnýtni dælukerfisins er skilgreind sem hlutfallið: vökvaaflið A_V mælt við holutopp deilt með afnotkun A_N mótors, þ.e.a.s. vökvaaflið út úr kerfinu inn á safnað deilt með rafafliinu, sem sett er inn í

kerfið. Þessa stærð getur verið upplýsandi að reikna út þegar bornir eru saman ólíkir virkjanakostir, t.d. með öxuldjúpdælu annars vegar og sambyggðri dælu hins vegar.

$$n_k = A_V / A_N * 100 \quad [\%] \quad (5.30)$$

þar sem

$$\begin{aligned} A_N &= \text{afnotkun mótors} && [\text{kW}] \\ A_V &= \text{vökvaafli} && [\text{kW}] \\ n_k &= \text{heildarnýtni dælukerfisins} && [\%] \end{aligned}$$

og

$$A_V = P_S \cdot m \cdot p_t \cdot 10^{-6} \quad [\text{kW}] \quad (5.31)$$

þar sem

$$\begin{aligned} A_V &= \text{vökvaafli inn á safnæð} && [\text{kW}] \\ P_S &= \text{holutoppþrýstingur} && [\text{kPa}] \\ p_t &= \text{eðlisþyngd vökvans við hita } t \quad [^\circ\text{C}] && [\text{kg/m}^3] \\ m &= \text{rennsli} && [\text{l/s}] \end{aligned}$$

Nýtnistuðull borholuvirkjunar – n_b

Á sama hátt getur verið gagnlegt, þegar innbyrðis hagkvæmni borhola er borin saman, að reikna út nýtnistuðul þeirra. Þessi stærð getur verið leiðbeinandi fyrir veituna við val á hvaða borholur er hagkvæmast að keyra samfelld fyrir grunnálag hennar og hverjar er hagkvæmast að nota fyrir toppálagið. Nýtnistuðull borholuvirkjunar n_b er skilgreindur sem hlutfallið: varmaafli (notafli hitaveitunnar miðað við nýtingu vatnsins niður í 35°C) inn á safnæð deilt með rafafli A_N , sem sett er inn í kerfið (mótorinn notar). Nýtnistuðullinn fæst með jöfnu 5.32:

$$n_b = [m * 10^{-3} * p_t * c_v (T-35)] / A_N \quad (5.32)$$

þar sem

$$\begin{aligned} n_b &= \text{nýtnistuðull borholuvirkjunar} && [-] \\ A_N &= \text{afnotkun mótors} && [\text{kW}] \\ p_t &= \text{eðlisþyngd vökvans við hita } t \quad [^\circ\text{C}] && [\text{kg/m}^3] \\ c_v &= \text{eðlisvarmi vatns 4,186} && [\text{kJ/kg} \times ^\circ\text{C}] \\ m &= \text{rennsli} && [\text{l/s}] \\ t &= \text{vatnshiti} && [^\circ\text{C}] \end{aligned}$$

Því hærri sem nýtnistuðullinn er, þeim mun hagkvæmari er holan í rekstri, ef hagkvæmnin felst í því að ná upp sem mestri varmaorku með sem minnstri raforku.

5.2.1.3.5 VAL Á DÆLUBÚNAÐI

Þegar dælubúnaður er valinn fyrir tiltekna dælu er sjálfsagt að reyna, ef kostur er, að nota samskonar búnað og aðrar veitur. Við val á sverleika dælurörs er tekið mið af flutningsgetu þeirra til að takmarka þrýstistöpin í þeim, sjá viðauka 3. Við val á öxulþvermáli er tekið mið af tognun þeirra, sjá kafla 5.2.1.3.3. Einnig þarf að gæta að burðargetu viðkomandi öxulstærðar, en upplýsingar um hana er að finna í handbókum dæluframleiðanda, sjá [1] á blaðsíðu IV-18.

Hér á eftir fer listi yfir helstu stærðir af dælum sem hitaveitur nota af Floway gerð, ásamt þeim dælubúnaði sem venja er að nota með þeim. Við val á stærð dælu þegar óskir liggja fyrir um hvaða rennsli skuli reynt að ná

upp úr viðkomandi borholu er hentugt að nota sambærilegt yfirlit og er í viðauka 2. Í listanum er rennslissvið viðkomandi dælu gefið ásamt rennslí í besta nýtnipunkti (bep):

Dælustærð	Dælubúnaður	Rennslissvið [l/s]	Athugasemdir
6 JKH	$5'' * 2'' * 1\frac{3}{16}$	10 – 20 (14)	
6 JKH	$6'' * 2'' * 1\frac{3}{16}$	10 – 20 (14)	venjulegar stærðir
8 JKH	$6'' * 2'' * 1\frac{3}{16}$	25 – 45 (37)	venjulegar stærðir
8 JKH	$6'' * 2\frac{1}{2}'' * 1\frac{11}{16}$	25 – 45 (37)	minnkar færslu hjóla
8 JKH	$8'' * 2\frac{1}{2}'' * 1\frac{11}{16}$	25 – 45 (37)	minnkar færslu hjóla og brýstítap í rörum
10 JKH	$8'' * 2\frac{1}{2}'' * 1\frac{11}{16}$	30 – 60 (44)	venjulegar stærðir
10 JKH	$8'' * 2\frac{1}{2}'' * 1\frac{11}{16}$	45 – 80 (65)	venjulegar stærðir
12 JKH	$10'' * 2\frac{1}{2}'' * 1\frac{11}{16}$	75 – 110 (98)	venjulegar stærðir

Í kafla 5.2.1.3.5 er lýst helstu stærðum og gerðum á dælubúnaði sem hitaveiturnar nota.

Í viðauka 1 eru birtar dæmigerðar pantanir á öxuldjúpdælum og dælumótorum með holan ás (VHS).

5.2.1.3.6 HELSTU TAKMARKANIR DJÚPDÆLUBÚNAÐAR

Í aðalatriðum eru það þrjú atriði sem takmarka notkun öxuldjúpdælna í borholunum.

- Borholurnar verða að vera hlutfallslega beinar. Krappar stefnubreytingar í holunni á því svæði sem dælan liggur um geta valdið svignun í dælu- og smurrörum, þannig að dæluöxullinn þvingast út í legurnar og festist eða slítur þeim hratt. Ekki er vitað um að þetta atriði hafi valdið teljandi vandræðum hjá íslenskum hitaveitum, sjá þó 5.2.1.7.4.
- Hagkvæm hámarkslengd á djúpdælum er á bilinu 240 - 300 m. Því ræður færsla á dæluhjólunum við gangsetningu og getu dælnanna til að mæta henni. Tekist hefur í Bandaríkjunum að reka sérútbúnað öxuldjúpdælur á allt að 600 m dýpi. Þessar dælur, sem eru talsvert dýrari, eru sérbyggðar með stóru hlaupi, sem m.a. minnkar nýtni þeirra. Þær eru vandmeðfarnar í rekstri og sennilega mjög erfitt að fjarstýra þeim, eins og tíðkast hjá hitaveitunum, vegna þess hve viðkvæmar þær eru fyrir misþenslum vegna hitabreytinga.
- Vatnshiti í venjulegum hitaveituborholum takmarkar ekki notkun öxuldjúpdælna í þeim. Hins vegar geta hitabreytingar í rekstri dælnanna takmarkað möguleika þeirra, sérstaklega þegar þær eru langar. Hitabreytingar, vanalega samfara upphitun við gangsetningu dælnunnar, valda misþenslu á dælurörum og dæluöxlum. Það er vegna þess að efnisþykktir þeirra eru ólíkar og að öxlarnir eru einangraðir frá dæluvökvanum inni í smurrörunum. Hitajafnvægi næst því ekki samtímis hjá dælurörunum annars vegar og dæluöxlunum hins vegar. Sérstaklega verður að taka tillit til hitaþenslu í dælum sem ekki eru keyrðar samfellt. Hjá íslenskum hitaveitum er venjan að hafa 25 mm framhjáhlaup yfir einstefnulokann á safnæðargrein dælnunnar, sem tryggir að heitt vatn rennur ofan í dæluna þegar hún er stöðvuð til að halda henni heitri á meðan. Smurvatnið er einnig látið renna á meðan hún er stöðvuð og á þann hátt er dælubúnaðinum haldið í hitajafnvægi og þar með er hægt að fjarræsa dæluna hvenær sem er.

Dæmi 5.5: Til að útskýra hættuna sem misþenslur geta orsakað vegna hitabreytinga í öxuldjúpdælum, skal tekið sem dæmi dæla sem er 240 m að lengd og 80 m í vatni þegar hún er stöpp. Vatnshiti holunnar er 100 °C og meðalhiti í holunni fyrir ofan vatnsborð er 60 °C.

Ef engar ráðstafanir eru gerðar fyrir gangsetningu til upphitunar, þ.e.a.s. hvorki smurvatn né framhjáhlaupsvatn er látið renna ofan í hana, hitna dælurörin upp í 100 °C löngu á undan dæluöxlunum inni í smurrörunum. Við það lengjast dælurörin umfram dæluöxlana og þar með færast dæluhjólín upp í dæluhúsunum sem nemur:

$$(240 - 80) \cdot 1,15 \cdot 10^{-5} \cdot (100 - 60) = 0,07 \quad [\text{m}]$$

Þar sem hitaþanstuðull járns er $\alpha = 1,15 \cdot 10^{-5}$ [1/°C]

Venjuleg 8'' öxuldjúpdæla er með mesta hlaup um 19 mm. Af þessu leiðir að ekki er hægt að stilla hana þannig að hún geti mætt þessari færslu (70 mm) á dæluhjólunum meðan hún er að hitna upp, ef upphitunin fer fram eftir gangsetningu. Til að hægt sé að gangsetja dæluna verður því fyrst að hita hana upp, þar til hitajafnvægi er náð svo til alveg. Í þessu dæmi veldur t.d. 5 °C hitamunur á heildarlengdina um 14 mm misþenslu, sem gæti reynst afdrifarík ef ekki er tekið tillit til hennar við upphitun og stillingu á dæluhjólunum fyrir gangsetningu.

5.2.1.4. Smíði á dælubúnaði

Í þessum kafla verður fjallað um smíði á djúpdælubúnaði hér innanlands.

Skömmu eftir að menn byrjuðu að nota öxuldjúpdælur á íslenskum jarðhitasvæðum hófst af hagkvæmnisástæðum smíði á öxul- og rörabúnaði dælnanna ásamt tilheyrandi tengistykkjum á innlendum smíðaverkstæðum. Þannig kaupa veiturnar, fyrir utan sjálfa dæluna og mótörinn, smíðaefni erlendis frá og smíða sjálfir og setja saman dælu-, smur- og mælirör, dæluöxla, legur, toppstykki, millistykki o.s.frv.

Um er að ræða dælurör ásamt tilheyrandi hlutum af stærðinni 5", 6", 8" og 10". Engar öxuldjúpdælur hér á landi eru með sverari dælurör en 10". Þegar minni dælur hjá litlum veitum hafa verið keyptar (4") hefur allur búnaðurinn verið keyptur frá dæluframleiðandanum þar sem dælurörin eru minni en 5".

5.2.1.4.1 VAL Á EFNI

Í þessum kafla eru skráðar efnislýsingar á ensku fyrir djúpdælubúnaðinn ásamt þeim efnisstærðum sem hafa verið notaðar á íslenskum jarðhitasvæðum. Í öllum tilvikum er notað venjulegt stál í rör og öxla. Í vissum tilvikum þar sem jarðhitavökvinn er saltur hefur orðið tæring í þessum búnaði. Til þess að koma í veg fyrir tæringu verður hér að velja dýrari efni sem þola seltu en umfjöllun um val á slíku efni er ekki tekin fyrir hér.

-RÖR-

a) Material specification

Seamless black steel tubes acc. to DIN 2448/1629/page 3, mat. st 35, mill test certificate to DIN 50.049/2.2, plain ends, in- and outside protected against rust, in fixed exact lengths of 3100 mm +/- 5 mm tolerance.

b) Sizes

Stærðir	Mál á dælurörum	Mál á dælurörs- múffuefnum
5"	139,7 x 6,3 mm	159,0 x 12,5 mm
6"	168,3 x 7,1 mm	193,7 x 17,5 mm
8"	219,1 x 8,0 mm	244,5 x 17,5 mm
10"	273,0 x 10,0 mm	298,5 x 17,5 mm

Tafla 5.5: Dælurör og dælurörs múffuefni.

Smurrör	Mál
2"	60,3 x 6,3 mm
2 1/2"	76,1 x 8,0 mm

Tafla 5.6: Smurrörsefni.

-MÆLIRÖR-

a) Material specification

Welded black steel tubes acc. to DIN 2441, st 33 DIN 1626, with threads and muffs. Pipes outside protected against rust in fixed lengths of 3100 mm +/- 5 mm, bundled.

b) Sizes

1/4" black

3/8" black

-TEFLON LEGUEFNI-

a) Material specification

Teflon-tubes DuPont type PTFE 1491 N

b) Sizes

Gerð	Mál
1 3/16 öxull með slíf	45/35° x 130 mm
1 3/16 jöxull án slífar (dælunippill og pakkdósarlega)	45/28° x 200 mm
1 11/16 öxull með slíf	58/47° x 170 mm
1 11/16 öxull án slífar (dælunippill og pakkdósarlega)	60/40° x 200 mm

Tafla 5.7: Efnisrör fyrir teflonlegur.

Æskilegt er að koma koparsplittunum tveimur, sem notuð eru til að festa teflonið inni í leguhúsinu, fyrir utan miðju legunnar því götin fyrir þau veikja leguhúsið. Þar reynir mest á hana þar sem miðjan lendir á samskeytum smurröranna.

-SLÍFAREFNI-

a) Material specification

Seamless steel tubing of AISI 304 stainless steel in lengths of 4 – 5 m packed in wooden cases, seaworthy protected.

b) Sizes

Öxulslífar	Mál
1 3/16" öxlar	40/25 mm
1 11/16" öxlar	56/40 mm

Tafla 5.8: Efnisrör fyrir öxulslífar.

-ÖXULEFNI-

a) Material specification

Shaft materials for deepwell pumps in lengths 3100 mm plus 5 mm minus Nil.

Material: Bright precision, cold drawn, stress relieved ground and polished bars of steel C45 (AISI C1045).

Max Diam. Tolerances Plus Nil Minus 0.06 mm (h9 according to DIN 7157).

Shaft straightness must be within 0.08 mm total indicator reading.

Ends sawn straight.

Oiled and seaworthy packed in wooden cases of 20 – 30 each.

b) Sizes

1 3/16^o in = 31.16^o mm

1 11/16^o in = 42.86^o mm

5.2.1.4.3 GÆÐAEFTIRLIT

Yfirfara þarf smíði á nýjum búnaði áður en að samsetningu og niðursetningu kemur. Athuga þarf hvort lengdir á dælurörum, smurrörum og dæluöxlum séu réttar.

Einnig þarf að athuga vel skurð á gengjum dæluröra og múffa. Gengjurnar verða að vera rétt skornar og hreinar, annars er hætt við að málmagnir og rusl rífi gengjurnar fastar í múffunni á miðri leið og brenna verði hana af. Umtalsverðar tafir geta orðið á verki af þessum sökum ef brögð eru að. Helstu orsakir þessa eru að gengjutopparnir eru of spísaðir og endi rörsins ekki nógu vel fasaður. Gengjurnar eiga að vera afrúnaðar í toppinn.

Prófa þarf teflonlegurnar á ásana og ganga úr skugga um að smíðin sé í lagi. Menn sjá það fljótlega, eftir stikkprufur á búnaðinum, hvort ástæða er til að fara mjög nákvæmlega yfir öll mál og smáatriði.

Til að tryggja góða lífslengd á öxuldjúpdælubúnaðinum þurfa að haldast í hendur góð og vönduð vinnubrögð við niðursetningu og nákvæm og vönduð smíði á dælubúnaði.

Öxlar og öxulmúffur

Þvermál á slífum skal vera nákvæmt. Gengjur á öxlum og öxulmúffum skulu vera samstæðar – mega hvorki vera of stífar né of rúmar. Öxlarnir eiga að vera í nákvæmri lengd, 3041,65 mm, og endarnir vel planaðir.

Smurrör og legur

Mikið atriði er að smurrörin séu vel rétt af í rennibekk þegar gengjurnar eru renndar í þau. Gengjurnar skulu vera vandaðar og frírúmið innan við þær þarf að vera ríflegt. Rörin skulu vera í nákvæmum lengdum, 1520,83 mm, og endarnir vel planaðir.

Við smíði á legum er æskilegt að leguhúsin utan yfir teflonið séu í sama máli. Það kemur fram í mun lægri kostnaði síðar, þegar endurnýja þarf teflonið í slífunum.

Dælurör

Sama lögmál gildir um dælurörin eins og smurrörin, að þau þurfa að vera vel rétt af í rennibekk, þegar gengjurnar eru renndar á þau. Til að minnka styrk röranna er betra að renna rúningu ofan við gengjurnar – ekki að skilja eftir hvasst horn.

Rörin eiga að vera í nákvæmum lengdum, 3122,6 mm, endar vel planaðir og fremsta gengjan má ekki vera of skörp. Þegar búið er að renna gengjurnar á rörin, er nauðsynlegt að setja hlífar á endana á þeim til að verja gengjurnar.

Dælurörsmúffur og stýrigrindur

Gengjur þurfa að vera vandaðar í múffunum og að ekki séu á þeim hvassar brúnir. Þær mega ekki vera grófar, því annars er mikil hætt á að þær rífi sig í samsetningu.

Stýrigrindurnar skulu vera renndar þannig að þær falli vel inn í dælumúffurnar og renni létt upp á smurrörin. Þær mega heldur ekki vera of rúmar. Mikið atriði er að hringirnir í þeim séu vel planaðir og þykktin nákvæm (19 mm innri og 31 mm hringur).

Toppstykki, pakkdós o.fl.

Smíði á toppstykki skal vera vönduð, flasar vel réttir og planaðir. Mikið atriði er að smíðin sé nákvæm og vönduð á efsta smurröri, efsta öxli, pakkdós og þéttiró.

5.2.1.5 Niðursetning og gangsetning

Það er hagkvæm fjárfesting að vinna yfirvegað og með varkárni að undirbúningi og framkvæmd við niðursetningu á öxuldjúpdælum í borholur. Um er að ræða dýran búnað og dýra framkvæmd. Ef dæla bilar á miklum álagstíma getur það haft í för með sér ófyrirsjáanlegan kostnað og erfiðleika fyrir viðkomandi veitu.

Lykillinn að langri lífslengd dælubúnaðarins í borholu er fyrst og fremst vel réttir dæluöxlar, hreinlæti við niðursetningu, góð síun smurvatns og rétt stilling dæluhjóla fyrir gangsetningu.

Hér verður fjallað um öxuldjúpdælur með lokuðum dæluhjólum (enclosed impellers), þar sem þær eru eingöngu notaðar hjá íslensku hitaveitunum. Stuðst verður við leiðbeiningabæklinga frá framleiðanda [2] og [3]. Í þessum handbókum eru nákvæmar lýsingar á aðferðum við samsetningu á dælum og dælubúnaði og verður ekki fjallað um það nánar. Í staðinn verður fjallað um verklegu hliðina við að koma búnaðinum fyrir í borholunum.

Ekki er um að ræða nákvæma kennslubók í niðursetningu á dælunum, heldur verða tekin fyrir mikilvægustu atriðin. Þessi kafli ætti að geta reynst rekstrarmönnum vel sem flettirit til upprifjunar því oft líður, sem betur fer, langur tími á milli niðursetninga.

Handtökin og verkfærin við upptekningu dælnanna eru þau sömu og við niðursetninguna, ef frá eru talin hreinlætismál, og verður þar af leiðandi ekki fjallað sérstaklega um þann verklið. Í beinu framhaldi af upptekningu dælnnar taka við viðhaldsmál, sjá kafla 5.2.1.6.

5.2.1.5.1 ÞYNGD DÆLUBÚNAÐAR

Það er nauðsynlegt að reikna út heildarþyngd djúpdælubúnaðarins til að ákvarða hversu öflugan lyftikrana þarf til niðursetningar eða upptekningar á honum.

Í töflu 5.9 er að finna upplýsingar um massa (þyngdin fæst með því að margfalda massann með þyngdarhröðuninni $g = 9,81 \text{ m/s}^2$) dælubúnaðarins fyrir algengustu stærðir sem notaðar eru hjá íslenskum hitaveitum. Einingin er einn dæluöxull eða 3.042 m. Gildin í töflunni taka mið af efnisþykkt og stærð búnaðarins eins og greint er frá í kafla 5.2.1.4.1. Til að finna heildarþyngdina þarf svo að bæta við þyngd dælnnar. Dæmi um dæluþyngdir eru:

Floway 9JKH-7 þrepa vegur 1700 [N], Floway 12DKH-15 þrepa vegur 8406 [N]

Dælurör	10"	8"	6"
Smurrör	2 ½"	2 ½"	2"
Hlutur Öxull	1 11/16"	1 11/16"	1 3/16"
Öxlar	35,6	36,60	17,71
Öxulmúffa	0,79	0,79	0,45

Smurrör x 2 stk	36,8	36,80	25,62
Legur x 2 stk	2,09	2,09	1,32
Stýrigrindur	3,01	1,30	0,98
Dælurör	196,17	125,44	85,54
Dælurörsmúffa	15,0	13,50	6,10
Samanlögð þyngd	289,5	215,5	137,7

Tafla 5.9: Massi [kg] djúpdælubúnaðar á dælurörseiningu (3,042 m).

Dæmi 5.6:

Setja á í borholu 12DKH-15 dælu með 50 stykki af 10” dælurörum, þ.e.a.s. niður á 152 metra dýpi. Úr töflu 5.9 fæst að búnaðurinn vegur $289,5 \cdot 9,81 \cdot 50 = 142.000$ [N], við bætist síðan þyngd dæluinnar 8.400 [N], sem gefur okkur heildarþyngdina 150.400 [N]. Kraninn sem valinn er til verksins verður að ráða við þessa þyngd, yfir 15 tonn.

5.2.1.5.2 TÆKI OG ÁHÖLD

- Helstu tæki og áhöld sem notuð eru við niðurstetningu á öxuldjúpdælum eru:
 - / Lyftikrani. Mikilvægt er að hann sé traustur. Nauðsynleg lyftigeta hans fæst í kaflanum hér á undan. Nauðsynleg lyftihæð ræðst af hæð dæluhússins ásamt lengd lengsta stykkisins, þ.e.a.s. lengd dælurörs + lengd sjálfrar dæluinnar og vírstroffunnar. Æskilegt er að hann sé útbúinn með tveimur krókum, svo hægt sé að hífa dælurörin lárétt upp frá búkkanum sem þau liggja á án þess að þau snerti jörðu. Ef tveir krókar eru ekki notaðir er borð haft á búkkaendanum næst holunni til að reisa rörasamstæðuna upp á því. Þá er mikilvægt að færa öxulendann með múffunni inn í smurrörið áður en samstæðan er reist upp, svo ekki komi sniðátak á dæluöxulinn ef öxulmúffan gengur niður úr smurrörinu þegar híft er.
 - / Tengiklemma með tveimur vírstroffum fyrir rétta stærð af dæluröri.
 - / Rétt stærð af röklemmu (tveir hálfmáanar) og sæti fyrir hana á toppflansi borholunnar til að halda uppi dælurörunum.
 - / Tvær keðjutangir til að skrúfa saman dælurörin. Hitaveita Akureyrar notar sérútbúið spil sem komið er fyrir á krananum til að gera þetta.
 - / Tvær rörtangir til að skrúfa saman smurrörin og dæluöxlana.
 - / 3.6 m af 19° mm spinnító til að flýta fyrir samsetningu á smurrörunum.
 - / 12° mm tó með krók á endanum, sjá mynd 5.12, til að hífa saman smurrör og öxul með dælurörinu. Hitaveita Akureyrar notar vírstroffu með baulum til festingar á dælurör og smurrör ásamt krók fyrir dæluöxulinn. Á efri endanum er lykkja sem notuð er til að hífa dælurörið upp lárétt eins og áður er getið.
 - / Sérsmíðað lok (tveir hálfmáanar) til að loka opinu milli dælurörs og smurrörs, svo óhreinindi falli ekki niður í dælurörið.
 - / Sérsmíðað lok (tveir hálfmáanar) til að loka opinu milli öxuls og smurrörs, svo óhreinindi falli ekki niður í smurrörið.
 - / Blindlok til að loka flansinum á toppstykkinu þar til það hefur verið tengt við safnæðina.
 - / 5/16” Chesterton pakkning undir smurrörspéttiró.
 - / 3/8” Chesterton pakkning fyrir pakkdós.
 - / Copaslip (high temperature anti-seize assembly compound) smurfeiti fyrir röragengjur.
 - / Önnur algeng tæki og áhöld sem notuð eru við járnsmíðavinnu, svo sem:

-
- Létt verkfæri, rafsuða, skurðartæki, háþrýstisprauta til að hreinsa dælurörin og smurrörin. Oft eru þó smurrörin hreinsuð heima á verkstæði. Lítil loftþjappa til að blása rusli úr gengjum.

/ Stálþynnur (tölur) til lengingar á öxlum og smurrörshólkar til lengingar á smurrörum.

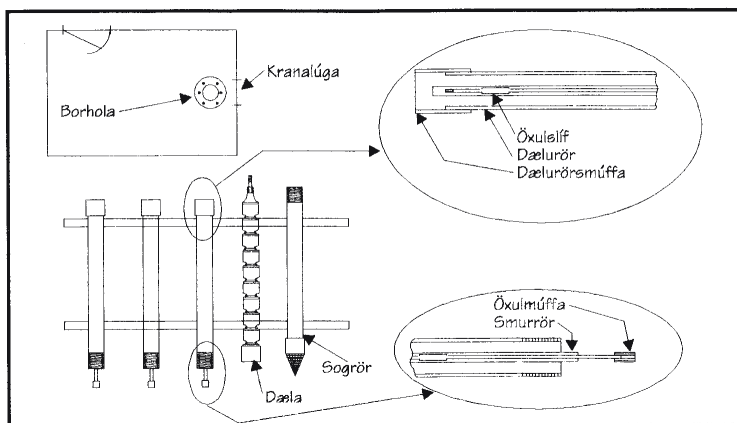
5.2.1.5.3 NIÐURSETNING

Hér verður fjallað um helstu atriði er varða niðursetningu á djúpdælum. Þegar hér er komið sögu er gert ráð fyrir að undirbúningi á verkstæði sé lokið ef um notaðan búnað er að ræða. Þannig hafa allir slitfletir verið yfirfarnir og hlutir endurnýjaðir/lagfærðir eftir þörfum og dæluöxlar réttir af.

Æðstu boðorð við niðursetningu á öxuldjúpdælum eru hreinlæti og varleg meðferð á dæluöxlum. Engin óhreinindi mega komast inn í dælu- og smurrörin. Dæluöxlarnir hafa verið mjög nákvæmlega réttir af og þurfa menn að gæta ítrustu varfærni við flutning á þeim.

Undirbúningur

- / Lesið af nafnskilti dælu og mótors og berið saman, t.d. snúningstölu. Gangið úr skugga um að rétt dæla og motor hafi verið valin. Skráið í spjaldskrá helstu kennitölur og séreinkenni, svo sem fjölda afþrýstra dæluhjóla, stærð dæluhjóla (A, B eða C), málstraum og málspennu mótors o.s.frv.
 - / Mælið þvermál gatsins í mótorkúplingu ef motorinn er með gegnumboraðan ás (VHS motor) og berið saman við þvermál motoröxuls.
 - / Aðgætið að dælurör og smurrör séu hrein að innan.
 - / Yfirfara og hreinsa skal allar röragengjur. Góð reynsla er af að smyrja þennan búnað með Copaslip feiti. Hún á að tryggja að gengjur rífi sig ekki og auðveldara verði að ná búnaðinum í sundur við upptekningu.
 - / Öxulmúffur eru settar og hertar á öxlana á þann enda sem slífin er ekki. Gangið úr skugga um að réttleiki þeirra hafi verið yfirfarinn og að þeir hafi ekki orðið fyrir hnjaski í flutningum. Sérstök aðgát skal viðhöfð við flutning á öxlunum. Helst skulu tveir menn taka þá á milli sín. Ekki má einn maður taka þá upp á miðjunni heldur skal hann hafa eins mikið bil á milli handanna eins og kostur er.
 - / Smurrörin eru skrúfuð saman tvö og tvö með teflonlegu, þannig að þau eru sömu lengdar og dælurörin. Ef þau eru látin standa úti í einhvern tíma áður en að niðursetningu kemur er æskilegt að setja plasthlífar fyrir endana á þeim til að forðast að óhreinindi komist inn í þau.
 - / Dælurörunum er komið fyrir á búkkum við borholuna með dælurörsmúffu á öðrum endanum. Þessu næst er smurrörunum komið fyrir inni í dælurörunum. Að lokum er dæluöxlunum, með múffu á öðrum endanum, komið fyrir inni í smurrörunum (sumar veitur hafa öxlana í kössum til hliðar og setja þá jafnóðum inn í smurrörin og sett er niður). Mynd 5.11 sýnir heppilega afstöðu búnaðarins til borholunnar (dæluhússins) og innbyrðis afstöðu búnaðarins. Sérstaklega er bent á afstöðu dælurörsmúffu, öxulmúffu og öxullega.
-



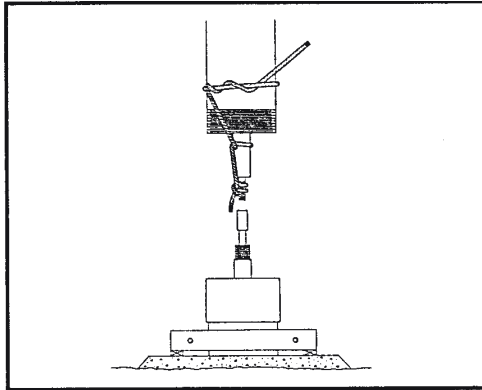
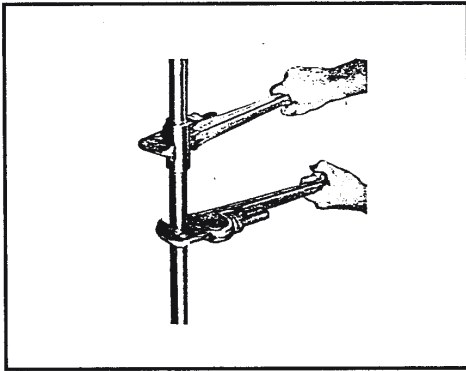
Mynd 5.11: Niðurröðun dælubúnaðar fyrir niðurstetningu.

Niðurstetning

Við niðurstetningu þurfa að vera fimm til sex menn (lágmark fjórir), fyrir utan kranamann. Inni í dæluskrúnum eru þrír menn, einn stýringarmaður uppi á skúr og einn til tveir úti, háð því hvort öxlarnir eru þrifnir og settir jafnóðum inn í smurrörin eða hvort það hafi verið gert í undirbúningnum. Kranaleigan er dýr og er því mikilvægt að engir biðtímar verði við framkvæmd einstakra verkliða.

Í upptekt er ekki þörf á stýringarmanni uppi á þaki en æskilegast er að hafa þá fjóra menn inni í dæluhúsinu, þar sem oft eru talsverð átök við að losa dælurörin í sundur. Reynst hefur vel að tveir menn slái röramúffurnar með sleggjum hver á móti öðrum.

Mynd 5.13 sýnir hvernig reipi er notað til að binda saman dælu-, smurrör og öxul, þegar þau eru hífð að borholunni til tengingar. Mynd 5.12 sýnir hvernig æskilegast er að beita rörtöngum við að herða saman dæluöxla, þannig að sniðálag komi ekki á þá og þar með hætta á að þeir skekkist.



Mynd 5.12: Dæluöxlar hertir saman.

Mynd 5.13: Hestahnútur við niðursetningu.

Gæta þarf vel að því að öll samskeyti séu vel hert og að öxlar séu hertir enda í enda. Á meðan á niðursetningu stendur verður að fylgjast með því að lengdarhlutfall haldist rétt milli smurröra (lega) og öxla (slífa). Ef í ljós kemur að þetta lengdarhlutfall raskast út yfir leyfileg mörk er það leiðrétt með því að annað hvort setja tölu á milli öxlanna eða smurrörshólk á milli smurröra, eftir því í hvora áttina þarf að rétta af skekkjuna.

Után á dælurörin er oft komið fyrir mælirörum, 1/4" eða 3/8" að sverleika, til að mæla vatnsborðið í borholunni í rekstri. Ganga þarf frá neðri endanum þannig að rörið stíflist ekki af óhreinindum í niðursetningu. Það er vanalega gert með því að sjóða litla hlíf fyrir endann. Mælirörin eru fest með því að sjóða á dælurörið 10 – 10 mm breitt 40 mm vinkiljárn yfir þau á hvert dælurör. Efri endinn er tekinn upp í gegnum gat á neðsta flansi toppstykkiðsins og soðið fast í það. Þegar toppstykkið er sest á holuflansinn er góð regla að loka safnæðarflansinum á toppstykkinu með blindflansi til að tryggja að engir aðskotahlutir komist inn í dælurörið áður en toppstykkið er tengt safnæð.

Þegar komið er að því að setja efsta dælurörið niður áfast toppstykkinu er við samsetninguna algengast að herða öxulmúffuna á efri enda næst efsta öxulsins og láta efsta öxulinn ekki fylgja með efsta dælurörinu þegar því og toppstykkinu er komið fyrir. Smurrörið (tvö sett saman) er hins vegar látið fylgja með eins og áður.

Þegar toppstykkið er komið á sinn stað þarf að huga að afstöðu bæði smurrörs- og öxulenda til toppstykkiðsins. Ef um nýsmíði er að ræða þarf að mæla fyrir nauðsynlegri framlengingu á smurrörið svo það standi hæfilega langt upp úr toppstykkinu. Það er haft með löngum gengjum á efri endanum fyrir þéttiróna. Á sama hátt þarf að mæla út með teini hæfilega lengd á efsta dæluöxli svo hann endi á réttum stað fyrir ofan pakkdós, á milli toppstykkiðs og neðri enda mótors. Efsti dæluöxullinn er sérsmíðaður eins og efsta smurrörið.

Efsta smurrörinu er komið fyrir á sinn stað ásamt þéttiró. Efsti öxull og mótöröxull eru hertir vel saman og réttir síðan af með sérstakri natni og nákvæmni í réttingarþekkknum og komið fyrir á sinn stað. Þessu næst er gengið frá pakkdós áður en mótörinn er settur niður.

Undir þéttiró smurvatnsrörsins, sem herðir smurrörið að toppstykkinu svo það skrölti ekki laust og hjálpi

jafnframt til að rétta úr öxullengjunni, er komið fyrir 5/16" og/eða 3/8" Chesterton pakkhringjum til að hindra leka. Samskonar pakkhringir eru settir í pakkdósina. Á móti pakkdósinni, þar sem hún er skrúfuð ofan í efsta smurrörið, er hert þunn hersluró til að koma í veg fyrir að pakkdós losni í rekstri og hampur settur á milli til að hindra leka.

5.2.1.5.4 STILLING DÆLUHJÓLA OG GANGSETNING

Eftir að hafa reiknað út færslu dæluhjólanna inni í dæluhúsunum við gangsetningu dæluinnar samkvæmt jöfnunum í kafla 5.2.1.3.3, er ákveðið hvernig stilla skuli dæluhjólin fyrir gangsetningu, eftir að dæluþúnaðurinn hefur verið hitaður upp í jafnvægi.

Í kafla 5.2.1.3.6 er fjallað um misþenslur í búnaðinum vegna hitabreytinga. Það er aldrei of oft minnst á mikilvægi þess að hita búnaðinn upp í jafnvægi fyrir gangsetningu. Við gangsetningu langra dælna þar sem vatn með svipuðum hita og í borholunni er ekki til staðar til upphitunar á búnaðinum eða þar sem vatnið í holunni hefur einhverra hluta vegna náð að kólna mikið niður er öruggast að kalla á aðstoð reyndra manna. Erfitt er að gefa hér einhlítar ráðleggingar, til þess eru mögulegar aðstæður allt of margbreytilegar. Oft verður við slíkar aðstæður að byrja með sérstaka stillingu á dæluhjólunum og stöðva síðan dæluna nokkrum sinnum til endurstillingar, allt eftir því sem upphituninni miðar áfram, þar til búnaðurinn hefur náð hitajafnvægi og endanlegri stillingu verður komið við.

Til að ákveða stillingu hjólanna þarf hlaupið í dæluinni að vera þekkt. Öruggast er að mæla hlaup dæluinnar þegar hún er í láréttri stöðu heima á verkstæði. Erfitt getur reynst að mæla það í löngum dælum, eftir að þær hafa verið settar niður í borholuna, því toggunn öxlanna undan eiginþyngd sinni er veruleg.

Með jöfnu 5.33 er lenging dæluöxlanna undan eiginþyngd reiknuð með því að nota jöfnu 5.14 eftir að kraftinum hefur verið skipt út:

$$E_{\delta} = T_s * L / A_{\delta} * E = 6,366 * 10^{-12} * (T_s * L) / (D_{\delta})^2 \quad [m] \quad (5.33)$$

þar sem

E_{δ} = lenging dæluöxla undan eiginþyngd	[m]
E = teygnistuðull járns = $20 \cdot 10^{10}$	[N/m ²]
T_s = eiginþyngd dæluöxla	[N]
L = lengd dæluöxla	[m]
D_{δ} = þvermál dæluöxla	[m]
A_{δ} = þverskurðarflatarmál dæluöxla	[m ²]

Þar sem þungi dæluöxlanna T_s hvílir á dælurörunum áður en þeir eru skrúfaðir upp með stillirónni í mótorkúplingunni til að losa dæluhjólin í dæluhúsunum lengjast dælurörin undan þeim þunga. Með því að nota jöfnu 5.16 eftir að hafa skipt út kraftinum er hægt að reikna þessa lengingu með jöfnu 5.34:

$$E_{R\delta} = (T_s L) / (F_R * E) = (6,366 * 10^{-12} T_s * L) / (D_{du}^2 - D_{di}^2) \quad [m] \quad (5.34)$$

þar sem

$E_{R\delta}$ = lenging dæluröra vegna T_s	[m]
F_R = þverskurðarflatarmál dælurörsefnisins	[m ²]
E = teygnistuðull járns = $20 \cdot 10^{10}$	[N/m ²]
D_{du} = ytra þvermál dælurörs	[m]
D_{di} = innra þvermál dælurörs	[m]
L = lengd dæluöxla	[m]

$T_s =$ eiginþyngd dæluöxla [N]

Með því að leggja saman lengingu dæluöxlanna undan eiginþyngd sinni EÖ, og lengingu dæluröranna undan sömu þyngd $E_{RÖ}$, fæst hvað þarf að skrófa mótöröxulinn hátt upp úr mótorkúplingunni áður en hjólin losna í dæluhúsunum og hin eiginlega stilling þeirra getur farið fram, eða:

$$E_H = E_{\bar{O}} + E_{R\bar{O}} \quad [m] \quad (5.35)$$

Dæmi 5.7:

Dælan í viðauka 8.5 er með 8" dælurör og 1 11/16" dæluöxla og er 246 m að lengd. $T_s = 29.005$ N. Jöfnur 5.33-35 gefa þá:

$$E_H = E_{\bar{O}} (24,7 \text{ mm}) + E_{R\bar{O}} (6,7 \text{ mm}) = 31,4 \text{ mm.}$$

Þegar stilliróin er skrófuð niður, fyrst til að lyfta upp öxlunum til að yfirvinna eiginþyngd þeirra, þarf að fylgjast náið með því hvenær dæluhjólin losna frá dæluhúsunum. Síðan er dæluhjólunum lyft upp í þá stöðu í dæluhúsunum sem ákveðið hefur verið að keyra þau í. Dæluhjólin hafa losnað frá húsunum þegar hægt er að snúa öxlinum nokkuð létt. Góð regla er að mæla og skrá lengdina á öxlendanum sem stendur upp úr kúplingunni (stillirónni) á hinum ýmsu stillistigum:

- / lengd fyrir upphitun
- / lengd eftir upphitun
- / lengd þegar dæluhjólin losna frá húsunum
- / lengd eftir stillingu (allar stillingar ef stillt er í áföngum)

Þegar mótórar með gegnheilan öxul (VSS) eru notaðir er komið fyrir stillanlegu ástengi milli mótöröxuls og efsta dæluöxuls, þ.e.a.s. milli pakkdósar og mótors. Í viðauka 6 er sýnt þversnið af slíku ástengi og skýrt hvernig dæluhjólin eru stillt með því. Vinnan við að stilla dæluna er að öðru leyti eins og hjá mótorum með holan ás (VHS) nema nú er bilið á milli öxlanna mælt hverju sinni.

Við gangsetningu dælu þarf að hafa eftirfarandi atriði í huga:

- / Fylgjast vel með álagi mótors og skrá stöðu kílówatts- eða ampermælis reglulega. Ef álagið hækkar skyndilega getur það bent til þess að dæluhjólin hafi gengið út í húsin. Einnig skal skrá reglulega vatnsrennslið, þ.e. afköst dæluunar.
- / Fylgjast vel með stöðu vatnsborðs í holunni og skrá hana reglulega nokkuð títt eftir gangsetningu ef um nýja borholu er að ræða og afkastageta hennar er ekki vel þekkt.
- / Fylgjast vel með rennsli smurvatns og pakkdósa.
- / Nauðsynlegt er að dælan sé látin ganga stöðugt eftir gangsetningu þar til fullvíst er að vatnið sem hún dælir sé orðið fullkomlega hreint. Dæmi er um að dælur sem stöðvaðar voru stuttu eftir gangsetningu hafi fest þegar sandur og leir settust í legur þeirra og hjól vegna þess að óhreinindi voru í vatninu.
- / Ef um sérstakar aðstæður er að ræða, til dæmis ef erfitt er að fá vatn til upphitunar á dæluþúnaðinum o.s.frv. og lengd dælu er meira en 100 m, **er öruggast að kalla á aðstoð reyndra manna.**

5.2.1.6 Viðhald djúpdælna

5.2.1.6.1 SLITMÖRK

I töflu 5.10 hér að neðan eru birt nafnmál á helstu slitflötum djúpdæluþúnaðarins ásamt mesta leyfilega slitni þeirra samkvæmt upplýsingum frá framleiðendum. Ef slit einstakra hluta mælist meira en taflan segir til um er nauðsynlegt að gera við þá eða skipta þeim út.

Stærð	Hluttur	Nafnmál mm	Mesta slitmál mm
1 11/16" Öxull	Öxulslíf D_U	48,00	
	Lega D_i	48,35	48,78
	Öxull D_U	42,86	
	Dæluhnippilslega D_i	43,00	43,43
	Pakkdósarlega D_i	43,10	43,53
1 3/16" öxull	Öxulslíf D_U	35,00	
	Lega D_i	35,35	35,66
	Öxull D_U	30,16	
	Dæluhnippilslega D_i	30,30	30,61
	Pakkdósarlega D_i	30,40	30,71
Dælur frá Floway	6JKH - 1"		
	Öxull D_U	25,40	
	Lega D_i	25,60	25,91
	Frímál-hjólkragi/hús	0,31	
	8JKH - 1 3/16"		
	Öxull D_U	30,16	
	Lega D_i	30,16	30,67
	Frímál-hjólkragi/hús	0,31	
	12DKH - 1 11/16"		
	Öxull D_U	42,86	
	Lega D_i	43,07	
	Frímál-hjólkragi/hús	0,33	43,50
	12FKH - 1 11/16"		
	Öxull D_U	42,86	
	Lega D_i	43,07	
Frímál-hjólkragi/hús	0,41	43,50	

Tafla 5.10: Nafnmál og mestu leyfileg slitmál djúpdælubúnaðar.

5.2.1.6.2 VIÐHALD BÚNAÐAR

Erfitt er að fylgjast með búnaðinum í rekstri, nema þeim hluta hans sem er upp úr jörðu og það er minnsti hlutinn.

Viðhald þess hluta búnaðarins sem niðri er hefst þegar búið er að hífa hann upp, skrúfa sundur og mæla, ef hann er þá ekki of illa farinn til að það taki því að mæla hann. Fyrir kemur að dælubúnaður bilar eftir skemmri tíma en menn eiga von á. Oftast er um sandburð eða önnur óhreinindi í vatninu að ræða, sem slítur dælulegunum. Í þeim tilfellum fer búnaður oftast illa, dælan ónýt, en stundum er hægt að fódra hana upp að nýju.

Þegar dælubúnaðurinn er tekinn upp úr borholu er nauðsynlegt að mæla dæluna og legubúnað og bera málin saman við vikmörkin í töflu 5.10 í kafla 5.2.1.6.1. Ef mælingar sýna að komið er nærri hámarks leyfilegum slitmálum er ráðlegt að fódra upp og endurnýja það sem þarf, þótt ekki sé alveg komið á vikmörk. Það er dýrt að taka upp og setja niður þennan búnað.

Áður en dælan sjálf er tekin í sundur er nauðsynlegt að merkja saman dæluhúsin, t.d. efsta hús númer 1 o.s.frv. Þegar dælan er svo tekin í sundur er nauðsynlegt að merkja saman dæluhúsin og dæluhjólin. Þannig er hægt að fylgjast með því hvernig dælan hefur slitnað og tryggja örugga samsetningu. Í flestum tilfellum slitna dælurnar mest neðst og stundum er þá nægjanlegt að skipta aðeins um legur (fóðra) í neðstu húsum. Til mælinga á dæluhúsum, öxlum og teflonlegum þarf sperrimál, míkrómeter og skífumál.

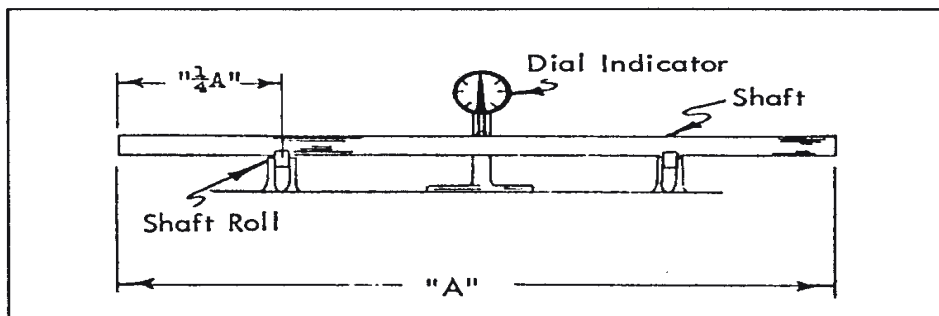
5.2.1.6.3 RÉTTING DÆLUÖXLA

Öxullinn er lagður á búkkana, þannig að 25% öxullengdar standi út af hvoru megin, sjá mynd 5.14. Mæliklukkan sett miðsvegar milli búkkanna og klukkan færð að ásnúnum þannig að útslag fáiist. Þar sem útslagið er mest skal merkja með krít og nú getur réttin hafist.

Ásnúnum er snúið þar til krítarmerkið snýr upp, réttin sett ofan á ásnúnum og þrýst niður. Síðan er slánni lyft upp og mæliklukkan borin að eins og í byrjun. Sé útslagið enn á sama stað skal endurtaka atburðarásina, en þrýsta nú aðeins fastar á slána. Þegar útslag á klukkunni er orðið 8/100 millimetra eða minna er ásnúnum talinn réttur á þessum stað.

Bera þarf klukkuna á ásnúnum til sitt hvorrar handar við miðjuna (milli búkkanna) og athuga hvort útslag sé meira en á miðjunni. Ef svo er, þarf að rétta ásnúnum þar.

Nú er klukkan færð út fyrir búkkann, á annan enda ássins, og borin að honum. Ásnúnum er snúið og merkt með krítinni þar sem útslagið er mest. Ásnúnum er því næst snúið þar til krítarstrikið snýr upp. Réttin sett niður á miðju ássins og henni læst. Hæfilega löngu röri er stungið upp á ásendann og þrýst niður. Nú er útslagið aftur mælt og ef það er meira en 8/100 skal endurtaka atburðarásina þar til ásnúnum er orðinn réttur og snúa sér síðan að hinum endanum með sama hætti.



Mynd 5.14: Réttindarbekkur fyrir dæluöxla, [2].

5.2.1.7 Rekstur

5.2.1.7.1 INNGANGUR

Við rekstur djúpdælna er mjög mikilvægt að halda saman upplýsingum yfir þann búnað sem settur er í hverja borholu. Þetta á ekki eingöngu við þá sem eru með margar dælu í sínum rekstri. Hver kannast ekki, svo dæmi sé tekið, við þá stöðu mörgum árum eftir niðurstöðu að finna hvergi upplýsingar um dæluþúnaðinn í tiltekinni borholu, t.d. hversu mörg hjól í dælu eru afþrýst, hversu mörg eru dæluhjólin, hvaða efni er í dæluvegum, hvernig voru dæluhjólin stillt fyrir gangsetningu, hver er burðargeta mótors, o.s.frv. Mótórar flakka oft á milli dæla, svo nauðsynlegt er að skrá á einum stað gangtíma þeirra og upplýsingar um viðhald. Einfaldast er að halda spjaldskrá yfir dælurnar og mótórana, til að tryggja að þessar upplýsingar séu alltaf við hendina.

Nær útilokað er að fylgjast nákvæmlega með ástandi dælu og dæluþúnaðar niðri í borholunni. Þó má stundum lesa út úr borholumælingum, sjá næsta kafla, þegar dælan byrjar að gefa sig og grípa í taumana áður en hún gefur sig alveg og brotnar. Á seinni árum hefur það færst í vöxt, sérstaklega hjá minni veitum með fáar vinnsluholur, að taka reglulega upp dælu til skoðunar. Um æskilega tíðni slíkra upptekninga verður reynslan að skera úr um: t.d. hversu hratt slitna dæluvegur, hversu ört ryðga dæluörin að utanverðu fyrir ofan vatnsborð, o.s.frv.

Til að tryggja öruggan rekstur verður einnig að stunda öflugt fyrirbyggjandi viðhald á þeim hluta búnaðarinnar sem er uppi á yfirborðinu. Nokkur atriði skulu hér upptalin:

- / Skipta reglulega um olíu á mótórum og smyrja stýrilegu (neðri legan).
- / Hreinsa mótórum innan. Skítugum mótórum er hættara við að brenna yfir ef raki kemst í hann.
- / Hreinsa mótorkúplingu reglulega, svo pöllin festist ekki uppi.
- / Skipta um legur í mótórum (þegar byrjar að heyrast í þeim).
- / Skipta reglulega um smurvatnssíu og fylgjast vel með rennsli þess ofan í dæluna.
- / Hreinsa pakkdós reglulega.
- / Skipta um pakkhringi í pakkdós eftir þörfum. Huga að sliti á öxli undan pakkdós.
- / Skipta um filter í loftsíu á dæluskúr.

Að gefa upp eðlilegan endingartíma fyrir öxuldjúpdælu er erfitt. Hann fer eftir hreinleika vatnsins í borholunni, dælu lengd og hve vel var vandað til búnaðar í upphafi.

Fleiri þætti mætti nefna, svo sem síun smurvatns, sem hefur áhrif á endingu teflonlega og slífa. Ætla má, ef skilyrði eru þökkaleg og búnaður vel yfirfarinn fyrir niðurstöðu, að hann endist yfir tíu ár. Um endingartíma læra menn af reynslunni, þess vegna er nauðsynlegt að halda til haga öllum upplýsingum um

niðursetningu, gangtíma og viðgerðarferil.

Þegar dæling hefur stöðvast af óþekktum orsökum, skal reyna að greina orsök bilunarinnar. Eðlilegast er að byrja á rafmagninu, hvort rafspenna sé á rofanum og hann í eðlilegu ástandi (ekki útsleginn t.d. vegna yfirálags). Ef dælan er laus, rafspennan í lagi og smurvatn rennur ofan í dæluna er mótórin endurræstur. Í mæliskýrslum sést hve mikinn straum mótórin hefur tekið og hver dæluafköstin hafa verið. Ef mótórin tekur eðlilegan straum og rennslismælirinn sýnir eðlileg afköst er fargi af mönnum létt. Þetta hefur verið smá rafmagnstruflun og menn ganga glaðir á braut.

Ef rofinn er útsleginn er dælan annað hvort föst eða orðin of þung fyrir mótórin. Þessu má stundum bjarga með því að slaka og lyfta dæluhjólunum á víxl með stillirónni. Ef þessi aðgerð ber ekki árangur verður að taka búnaðinn upp. Sé mótór í gangi þegar að er komið og rafstraumur óeðlilega lítill, bendir það til að ás eða öxulmúffa hafi brotnað eða dælan brotin í versta tilfalli, og taka þarf þá búnaðinn upp.

5.2.1.7.2 EFTIRLIT OG MÆLINGAR

Í reglubundnum rekstri er algengast að farið sé í svokallað borholueftirlit einu sinni í viku. Þá er farið á allar borholur, ástand þeirra kannað og mælingar framkvæmdar. Í viðauka 11 er birt sýnishorn af mælibleði fyrir slíkt eftirlit á tilteknu jarðhitasvæði. Á nývirkjuðum jarðhitasvæðum er oft æskilegt að auka tíðni mælinga verulega fyrstu vikurnar.

Nauðsynlegt er, fyrir utan ofangreindar mælingar, að taka efnasýni af vatninu reglulega og láta efnagreina það. Æskileg tíðni er einu sinni á ári, þegar litlar breytingar koma fram á milli ára. Einnig er æskilegt að mæla iðustreymistuðul borhola ef vart verður við breytingar í niðurdrætti þeirra, sjá jöfnu 5.1.

Það er aldrei of oft brýnt fyrir rekstrarmönnum að framkvæma þessar mælingar samviskusamlega og reglulega. Erfiðleikar í rekstri dælubúnaðarins og jarðhitasvæðisins gera ekki boð á undan sér. Þegar erfiðleikar knýja dyra, geta góðar og samfelldar mælingar skipt sköpum um það hvort orsök þeirra finnst og þar af leiðandi leiðir til úrbóta.

Vatnsborðsmælingar

Algengast er að nota 1/4" eða 3/8" mælirör til að mæla vatnsborðið í borholunni með loftpressu eða þrýstiloftskút til að fylgjast með jarðhitasvæðinu og til að mæla vatnsdýpi niður að dæluinntaki. Þetta er ein mikilvægasta rekstrarstærðin til að fyrirbyggja að vatnsborðið fari niður fyrir h_{min} , sjá jöfn 5.10. Mælirörin vilja oft tærast í borholunum og leka, sem gerir þau óvirk löngu áður en tilefni er til að taka upp dæluna. Til að verjast þessu hafa menn notað köfnunarefni sem þrýstigas til að verjast tæringu, einkum innan frá. Nýverið fann Hitaveita Rangæinga aðferð sem lofar góðu til að tryggja endingartíma mælibleði búnaðarins. Þeir nota 3/8" mælirör eins og áður en að lokinni niðursetningu er 6° mm nylonröri, háhita- og þrýstipolið (Landvélar, v.nr. 15510506), þrætt inn í 3/8" rörið alla leið niður að dælu og þrýstimælingin fer fram í því. 3/8" rörið er hér eingöngu notað sem hlífðarrör. Til að þetta geti gengið snurðulaust fyrir sig verður að snara vel innan úr endum stálrörsins og hreinsa það fyrir niðursetningu.

Í sumum tilvikum er hægt að nota snúrumæli til að mæla lengd niður á vatnsborð í borholu, sérstaklega þegar fóðurrör holunnar er vel vítt miðað við þvermál dæluröra. Þessi aðferð er lítið notuð í borholum með dælu, þar sem talsverð hættu er á að snúran festist í henni og slitni við tilraunir til losunar.

Þar sem enginn vatnsborðsmælibleði búnaður er í vinnsluholu er hægt að áætla vatnsborð í henni með aðstoð kennilínu dæluinnar, ef aðstaða er til að mæla rennsli, holutoppsþrýsting og áætla þrýstitöþ í dælubúnaðinum.

Ef mælirörið endar við dæluúttakið, eins og venjan er, þá fæst vatnsdýpi niður að dæluinntaki með jöfnum 5.36 og 5.37:

$$h_D = L_D + L_a \quad [\text{m}] \quad (5.36)$$

og

$$L_D = [P_m / (p_t * g)] * 10^3 \quad (5.37)$$

þar sem

L_d = lengd sjálfrar dælnnar	[m]
L_D = lengd mæliröra (dæluröra) í vatni	[m]
h_D = vatnsdýpi yfir dæluinntaki	[m]
P_m = mældur loftþrýstingur í mæliröri	[kPa]
p_t = eðlisþyngd dælda vökvans við hita t [°C]	[kg/m ³]
g = þyngdarhröðunin = 9,81	[m/s ²]

Þessi vatnsborðsmæliaðferð gefur því beint vatnsborðið í holunni yfir dælunni og er því mjög einföld og örugg í notkun fyrir rekstrarmenn.

5.2.1.7.3 RAFMAGNSKOSTNAÐUR

Raforka á smásölumarkaði á Íslandi er dýr. Kaup á raforku til að knýja djúpdæluþmótora er í flestum tilfellum stærsti einstaki kostnaðarliðurinn í rekstri djúpdælna. Af þessu leiðir að rétt val á dælu í tiltekna borholu er mikilvægt til að tryggja hagkvæman rekstur. Ef dælan er valin of stór, miðað við þörf, verður rafmagnskostnaðurinn hærri en nauðsynlegt er. Þar sem í flestum tilvikum eru notaðir þriggja fasa „asynkron“ mótorar til að knýja djúpdælu hefur val á of stórum mótör lítil áhrif á nýtni þeirra og þar af leiðandi á raforkunotkunina.

Þetta stafar af því að nýtni þessarra mótora breytist lítið þótt álagið fari allt niður undir 50% af málalagi. Sem dæmi má nefna að 150 kW, 1470 sn./mín, Newman VHS mótör hefur við fullt álag 92,7% nýtni en við 75% álag er nýtnin 92,2% og 91% við 50% álag, sjá viðauka 7.2. Því er algengt að menn velji rafmótörinn við vöxt, sérstaklega þegar eiginleikar borholunnar eru ekki vel þekktir til að halda þeim möguleika opnum að geta stækkað dæluna síðar án þess að þurfa að stækka mótörinn, nokkuð sem er mjög kostnaðarsamt. Þó eru takmörk fyrir því hvað er hagkvæmt í þessum efnum þar sem rafbúnaðurinn stækkar að sama skapi og verður þar af leiðandi dýrari. Einnig eykst gangsetningarstraumurinn.

Venjulega eru þrjár leiðir notaðar til að meta/mæla raforkuþörf/notkun tiltekinnar borholudælu:

Leið 1: Rafmagnsmæling

Í kafla 5.2.1.3.4 er jafna 5.29 notuð til að reikna út aflnotkun mótorsins ef spennu- og straummælar eru til staðar í rafmagnsskáp hans:

$$A_N = A \cdot V \cdot p_f \cdot u \cdot 10^{-3} \quad [kW] \quad (5.29)$$

þar sem

V = spenna	[Volt]
A = straumur	[Amper]
p_f = aflstuðull mótors skv. upplýsingum frá framleiðanda	[-]
u = 1.732 fyrir þriggja fasa mótör og 1 fyrir eins fasa mótör	[-]

Leið 2: Raforkumælir rafveitunnar

Í flestum tilvikum er raforku- og aflmælir í rafmagnstöflu (startskáp) viðkomandi dælumótors sem rafveitan notar til gjaldtöku.

Ef yfirfærslustuðlar raforkumælisins eru þekktir er hægt með skeiðklukku að mæla A_N , aflnotkun mótorsins. Þar sem aflagjaldskrá er notuð verður einnig að lesa af mælinum hámarksaflíð sem mótörinn hefur tekið.

Til að nota þessa aðferð er bent á að hafa samband við viðkomandi rafveitu.

Á rafmagnsreikningum eru að sjálfsögðu upplýsingar um afl og orkunotkun fyrir tiltekið tímabil.

Leið 3: Útreiknað frá aflþörf

Á hönnunarstigi er aflþörf tiltekinnar öxuldjúpdæluvirkjunar reiknuð út með jöfnu 5.24 til að ákvarða nauðsynlega stærð á rafmótornum. Þá er einnig raforkuþörfin reiknuð með aðstoð jöfnu 5.28 og þar með rafmagnskostnaðurinn metinn út frá áætlaðri keyrslu og tilheyrandi gjaldskrá rafveitunnar.

Til að reikna út á ársgrundvelli raforkukostnað dæluþúnaðarins eftir að hafa reiknað út eða mælt rafafliþörf hans eftir einhverri af ofangreindum þremur leiðum er jafna 5.38 notuð. Gert er ráð fyrir að dælan sé keyrð samfelld allt árið og að afltaxti sé notaður.

$$K_a = A_N \cdot h \cdot a_1 + A_N \cdot a_2 + a_3 \quad [Kr/\text{ár}] \quad (5.38)$$

þar sem

K_a = raforkukostnaður á ári	[kr/ár]
A_N = aflþörf mótors	[kW]
a_1 = orkugjald	[kr/kWh]
a_2 = aflagjald	[kr/kW/ár]
a_3 = fast gjald	[kr/ár]
h = áætlaður keyrslutími á ári	[klst/ár]

Í jöfnu 5.38 hefur verið gengið út frá því að mótörinn gangi með stöðugu álagi allan tímann. Þetta gildir ekki þar sem vatnsborð borhola er breytilegt, t.d. vetur og sumar. Í slíkum tilfellum verður að áætla meðalafliþörf hennar til að reikna út orkuna (fyrri liðurinn í jöfnunni) og mesta aflið á árinu (mælist þegar vatnsborð er hæst í borholunni) þegar aflagjaldið er reiknað út (miðliðurinn í jöfnunni).

Dæmi 5.8:

Í sýnidæmi 5 í viðauka 8.5 hefur aflþörf mótorsins verið reiknuð út 130 kW. Gengið er út frá því að aflþörfin sé stöðug allt árið (stöðugt vatnsborð) og að dælan gangi samfelld allt árið, $h = 8.736$ klst.

Afltaxti B.1	a_1	a_2	a_3
Sumarverð maí - sept	1,86	7980,45	48430,50
Vetrarverð okt. - apríl	4,03	7980,45	48430,50

Tafla 5.11: Gjaldskrá Rafmagnsveitu Reykjavíkur nr. 80, 1. janúar 1992 og afltaxta B1.

Jafna 5.38 gefur okkur þá raforkukostnað þessarar dælu yfir árið ef hún er rekin á gjaldskrársvæði Rafmagnsveitu Reykjavíkur, sjá töflu 5.11:

$$K_a = (4,08 * 5088 + 1,86 * 3648) * 130 + 7980,45 * 130 + 48\,430,50 = \underline{4.633.578 \text{ kr}}$$

5.2.1.7.4 DÆMISÖGUR

Bilanalýsing	Bilanagreining
Mótor slær út á yfirálagi við endurræsingu. Dælan föst þegar að var komið. Dælan laus þegar lokað fyrir safnæð	Einstefnuloki safnæðar fastur í opinni stöðu
8JKH-10 þrepa dæla með 7 balanseruð hjól. Dæluhjólin, sem voru stillt upp 13 mm á hefðbundinn hátt fyrir gangsetningu, gegnu út í dæluhúsin þannig að dælan festist.	Dæluhjólin gengu upp í dæluhúsin í gangsetningu, þar sem dæluöxullinn tagnaði minna en dælurörin vegna þess að svo mörg dæluhjól voru balanseruð. Sjá dæmi í Viðauka 8.5 Rétt stilling hér fyrir hjólin var 3 mm upp.
Dæla hálfrestist í gangsetningu svo mótor sló út á yfirálagi. Dæluöxlar hífðir upp og slakað niður með stillirónni, en ekki tókst að losa hana alveg	Dælan tekin upp. Í ljós kom að járnspænar hafði komist í eina dælulegu og rífið sig fastan þar.
Smurvatn hætti að renna ofan í dæluna. Dælan keyrð í nokkurn tíma eftir að það uppgötvast.	Dælan tekin upp. Í ljós kom að ein öxullega miðsvæðis hafði stíflast. Allar legur fyrir neðan hana voru ónýtar, svo skipta varð um teflon í þeim.
Mótorkúpling brotnað með slíku afli að járnhatturinn splundraðist	Gleymst hafði að þrifa “afturábak” bremsuna, þannig að pöllin í henni gengu ekki öll niður vegna óhreininda, þegar mótorinn var stöðvaður. Bilið á milli þeirra, sem gengu niður, var það mikið að dælan náði að snúast sem því nam afturábak. Höggið varð þá svo mikið, þegar pallið stöðvaði dæluna, að það brotnaði með fyrrgreindum afleiðingum.
Smurvatn hætti að renna ofan í dæluna.	Eftir miklar vangaveltur kom í ljós að í misgripum hafði pakkningarefni með tólgarfyllingu verið sett í pakkdósina. Það bráðnaði og stíflaði smurvatnsganginn.
Dæla var uppgæfin af framleiðenda með 19 mm hlaup. Þessar dælur entust í mjög stuttan tíma. Einnig var vart við að afköst þeirra væru ólík milli hola.	Í ljós kom að framleiðandinn hafði rennt innan úr dæluhúsunum til að auka hlaupið í þeim, án þess að lengja hjólkragana. Þeir voru einungis 9 mm. Þegar hjólin voru stillt meira en 9 mm upp, þá varð millirensli framhjá hjólunum, afköst minnkuðu og stýring þeirra í húsunum minnkaði til muna.
Afköst dælu minnkuðu skyndilega um 10 l/s	Þegar dæla var tekin upp, kom í ljós að eitt hjóla hennar hafði losnað á ásnum.

<p>Á rúmu ári höfðu 3 dælur brotnað, eyðilagst í tiltekinni borholu. Þessi hola hafði verið virkjuð í 15 ár án vandræða.</p>	<p>Skýringin var sú að borholan hafði verið endurvirkjuð með lengri og öflugri dælu, lenging úr 120 m í 180 m. Dælan náði nú niður fyrir fóðurrör holunnar, þar sem laus leirjarðlög voru. Í hvert skipti, sem dælan var ræst losnaði um leirinn og það tók dæluna um 10 – 15 mínútur að hreinsa vatnið. Legur dælnnar gáfu sig á skömmum tíma.</p>
<p>Dæla festist þegar hún var stöðvuð. Ekki tókst að losa hana. Í tilraun til endurræsingar snérist margi hringi upp á öxlana sem afturábak bremsan hélt við, þannig að ekki var hægt að aftengja mótorkúplinguna. Nauðsynlegt reyndist að aftengja mótörinn með því að losa hann upp á millistykkinu.</p>	<p>Í ljós kom að saltríkt vatn tók að streyma inn í holuna, þannig að efnajafnvægið raskaðist með þeim afleiðingum að kalkútfellingar áttu sér stað í dælunni, sem fylltu út í frímál dæluleganna. Þegar dælan var stöðvuð þá “prikkfestist” hún.</p>
<p>Ekker vatn kemur upp frá dælunni. Allt annað virðist eðlilegt, mótörinn tekur fullan straum og svo framvegis.</p>	<p>Stórt gat vegna ytri tæringar, var komið á dælurörið.</p>
<p>Mótörinn var leystur út af undirálagsliða. Við endurræingu, þar sem ekkert athugavert fannst, gekk dælan eðlilega í 10 mínútur, en þá leysti undirálagsliðinn út mótörinn að nýju.</p>	<p>Holan hafði hrunið saman og því sem næst stíflast. Undirálagsliðinn bjargaði dælunni frá skemmdum.</p>
<p>Við niðursetningu datt stálbolti niður í dæluna. Dælan var ræst og keyrð í nokkurn tíma (ár).</p>	<p>Við upptekt kom í ljós að boltinn hafði hreiðrað um sig í efsta dæluhúsinu og var því sem næst búinn að skera það í sundur. Þarna hefði getað farið illa og neðri hluti dælnnar skilist frá og fallið niður í borholuna.</p>
<p>Fljótlega eftir nývirkjun borholu stöðvaðist dælan. Í ljós kom að dælubúnaðurinn var allur meira eða minna ónýtur á 60 metra dýpi.</p>	<p>Við nánari athugun fannst að sveigja var í holunni á þessu dýpi. Ekki tókst að virkja þessa borholu.</p>

5.2.2 Sambyggðar dælur

5.2.2.1 Inngangur

Sambyggðar djúpdælur nefnast þær dælur þar sem dæla og mótör eru tengd beint saman og komið fyrir ofan í borholunni. Tvær gerðir af sambyggðum dælum eru framleiddar. Annars vegar eru það dælur með rafknúnum mótör og hins vegar dælur með vökvaknúnum mótör (túrbínu). Í báðum tilfellum er notuð samskonar dælugerð og í öxuldjúpdælum.

5.2.2.2 RAFKNÚNAR SAMBYGGÐAR DÆLUR

Fyrsta rafknúna sambyggða dælan var gangsett í Bandaríkjunum 1928 í olíuþborholu. Þær hafa þróast mikið á liðnum árum til að þola meiri hita og sækja dýpra niður í borholurnar, [12].

Í eftirfarandi lista er gerður kerfisbundinn samanburður á öxuldjúpdælum og rafknúnum sambyggðum dælum, [4].

Öxuldjúpdælur	Sambyggðar rafknúnar dælur
Nýtni dæluhjóla um það bil sama, um 68 til 78%. Venjulega lægri þrýstingur/þrep og lægra rennsli/þvermál dælu. Nýtni mótörs hærri þar þar sem hann gengur í lofti. Lítil töp eru í rafmagnsköplum. Minni kröfur eru gerðar til gæði rafmagnsins.	Nýtni dæluhjóla um það bil sama, um 68 – 78%. Venjulega meira rennsli/þvermál dælu. Nýtni mótörs lægri þar sem hann gengur í olíu. Meiri töp eru í rafmagnsköplum. Kapall er að hluta í vatni og festur við heitt rör. Meiri kröfur eru gerðar til gæði rafmagnsins.
Mótör, burðarlega og pakkdós aðgengileg á yfirborði jarðar.	Mótör, burðarlega og pakkdós eru í borholu – ekki aðgengileg.
Gengur venjulega á lægri hraða. Slit á búnaði minna.	Gengur venjulega á meiri hraða. Slit á búnaði meira.
Þolir hærri hita, allt að 200°C, þó er sjaldgæft að þessi búnaður sé notaður við svo háan hita.	Þolir lægri hita, mest 80-120°C þessa takmarkar notkunarmöguleika hennar í heitum íslenskum borholum.
Takmörkuð hagkvæm hámarkslengd um 240 m. Hefur verið notuð á allt að 600 m dýpi.	Lengri hagkvæm hámarkslengd. Hefur verið notuð á allt að 4,6 km dýpi.
Tekur lengri tíma að setja niður og taka upp.	Tekur styttri tíma að setja niður og taka upp.
Borholan þarf að vera hlutfallslega bein eða af yfirstærð, svo hægt sé að virkja hana með þessum “stífa” búnaði.	Hægt að virkja bognar borholur, allt að 4” frávik á 30 m og 75°halla frá lóðlínu. “Ef hægt er að fódra holuna þá er hægt að virkja hana”
Hægt er að reka dæluna því sem næst hvar sem er á dælukúrfunni.	Æskilegt er að reka dæluna sem næst besta nýtnipunkti
Hægt er að gera við flestar einingar hér á landi sakir einfaldrar uppbyggingar.	Senda verður dælu, mótör og tilheyrandi tengihluti til framleiðenda í bilanatilfellum.

Nauðsynlegt að hita upp dælubúnaðinn og stilla dæluhjólina fyrir fyrstu gangsetningu. Nauðsynlegt í mörgum tilfellum að viðhalda hitajafnvægi á búnaðinum, þegar hann er ekki í rekstri, til að geta fjarræst hann.	Dæluhjólina eru stillt í eitt skipti fyrir öll í upphafi við samsetningu. Hitabenslur eru ekki vandamál.
Venjulega minni stofnkostnaður miðað við hitaveituborholur og dýpi.	Venjulega hærri stofnkostnaður miðað við hitaveituborholur og dýpi.

Kostir rafknúinnar sambyggðrar djúpdælu umfram öxuldjúpdælu eru fyrst og fremst þeir að losna við hinn langa öxul og þar af leiðandi er hægt að sækja vatnið dýpra. Það er einnig kostur að losna við smurrör og annan smurvatsbúnað.

Sjálf dælan er hefðbundin miðflottaafldsæla, sams konar og notuð er í öxuldjúpdælum, en hlaupið í henni er ekki haft eins mikið vegna þess hve öxullinn er stuttur. Neðan við dæluna, á milli hennar og mótorsins, er sérstakur búnaður sem nefnist „Protector”, sjá viðauka 9. „Protectorinn” gegnir tveimur hlutverkum, fyrst ber að telja að hann vinnur sem þrýstilega fyrir dæluna og í öðru lagi vinnur hann sem þrýstijafnari milli vatnsins í holunni og olíunnar sem rafmótorinn er fylltur með. Í „protectornum” eru tvær olíufylltar gildir til að hindra að vatn komist inn í mótorinn og blandist saman við olíuna þar.

Rafmótorinn er langur (t.d. um 8 metrar hjá Hitaveitu Akureyrar) enda samsettur úr mörgum einingum enda í enda, sem hægt er að fækka eða fjölga eftir því hvort þörf er á minna eða meira afli. Þeir eru háspenntir og ganga oftast á 1000 – 2000 volta spennu. Neðan á neðstu rafmótorseininguna er hægt að koma fyrir búnaði sem mælir þrýsting og hita í holunni. Þessar mælingar eru fluttar upp eftir kraftkaplinum og „síðar” út af honum með rafeindabúnaði uppi við holutopp. Af þessum sökum má núll í eftirvafi spennis ekki vera jarðtengt.

Stjórnskápur er útbúinn með undir- og yfirálagsvörn og síriti skráir straumnotkun mótorsins. Tímalíði ræsir mótorinn eftir undirálag og rafmagnsleysi ef sjálfvirk stjórn er notuð.

Helstu atriði varðandi niðurstetningu á sambyggðum djúpdælum:

- / Fara vel yfir nafnspjöldin á öllum búnaðinum og athuga hvort hann er í samræmi við pöntun.
- / Mæla endaslag í dælu og stilla saman „protector” og dælu.
- / Gæta fyllsta hreinlætis við samsetningu á búnaðinum og gæta vel að allar pakkningar séu heilar og hreinar.
- / Við olíuáfyllingu þarf að gæta vel að því að ekkert loft verði eftir í olíunni þegar búið er að fylla á búnaðinn.
- / Fara í alla staði vel með rafmagnskapalinn. Framleiðendur telja að 70% bilanatilfella í búnaðinum megi rekja til slæmrar meðferðar á rafmagnskaplinum.

Of langt mál yrði að tíunda alla þessa hluti í smáatriðum en með þessum búnaði er hægt að fá góða upplýsingabæklinga þar sem honum er vel lýst í máli og myndum og niðurstetningu hans, sjá einnig [12].

Sérstök áhöld þarf að nota við þennan búnað og er best að kaupa þau með honum.

Þau varnaðarorð sem um hefur verið getið í köflum 5.2.1.5 og 5.2.1.7 um öxuldjúpdælur eiga einnig flest við um sambyggðar djúpdælur.

Öxuldjúpdælur eru almennt notaðar af íslenskum hitaveitum að frátaldri einni borholu hjá Hitaveitu Akureyrar þar sem rafknúin sambyggð dæla er notuð, eins og áður hefur verið vikið að. Hjá Hitaveitu Akureyrar er 12 ára reynsla af slíkri djúpdælu af svo kallaðri Reda-gerð. Endingartími á fyrstu tveimur dælunum var um fimm ár en aðeins eitt ár á þeirri þriðju. Fjórða dælan var sett niður í september 1991.

Um orsök stutts endingartíma hjá þriðju dælnni er ekki vitað þegar þetta er skrifað en einn fasi í mótör reyndist vera brunninn. Bilunin varð eftir hinn erfiða vetur 1990-91, en þá var mikið um samslátt á rafmagnslínunum með tilheyrandi spennufalli og truflunum. Þessi búnaður er frekar viðkvæmur fyrir slíku. Dælan er nú í sérstakri skoðun hjá framleiðanda, þar sem engin tók eru á að gera við hana hér á landi.

5.2.2.3 Vökvaknúnar sambyggðar dælur

Skoskt fyrirtæki, Weir Pumps Ltd., þróaði og byggði upp úr 1980 sambyggða dælu sem knúin er með vökvamótör, öðru nafni vökvahverfli, sjá viðauka 10 og [13]. Að sögn var það gert í þeim tilgangi að smíða djúpdælu sem entist betur en rafknúnar sambyggðar dælur á miklu dýpi í olíuborholum. Við það að nota vökvaknúinn mótör í stað rafmótors þarf ekki að nota rafmagn ofan í borholunni. Þetta er aðalatriðið þar sem flest allir erfiðleikar samfara notkun rafknúinna sambyggðra djúpdælna eru tengdir sjálfum mótörunum og rafmagnsköplunum vegna hás hita og tærandi umhverfis.

Þar sem hraði vökvamótorsins takmarkast ekki af tíðni rafspennunnar er hægt að ná miklu meira affi út úr honum miðað við stærð, borið saman við rafmótora. Lengd vökvamótorsins er allt að 1/10 af lengd rafmótorsins, sem gerir búnaðinn mikið meðfærilegri. Sem dæmi verða öflugir rafmótorar allt að 30 m að lengd.

Vökvamótorinn er tengdur beint við dæluna og vatnsútstreymið frá honum sameinast dælda vökvunum á leið hans upp dælurörið. Togkraftar eru að mestu útjafnaðir í búnaðinum, en þeir sem eftir standa eru bornir uppi af vökvalegu (hydraustatic thrust bearing) í þrýstienda mótorsins. engar pakkdósir eru í þessum búnaði. Auðvelt er að breyta afköstum dælnnar með því að breyta þrýstingnum inn í vökvamótorinn, samfelld allt niður í 10% af mestu afköstum.

Hitapólni þessa búnaðar er allt að 300°C og hann er ekki viðkvæmur fyrir hitabreytingum. Nýtni hans er lakari en hjá rafknúnum sambyggðum dælum.

Vökvaknúnar sambyggðar djúpdælur hafa verið reyndar í jarðhitaborholum bæði í Bretlandi og Bandaríkjunum. Höfundur er ekki kunnugt um að þær séu í rekstri hjá nokkurri veitu.

5.3 Stöðvardælur

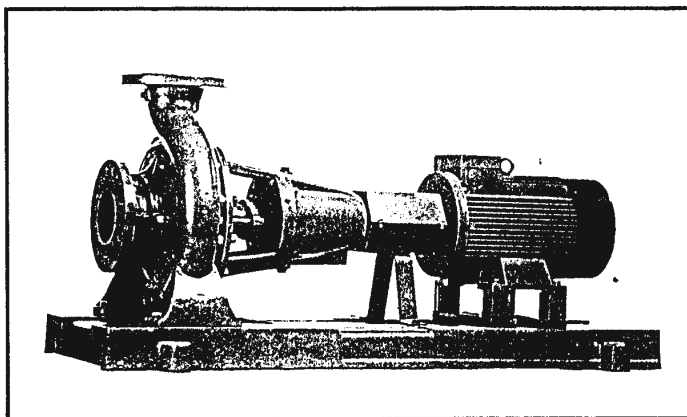
Stöðvardælur eru notaðar til að dreifa heita vatninu til neytenda eftir að því hefur verið dælt upp úr borholum. Sjaldan háttar svo til að hægt sé að dreifa því beint frá borholudælum, heldur reynist nauðsynlegt að fella þrýsting

inn í sérstökum afloftunargeymum til að losa gas úr vatninu áður en því er dreift. Að öðrum kosti losnar gasið úr vatninu í ofnkerfum neytenda með tilheyrandi vand=ræðum.

Stöðvardælum er skipt niður í tvo höfuðflokka:

- / Lóðréttar dælur
- / Láréttar dælur

Láréttar dælur eru til í mörgum stærðum og útfærslum. Algengastar eru miðflóttaaflsdælur með lárétt skiptu húsi (horizontal split case) sem gerir allt innra viðhald aðgengilegra, sjá [8], kafla 2.2. Mynd 5.15 sýnir lárétta stöðvardælu með lóðrétt skiptu húsi. Helstu ókostir láréttra dælna er að áspéttihús þeirra vilja tærast undan lekavatni frá pakkdósum. Jarðhitavatn tærir stál mjög illa og hratt þegar það hefur komist í snertingu við andrúmsloftið



Mynd 5.15: Lárétt miðflóttaaflsdæla

Eftir að öxulstöðvardælur komu til sögunnar hér á landi til dælingar upp úr borholum, sjá nánar kafla 5.2.1.1, fóru hitaveiturnar að nota samskonar lóðréttar dælur einnig í mjög ríkum mæli sem stöðvardælur, svonefndar lóðréttar öxulstöðvardælur.

Helstu kostir öxulstöðvardælna umfram hefðbundnar láréttar miðflóttaaflsdælur eru:

- / Nota eina pakkdós (áspéttingu) í stað tveggja. Auðvelt er að leiða burt lekavatnið frá pakkdósum án þess að það valdi tæringu í sínu nánasta umhverfi, þar sem ásinn gengur lóðrétt upp úr henni.
 - / Nota í höfuðdráttum samskonar dælu- og mótorbúnað og öxuldjúpdælur, sem einfaldar varahlutahald hjá mörgum veitum, einkum þeim stærri.
 - / Einfaldari í viðhaldi.
 - / Þurfa minna gólfpláss.
-

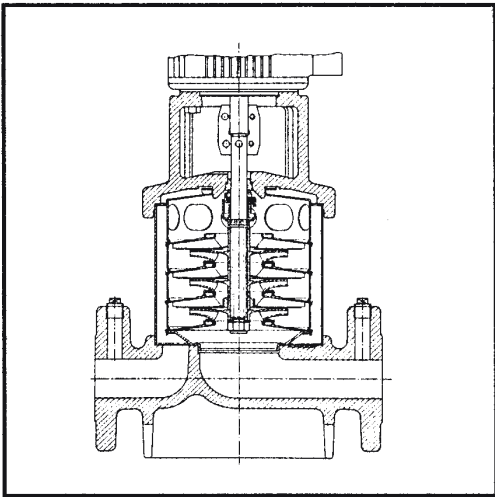
-
- / Oft er mun auðveldara og ódýrara að auka sogþrýsting dælnanna til að hindra slagsuðu, með því að láta pottinn ganga niður úr gólfplötu, í stað þess að byggja sérstakan kjallara, eins og þarf ef hefðbundnar láréttar dælur eru notaðar.

Helstu ókostir öxulstöðvardælna borið saman við láréttar miðflóttaaflsdælur eru:

- / Nýtni þeirra er yfirleitt lakari.
- / Þurfa meiri hæð undir þak. Oftast er þó nægileg lofthæð til staðar í dælustöðvum, nema fyrir allra stærstu dælur. Taka þarf tillit til þessa, m.a. við val á hlaupaketti.

5.3.1 Lóðréttar öxulstöðvardælur

Litlar lóðréttar, sambyggðar miðflóttaaflsdælur sem ganga venjulega undir nafninu „miðstöðvardælur“ falla undir þessa dælugerð. Þær eru byggðar upp af raðtengdum dæluhjólum og efst trjónir mótörinn ofan á dæluhúsinu, sjá mynd 5.16. Minni hitaveitur nota þessar dælur sem stöðvardælur (dreifidælur). Við val á þeim ber sérstaklega að hafa í huga hitaþolni þeirra, NPSHR (sjá jöfnu 5.39) og tryggja að ekki safnist fyrir loft í þeim, nokkuð sem þær eru viðkvæmar fyrir. Þessar dælur eru venjulega með lekafría mekaníska áspéttingu.

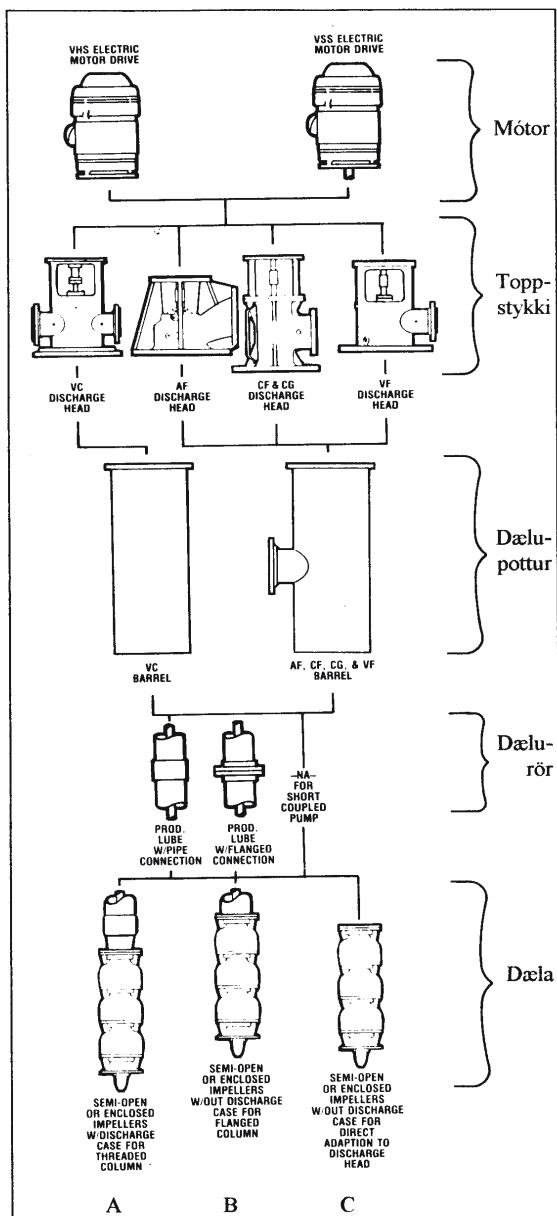


Mynd 5.16: Lóðrétt miðflóttaaflsdæla

Ekki verður fjallað sérstaklega um miðstöðvardælur í þessum kafla, sakir þess hve einfaldar þær eru í notkun, heldur nær umfjöllunin eingöngu til lóðréttra öxuldælna af samskonar gerð og öxuldjúpdælur.

5.3.1.1 Uppbygging

Mynd 5.17 sýnir mismunandi uppbyggingu á öxulstöðvardælum til að mæta hinum ýmsu aðstæðum í dælustöðvum. Stuðst er við lýsingu á uppbyggingu öxuldjúpdælna í kafla 5.2.1.2 og verður hér leitast við að draga fram í dagsljósið þau atriði sem eru frábrugðin hjá þessum tveimur notkunarviðum. Í aðalatriðum liggur munurinn í því að í stað þess að sökkva dælunni niður í borholu þá er henni komið fyrir í sérstökum potti (barrel) í dælustöðinni. Eins og algengt er með öxuldjúpdælur þá er búnaðurinn á milli dælu og mótors smíðaður á vélaverkstæðum innanlands, sjá kafla 5.2.1.4.



Dælumótor

Mótorinn er efstur. Valið stendur á milli mótors með gegnheilan (VSS) eða gegnumboraðan ás (VHS). Reglan er sú, eins og hjá öxuldjúpdælum, að velja mótur með gegnumboraðan ás (sjá nánar kafla 5.2.1.3.4) sem auðveldar til muna stillingu á dæluhjólum. Þar sem sjaldnast reynir það mikið á burðargetu móturlegu (thrust capacity) hjá stöðvardælum er ekki þörf á því af þeim sökum að velja hann með gegnheilan ás og tilheyrandi stillanlegu ástengi milli dælu og mótors, sjá nánar viðauka 6.

Sérstaklega skal bent á að taka þarf tillit til og samræma eftirfarandi atriði við val á VHF móturum, ef tryggja á að þeir geti gengið á milli dælna fyrirhafnarlaust, afkastageta undanskilin, sjá nánar viðauka 7:

- / Sverleiki móturöxuls, BX. Ástengið (kúplingin) efst á móturum er borað út fyrir ákveðinn öxulsverleika.
- / Hæð mótors, CD, sem ákvarðar lengd móturöxuls.
- / Mynd 5.17 Mismunandi uppbygging öxulstöðvardælu

Flanstengi mótors, BD, sem tengir hann við milliþykkið, sem situr ofan á toppstykkinu.

AK er gatahringmál flansins. Bent skal á að BD stærðirnar 10" og 12" hafa sama gatahringmál AK og sama gildir um BD stærðirnar 16", 20" og 24,5".

/ Burðargeta mótörlega (thrust capacity).

Oftast nægir að útbúa mótorá fyrir stöðvardælur með venjulegri burðargetu en fyrir öxuldjúpdælur verður oftast að hafa þá með mestri fánlegri burðargetu. Krafturinn á burðarlegu stöðvardælumótora TT í rekstri er reiknaður út á sama hátt og fyrir djúpdælumótora með jöfnu 5.22. Ef til greina kemur að nota viðkomandi mótör fyrir djúpdælu síðar meir er sjálfsagt að kaupa þannig mótör að hægt sé að bæta við annarri (fleiri) legu til að auka burðargetuna síðar meir, ef á reynir.

/ Möguleiki burðarlega til að takast á við þrýstikrafta upp á við.

Þegar öxuldæla er ræst myndast þrýstikraftur (kraftur upp í ásstefnu) á dæluöxulinn í gangsetnin garaugnablikinu, sjá nánar í kafla 5.2.1.3.3. Sama getur einnig átt sér stað ef dælan er látin vinna mjög ofarlega á dæluferlinum. Ef þessi kraftur nær yfirtaki verður burðarlega mótörsins að vera í stakk búin að bera hann.

Venjulega reynir ekki á þetta hjá djúpdælum, þar sem eiginþyngd (togkraftur) öxulbúnaðarins yfirvegur þennan þrýstikraft. Hjá stöðvardælum er eiginþyngdin oft ekki nægjanleg og verður því að taka tillit til þess við val á mótör.

Algengt er að VHF mótörlegur geti tímabundið borið slíkan þrýstikraft, sem nemur allt að 30% af uppgefinni burðargetu (krafti niður í ásstefnu), sjá nánar í kafla 5.2.1.3.4.

/ Slíf við neðri legu.

Ef mekanísk áspétting er notuð í toppstykki dælu er ráðlegt að hafa sérstaka slíf til stýringar á öxlinum við neðri mótörlegu, stýrileguna, til að tryggja að ekki sé kast á mótöröxli sem getur rýrt endingartíma áspéttingarinnar.

Toppstykki

Toppstykkið (discharge head) er á milli dælu/potts og mótörs, sjá mynd 5.17. Því tilheyrandi er millistykki fyrir mótörinn, ýmist sambyggt eða sjálfstætt. Toppstykkinn eru misjafnlega útfærð, t.d. háð því hvort söggreinin er áföst toppstykkinu (þegar pottinum er komið fyrir í gryfju niður úr dælustöðvargólfi) eða kemur beint inn á pottinn (þegar potturinn er látinn standa á gólfinu eða gengur niður úr gólfinu, og söggrein tengd inn á hann á næstu hæð fyrir neðan, t.d. í kjallara).

Ef inntak dælu í pottinum þarf að vera neðar en lengd sjálfrar dælu gefur, til að skapa nægan sögþrýsting (vegna $NSPH_R$) þar, er hún lengd með **dælurörum** (column assembly). Þau geta ýmist verið tengd saman með rörmúffum, eins og hjá djúpdælum, eða sett saman á flönsum. Hjá minni dælum eru dælurörin yfirleitt sett saman á múffum, þar sem það er ódýrari kostur.

Sjálf dælan

Neðst kemur svo dælan. Við val á dælu eru notaðar sömu reikniáðferðir og við val á hagkvæmstu stærð á borholudælum, sjá nánar kafla 5.2.1.3.2. Samskonar dæluþrep eru notuð en endahúsin eru frábrugðin eins og sést vel með því að bera saman myndir 5.2 og 5.17.

Það helsta sem skilur á milli öxuldjúpdælna og stöðvardælna eru eftirfarandi atriði:

/ **Efsta húsið** er frábrugðið, þar sem smurrör eru ekki notuð í stöðvardælum.

Ef dælurör eru notuð til að síkka dæluna í pottinum eru öxullegurnar smurðar beint.

Ef dælan er boltuð beint neðan á toppstykkið, dælugerð C skv. mynd 5.17, þarf að skilgreina lengd dæluöxulsins upp úr dæluinni þegar hún er pöntuð. Valið stendur á milli þess að hafa

öxulsamskeyti fyrir neðan eða ofan pakkdós í toppstykki. Oft er dæluöxullinn látinn enda fyrir neðan pakkdós og þá er hafður sérstakur öxulbútur upp í gegnum pakkdós sem auðvelt er að skipta út þegar hann slitnar ef pakkdós er notuð. Ókostur við þessa útfærslu er að þá er erfiðara að tryggja að öxullinn í pakkdós sé kastfrír. Á hinn bóginn er dýrt að endurnýja dæluöxulinn af þessum sökum, þar sem hjólin í stöðvardælum eru oftast fest á öxulinn með kílum, sjá næstu grein.

/ **Dæluhjól**

Hægt er að velja annað hvort lokuð eða hálfopin dæluhjól, sjá mynd 5.4.

Báðar gerðir eru algengar erlendis en hér á landi hafa lokuð hjól nær eingöngu verið notuð í stöðvardælur eins og í djúpdælur. Til að ná hámarksnýtni verður að viðhafa mun meiri nákvæmni við samsetningu dælu með hálfopinum hjólum og við stillingu á dæluhjólum hennar fyrir gangsetningu. Einnig hafa hálfopin hjól þann ókost að slit í þeim minnka afköst þeirra, sem ekki er hægt að bregðast við öðruvísi en að skipta um hjól. Venjulegt slit í lokuðum hjólum hefur ekki teljandi áhrif á afköst þeirra og auðvelt er að setja nýjan slithring á hjólkraga þeirra og/eða í sjálft húsið þegar þéttifletirnir slitna. Að lokum eru hreyfi-togkraftar á hálfopin hjól allt að því 150% meiri en hjá lokuðum hjólum, með tilheyrandi auknu álagi á burðarlegu mótors.

Það sem skilur á milli lokaðra hjóla í stöðvar- og djúpdælum eru eftirtalin atriði:

- / Í stöðvardælur er ráðlegt að festa hjólin á öxulinn með kíl og lásskífu (double keyed) í stað einfalds og mun ódýrari kóns eins og tíðkast í djúpdælum. Hitabreytingar eru yfirleitt tíðari í stöðvardælum og kílfastingin tryggir að hjólin geti ekki losnað á ásum af þeim sökum.
 - / Ekki er nauðsynlegt að hafa stöðvardælur með löngu hlaupi (max axial clearance) eins og oftast er raunin í djúpdælum. Þær eru því venjulega hafðar með stöðluðu hlaupi (std. axial clearance), þar sem sú útfærsla er ódýrari og hefur betri nýtni.
 - / Ekki gerist þörf á að nota afþrýst hjól í stöðvardælur eins og stundum er nauðsynlegt í löngum djúpdælum, þegar $L > 160-180$ m.
- / **Neðsta húsið**, sem hýsir neðstu dælulegu.

Í djúpdælum er neðsta húsið venjulega með röragengjur fyrir kónískt sigti, sjá mynd 5.1 og 5.2.

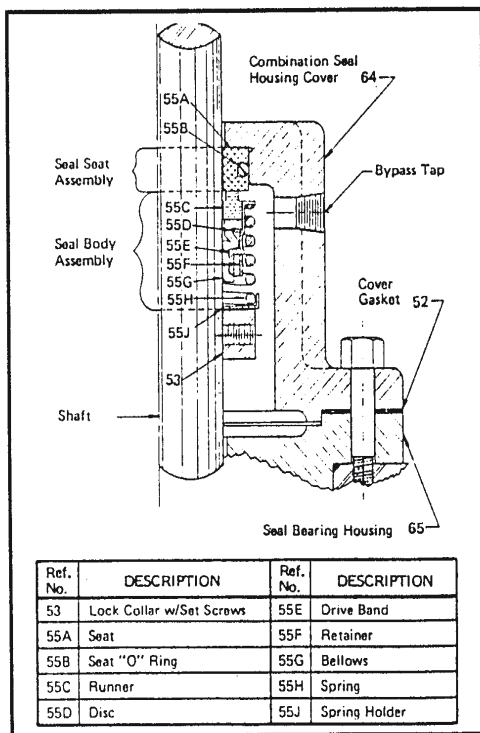
Í stöðvardælum er hins vegar neðsta húsið með straumlínulöguðu inntaki til að lágmarka þrýstifallið eins og kostur er. Sigtir er að öllu jöfnu ekki notað nema í undantekningartilfellum og er það þá hringlaga og klemmt neðan á húsið.

Dælupottur

Við val á dælupotti fyrir stöðvardælur þarf að gæta þess að:

- / Sverleiki og lengd pottsins sé nægjanleg miðað við stærð dæluinnar til að halda þrýstifalli í lágmarki. Taka þarf tillit til þess þegar á hönnunarstigi hvort líkur eru á því að nauðsynlegt muni reynast síðar meir að stækka og/eða lengja dæluna. Það getur reynst mjög dýrt að framkvæma slíka breytingu eftir á, ef ekki hefur verið hugsað fyrir henni strax í upphafi við val á pottstærð.
- / Ef inntaksstútur er á pottinum þarf að gæta þess að hann sé ekki of nálægt dæluinntaki.
- / Ef stöðvardæla er notuð til að dæla vatni upp úr opinni þró þarf að gæta þess að henni sé sökk nægjanlega djúpt í hana m.t.t. $NPSH_R$ og hringiðumyndun, sjá t.d. [8], kafla 11.

Nákvæmar leiðbeiningar um ofangreind atriði er t.d. að finna í [1].



Áspéttingar

Eins og hjá öxuldjúpdælum er algengast að nota hefðbundnar **pakkdósir** (með pakkhringjum) sem áspéttingar í stöðvardælur. Nýverið hefur verið gerð tilraun með að nota svokallaða mekaníska áspéttingu bæði í djúp- og stöðvardælur, dæmi um slíka er sýnt á mynd 5.18.

Of snemmt er að segja til um árangurinn, en allt bendir til þess að þær muni reynast vel. Ef sú verður raunin þá mun viðhald í tengslum við áspéttingar dælnanna minnka til muna og eftirlit með þeim hverfa að mestu. Til marks um mikilvægi þessa er ein aðalástæðan fyrir vikulegu eftirliti með öxuldælum að líta eftir og stilla pakkdósir þeirra.

Mynd 5.18: Mekanísk áspétting.

Mekanískar áspéttingar hafa þann eiginleika umfram pakkdósir að þær eru lekafrjár og ásinn slitnar ekki undan þeim. Reglulega þarf að fylgjast með herslu pakkdósa og gæta þess að þær leki ekki of mikið. Ekki má herða þær um of því annars slitnar ásinn undan þeim. Það kostar dæluupptekt og tilheyrandi viðgerð eða að skipta verður um ásinn.

Helstu ókostir mekanískrar áspéttingar borið saman við pakkdós eru:

- / Stilling þeirra er nákvæmnisverk og þær eru viðkvæmar fyrir færslu á dæluásnum (á sérstaklega við um öxuldjúpdælur). Ef breyta þarf stillingu dæluhjóla um nokkra mm er nauðsynlegt að losa upp á lášringnum, hlutur nr. 53 á mynd 5.18, og endurstilla hann að lokinni stillingu dæluhjóla.
- / Ef þær bila verður að stöðva dæluna. Oft er hins vegar hægt að bjarga sér áfram með leka pakkdós þar til betur stendur á til viðgerðar.
- / Hún gerir meiri kröfur til afloftunar smurvatnsins, þar sem hún er það þétt að hún andar ekki. Ef gas safnast fyrir í henni þá bræðir hún úr sér.

/ Smurvatn verður að leika um pakkdósina öllum stundum, einnig þegar dælan er stöpp.

Lágmarks sogþrýstingur við dæluinntak, P_{min}

Við hönnun á stöðvardælukerfum er mikilvægt að tryggja að sogþrýstingur dælna sé nægilega hár til að koma í veg fyrir slagsuðu (kavitation) í neðsta dæluþrepi. Hinar ýmsu dælugerðir þurfa mismunandi lágmarksþrýsting í dæluinntakinu, sem er táknað með $NPSH_R$ (Net Positive Suction Head required). Þessi þrýstingur er háður afköstum dælnnar og er af dæluframleiðendum venjulega gefinn upp sem fall af rennsli með kennilínnum viðkomandi dælu, miðað við vatnshita 15°C , sjá viðauka 5 og mynd 5.6. Ef kyrrstæðuþrýstingur við dæluinntak er táknaður með P_i , þá fæst sá heildarþrýstingur, sem er til staðar við dæluinntak yfir suðuþrýstingi vökvans, með jöfnu 5.38, en hann verður að vera hærri en $NPSH_R$ dælnnar við mestu afköst, eða:

$$(P_i + P_u) - P_a \geq NPSH_R \cdot p_{15} \cdot g \cdot 10^{-5} \quad [\text{bar}] \quad (5.38)$$

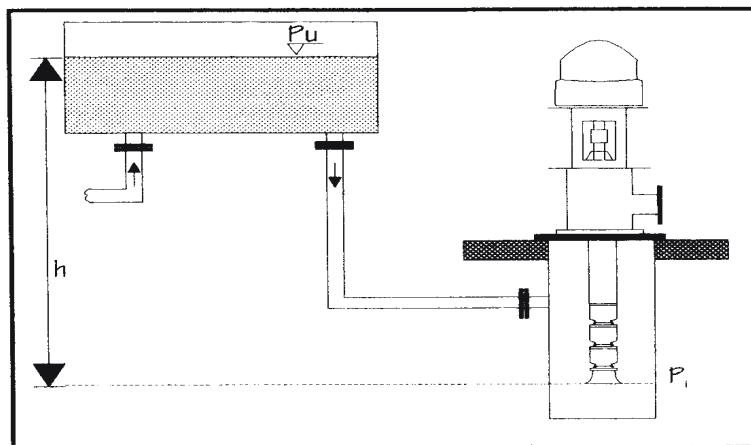
eða

$$P_i \geq P_{min} = (P_a - P_u) + NPSH_R \cdot p_{15} \cdot g \cdot 10^{-5} \quad [\text{bar}] \quad (5.39)$$

þar sem

- P_a = suðuþrýstingur dælda vökvans [bara]
- P_i = kyrrstæðuþrýstingur (statískur) við dæluinntak [bar]
- P_{min} = lágmarksþrýstingur við dæluinntak [bar]
- P_u = umhverfisþrýstingur, venjulega 0,96 (kröpp lægð) [bara]
- p_t = eðlisþyngd vökvans við hita t [$^\circ\text{C}$] [kg/m^3]
- p_{15} = eðlisþyngd vökvans við hita 15°C (=1000 fyrir vatn) [kg/m^3]
- $NPSH_R$ = lágmarks sogþrýstingur við dæluinntak skv. framleiðanda [mvs]
- t = vatnshiti [$^\circ\text{C}$]

Samkvæmt jöfnu 5.39 verður inntaksþrýstingurinn $P_i \geq P_{min}$ til að koma í veg fyrir slagsuðu.



Mynd 5.19: Dæmi um stöðvardælukerfi.

Ef dælukerfið er uppbyggt eins og mynd 5.19 greinir, þar sem stöðvardælan tekur vatn beint úr afloftunargeymi, þá er inntaksþrýstingur dælu P_i fenginn samkvæmt jöfnu 5.40.

$$P_i = (h \cdot p_t \cdot g - h_f \cdot p_{15} \cdot g) \cdot 10^{-5} \quad [\text{bar}] \quad (5.40)$$

þar sem

h_f = þrýstitöpp í soggrein frá tanki að dæluinntaki [mvs]

h = vatnshæð í geymi yfir dæluinntaki [m]

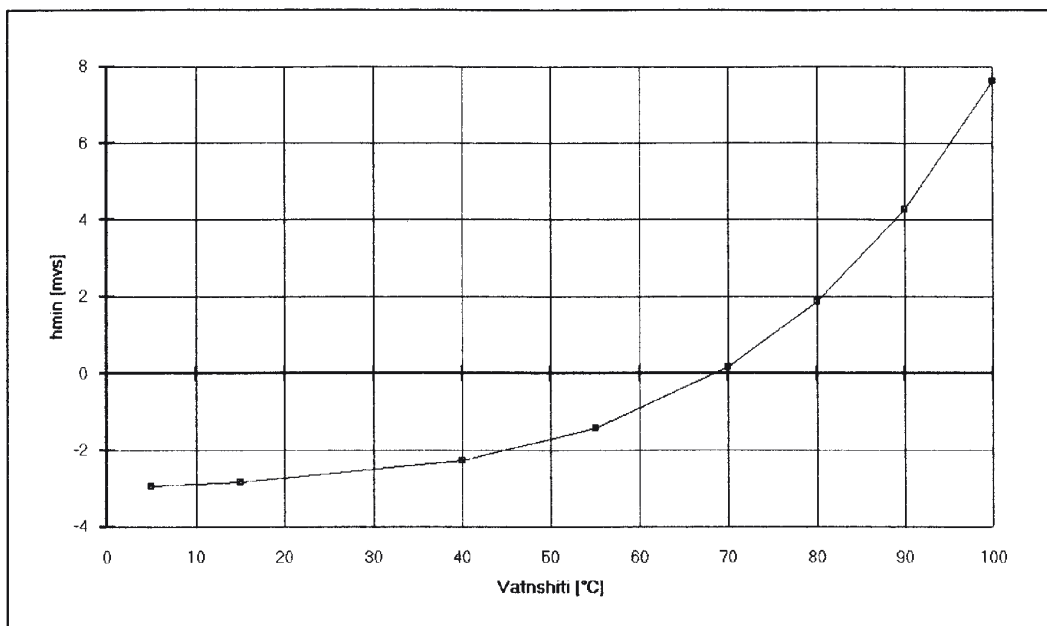
Ef jöfnur 5.39 og 5.40 eru leystar saman, fæst sú lágmarkshæð h_{min} sem verður að vera til staðar í geymi til að tryggja að ekki slagsjóði í dælu:

$$h \geq h_{min} = [(P_a - P_v) / (\rho_t * g)] * 10^5 + NPSH_R * \rho_{15} / \rho_t + h_f \rho_{15} / \rho_t \quad [m] \quad (5.41)$$

Mælieiningin fyrir h_f er hér metrar vatnssúla [mvs] til einföldunar, þar sem verið er að reikna út h_{min} með sömu mælieiningu. Af þessu leiðir að dæluinntak verður að vera lágmark h_{min} metrum undir lágsta vatnsborði í afloftara (pósítíft gildi) við hámarksafköst dæluinnar, til að tryggja að ekki slagsjóði í henni.

Dæmi 5.9:

Til að sýna hvað vatnshiti hefur mikil áhrif á h_{min} skv. jöfnu 5.41 skal tekið dæmi, þar sem við hámarksrennsli gildir að $NPSH_R = 4,27$ [m] og $h_f = 2,5$ [m]. Jafna 5.41 er sett inn á línurit á mynd 5.20. Út úr línuritinu er hægt að lesa lágmarks vatnshæð í tanki sem fall af vatnshita. Þegar hitinn er 15°C þá má vatnshæðin vera tæpa þrjá metra undir dæluinntaki en verður að vera lágmark 4,3 metra yfir, þegar hitinn er 90°C o.s.frv.



Mynd 5.20: Dæmi um h_{min} [m] sem fall af t [°C].

5.3.1.1 Rekstur

Til að tryggja hagkvæman og öruggan rekstur stöðvardælna gilda sömu reglur og um djúpdælur, sjá kafla 5.2.1.7. Sérstaklega er bent á að skrá reglulega samtímamælingar á rennsli, þrýstingi og aflnotkun (eða straum og spennu). Varðandi viðhald öxulstöðvardælna er einnig vísað til kafla 5.2.1.6 um öxuldjúpdælur.

Hér verður einungis vikið að nokkrum atriðum, sem eru sértæk fyrir stöðvardælur.

Stilling dæluhjóna.

Vegna þess hve öxlar stöðvardælna eru stuttir, er lenging þeirra vegna þrýsti- togkrafta óveruleg, þegar þær eru í gangi.

Af þeim sökum er nægjanlegt að lyfta dæluhjólum einungis um 1-2 mm frá botni dæluhúsa, í upphafi þegar viðkomandi stöðvardæla er stillt eftir upphitun. Engin þörf er á að lyfta þeim hærra, nýtnin minnkar örlítið við það og sú stýring sem hjólin fá í húsunum minnkar einnig, sem eykur álag á legurnar.

/ **Hálfopin dæluhjól.**

Eins og áður hefur verið minnst á í kafla 5.3.1.1 eru afköst dælna með hálfopin hjól mjög háð stillingu dæluhjólanna. Til að ná fullri nýtni þarf að stilla þau mjög nákvæmlega og örstutt frá borni. Dæluframleiðendur birta stundum línurit yfir afköst dælna miðað við ólíkar stillingar á hjólunum, sjá sem dæmi [2]. Þar er t.d. hægt að lesa út úr línuritinu að ef dæluhjólunum er lyft um 2 mm frá kjörstillingu minnka rennslisafköstin um 28% miðað við óbreyttan þrýsting. Það þekkist að nota þennan eiginleika hálfopinna dæluhjóla til að regla afköstum dælnnar í stað þess að nota t.d. hraðastýringu eða stjórnloka.

Ofhitun vegna lítils rennslis

Þrýstingur í fyrsta dæluþrepi stöðvardælna (sogþrýstingur) er oftast nær takmarkaður og þar sem þær eru að dæla heitu vatni í námunda við suðumarksferil þess er hætta á að vatnið sjóði í neðstu legum, ef rennslí dælnnar er stöðvað í einhvern tíma, t.d. með stjórnloka eða dregið það mikið úr snúningshraða hennar með hraðastýringu að rennslíð stöðvast. Öll orka frá mótör til dælu fer við þessar aðstæður í að hita upp vatnið inni í dæluhúsunum. Dælulegurnar hætta að smyrja sig og hitamyndun í þeim eykst til muna og þar af leiðandi slit.

Dæmi 5.10:

Til nánari skýringar skal tekið dæmi um stöðvardælu sem vinnur við skilyrði eins og mynd 5.19 sýnir. Ef við göngum út frá eftirfarandi stærðum:

$$A_D = 40 \text{ [kW]}, h = 10 \text{ [m]}, t = 80 \text{ [}^\circ\text{C]}, z = 5, m = 15 \text{ [kg]}$$

þá fæst að:

$$P_i = p_i \cdot g \cdot h = 95 \text{ [kPa]}$$

$$t_i = 98,2 \text{ [}^\circ\text{C]} \text{ skv. töflu yfir suðuhita vatns við } P_i.$$

og samkvæmt jöfnu 5.42 líða t sek þar til vatnið í fyrsta dæluþrepi hefur hitnað úr t [°C] upp í suðumark, t_i [°C], ef ekki er gert ráð fyrir varmatapi út úr dæluhúsinu til umhverfisins.

$$t = [m \cdot c_v \cdot (t_i - t)] / (A_D / z) \text{ [sek]} \quad (5.42)$$

þar sem:

A_D = aflþörf dælu	[kW]
P_i = kyrrstæðuþrýstingur (statískur) við dæluinntak	[bar]
p_i = eðlisþyngd vökvans við hita t [°C]	[kg/m ³]
h = vatnshæð í geymi yfir dæluinntaki	[m]
m = vatnsmagn í einu dæluþrepi	[kg]
t = vatnshiti	[°C]
t_i = suðuhiti vatns í dæluinntaki	[°C]
c_v = eðlisvarmi vatns	[KJ/kg °C]
z = fjöldi dæluþrepa	[-]

Ef ofangreindar stærðir eru settar inn í jöfnu 5.42 fæst að $t = 143$ [sek]. Áður en þessi tími er

liðinn verður að opna lokann til að koma í veg fyrir að sjóði í dælunni. Í raunveruleikanum líður lengri tími þar til vatnið byrjar að sjóða, þar sem hluti af orkunni fer út í gegnum dæluhúsið til umhverfisins.

Listi yfir lykilhugtök fyrir öxuldjúpdælur

<i>All iron construction</i>	:allir hlutir dælnnar eru smíðaðir úr járni
<i>Axial (lateral) clearance</i>	:”hlaup” í dælu þ.e.a.s hvað hjólin í dælnni geta færst mikið í ásstefnu inni í dæluhúsunum.
<i>bep (best efficiency point)</i>	:besti nýtnipunktur dælu
<i>BHP (break horse power)</i>	:alfþörf sjálfrar dælu
<i>Bowl shaft</i>	:dæluöxull, venjulega úr ryðfríu stáli, ANSI 416
<i>Cavitation</i>	:slagsuða
<i>Column assembly</i>	:dælurörssamstæða
<i>/ discharge pipe</i>	:dælurör
<i>/ enclosing tube</i>	:smurrör
<i>/ lineshaft</i>	:dæluöxlar
<i>Cone strainer</i>	:keilulaga sigti á dæluinntaki
<i>Dynamic balanced</i>	:hreyfi – jafnvægisstilltur (dýnamískt balanseraður)
<i>Dynamic balanced impellers</i>	:hreyfi–jafnvægisstillt (dýnamískt balanseraður) dæluhjól
<i>Dynamic pressure</i>	:hreyfiþrýstingur (dýnamískur þrýstingur)
<i>Dynamic thrust (force)</i>	:hreyfikraftur (dýnamískur kraftur)
<i>Enclosed lineshaft</i>	:öxlar eru inni í smurrörum
<i>Hydraulic (thrust) balanced</i>	:afþrýstur (hýdrólískt balanseraður)
<i>Hydraulic thrust</i>	:vökvakraftur (hýdrólískur kraftur)
<i>Impeller fastening to the shaft</i>	:hvernig dæluhjól eru fest á öxulinn
<i>/ taper collet</i>	:kónn
<i>/ double keyed</i>	:tveir kílur (langs og þvers)
<i>/ collet with key and locking screw</i>	:kónn með kíl og lásró
<i>NPSH_R</i>	:nauðsynlegur lágmarksþrýstingur í dæluinntaki
<i>Performance curve</i>	:kennilína
<i>Static balanced</i>	:stöðu – jafnvægisstilltur
<i>Static pressure</i>	:stöðuþrýstingur
<i>System line</i>	:kennilína kerfi, kerfiskennilína
<i>TDH (total dynamic head)</i>	:heildar dæluþrýstingur
<i>Thrust balanced impellers</i>	:afþrýst (hýdrólískt balanseraður) dæluhjól

Heimildaskrá

- [1] Peabody Floway, 1990, Turbine Data Handbook, third edition Fresno, California
 - [2] Peabody Floway Manual no. IM-102A, Instruction manual for installation, Operation and maintenance and list of Parts for Enclosed Lineshaft Pump Bowls, Fresno, California
 - [3] Peabody Floway Manual no. IM-107B, Instruction manual for Installation, Operation and Maintenance and list of Parts for Enclosed Lineshaft Pump Bowls, Fresno, California
 - [4] Lienau J.P., Lunis C.B., Geothermal Direct Use Engineering and Design Guidebook, Geo-Heat Center, Oregon Inst. Of Technology, Klamath Falls, Oregon 97601, March, 1989.
 - [5] K.S.Fang, Axial Thrust and successful operation of a deep Well turbine pump, Int. conference on pump and turbine design and development, 1-3 Seppt., 1976
 - [6] Jarðhitadeild Orkustofnunar, Jarðhitarannsóknir fyrir Hitaveitur, tekið saman fyrir samband Íslenskra Hitaveitna.
 - [7] Rafferty, K. and Culver, G., 1989: Well Pumps, OTT Geo-Heat Center, Klamath Falls, Oregon, U.S.A.
 - [8] Karassik, I.J., e.as., 1976: Pump Handbook, McGraw-Hill Book Company, U.S.A.
 - [9] Fairbanks Morse Pump Division, Pump Handbook, November 1968.
 - [10] General Electric, Instruction Manual for Vertical Hollow Shaft Motors, GEH 329IE, 4-81 (2M).
 - [11] Brook Crompton, Newman Vertical Hollow Shaft Motors, Specification 76.
 - [12] Brown E.I. e.al., 1980: The Technology of Artificial Lift and Methods, The University of Tulsa, U.S.A., volume 2b.
 - [13] Grant, A.A. and Riddet D.A., 1984: High Reliability Hydraulic Turbine Powered pump for the Geothermal Industry, Course on Pumping of Geothermal Brine, Geothermal Resource Council, Los Angeles 21 –23 March 1984.
-

Skrá yfir tákni og reiknistærðir

Skammst.	Skýring	Eining
A_D	Aflþörf dælu	[kW]
A_F	“Mekanísk” töp í dælubúnaðinum = $A_O + A_L$	[kW]
A_L	Núningstöp í burðarlegu mótors	[kW]
A_N	Öxulafl mótors	[kW]
A_n	Aflnotkun mótors	[kW]
A_V	Vökvaafli inn á safnæð	[kW]
A_O	Núningstöp í dæluöxlum	[kW]
a_i	Gjaldskrárstuðlar rafveitu, $i = 1 - 3$	[-]
cv	Eðlisvarmi vatns = 4,186	[kJ/kg.°C]
c_1	Iðustreymisstuðull í dælurörum	[m/(l/s) ²]
c_{21}	Þrýstímótstustuðull í dælurörum	[kPa/(l/s) ²]
c_{22}	Þrýstímótstöðustuðull í toppstykki	[kPa/(l/s) ²]
c_3	Þrýstímótstöðustuðull í safnæð	[kPa/(l/s) ²]
D_{di}	Innra þvermál dælurörs	[m]
D_{du}	Ytra þvermál dælurörs	[m]
D_i	Innra þvermál	[m]
D_{si}	Innra þvermál smurrörs	[m]
D_{su}	Ytra þvermál smurrörs	[m]
D_u	Ytra þvermál	[m]
Dö	Þvermál öxuls	[m]
E	Teygnistuðull stáls = $20 \cdot 10^{10}$	[N/m ²]
E_A	Lenging dæluöxla vegna hreyfikrafta	[m]
E_E	Heildarfærsla dæluhjóla í dæluhúsi	[m]
E_H	Sú lengd, sem skrúfa þarf mótöröxul upp, til að losa dæluhj. [m]	[m]
E_R	Heildarlenging dæluröra = $E_{R1} - E_{R2}$	[m]
E_{R1}	Lenging dæluröra vegna hreyfikrafta	[m]
E_{R2}	Stytting dæluröra vegna innri þrýstings	[m]
E_{δ}	Lenging dæluröra undan eiginþyngd sinni	[m]
E_{R0}	Lenging dæluröra undan eiginþyngd dæluöxla	[m]
f	Núningstapstuðull í öxullegum	[kW/L=100m]
F	Þverskurðarflatarmál	[m ²]
g	Þyngdarhröðun = 9.81	[m/s ²]
h	Gangtími dælu á ári	[klst./ár]
h_f	Þrýstitöp í soggrein dælu	[mvs]
h_{min}	Lágmarksdýpt dælu í vatni	[m]
$K_{\dot{a}}$	Rafmagnskostnaður á ári	[kr/ár]
L_N	Niðurdráttur í borholu við dælingu	[m]
L_v	Vatnsborð jarhitasvæðis (fjarlægð frá holutopp niður á vatnsborð)	[m]
L_D	Lengd dæluröra í vatni	[m]

L_d	Lengd sjálfrar dællunnar	[m]
L_m	Lágmarks lengd dælubúnaðar L_{min} , útreiknuð	[m]
L_H	Vatnsborð borholu í dælingu = $L_V + L_N$	[m]
k	Þrýstistuðull (thrust constant) dælu	[lbs/ft]
L	Lengd dælubúnaðar = $L_V + L_N + L_D$	[m]
m	Rennsli	[l/s]
n	Snúningshraði mótors	[sn/mín]
$NPSH_R$	Net Positive Suction Head Required	[mvs]
p	Aflstuðull rafmótors	[-]
P_a	Suðuþrýstingur vatns	[bara]
P_u	Lægsti umhverfisþrýstingur = 0,96	[bara]
P_D	Dæluþrýstingur (total dynamic head)	[kPa]
P_d	“Dýnamískur “ þrýstingur við dæluúttak	[kPa]
P_t	Þrýstitap í dælurörum og toppstykki	[kPa]
P_s	Þrýstingur í safnæð við holutopp	[kPa]
P_o	Kýrrstöðuþrýstingur í safnæð við holutopp	[kPa]
r	Hluti afþrýstra dæluhjóna af heildarfjölda	[-]
T_A	Hreyfi-togkraftur á dæluöxul	[N]
T_d	Samanlögð þyngd dæluhjóna	[N]
T_R	Hreyfi-togkraftur á dælurör	[N]
T_S	Eiginþyngd dæluöxla	[N]
T_T	Heildartogkraftur á efsta dæluöxul = burðarlegu mótors	[N]
v	Vatnshraði í dæluröri	[m/s]
y	Veldisvísir fyrir þrýstitöp í dæluröri	[-]
z	Fjöldi þrepa í dælu	[-]
ρ_t	Eðlismassi vatns við hita t [°C]	[kg/m ³]
ν	Poisson stuðull fyrir stál = 0.29	[-]
n_b	Nýtnistuðull borholuvirkjunar	[-]
n_d	Dælunýtni	[%]
n_{db}	Dælunýtni, þegar hluti hjóna eru afþrýst	[%]
n_k	Heildarnýtni dælukerfisins	[%]
n_m	Mótornýtni	[%]

Viðauki 1 Sýnishorn af dælu- og mótorpöntun.

Gert er ráð fyrir því að stærð dælu og mótors frá viðkomandi framleiðanda hafi þegar verið valin. Innan sviga eru gefnir aðrir kostir, sem til greina geta komið við útfærslu á vélbúnaðinum.

Lýsing á öxuldjúpdælu :

Vertical deep well pump, **bowl assembly** model **8JKH** – 10a, product water lubricated, 2900 **rpm**, **screwed** (flanged) bowl. In accordance to Icelandic geothermal standard with no **lip seal** in the discharge case and **tube adaptor bearing** not included in the delivery.

All iron construction (except bronz impellers end cowl bearings) : shaft materials stainless steel 416, material en bowls, (impellers and bearings) cast iron.

Enclosed impellers type A (B,C) with **standard taper collets** (double keyed), **dunamically balanced**. 7 out of 10 impellers **thrust balanced**.

Enclosed lineshaft type with shaft, enclosed tube and column adaption 6'', 2'' and 1³/₁₆''.

Max (standard) **axial clearence** ³/₄ in. Please state thrust constant at zero flow, 1/2 bep, ³/₄ bep, 1/1 bep and 5/4 bep. **Performance curves**, TDH, NPSH_r, efficiency and BHp versus flow included.

6'' female NPT galvanic steel **cone strainer**.

Export boxing for ocean transport included.

Lýsing á VHS mótör fyrir öxuldjúpdælu:

Vertical Hollow Shaft Motor **VHSB**, 200 **HP**, 3000 **rpm**, , 1,0 (1,15) **service factor**.

3/50/380 Volts, suitable for **star start-delta run** (direct starting) on 380 V. Full load current to be stated based on a specific voltage. Max. inrush current with rotor locked and breakdown tourqe in % of FLT to be stated.

NEMA WP-1 (TEFV weatherproof) enclosure, 40 degree °C ambient temperature and temperature rise 80 °C. **Insulation class F**.

Extra high (standard, special extra high) **downthrust capacity** 7000 lbs, capable of carrying momentary **upthrust** of approximatlely 30% of the standard downthrust load.

Non-reverse coupling, **BX** 1 ¹¹/₁₆ in.

Base diameter **BD** 20 in.

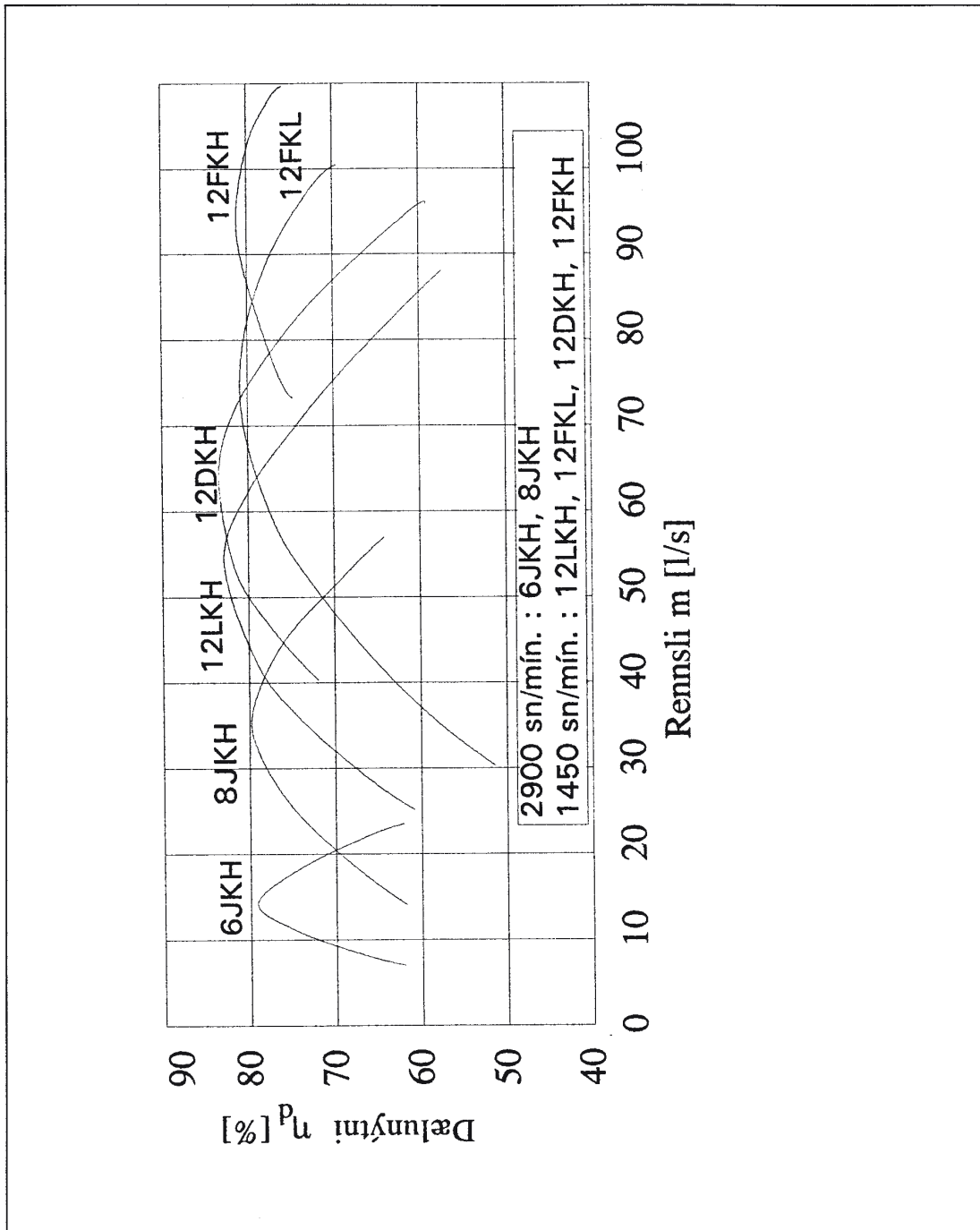
(Fitted with heaters)

Information about **efficiency** and power factor at 1/1, ³/₄ and ¹/₂ load to be stated as well as **thrust load losses** in the thrust bearing.

Export boxing for ocean transport included.

Viðauki 2 Floway dælukúrfur [1]

Yfirlit yfir algengustu öxuldjúpdælur - nýtni sem fall af rennsli.



Viðauki 3 Prýstifall í dælurörum, [9].

FRICION LOSS CHART
STANDARD COLUMN PIPE - OPEN OR ENCLOSED LINESHAFT
LOSS IN FEET OF HEAD PER 100 FEET OF SETTING

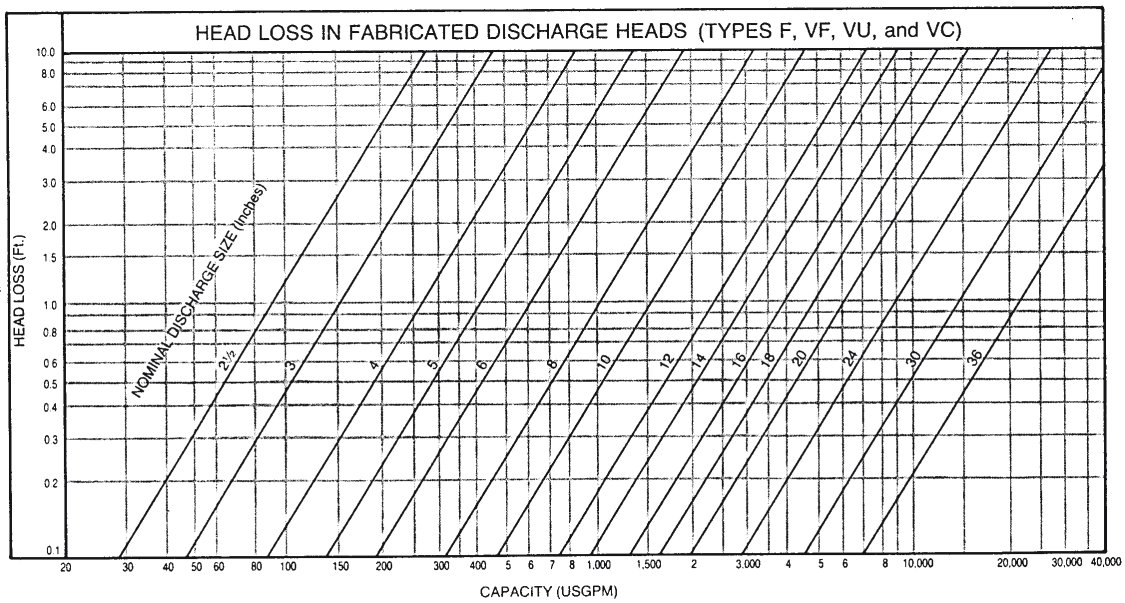
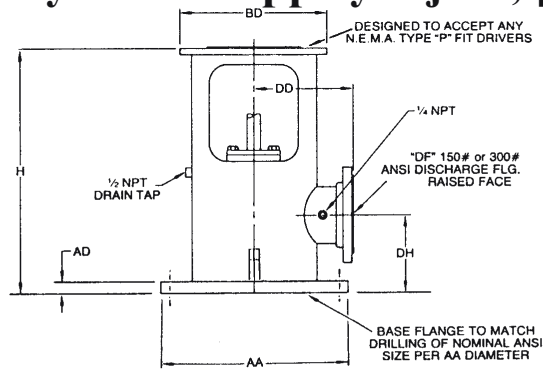
Enclosed Lineshaft	Open Lineshaft	CAPACITY IN GALLONS PER MINUTE																									
		20	25	30	35	40	50	60	80	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	450	500			
3 x 1 1/2	2 1/2 x 3/4	2.83	3.50	4.15	4.80	5.40	6.00	7.00																			
	3 x 3/4	.98	1.42	1.93	2.49	3.10	4.50	6.10	9.85																		
3 1/2 x 1 1/4	3 1/2 x 1/2				0.90	1.14	1.65	2.25	3.65	5.30	7.70																
	3 1/2 x 1				1.14	1.42	2.07	2.80	4.55	6.70	9.70																
4 x 1 1/4	4 x 1/2							0.90	1.50	2.20	3.25	4.50	5.85	7.40	9.10												
	4 x 1 1/8							1.20	1.95	2.90	4.20	5.80	7.50	9.60													
	4 x 1-1/8				0.90	1.14	1.65	2.25	3.65	5.30	7.70																
5 x 1 1/4	5 x 1/2											0.95	1.10	1.45	1.85	2.25	2.72	3.25	3.80	4.35	5.00	5.60	6.30	7.80	9.40		
	5 x 1 1/8											1.32	1.75	2.20	2.73	3.28	3.90	4.50	5.25	6.00	6.75	7.60	9.35				
	5 x 2											0.94	1.40	1.92	2.50	3.20	3.90	4.70	5.60	6.50	7.50	8.50	9.60				
	5 x 1-1/8											1.20	1.80	2.50	3.25	4.00	5.00	6.00	7.10	8.35	9.60						
6 x 1 1/4	6 x 1/2															0.90	1.10	1.30	1.52	1.77	2.00	2.27	2.55	3.15	3.85		
	6 x 1 1/8															1.18	1.43	1.70	2.00	2.30	2.60	2.95	3.30	4.10	4.90		
	6 x 2															0.95	1.20	1.45	1.75	2.10	2.45	2.80	3.20	3.60	4.00	4.95	5.95
	6 x 1-1/8															1.10	1.40	1.70	2.05	2.45	2.85	3.30	3.75	4.25	4.75	5.80	7.00
	6 x 2 1/2											0.95	1.32	1.75	2.20	2.73	3.28	3.90	4.50	5.25	6.00	6.75	7.60	9.35			
	6 x 3																										

Enclosed Lineshaft	Open Lineshaft	CAPACITY IN GALLONS PER MINUTE																										
		375	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1800	2000	2200	2400	2600				
6 x 1 1/4	6 x 1/2	1.83	2.05	2.50	3.02	3.58	4.20	4.80	5.50	6.15	7.00	8.58																
	6 x 1	2.27	2.55	3.15	3.85	4.55	5.30	6.15	7.00	8.00	9.00																	
	6 x 1 1/8	2.95	3.30	4.10	4.90	5.80	6.80	7.80	8.90	9.95																		
	6 x 1 1/4	3.60	4.00	4.95	5.95	7.05	8.20	9.40																				
	6 x 1 1/2	4.25	4.75	5.80	7.00	8.30	9.60																					
	6 x 1 3/4	6.75	7.60	9.35																								
8 x 1 1/4	8 x 1/2									0.97	1.08	1.33	1.60	1.91	2.23	2.59	2.96	3.37	3.75	4.65	5.65	6.65	7.75	9.00				
	8 x 1							0.98	1.10	1.30	1.60	1.90	2.20	2.60	3.00	3.50	3.90	4.50	5.50	6.70	7.90	9.40						
	8 x 1 1/8				0.92	1.10	1.28	1.48	1.70	1.93	2.17	2.70	3.22	3.85	4.50	5.20	5.95	6.80	7.55	9.40								
	8 x 1 1/4				1.01	1.20	1.40	1.62	1.86	2.12	2.39	2.98	3.55	4.25	5.00	5.75	6.60	7.00	8.40									
	8 x 1 1/2			0.90	1.10	1.30	1.52	1.77	2.03	2.30	2.60	3.25	3.90	4.65	5.45	6.30	7.20	8.20	9.20									
	8 x 1 3/4	0.90	1.00	1.25	1.50	1.80	2.10	2.45	2.80	3.20	3.60	4.50	5.40	6.40	7.50	8.80	9.98											
	8 x 2	1.30	1.47	1.80	2.20	2.60	3.05	3.55	4.10	4.60	5.20	6.40	7.80	9.40														
	8 x 2 1/2	1.80	2.00	2.45	3.00	3.50	4.15	4.80	5.50	6.20	7.00	8.60																
10 x 1 1/2	10 x 1														1.06	1.21	1.40	1.59	1.79	2.20	2.69	3.20	3.75	4.33				
	10 x 1 1/4														1.02	1.20	1.39	1.59	1.80	2.02	2.50	3.02	3.60	4.20	4.90			
	10 x 1 1/2														1.10	1.29	1.49	1.70	1.93	2.16	2.69	3.26	3.85	4.50	5.25			
	10 x 2												0.99	1.17	1.38	1.59	1.81	2.06	2.30	2.88	3.50	4.10	4.80	5.60				
	10 x 3											0.97	1.17	1.40	1.65	1.90	2.18	2.47	2.78	3.50	4.25	5.05	5.95	6.90				
	10 x 3 1/2										0.95	1.20	1.40	1.70	2.00	2.30	2.70	3.00	3.40	4.30	5.20	6.10	7.20	8.50				
	10 x 4									1.00	1.12	1.40	1.65	1.95	2.30	2.65	3.10	3.45	3.95	4.90	5.95	7.00	8.25	9.60				
	10 x 2 1/2								0.98	1.10	1.30	1.60	1.90	2.20	2.60	3.00	3.50	3.90	4.50	5.50	6.70	7.95	9.30					
12 x 2	12 x 1 1/4																			0.99	1.20	1.42	1.68	1.92				
	12 x 1 1/2																			1.05	1.28	1.51	1.79	2.05				
	12 x 2																			0.90	1.11	1.36	1.60	1.89	2.18			
	12 x 3																			0.93	1.04	1.29	1.57	1.85	2.18	2.50		
	12 x 3 1/2																			0.94	1.06	1.19	1.49	1.80	2.14	2.53	2.95	
	12 x 4																			1.02	1.18	1.30	1.65	1.95	2.35	2.76	3.23	
	12 x 5														1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	2.50	3.00	3.60	4.20	3.90			
14 x 1 1/2	14 x 1 1/4																								1.05	1.22		
	14 x 1 1/2																								1.13	1.30		
	14 x 3																								1.07	1.26	1.46	
	14 x 3 1/2																								1.00	1.18	1.40	1.61
	14 x 4																								1.05	1.24	1.46	1.68
	14 x 2 1/2																			0.90	1.10	1.30	1.52	1.76				
	14 x 5																			1.13	1.38	1.61	1.91	2.20				

Enclosed Lineshaft	Open Lineshaft	CAPACITY IN GALLONS PER MINUTE																							
		2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200	4400	4600	4800	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000		
10 x 1 1/2	10 x 1	5.00	5.65	6.35	7.05	7.85	8.70	9.60																	
	10 x 1 1/4	5.60	6.40	7.15	8.00	8.90	9.80																		
	10 x 1 1/2	6.00	6.85	7.70	8.55	9.50																			
	10 x 2	6.40	7.25	8.20	9.10																				
	10 x 3	7.90	8.95	9.99																					
	10 x 3 1/2	9.95																							
12 x 2	12 x 1 1/4	2.20	2.50	2.80	3.15	3.50	3.85	4.20	4.60	5.10	5.50	5.90	6.40	7.60	9.00										
	12 x 1 1/2	2.35	2.69	3.00	3.37	3.75	4.13	4.50	4.93	5.45	5.90	6.35	6.85	8.15	9.60										
	12 x 2	2.50	2.87	3.20	3.60	4.00	4.40	4.80	5.25	5.80	6.30	6.80	7.30	8.70											
	12 x 3	2.90	3.30	3.72	4.15	4.60	5.15	5.65	6.15	6.70	7.25	7.90	8.55												
	12 x 3 1/2	3.38	3.85	4.30	4.80	5.40	6.00	6.60	7.10	7.80	8.50	9.20	9.90												
	12 x 4	3.69	4.20	4.73	5.28	5.90	6.55	7.25	7.85	8.60	9.30														
	12 x 5	4.00	4.55	5.15	5.75	6.40	7.10	7.85	8.55	9.40															
	12 x 2 1/2	5.60	6.40	7.15	8.00	9.00	9.80																		
14 x 1 1/2	14 x 1 1/4	1.40	1.59	1.79	2.00	2.20	2.45	2.70	2.95																

Viðauki 4

Þrýstifall í toppstykki, [1].



215.86 Sup. 8.31.82
NOT FOR CERTIFICATION

8JKH

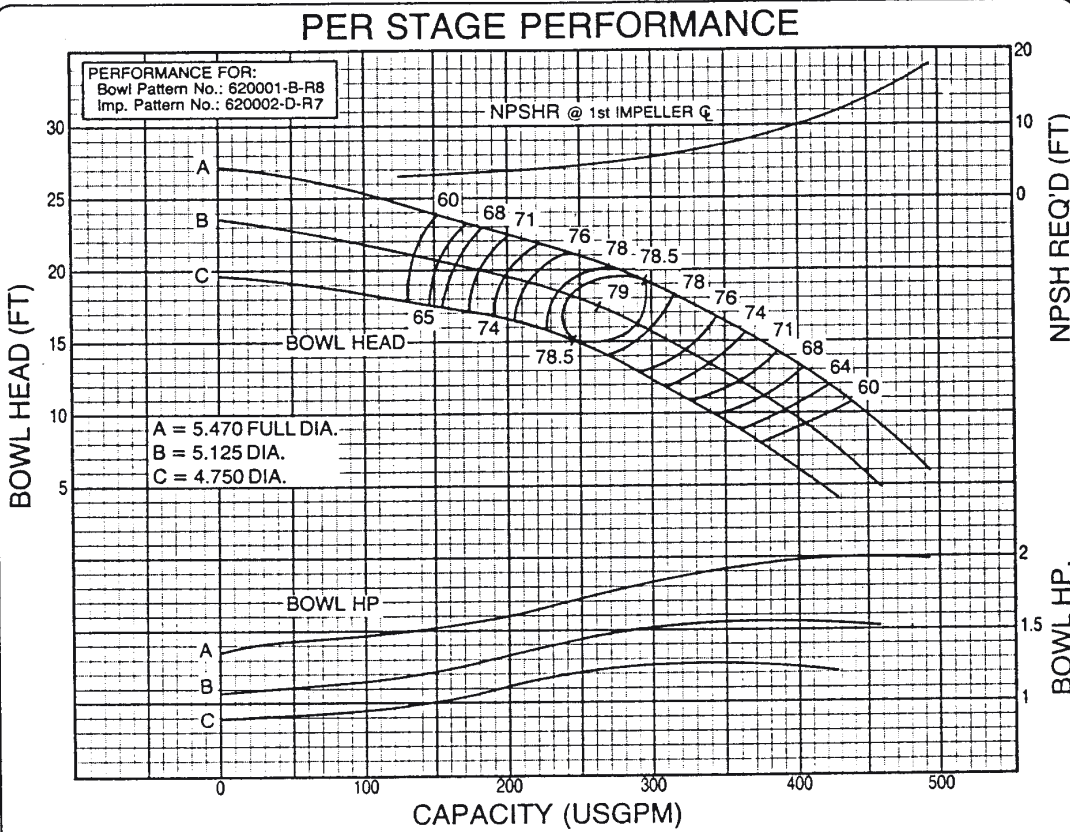
NUMBER OF STAGES	EFFICIENCY CHANGE (NO. OF POINTS)
1	-3
2	-1½
3	-½

HORSEPOWER WILL BE AFFECTED BY CHANGE IN EFFICIENCY



8JKH
1450 RPM
ENCLOSED
TYPE IMPELLER

PER STAGE PERFORMANCE



PUMP DATA

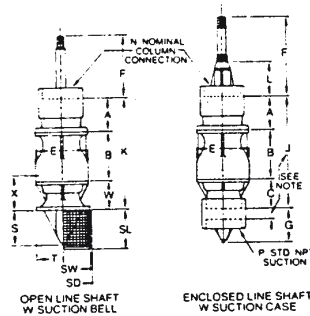
THRUST CONSTANT (K): 4.7 (K) BALANCED: 0 W.R.²/STAGE (LB. FT.²): 0.215 SPECIFIC SPEED (N_s): 2700
SHAFT DIA. (IN): 1 3/16 MAX. SPHERE (IN): 1/16 EYE AREA (IN²): 11.8 MAX. HEAD (STD. CONSTR.) (FT.): 956
MIN. SUBM. (IN): 11" IMP. WT. (LBS): 5.5 STD. AXIAL CLEARANCE (IN): 9/16 MAX. AXIAL CLEARANCE (IN): 3/4

DIMENSIONS

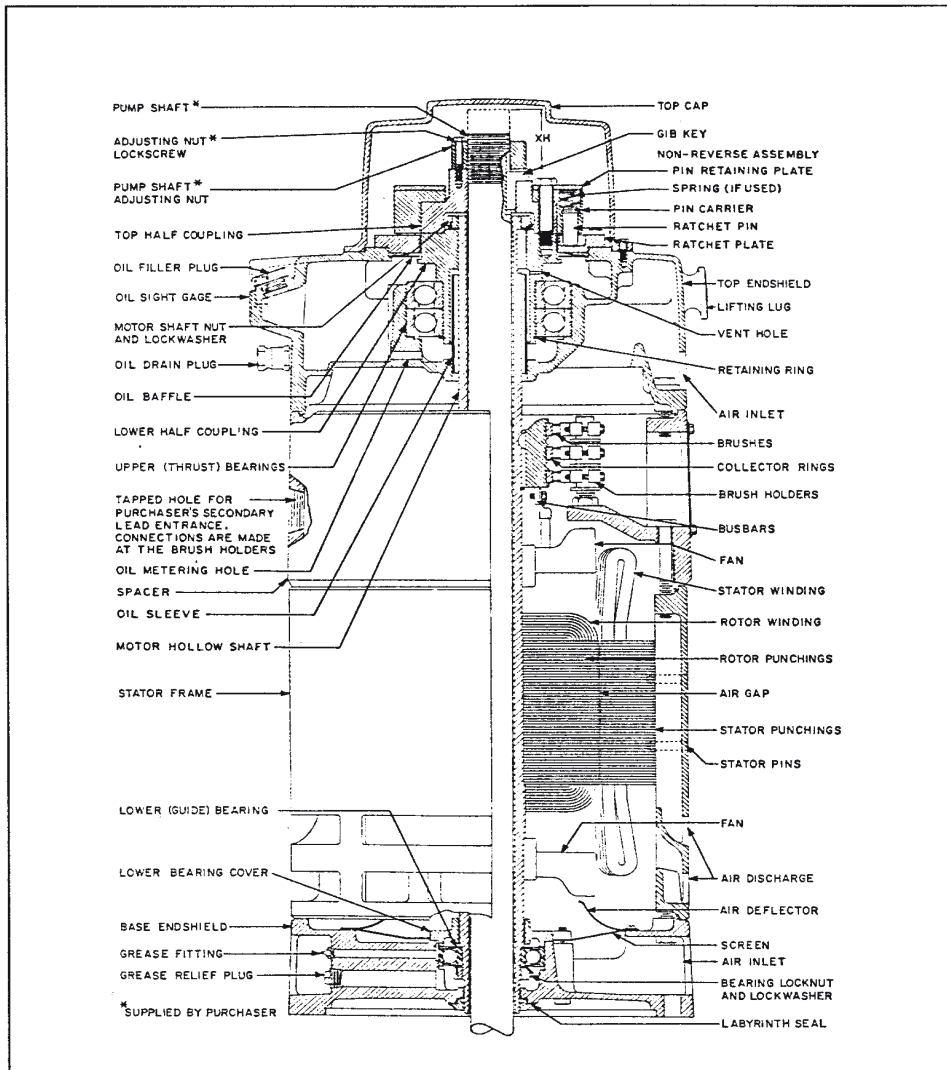
DIMS	A	B	C	E	F ₁	F ₂	G	J	K
INCHES	7 3/8	7 1/4	3 1/8	7 3/4	12	16	4 1/2	17 3/4	17 3/4
L	N	P	S	T	W	X	SD	SL	SW
8	4-5-6-8	5	4 1/2	7 3/4	3 1/8	5 3/4	8 1/2	4 7/8	7 3/4

NOTES

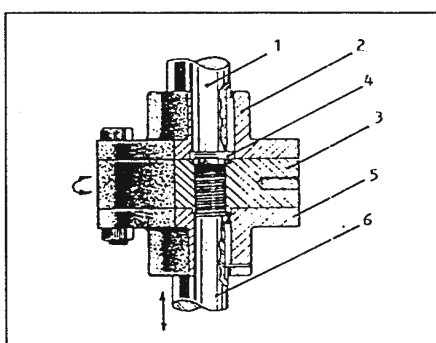
- Add "B" for each additional stage.
- "X" is the distance from the lip of the bell to the first impeller centerline. Add 2" to "J" and "C" when suction is larger or smaller than standard.
- Performance indicated is based on cold water with a specific gravity of 1.0.
- The performance shown is based on pump tests conducted in accordance with the Hydraulic Institute Standards with standard materials of construction.
- * Minimum submergence over lip of bell to prevent vortexing.
- Efficiency improvements are available in certain instances. Please contact the factory.



Viðauki 6 Þversnið af borholudælumótor og stillanlegu ástengi



Þversnið í VHS-borholudælumótor með gegnumboraðan ás og "afturábak" bremsu, [10].

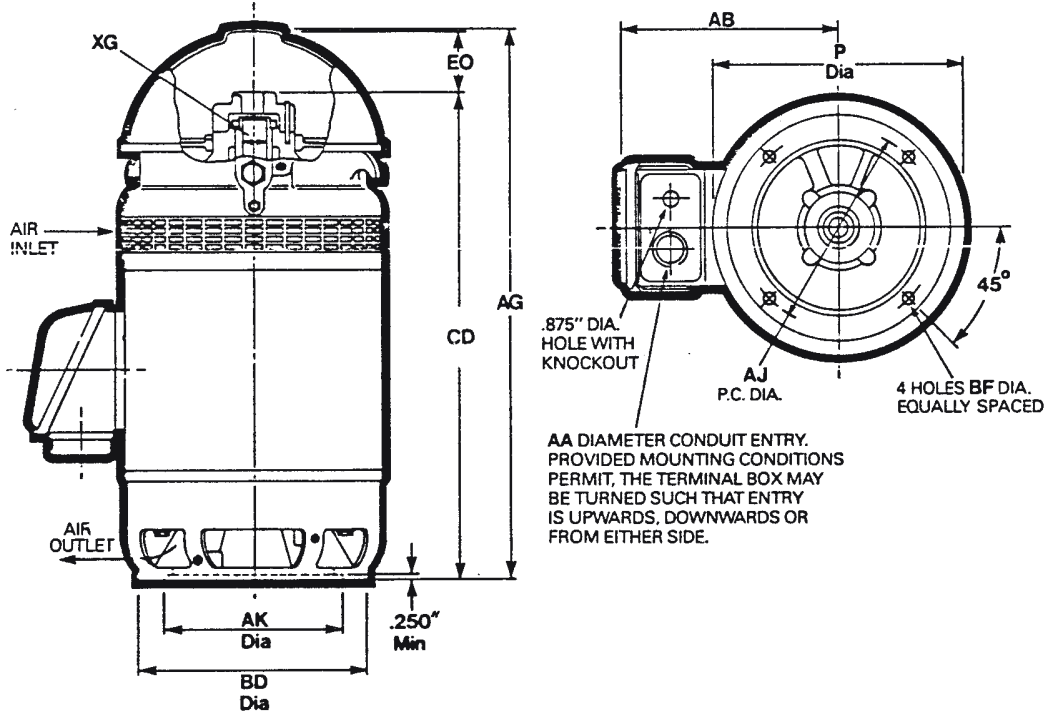


Stillanlegt ástengi fyrir VSS-mótora.

- 1) Mótöröxull
- 2) Kúplingsflans er festur með kílf á mótöröxul
- 3) Ró, sem skruðuð er upp á dæluöxul, festir flans 5 við hann.
- 4) Tveir hálfmánar, til að flans 2 dragist ekki niður af mótöröxli, sem setjast í rauf á mótöröxulenda.
- 5) Neðri kúplingsflans er festur á dæluöxul með kílf
- 6) Dæluöxull. Með því að snúa rónni (3) er hægt að hækka eða lækka dæluöxulinn

Viðauki 7 Upplýsingar um borholudælumótora, [11] Dimensions (NEMA MG.1-18-591)

Drip-Proof enclosure illustrated



AA DIAMETER CONDUIT ENTRY. PROVIDED MOUNTING CONDITIONS PERMIT, THE TERMINAL BOX MAY BE TURNED SUCH THAT ENTRY IS UPWARDS, DOWNWARDS OR FROM EITHER SIDE.

COUPLING DETAILS



THICKNESS THROUGH BASE AT FIXING HOLES IS BE

BASE SIZE
The NEMA frame size designation and its corresponding base diameter are as shown in MG.1 for sizes 182 to 445 inclusive. Non-standard combinations of frames and regular base sizes are possible but when these are used, the NEMA size is preceded by a letter from 'A' to 'E' and ends with a 'Y'. The initial letter is chosen from the table below depending on the 'BD' dimension required.

BD = 10"	Letter A
12"	B
16.5"	C
20"	D
24.5"	E

Sizes larger than 445 are not shown in MG.1-18-591 but are allocated by Newman a '50' reference with additional letters as above. A C505TPY would have BD = 16.5".

Standard base sizes are shown in the dimension table. For alternative base sizes available refer to 'Ratings and Performance' (pages 8 & 9 for 50 Hz, pages 10 & 11 for 60 Hz).

Tolerances: Dimension 'AK' 8.25" + .003 - .000
'AK' 13.5" + .005 - .000

Tolerances on face runout and permissible eccentricity of mounting rabbet: for 'AK' 8.25" .004" indicator reading. for 'AK' 13.5" .007" indicator reading.

Viðauki 8 Upplýsingar um borholudælumótora [11].

Ratings and Performance – 50 Hz motors – service factor 1 TEFW weatherproof

hp	Output kW	Full Load Speed rev/min	Standard High Thrust lb (note 1)	Standard Base Thrust lb (note 1)	Standard Base		Alternative Base		Alternative Base		Bearing Ref. (note 2)	Newman Frame Reference (note 4)	Efficiency		Power Factor		Full Load Amps (415 V)	Locked Rotor Amps (415 V)	Locked Rotor Torque % FL	Breakdown Torque % FL
					Base BD	NEMA Frame (note 2)	Base BD	NEMA Frame (note 2)	FL	1/2 FL			FL	1/2 FL						
3	2.2	1440	2370 (1)	—	10	R184TP	—	—	—	—	7407	G507	84	83	.80	.77	5.4	35	200	220
5	3.7	2880	1870 (1)	—	10	R213TP	—	—	—	—	7407	G507	84	83	.80	.77	7.1	55	220	250
7.5	5.5	2880	1870 (1)	—	10	R213TP	—	—	—	—	7407	G507	84	84	.80	.80	7.8	75	200	250
10	7.5	1440	2370 (1)	—	10	R213TP	—	—	—	—	7407	G507	84	84	.80	.80	11.5	75	160	250
15	11	2935	2960 (1)	—	10	R265TP	—	—	—	—	7407	G507	86	86	.85	.83	13.3	100	180	220
20	15	2935	2960 (1)	—	10	R265TP	—	—	—	—	7410*	G310	84	82	.78	.86	13.3	130	200	240
25	18.5	2940	2960 (1)	—	10	R284TP	—	—	—	—	7410*	G310	85	84	.80	.87	17.8	170	200	240
30	22	2940	2960 (1)	—	10	R284TP	—	—	—	—	7410*	G310	85	85	.85	.88	21.5	210	200	240
30	22	2940	2960 (1)	—	10	R286TP	—	—	—	—	7410*	G310	88	87	.85	.87	24.5	190	200	240

NEMA weather-protected Type 1 (drip-proof)

hp	Output kW	Full Load Speed rev/min	Standard High Thrust lb (note 1)	Standard Base Thrust lb (note 1)	Standard Base		Alternative Base		Alternative Base		Bearing Ref. (note 3)	Newman Frame Reference (note 4)	Efficiency		Power Factor		Full Load Amps (415 V)	Locked Rotor Amps (415 V)	Locked Rotor Torque % FL	Breakdown Torque % FL
					Base BD	NEMA Frame (note 2)	Base BD	NEMA Frame (note 2)	FL	1/2 FL			FL	1/2 FL						
20	15	970	5800 (1)	5800 (1)	12	R286TP	—	—	—	—	7220*	G312	88	87	.84	.81	29	160	160	200
25	18.5	975	5800 (1)	5800 (1)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	88	87	.85	.84	37	190	160	200
30	22	1465	5800 (1)	5800 (1)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	88	88	.85	.81	43	220	160	200
40	30	2950	5000 (1)	6700 (2)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	88	87	.80	.79	54	360	160	200
50	37	2940	5000 (1)	6700 (2)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	89	88	.80	.78	56	320	170	200
60	45	980	5000 (1)	6700 (2)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	90	89	.80	.78	65	440	160	200
75	55	1470	5000 (1)	6700 (2)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	91	90	.88	.85	72	440	160	200
100	75	2955	5000 (1)	6700 (2)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	89	88	.80	.78	82	500	170	200
125	90	2960	5000 (1)	6700 (2)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	91	90	.88	.85	77	500	170	200
150	110	1470	5000 (1)	6700 (2)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	91	90	.88	.85	82	480	160	200
200	150	1470	5000 (1)	6700 (2)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	90	89	.80	.78	98	600	170	200
250	185	1470	5000 (1)	6700 (2)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	91	90	.88	.85	102	580	170	200
300	220	1480	5000 (1)	6700 (2)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	91	91	.89	.89	128	780	180	200
350	260	1480	5000 (1)	6700 (2)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	91	90	.88	.85	133	750	160	200
400	300	1480	5000 (1)	6700 (2)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	91	90	.88	.85	156	890	170	200
400	300	1480	5000 (1)	6700 (2)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	92	91	.89	.88	173	900	170	200
400	300	1480	5000 (1)	6700 (2)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	92	91	.89	.84	198	1050	140	200
400	300	1480	5000 (1)	6700 (2)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	92	91	.89	.85	205	1080	140	200
400	300	1480	5000 (1)	6700 (2)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	92	91	.89	.85	226	1440	140	200
400	300	1480	5000 (1)	6700 (2)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	92	91	.89	.87	250	1440	140	200
400	300	1480	5000 (1)	6700 (2)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	92	91	.89	.87	320	2000	150	200
400	300	1480	5000 (1)	6700 (2)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	93	92	.85	.80	345	1800	140	200
400	300	1480	5000 (1)	6700 (2)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	93	92	.85	.87	382	2400	150	200
400	300	1480	5000 (1)	6700 (2)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	94.2	93	.90	.85	428	3000	160	200
400	300	1480	5000 (1)	6700 (2)	12	R324TP	—	—	—	—	7220*	G312	94.5	94.2	.95	.84	488	3500	160	200

- NOTES:
 1. Down thrust figure in brackets is number of thrust bearings used.
 2. Down thrust is in lb. Multiply by 0.454 to give kilograms.
 3. * Indicates bearings which are oil lubricated. Thrust bearings must be 42° contact angle and be of universal type when motor is one end mounting as fitted.
 4. Reference is quoted for standard frame/base combination.
 5. Amps are listed for 415 volts.
 For 230 volts – multiply by 1.09
 For 400 volts – multiply by 1.04

Viðauki 9 Sýnidæmi 1, 8KJH-10 dæla, 6"*2"*1 3/16", venjuleg dæluhjól.

BORHOLA : SÍH

25.5.92

SÝNIDÆMI 1

Á.G.

BORHOLA											
Heiti : SÍH											
Ár : 92											
Dýpt [m] : 3150											
H.Y.S.[m] : 10											
Lengd fóðurrörs [m] : 450						DÆLA					
Stærð fóðurrörs [mm] : 13 3/8"						Dælugerð : 8JKH (6"x2")					
C1 [m/(l/s)^2] : 0,0125						Prepaffjöldi (z) : 10					
T [°C] : 96						K [lb/ft] : 4,7					
Eðlisþyngd [kg/m^3] : 960,8						Lengd dælu [m] : 246					
Pa [bara] : 0,863						C3 : 0,06 og Po : [kPa] : 400					
Lv	Ls [m]	m [l/s]	PD [kPa]	LN [m]	Lm [m]	hm [m]	Ps [kPa]	Pt [kPa]	TA [N]	TS [N]	TT [N]
100	123	43,3	1891	23	130	6,2	512	211	13224	14359	27584
115	136	41,4	1987	21	142	5,6	503	195	13893	14359	28252
130	149	39,4	2082	19	154	5,1	493	178	14563	14359	28922
145	162	37,3	2179	17	167	4,6	483	162	15236	14359	29595
160	175	35,1	2275	15	180	4,2	474	145	15911	14359	30270
175	188	32,8	2372	13	192	3,9	465	129	16588	14359	30948
190	202	30,4	2469	12	205	3,6	455	112	17270	14359	31629
205	215	27,8	2567	10	218	3,3	446	96	17956	14359	32315
220	228	25,1	2666	8	231	3,0	438	79	18647	14359	33006
235	241	22,1	2766	6	244	2,8	429	63	19344	14359	33704
Lv	EE [mm]	EA [mm]	ER1 [mm]	ER2 [mm]	Am [kW]	Ad [kW]	Al [kW]	Aa [kW]			
100	20,3	22,8	5,7	3,3	125	105	2,3	17,1			
115	21,1	23,9	6,0	3,2	123	104	2,3	17,1			
130	21,9	25,1	6,3	3,1	122	103	2,4	17,1			
145	22,6	26,2	6,6	3,0	121	101	2,4	17,1			
160	23,4	27,4	6,8	2,8	119	100	2,5	17,1			
175	24,1	28,6	7,1	2,6	118	98	2,6	17,1			
190	24,8	29,8	7,4	2,4	116	96	2,6	17,1			
205	25,4	30,9	7,7	2,2	113	94	2,7	17,1			
220	26,1	32,1	8,0	2,0	111	91	2,7	17,1			
235	26,7	33,3	8,3	1,7	108	88	2,8	17,1			

Viðauki 10 Sýnidæmi 2, 8KJH-10
dæla, 6''*2''*1 3/16'', 7 dæluhjól afþrýst.

BORHOLA : SÍH

25.5.92

SÝNIDÆMI 2
Á.G.

BORHOLA											
Heiti : SÍH											
Ár : 92											
Dýpt [m] : 3150											
H.Y.S.[m] : 10											
Lengd fódurrörs [m] : 450						DÆLA					
Stærð fódurrörs [mm] : 13 3/8''						Dælugerð : 8JKH (6''x2'')					
C1 [m/(l/s)^2] : 0,0125						Prepafföldi (z) : 10					
T [°C] : 96						K [lb/ft] : 1,4					
Eðlisþyngd [kg/m^3] : 960,8						Lengd dælu [m] : 246					
Pa [bara] : 0,863						C3 : 0,06 og Po : [kPa] : 400					
Lv	Ls [m]	m [l/s]	PD [kPa]	LN [m]	Lm [m]	hm [m]	Ps [kPa]	Pt [kPa]	TA [N]	TS [N]	TT [N]
100	123	43,3	1891	23	130	6,2	512	211	3939	14359	18298
115	136	41,4	1987	21	142	5,6	503	195	4138	14359	18497
130	149	39,4	2082	19	154	5,1	493	178	4338	14359	18697
145	162	37,3	2179	17	167	4,6	483	162	4538	14359	18897
160	175	35,1	2275	15	180	4,2	474	145	4739	14359	19099
175	188	32,8	2372	13	192	3,9	465	129	4941	14359	19300
190	202	30,4	2469	12	205	3,6	455	112	5144	14359	19503
205	215	27,8	2567	10	218	3,3	446	96	5348	14359	19708
220	228	25,1	2666	8	231	3,0	438	79	5554	14359	19913
235	241	22,1	2766	6	244	2,8	429	63	5762	14359	20121
Lv	EE [mm]	EA [mm]	ER1 [mm]	ER2 [mm]	Am [kW]	Ad [kW]	Al [kW]	Aa [kW]			
100	1,2	6,8	8,9	3,3	124	105	1,5	17,1			
115	1,0	7,1	9,3	3,2	123	104	1,5	17,1			
130	0,8	7,5	9,8	3,1	121	103	1,5	17,1			
145	0,6	7,8	10,2	3,0	120	101	1,6	17,1			
160	0,3	8,2	10,7	2,8	118	100	1,6	17,1			
175	0,0	8,5	11,1	2,6	117	98	1,6	17,1			
190	-0,3	8,9	11,6	2,4	115	96	1,6	17,1			
205	-0,6	9,2	12,0	2,2	112	94	1,6	17,1			
220	-0,9	9,6	12,5	2,0	110	91	1,6	17,1			
235	-1,3	9,9	13,0	1,7	107	88	1,7	17,1			

Viðauki 11 Sýnidæmi 3, 8JKH-10 dæla, 6"*2,5"*1

BORHOLA : SÍH

25.5.92

SÝNIDÆMI 3

Á.G.

BORHOLA											
Heiti : SÍH											
Ár : 92											
Dýpt [m] : 3150											
H.Y.S.[m] : 10											
Lengd fóðurrörs [m] : 450						DÆLA					
Stærð fóðurrörs [mm] : 13 3/8"						Dælugerð : 8JKH (6"x2,5")					
C1 [m/(l/s)^2] : 0,0125						Prepafjöldi (z) : 10					
T [°C] : 96						K [lb/ft] : 4,7					
Eðlisþyngd [kg/m^3] : 960,8						Lengd dælu [m] : 246					
Pa [bara] : 0,863						C3 : 0,06 og Po : [kPa] : 400					
Lv	Ln [m]	m [l/s]	PD [kPa]	LN [m]	Lm [m]	hm [m]	Ps [kPa]	Pt [kPa]	TA [N]	TS [N]	TT [N]
100	122	42,1	1949	22	128	5,8	506	287	13634	29002	42636
115	135	40,3	2041	20	141	5,3	497	265	14271	29002	43273
130	148	38,3	2132	18	153	4,9	488	242	14911	29002	43912
145	161	36,3	2224	16	166	4,4	479	220	15552	29002	44554
160	175	34,2	2316	15	179	4,1	470	197	16196	29002	45198
175	188	31,9	2408	13	192	3,8	461	175	16843	29002	45844
190	201	29,6	2501	11	204	3,5	453	153	17493	29002	46495
205	214	27,1	2595	9	217	3,2	444	130	18148	29002	47149
220	227	24,4	2689	7	230	3,0	436	108	18807	29002	47809
235	241	21,5	2785	6	243	2,7	428	86	19474	29002	48476
Lv	EE [mm]	EA [mm]	ER1 [mm]	ER2 [mm]	Am [kW]	Ad [kW]	Al [kW]	Aa [kW]			
100	10,3	11,6	4,7	3,4	136	104	3,5	28,4			
115	10,5	12,2	5,0	3,3	135	103	3,6	28,4			
130	10,7	12,7	5,2	3,2	134	102	3,6	28,4			
145	10,9	13,3	5,4	3,0	133	101	3,7	28,4			
160	11,1	13,8	5,6	2,9	131	99	3,7	28,4			
175	11,2	14,4	5,9	2,7	129	97	3,8	28,4			
190	11,4	14,9	6,1	2,5	127	95	3,8	28,4			
205	11,5	15,5	6,3	2,3	125	93	3,9	28,4			
220	11,6	16,0	6,5	2,0	123	90	4,0	28,4			
235	11,6	16,6	6,8	1,8	120	87	4,0	28,4			

11/16",

venjuleg dæluhjól.

Viðauki 12 Sýnidæmi 4, 8JKH-10 dæla, 8"*2,5"*1 11/16",

BORHOLA : SÍH

25.5.92

SÝNIDÆMI 4

Á.G.

BORHOLA											
Heiti : SÍH											
Ár : 92											
Dýpt [m] : 3150											
H.Y.S.[m] : 10											
Lengd fódurrörs [m] : 450						DÆLA					
Stærð fódurrörs [mm] : 13 3/8"						Dælugerð : 8JKH(8"*2,5")					
CI [m/(l/s)^2] : 0,0125						Prepafjöldi (z) : 10					
T [°C] : 96						K [lb/ft] : 4,7					
Eðlisþyngd [kg/m^3] : 960,8						Lengd dælu [m] : 246					
Pa [bara] : 0,863						C3 : 0,06 og Po : [kPa] : 400					
Lv	Ls [m]	m [l/s]	PD [kPa]	LN [m]	Lm [m]	hm [m]	Ps [kPa]	Pt [kPa]	TA [N]	TS [N]	TT [N]
100	126	45,6	1771	26	133	7,0	525	57	12388	29002	41390
115	139	43,6	1876	24	145	6,3	514	53	13120	29002	42121
130	152	41,5	1981	22	157	5,6	503	48	13853	29002	42855
145	164	39,3	2086	19	169	5,1	493	44	14589	29002	43591
160	177	37,0	2192	17	182	4,6	482	39	15328	29002	44329
175	190	34,6	2298	15	194	4,2	472	35	16069	29002	45071
190	203	32,0	2404	13	207	3,8	462	30	16815	29002	45816
205	216	29,3	2511	11	219	3,5	452	26	17564	29002	46566
220	229	26,4	2619	9	232	3,2	442	21	18319	29002	47321
235	242	23,2	2728	7	245	2,9	432	17	19081	29002	48083
Lv	EE [mm]	EA [mm]	ER1 [mm]	ER2 [mm]	Am [kW]	Ad [kW]	Al [kW]	Aa [kW]			
100	5,6	10,6	8,6	3,5	138	106	3,4	28,4			
115	5,6	11,2	9,1	3,5	137	105	3,5	28,4			
130	5,6	11,8	9,6	3,4	136	104	3,5	28,4			
145	5,6	12,4	10,1	3,2	135	103	3,6	28,4			
160	5,6	13,1	10,6	3,1	133	101	3,7	28,4			
175	5,5	13,7	11,1	2,9	131	99	3,7	28,4			
190	5,4	14,3	11,6	2,7	129	97	3,8	28,4			
205	5,3	15,0	12,1	2,5	127	95	3,8	28,4			
220	5,2	15,6	12,7	2,2	125	92	3,9	28,4			
235	5,0	16,3	13,2	1,9	122	89	4,0	28,4			

venjuleg

dæluhjól.

Viðauki 13 Sýnidæmi 5, 8JKH-10 dæla, 8"*2,5"*1 11/16", 7 hjól afþrýst.

BORHOLA : SÍH

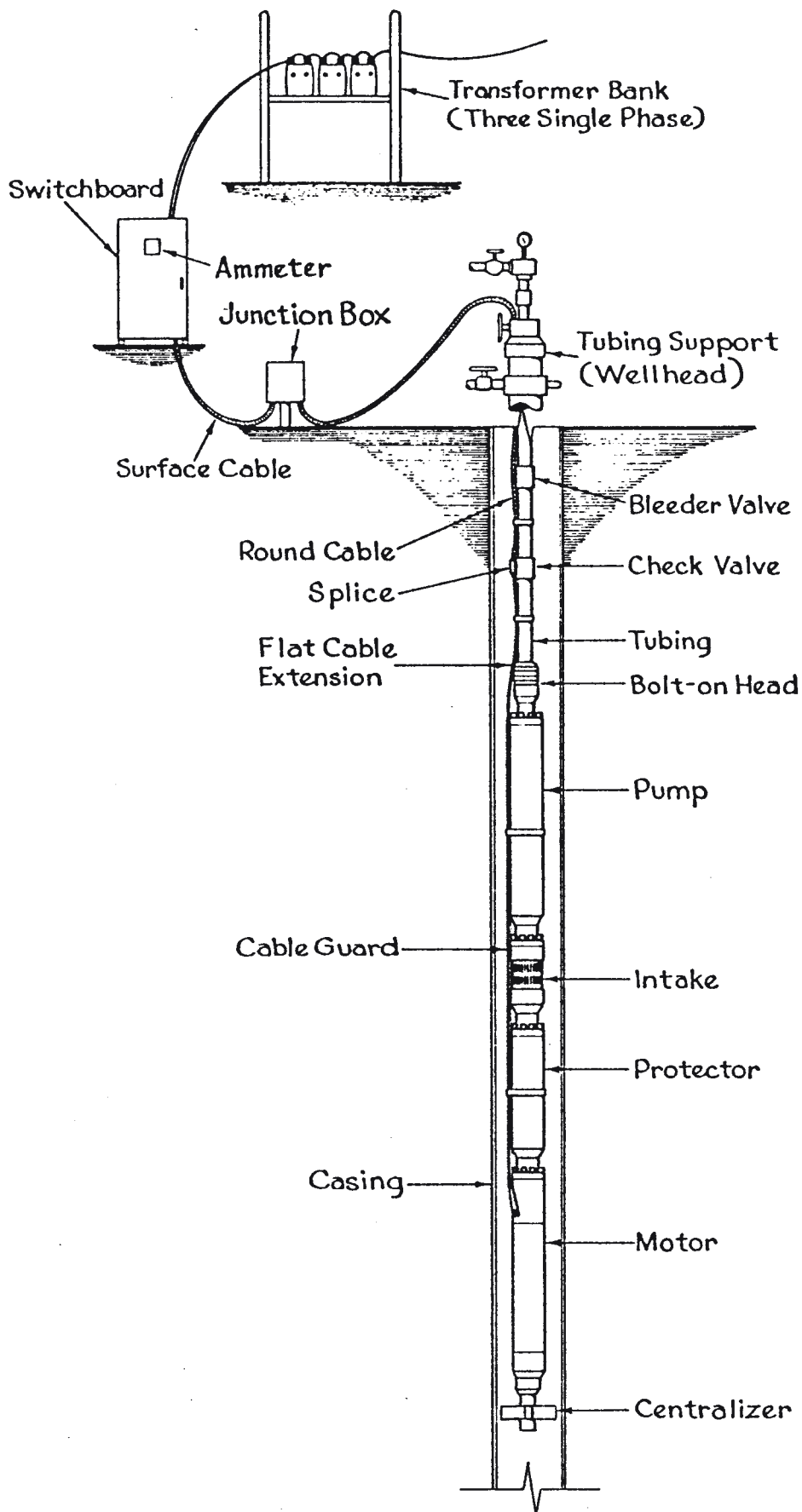
25.5.92

SÝNIDÆMI 5

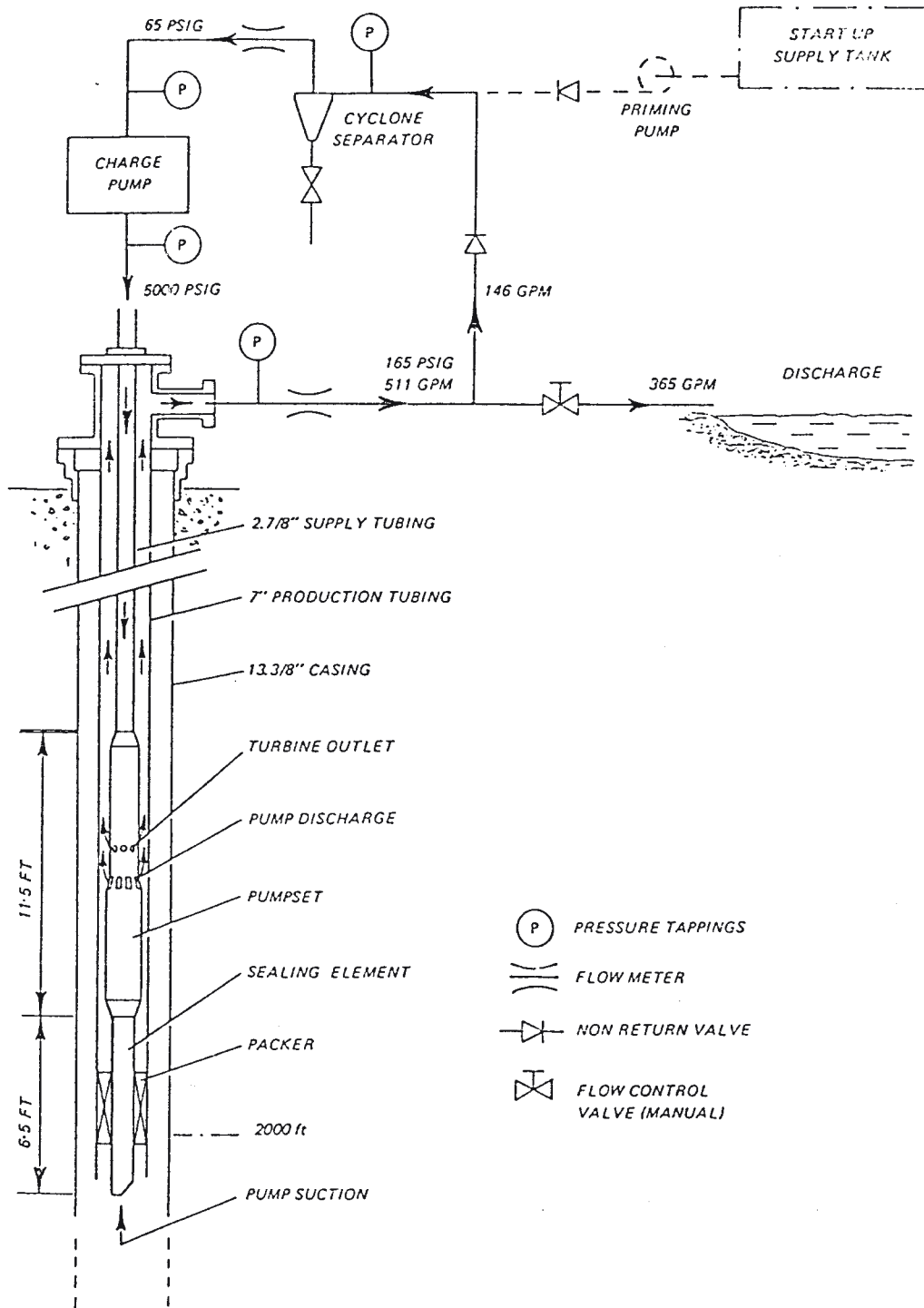
Á.G.

BORHOLA											
Heiti : SÍH											
Ár : 92											
Dýpt [m] : 3150											
H.Y.S.[m] : 10											
Lengd fóðurrörs [m] : 450						DÆLA					
Stærð fóðurrörs [mm] : 13 3/8"						Dælugerð : 8JKH(8"*2,5")					
CI [m/(l/s)^2] : 0,0125						Prepafjöldi (z) : 10					
T [°C] : 96						K [lb/ft] : 1,4					
Eðlisþyngd [kg/m^3] : 960,8						Lengd dælu [m] : 246					
Pa [bara] : 0,863						C3 : 0,06 og Po : [kPa] : 400					
Lv	Ls [m]	m [l/s]	PD [kPa]	LN [m]	Lm [m]	hm [m]	Ps [kPa]	Pt [kPa]	TA [N]	TS [N]	TT [N]
100	126	45,6	1771	26	133	7,0	525	57	3690	29002	32692
115	139	43,6	1876	24	145	6,3	514	53	3908	29002	32910
130	152	41,5	1981	22	157	5,6	503	48	4127	29002	33128
145	164	39,3	2086	19	169	5,1	493	44	4346	29002	33347
160	177	37,0	2192	17	182	4,6	482	39	4566	29002	33567
175	190	34,6	2298	15	194	4,2	472	35	4787	29002	33788
190	203	32,0	2404	13	207	3,8	462	30	5009	29002	34010
205	216	29,3	2511	11	219	3,5	452	26	5232	29002	34234
220	229	26,4	2619	9	232	3,2	442	21	5457	29002	34458
235	242	23,2	2728	7	245	2,9	432	17	5684	29002	34685
Lv	EE [mm]	EA [mm]	ER1 [mm]	ER2 [mm]	Am [kW]	Ad [kW]	Al [kW]	Aa [kW]			
100	-3,9	3,1	10,6	3,5	138	106	2,7	28,4			
115	-4,4	3,3	11,2	3,5	136	105	2,7	28,4			
130	-4,9	3,5	11,8	3,4	135	104	2,7	28,4			
145	-5,5	3,7	12,5	3,2	134	103	2,8	28,4			
160	-6,1	3,9	13,1	3,1	132	101	2,8	28,4			
175	-6,7	4,1	13,7	2,9	130	99	2,8	28,4			
190	-7,4	4,3	14,4	2,7	128	97	2,8	28,4			
205	-8,1	4,5	15,0	2,5	126	95	2,8	28,4			
220	-8,8	4,7	15,6	2,2	124	92	2,8	28,4			
235	-9,5	4,8	16,3	1,9	120	89	2,9	28,4			

Viðauki 14 Sambyggð rafknúin djúpdæla



Viðauki 15 Sambyggð vökvaknúin djúpdæla



- PRESSURE TAPPINGS
- FLOW METER
- NON RETURN VALVE
- FLOW CONTROL VALVE (MANUAL)

Viðauki 16 Mæliblað fyrir borholueftirlit.

91 - 08 - 18		RENNSLISMÆLINGAR BOLHOLT						Dags. Eftirl.							
BORHOLA		PRESS. ÞRYST.	SAFN. ÞRYST.	RENNSLISMÆL		AFL	GANG TÍMI	MIS- MUNUR	'A STÝR.	MÆLISTADA					
Heiti	Kl.	°C	bar	bar	Magn m ³	Tími sek	Rennslí l/s	V	A	JÁ	NEI	Aflestur m ³ fyrri aflestur	Samtals m ³	Útr. rennslí	ATH.
R5															
R9															
R10															
R11															
R15															
R17															
R19															
R20															
R21															
R34															
R35															
R38															
B-STÖÐ															

SAMTALS FRÁ HOLUM Σ [l/s] = [l/h] SAMTALS FRÁ HOLUM (MAGN) m³ = [m³]
 % FRÁVIK = $\frac{[\text{HOLUR [l/h]} - \text{STÖÐ [l/h]}]}{[\text{HOLUR [l/h]}]} \times 100\% = \dots\dots\dots$ [%] % FRÁVIK = $\frac{[\text{HOLUR [m}^3\text{]} - \text{STÖÐ [m}^3\text{]}]}{[\text{HOLUR [m}^3\text{]}]} \times 100\% = \dots\dots\dots$ [%]
 HOLUR [l/h] HOLUR [m³]