

ORKUSTOFNUN

Hrefna Kristmannsdóttir

Guðni Axelsson

Sverrir Þórhallsson

4. kafli

Jarðhitarannsóknir

Efnisyfirlit

	Bls.
4. Jarðhitarannsóknir	4.1.1
4.1 Inngangur	4.1.1
4.2 Jarðhitaleit	4.2.1
4.3 Forrannsóknir á virkjunarsvæðum	4.3.1
4.4 Boranir	4.4.1
4.5 Mat á vinnslugetu og vinnslueiginleikum	4.5.1
4.5.1 Vinnslugeta	4.5.1
4.5.2 Vinnslueiginleikar hitaveituvatns	4.5.3
4.5.3 Neysluhæfni hitaveituvatns	4.5.3
4.5.4 Tæring í lagnakerfi	4.5.3
4.5.5 Útfellingahætta	4.5.4
4.6 Vinnslurannsóknir	
4.6.1 Vinnslueftirlit	4.6.1
4.6.2 Gagnavarsla og skráning	4.6.2
4.6.3 Sjálfvirkt skráningarkerfi	4.6.2
4.6.4 Hermireikningar	4.6.4
4.6.5 Niðurdæling	4.6.5
4.6.6 Efnæftirlit	4.6.7
4.7 Umhverfisáhrif jarðhitavinnslu	4.7.1
4.8 Heimildarit	4.8.1
4.9 Viðauki 1: Tillögur að þáttum í umhverfismati fyrir jarðhitavirkjanir	4.9.1
4.10 Viðauki 2: Dæmi um kostnaðaráætlun fyrir borun jarðhitaholna	4.10.1

Töfluskrá

Tafla Bls.

4.1	Helstu rannsóknir við jarðhitaleit	4.2.2
4.2	Dæmigerð samsetning lághitavatns	4.3.2
4.3	Dæmi um samsetningu háhitavatns	4.3.2
4.4	Rannsóknir og mælingar samhliða borunum	
4.5	Gerðir hitaveituvatns, flokkað eftir vinnslueiginleikum	4.5.3
4.6	Helstu gerðir útfellinga við jarðhitanytingu á Íslandi	4.5.4
4.7	Mælistærðir, sem æskilegt er að mæla á lághitasvæðum í vinnslu	4.6.3

Myndaskrá

Mynd Bls.

4.1	Einfalt líkan af jarðhitakerfi	4.1.2
4.2	Jarðhitakort af Íslandi	4.1.3
4.3	Jarðfræðikort af Íslandi – tengsl jarðhita við bergmyndanir	4.1.5
4.4	Þrjár mismunandi gerðir lághitaholna	
4.5	Tímaáætlun fyrir borun lághitaholna sbr. mynd 4.4	
4.6	Vinnsluferlar frá þremur misgjöfum lághitaborholum	4.5.2
4.7	Þrýstibreyting í jarðhitasvæði við niðurdráttarprófun	4.5.2
4.8	Uppbygging safnstöðvar til sjálfvirkra söfnunar á vinnslugögnum	4.6.3
4.9	Vatnsborðsspá fyrir vinnsluholu Hitaveitu Rangæinga	4.6.4
4.10	Reiknuð kólnun í efri hluta Botnssvæðisins eftir tíu ára vinnslu	4.6.5
4.11	Breytingar á heildarrensli og meðalvermi á Nesjavöllum	4.6.6
4.12	Tengsl niðurdælingarholu við vinnsluholu um sprungubelti	4.6.6
4.13	Reiknuð kólnun vatns úr vinnsluholu við tvö tilfelli niðurdælingar	4.6.7
4.14	Aukning seltu með tíma í vinnsluvatni Hitaveitu Seltjarnarness	4.6.8

4 Jarðhitarannsóknir

4.1 Inngangur

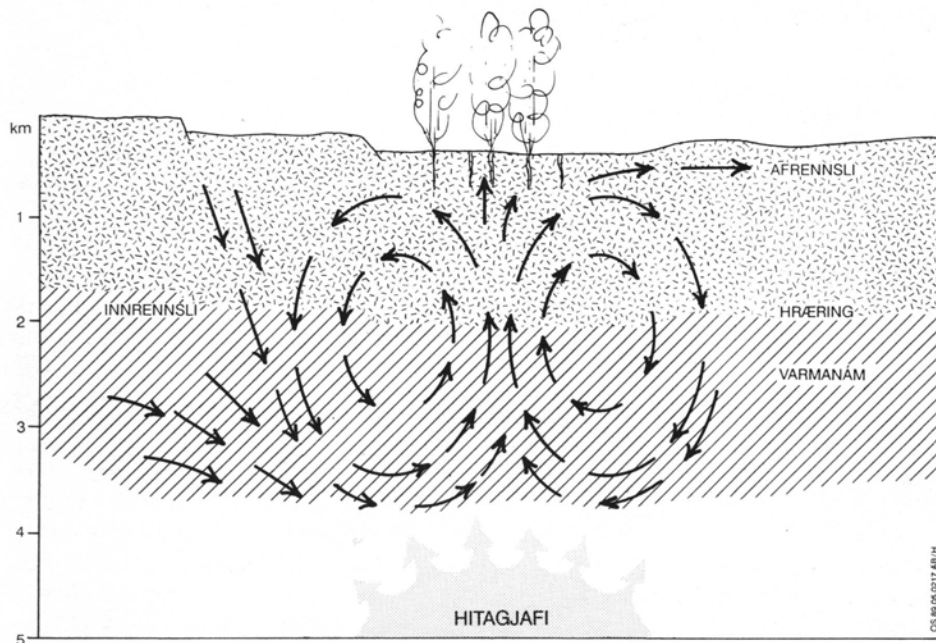
Þessum kafla um jarðhitarannsóknir er ætlað að gefa núverandi og væntanlegum rekstraraðilum hitaveitna stutt yfirlit yfir nauðsynlega þætti í rannsóknum á jarðhita. Þar sem hér er um handbók að ræða er ekki gerð tilraun til að fjalla í smáatriðum um einstaka þætti. Upplýsingar eru settar fram á samþjöppuðu formi og vitnað í ítarlegri rit um einstök atriði. Á árinu 1990 var gefin út viðamikil skýrsla um jarðhitarannsóknir á vegum SÍH og Orkustofnunar (Axel Björnsson, 1990), þar sem fræðilegum þætti jarðhitarannsókna eru gerð ágæt skil og mun ítarlegar fjallað um ýmsar rannsóknaraðferðir en hér er gert, einkanlega varðandi jarðhitaleit.

Jarðhiti er um 45% af orkunotkun Íslendinga og fer langmestur hluti þeirrar orku til húshitunar. Þótt um 86% íslensku þjóðarinnar búi við jarðvarmahitaveitur er enn þörf á jarðhitarannsóknum. Þáttur jarðhitaleitar í jarðhitarannsóknum hefur minnkað á undanförunum árum, þar sem búið er að virkja stóran hluta þeirra jarðhitasvæða nálægt þéttbýli sem auðvelt er að virkja. Þó eru enn staðir á landinu þar sem mjög líklega má finna jarðhita með aukinni tækni og þekkingu. Notkun jarðhita á hitaveitusvæðunum mun væntanlega aukast með fólksfjölgun og aukinni notkun jarðhita til snjóbræðslu, ræktunar og í iðnaði. Á jarðhitasvæðum í nýtingu þarf að endurnýja borholur með tímanum af ýmsum ástæðum. Einnig eðyist orka jarðhitasvæðanna og vinnslugeta þeirra minnkar. Þá þarf að koma til frekari orkuöflun. Jarðhitarannsóknir á landinu tengjast nú einkum vinnslu og forðafræði og munu þær rannsóknir væntanlega aukast á næstu árum og áratugum.

Jarðhita er víða að finna á Íslandi (mynd 4.2). Til að jarðhitakerfi verði til þarf einkum þrennt að vera til staðar: varmagjafi, vatn og vel sprungið berg. Á Íslandi er hár hitastigull í jarðhskorpunni og víða mjög grunnt niður á heitt innskotsberg eða jafnvel bráðið. Þar sem bergið er uppbrotið vegna sprunguhreyfinga nær vatn að renna niður í berggrunninn og hitna. Heita vatnið stígur síðan upp um sprungur í berggrunninum og hluti þess kemur upp sem hverir og laugar. Þannig myndast staðbundin hringrásarkerfi /mynd 4.1) sem nema varma úr neðri hluta jarðskorpunnar og slytja hann ofar í jarðskorpuna. Þessi hringrásarkerfi eru nefnd jarðhitakeri (Axel Björnsson o.fl., 1990).

Íslensku jarðhitasvæðunum er venjulega skipt í háhitasvæði og lághitasvæði. Háhitasvæðin eru öll innan virku gosbeltanna og nátengd eldstöðvakerfum (mynd 4.3), en lághitasvæðin eru flest utan þeirra í eldri jarðmyndunum. Hitastig háhitasvæðanna er, samkvæmt skilgreiningu, meira en 200°C á 1 km dýpi, en lághitasvæðanna minna en 150°C á sama dýpi.

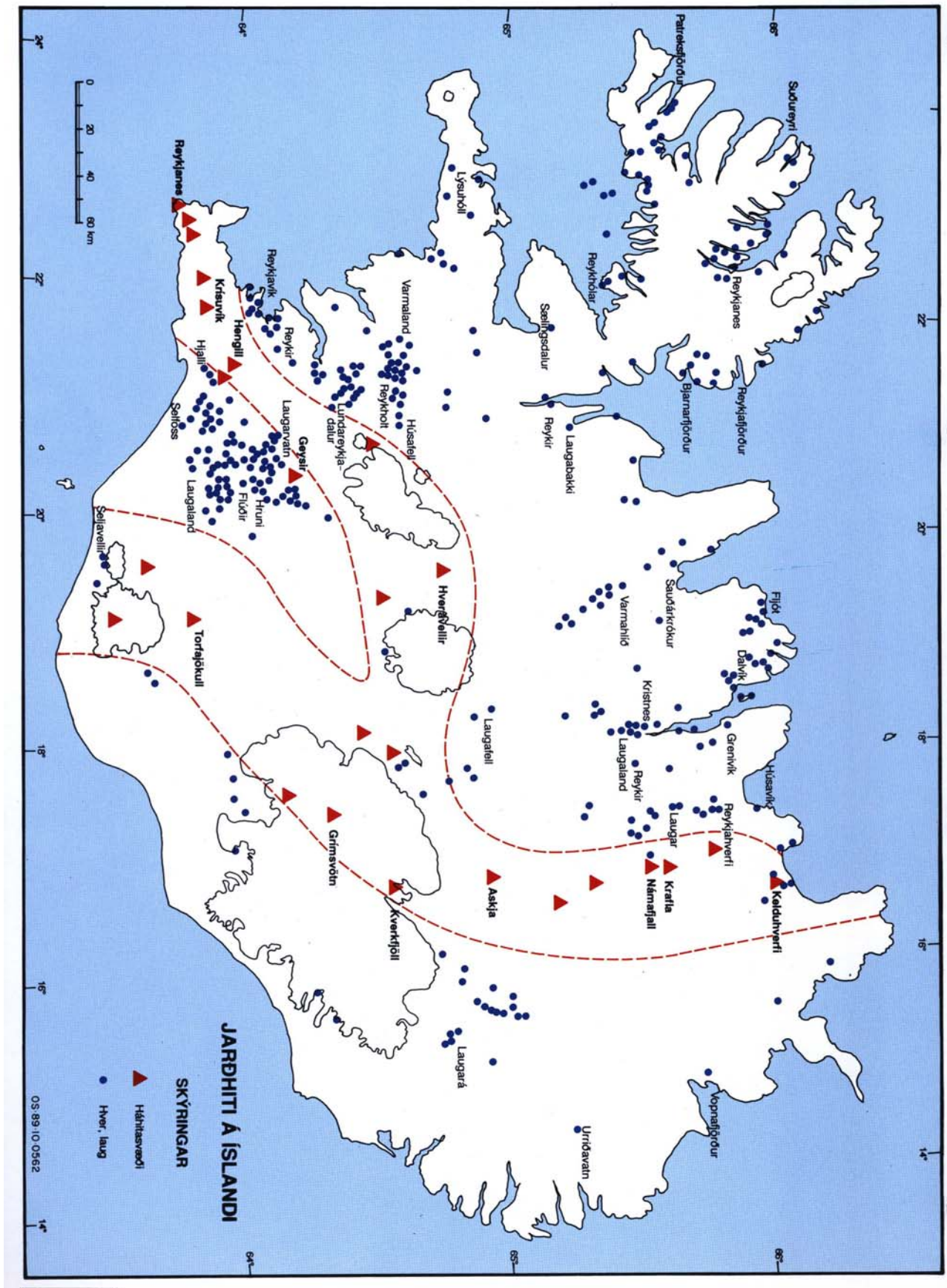
Það eru einkum lághitasvæðin, sem nýtt eru af hitaveitum, bæði vegna nálægðar þeirra við byggð og þar sem ekki er unnt að nota vatn háhitasvæðanna beint til hitunar vegna hættu á útfellingum og tæringu tækja og lagna. Háhitasvæði innihalda mun meiri orku en lághitasvæðin, en séu þau nýtt til reksturs á hitaveitu þarf að byggja varmaskiptastöðvar og hita upp kalt vatn og margfaldast því kostnaður og tæknileg vandamál, sem leysa þarf við framkvæmdina. Nýting háhitasvæða fyrir hitaveitur hefur þó aukist og þar er hagkvæmt að samtengja raforkuframleiðslu hitaveiturekstri.



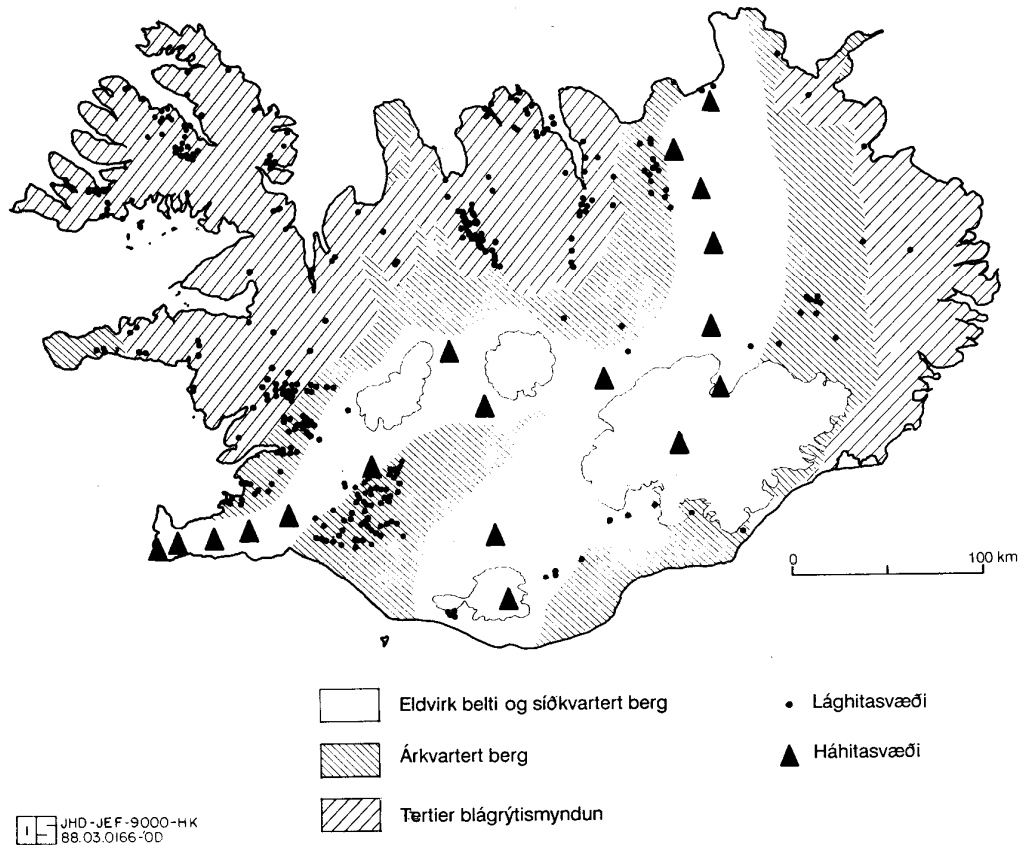
Mynd 4.1 Einfalt líkan af jarðhitakerfi sem sýnir hvernig varmanám á sér stað í jarðskorpunni, þar sem saman fer hár hitastigull og sprungið og vatnsleiðandi berg.

Markmið hagnýtra jarðhitarannsókna er að nýta þessa mikilvægu auðlind á sem hagkvæmastan hátt fyrir þjóðarbúið. Óhætt er að fullyrða að kostnaður við rannsóknir á jarðhita hafi skilað sér með vöxtum. Má benda á að árlegur sparnaður neytenda af notkun jarðvarma til húshitunar í stað olíu eða raforku er um 7 milljarðar. Við byggingu hitaveitna er orkuöflunin oft einn dýrasti þáttur framkvæmdarinnar og jafnframt sá áhættusamasti og því mikilvægt að staðið sé rétt að henni. Þegar búið er að bora og afla vatns þarf að hanna mannvirki í samræmi við niðurstöður vinnsluprófana og finna þá tilhögun vinnslu, sem tryggir besta nýtingu á auðlindinni. Í eftirfarandi köflum er umfjöllun um jarðhitarannsóknir skipt upp í fimm meginþætti: jarðhitaleit, forrannsóknir á virkjunarstöðum, boranir, mat á vinnslugetu og vinnslueiginleikum og vinnslurannsóknir. Að lokum er fjallað stuttlega um umhverfisáhrif jarðhitavinnslu.

Umfjöllunin verður að mestu miðuð við nýtingu lághitasvæða til upphitunar, en drepíð verður á sérstök vandamál samfara nýtingu hitaveitna á háhitasvæðum og það sem er frábrugðið í því ferli sem unnið er samkvæmt við rannsókn svæðanna.



Mynd 4.2 Jarðhitakort af Íslandi (Axel Björnsson o.fl., 1990)



Mynd 4.3 Jarðfræðikort af Íslandi sem sýnir í grófum dráttum tengsl jarðhita við bergmyndanir. Öll háhitavæðin liggja í gosbeltunum um miðbik landsins. Lághitasvæðin eru í eldri jarðmyndunum, en þau öflugustu liggja flest við jaðra gosbeltanna á Suðvesturlandi og í Þingeyjarsýslum. Vegna mismunandi virkni jarðskorpunnar er mun minna um jarðhita austan gosbeltanna en vestan þeirra.

4.2 Jarðhitaleit

Jarðhitaleit er hér skilgreind sem yfirlitsrannsókn á stóru landsvæði eða landshluta, er miðar að því að finna og afmarka jarðhitasvæði og vænlega virkjunarstaði innan hvers svæðis. Hér á eftir er gefið yfirlit yfir þær aðferðir sem beitt er við yfirlitsrannsóknir á stórum landssvæðum. Mörkin milli jarðhitaleitar og forrannsókna á einstökum virkjunarstöðum eru ekki ávallt skörp og stundum er unnið að báðum þáttum samhliða. Einnig er að miklu leyti um sömu eða svipaðar rannsóknaraðferðir að ræða, en á einstökum virkjunarstöðum eru rannsóknirnar auðvitað ítarlegri. Í skýrslu Axels Björnssonar (1990) er aðferðum við jarðhitaleit og forrannsóknir á jarðhitasvæðum lýst mjög ítarlega og vísast til hennar um nánari upplýsingar. Í töflu 4.1 er listi yfir helstu rannsóknaraðferðir við jarðhitaleit, hvaða upplýsingar þær gefa, mannaflapörf hverrar aðferðar og metin er gróflega stærðargráða kostnaðar. Einungis er um mjög gróft mat að ræða sem miðast við að unnt sé að áætla lágmarksumgang rannsókna. Til að áætla líklegan kostnað þarf að margfalda kostnaðartölu hvers flokks með 2-6 eftir umfangi. Einnig er tekið fram hvort aðferðin gagnast vest á lágghita- eða háhitasvæðum.

Þegar jarðhiti sést á yfirborði er yfirleitt byrjað á að kortleggja hann og tengsl hans við jarðfræði svæðisins. Hitastig lauga og hvera ermælt og oft er gert kort af hita jarðvegs í ákveðnu punktaneti yfir svæðið. Síðan er gert nákvæmt jarðfræðikort af svæðinu, gerðar jarðeðlisfræðilegar mælingar, boraðar hitastigulsholur og tekin sýni til efnagreininga af jarðhitavatni eða af gasi og gufu, ef um háhitasvæði er að ræða. Jarðfræðikortið sýnir, auk jarðhitastaðanna, jarðlög, brot, sprungur og bergbyggingu svæðis. Kortið er einnig nauðsynleg forsenda til túlkunar jarðeðlisfræðilegra mælinga. Þær mælingar gefa upplýsingar um gerð svæða á meira dýpi. Margar aðferðanna byggja á því að mæla rafleiðni berglaga, en hún er háð vatnsleiðni, hitastigi og efnainnihaldi vatnsins í jarðlögum. Þannig má afmark svæði þar sem líklegt er að heitt vatnsleiðandi berg sé að finna. Aðrar aðferðir byggja á mismunandi segulmögnum bergsins, hljóðhraða, þéttleika eða massa.

Efnarannsóknir á jarðhitavökvanum gefa upplýsingar um líklegt hitastig djúpt í jarðhitakerfinu þar sem jarðhitavatnið nær efnajafnvægi við hærri hita í berggrunninum. Því má nota styrk og hlutföll ýmissa efna í jarðhitavatninu til að áætla hitastig í jarðhitakerfinu, þ.e. sem efnahitamæla. Einnig eru til samsvarandi gashitamælar, sem nota má til að áætla hitastig djúpt í jörðu á háhitasvæðunum. Með efnarannsóknum má einnig segja til um uppruna vatnsins, tengsl mismunandi vatnskerfa og blöndun, auk fyrstu upplýsinga um vinnslueiginleika.

Sjáist ekki ummerki jarðhita á yfirborði geta viðnámsmælingar gefið vísbendingu um hvort þar sé jarðhiti. Einkum eru notaðar Schlumberger og TEM mælingar í þessu skyni. Hitastigulsboranir eru einnig notaðar til að leita að jarðhita þar sem ekki eru yfirborðsummerki og þá í tengslum við jarðfræðikortlagningu og viðnámsmælingar.

Talsvert er mismunandi eftir jarðfræðilegum aðstæðum á hverjum stað í hvaða röð rannsóknir eru framkvæmdar. Einnig eru rannsóknir við jarðhitaleit misdýrar og mannaflafrekar eins og fram kemur í töflunni. Miðast því framkvæmd rannsókna alloft við fjárhagslegt bolmagn og mat á líkum á árangri. Þessir þættir jarðhitarannsókna miða allir að því að afmarka jarðhitastaðina og legu uppstreymisrása, kortleggja rennslisleiðir og meta líklegt djúphitastig, uppruna vatnsins og hugsanlega blöndun vatnskerfa eða jarðhitavatns við kalt grunnvatn.

Ennfremur er miðað að því að gera frummat á vinnslueiginleikum jarðhitakerfisins og umhverfisáhrifum vinnslunnar.

Þætti jarðhitaleitar er yfirleitt talið ljúka þegar afmarkað hefur verið eitt eða fleiri líkleg virkjunarsvæði til nánari rannsóknar. Rannsóknir, sem teljast til jarðhitaleitar taka venjulega 1-3 ár, en tímalengd er mjög breytileg eftir aðstæðum á hverjum stað.

Tafla 4.1 Helstu rannsóknaraðferðir við jarðhitaleit.

Aðferð	Upplýsingar sem aðferðin gefur	Einkum notuð á	Mannaflapörf	Kostnaðarflokkur
Jarðhitakortlagning	Uppstreymi jarðhitavats, lega uppstreymisrása, afmörkun á stærð svæðis, magn vatns og hiti við yfirborð. Annaðhvort kortlagning volgra og lauga, eða mælt í neti (með ákveðnu millibili). Tengsl við jarðfræði.	Háhitasvæðum lághitasvæðum	1-2	1-2
Jarðfræðikortlagning	Halli og stefna líklegra vatnsleiðara. Ásamt öðrum upplýsingum grundvöllur allra rannsókna á jarðhita.	Háhitasvæðum lághitasvæðum	1	1-2
Efnafræði Sýnataka og greiningar á vatni, gasi og gufu.	Mat á djúphitastigi, kortlagning á uppstreymisrásum og rennslisleiðum, afmörkun og sundurgreining vatnskerfa, uppruni vatns og blöndun, frummat á vinnslueiginleikum og umhverfisáhrifum.	Háhitasvæðum lághitasvæðum	1-2	2
Hitastigulsboranir	Aðaluppstreymisrásir, stærð svæðis.	Lághitasvæðum	2+bor	2-3
Viðnámssniðsmælingar	Lóðrétt eða nærri lóðrétt viðnámsskil, svo sem vatnsleiðandi gangar og sprungur.	Lághitasvæðum háhitasvæðum	5-6	3
Schlumbergermælingar	Breytingar í eðlisviðnámi með dýpi. Kortlagning svæða með útbreiddum jarðhita.	Háhitasvæðum lághitasvæðum	4	3
TEM-mælingar	Breytingar í eðlisviðnámi með dýpi. Hefur meiri upplausn en Schlumbergermælingar en viðkvæmari fyrir truflunum frá mannvirkjum.	Háhitasvæðum lághitasvæðum	2	2
Segulmælingar á jörðu	Lega bergganga og misgengja.	Lághitasvæðum	2	1
Sjálfsþennumælingar	Streymi vatns í jörðu	Háhitasvæðum lághitasvæðum	1-2	1
Bylgjubrotsmælingar	Jarðlagaskipan, hljóðhraði og þéttleiki jarðlaga. Einkum notaðar við undirbúning mannvirkja.	Háhitasvæðum lághitasvæðum	2-4	2
Smáskjálftamælingar	Dreifing smárra jarðskjálfta í tíma og rúmi.	Háhitasvæðum	2-4	4
Endurkastsmælingar	Nákvæm kortlagning jarðlaga og misgengja. Aðalrannsóknaraðferð í olfuleit.	Olfusvæðum	5-15	5
Flugsegulmælingar	Segulmagnun jarðlaga nærri yfirborði. Útbreiðsla ummyndunar.	Háhitasvæðum	2+flugvél	4

Kostnaðarflokkur 1 tilvarar lágmarkskostnaði um 100 þ kr, flokkur 2 um 500 þ kr, flokkur 3 um 1000 þ kr, flokkur 4 um 2000 þ kr og flokkur 4 um 4000 þ kr. Tekið skal fram að aðeins er um mjög grófa flokkun að ræða og má alls ekki nota tölurnar við gerð kostnaðaráætlunar fyrir rannsóknarverk.

4.3 Forrannsóknir á virkjunarsvæðum

Forrannsóknnum á hugsanlegum virkjunarsvæðum er ætlað að svara því hvert af svæðunum sé líklegast til að nýtast til fyrirhugaðrar vinnslu og að skýra nánar eðli jarðhitasvæðanna. Þessum þætti er oftast talið ljúka þegar staðsett hefur verið fyrsta tilraunavinnsluholan. Við forrannsóknir á jarðhitasvæðum eru notaðar margar af aðferðunum, sem taldar eru upp í töflu 4.1, en áherslur eru nokkuð aðrar þar sem nú er verið að skoða mun nákvæmari byggingu og jarðlagaskipan svæðanna.

Nákvæm jarðfræðikortlagning og mælingar á hitastigi í jarðvegi eru oftast gerðar á þessu stigi. TEM mælingar, viðnámssniðsmælingar og segulmælingar eru algengar við rannsókn lághitasvæðanna. Á háhitasvæðunum koma einnig til smáskjálftamælingar og flugsegulmælingar hafi þær ekki þegar farið fram.

Í þessum áfanga jarðhitarannsóknna eru gjarnan boraðar grunnar hitastigulsholur og jafnvel dýpri rannsóknarholur, sé svæðið talið vænlegt. Borkostnaður hefur farið lækkandi á undanförunum tíu árum, einkum á grunnum rannsóknarholum. Þess vegna er mun meira borað af slíkum holum en áður var. Hefur það opnað nýja möguleika við afmörkun uppstreymisrása á jarðhitasvæðum og gert mögulegt að virkja jarðhita á svæðum þar sem engin ummerki voru um jarðhita á yfirborði.

Efnarannsóknir koma inn sem þáttur í jarðhitaleit þar sem unnt er að safna sýnum úr náttúrulegu rennsli og eru yfirleitt mikilvægur þáttur í forrannsókn virkjunarsvæða. Jarðhitavatn á Íslandi er í flestum tilvikum að stofni til úrkomuvatn. Vatn lághitasvæðanna hefur yfirleitt lágan styrk uppleystra steinefna og gasa, venjulega 20-400 mg/l, (tafla 4.2), en styrkurinn eykst með auknum hita berggrunns. Vatn háhitasvæða er miklu steinefnaríkara en vatn lághitasvæða, eins og sjá má í töflu 4.3. Allt íslenskt jarðhitavatn er mettað af kalki og í jafnvægi við kísilsteindir, nokkur alkalí-, járn- og álsíliköt, kalsíum karbónat og málmsúlfíð og –oxíð (Arnórsson o.fl., 1983) við það hitastig, sem er í jarðhitakerfinu. Kísilstyrkur vatnsins hækkar með hita eins og reyndar styrkur flestra efna nema karbónats og magnesíums, sem lækkar með hita. Einnig eru í vatninu uppleystar gastegundir eins og t.d. brennisteinsvetni, en súrefni eyðist úr vatninu við upphitun. Sýrustig (pH) lághitavatns er venjulega á bilinu 9-10, en lægra í háhitavatni vegna hærri styrks súrra gasa. Súrefni og brennisteinsvetni geta ekki verið bæði til staðar í vatni þar sem brennisteinsvetnið eyðir súrefninu. Innihald þessara efna skiptir verulega máli fyrir vinnslueiginleika vatnsins, eins og vikið verður nánar að síðar.

Nánar verður fjallað um boranir og rannsóknir tengdar þeim í næsta kafla, en á flestum stigum jarðhitarannsóknna koma boranir inn í einhverjum mæli. Umfangsmestu og dýrustu boranirnar fara fram eftir að búið er að afmarka vinnslusvæði og sýna fram á með ódýrari óbeinum rannsóknnum að það sé líklegt til að standa undir áætlaðri vinnslu. Þeim rannsóknnum lýkur venjulega með því að staðsett er tilraunavinnsluhola, eða djúp rannsóknarhola, sem síðar má nýta sem vinnsluholu. Í lok þessa verkþáttar er yfirleitt búið að gera nokkuð heildstætt líkan af jarðhitakerfinu, en fremur lítið vitað um forðafræðilega eiginleika þess.

Tafla 4.2 Dæmigerð efnasamsetning lághitavatns.

Staður	Ferskvatn					Saltmengað jarðhitavatn			Salt jarðhitavatn
	H-Rey G-5	H-Gnúp h-1	H-Ak LJ-5	H-Ól h-4	H-Reykh h-5	H-Selt h-6	H-S.Skeið h-2	H-Hrís h-10	Staður Reykjanes STG-2
Númer	820070	820097	890061	880182	910174	880004	870191	880020	880049
Hitast.°C	130	67	93	60	112	117	75	79	71
pH/°C	9.3/23	9.9/22	9.8/23	10.1/20	9.7/23	8.4/22	9.7/21	9.6/22	7.3/22
Kísill (SiO ₂)	146.2	70.8	98.2	71.7	126	122.9	69.0	69.2	69.0
Natríum (Na)	62.2	54.8	53.0	35.1	61	597	344	224	11041
Kalíum (K)	2.9	0.8	1.2	0.5	2.0	14.0	4.7	4.4	399
Kalsíum (Ca)	3.1	2.3	3.0	2.4	3.1	522.9	35.6	56.9	1915
Magnesíum (Mg)	0.007	0.012	0.003	0.007	0.003	0.380	0.001	0.007	109.2
Heildar karbónat (CO ₂)	20	15	21	13	18	9.8	6.4	6.0	40
Súlfít (SO ₄)	28.6	39.4	40.8	5.4	28.9	304.4	117.5	47.8	1534
Brennist.vetni (H ₂ S)	0.22	0	0.07	<0.03	0.21	0.10	0	0	0
Klóríð (Cl)	46.3	24.9	13.5	7.9	28.9	1617	501.4	388.8	19950
Flúoríð (F)	1.13	1.52	0.364	0.150	0.47	0.667	1.29	0.279	0.039
Heildarstyrkur upp.efna (TDS)	331	239	256	183	288	3484	1113	804	36690
Járn (Fe)	<0025	-	<0.025	<0.025	<0.025	0.025	<0.025	<0.025	1.1
Mangan (Mn)	-	-	-	-	<0.005	-	0	-	1.8
Súrefni (O ₂)	0	<0.005	0	0.200	0	0	0.020	0.005	-
Ál (Al)	-	-	0.132	-	0.141	0.025	-	-	-

Tafla 4.3 Dæmi um efnasamsetningu háhitavats.

Jarðhitasvæði	Námafjall BJ-12		Krafla KJ-7		Svartsengi SG-6		Reykjanes Rn-9		Hveragerði NLF-2	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Dags.	830525		771029		810220		831024		820618	
Vermi H ₂ kJ/kg	2248		1973		1029		1317		850	
Kísill (SiO ₂)	162	619	313	787	437	504	587	812	242	254
Natríum (Na)	35	135	83	209	6478	7468	9079	12564	149	156
Kalíum (K)	5.0	19.0	14.2	35.8	935	1078	1388	1920	11.4	11.9
Kalsíum (Ca)	0.1	0.4	1.4	3.5	938	1082	1526	2112	1.7	1.8
Magnesíum (Mg)	0.0	0.01	0.01	0.13	0.57	0.66	0.93	1.28	0.0	0.003
Heildar karbonat (CO ₂)	815	22.2	48597	255	662	16.5	1523	14.2	448	71
Súlfít (SO ₄)	1.7	6.5	55.5	139	28.1	32.4	16.2	22.4	39.4	41.2
Brennist.vetni (H ₂ S)	975	108	478	9.4	6.2	0.3	48	1.0	46	20
Vetni (H ₂)	62	0.02	40	0.01	0.0	0.0	0.10		0.3	0.0
Klóríð (Cl)	9	34	38	95	13925	16052	17749	24558	126	132
Flúoríð (F)	0.19	0.73	0.31	0.78	0.19	0.22	0.15	0.21	1.62	1.69
Heildarst. uppl.efna (TDS)	229	862	489	1229	21404	24675	30927	42797	701	734
Járn (Fe)	<0.025	<0.025	0.01	0.02	0.13	0.15	0.7	0.9	<0.025	<0.025
Ál (Al)	0.4	1.47	0.5	1.23	0.50	0.62	0.80	1.2	0.50	0.51
Metan (CH ₄)	1.38	0.0	42	0.01	0.09	0.0	0.05		0.33	0.0
Köfnunarefni (N ₂)	12.3	0.0	0.0	0.0	2.8	0.01	3.9		11.5	0.02
Söfnunarþrýst. P _g bars	19.2		12.4		14		43		7.1	

a: heildarflæði

b: vatn söðið við 180°C

4.4 BORANIR

4.4.1 Borholuskrá

Jarðboranir hófust á Íslandi upp úr aldamótum og eru nú (í mars 1994) 5770 borverk á borholuskrá Orkustofnunar (Þorgils Jónasson, 1989 og munnl. uppl.). Borholur sem tengjast jarðhitanýtingu og jarðhitarannsóknnum eru 907 á lághitasvæðunum, 918 fyrir hitastigul og 157 á háhitasvæðum. Fjöldi virkjaðra holna er aðeins 123 hjá hitaveitum í opinberri eigu. Auk þess eru um 100 starfandi hitaveitur á Íslandi sem flestar nýta aðeins eina holu. Í borholuskrá Orkustofnunar er að finna frumupplýsingar um nafn borholu, hvenær holan var boruð, verkkaupa, bortæki, staðsetningu holu, tilgang borunar og dýpi. Í borskýrslum Jarðborana hf. (verktaka) er lýst gangi borverksins á hverjum degi og í skýrslum eða greinargerðum Orkustofnunar (ráðgjafa) eru birtar upplýsingar um mælingar og niðurstöður.

Tafla 4.4.1 Fjöldi vinnsluholna hjá opinberum hitaveitum (1994).

Reykjavík	56
Seltjarnarnes	4
Suðurnes	6
Akranes og Borg.	2
Suðureyri	2
Hvammstangi	2
Blönduós	3
Sauðárkrókur	4
Varmahlíð	2
Siglufjörður	3
Ólafsfjörður	3
Dalvík	2
Hrísey	2
Akureyri	8
Húsavík	1
Reykjahlíð	1
Egilsstaðir	3
Rangæingar	2
Brautarholt	1
Flúðir	3
Hveragerði	7
Selfoss	4
Þorlákshöfn	2
Samtals	123

4.4.2 Bortæki

Íslendingar hafa frá upphafi annast sjálfir allar jarðhitaboranir og haft til þess góð tæki og mannskap. Bortækin og tæknin eru að langstærstum hluta aðlöguð frá olú- og ferskvatnsborunum. Í töflu 4.4.2 eru teknar saman kennistærðir fyrir þá jarðbora sem eru nú til taks á Íslandi og kemur þar fram hve mikill munur er í stærð og getu þeirra.

4.4.3 Hönnun borholna

Hönnun lághitaholna (vinnsluholna) hefur tekið litlum breytingum síðustu áratugi nema hvað varðar lengd fóðringa og vídd. Framan af þótti nóg að fóðra holurnar frá yfirborði niður á um 150 m dýpi, en þetta jókst í yfir 200 m á áttunda áratugnum og eru nú dæmi um 300-800 m fóðrunardýpi. Eftir því sem niðurdráttur eykst er þörf fyrir lengri fóðringar. Það hindrar einnig að súrefnisríkara kalt grunnvatn eða salt vatn frá sjó komist í holur.

Vinnsluholum má skipta í þrjá meginflokka eftir vídd og afkastagetu:

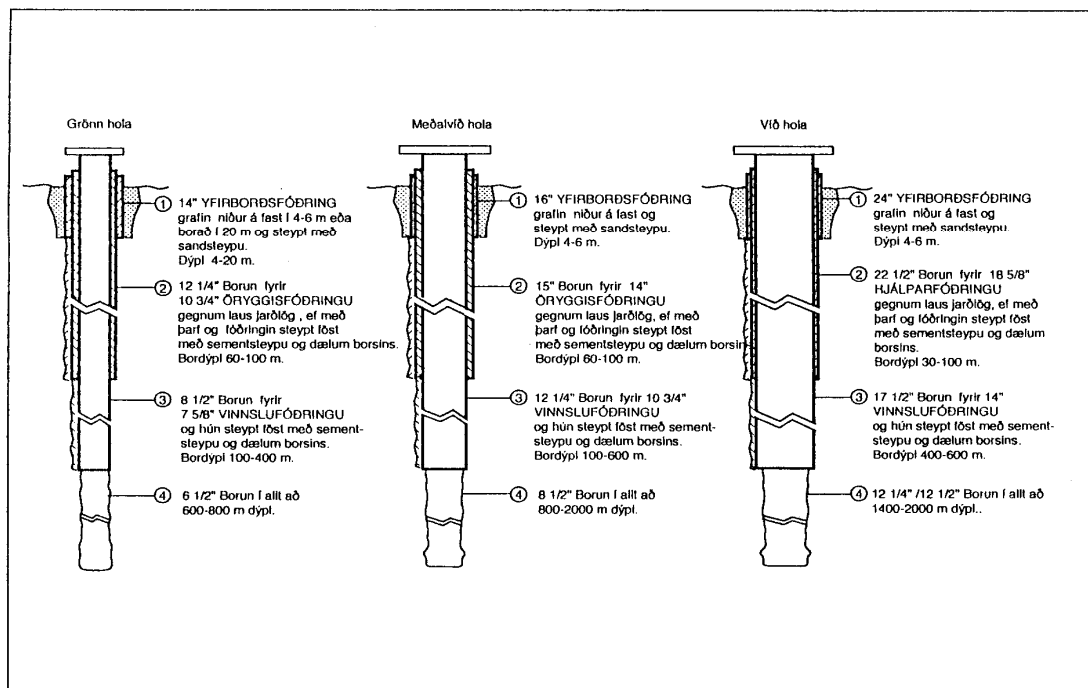
1. Grannar holur 6-7" í þvermál fyrir sveitabæi, afköst allt að 20 l/s.
2. Vinnsluholur fyrir hitaveitur 8-11" í þvermál, afköst allt að 50 l/s.

3. Víðar vinnsluholur 11-14" fyrir Hitav. Reykjavíkur, afköst allt að 120 l/s.

Tafla 4.4.2 Jarðhitaborar á Íslandi 1994 – yfirlit.

LÝSING	JÖTUNN	DOFRI	NARFI	GLAUMUR	AZI	ÝMIR
Framleið- andi	Gardner Denver	Oilwell	Failing	Wabco	Ingersoll Rand	Ingersoll Rand
Árgerð	1972	1957	1975	1970	1986	1988
Lyftigetá (tonn)	179	87	45	29	49	13
Hönnunardýpi	3657	1828	914	726	1000	500
Mesta dýpi	3084	2312	1830	1250	1430	600
Lágm. þverm. cm	21,6	21,6	20	20	16,5	15,9
Hám. þvermál	55,9	44,4	44,4	21,6	64,8	40,6
Menn á vakt	6	6	4	3-4	3-4	2-3
Flutningabílar	21	16	1-4	1-3	1-4	0-1

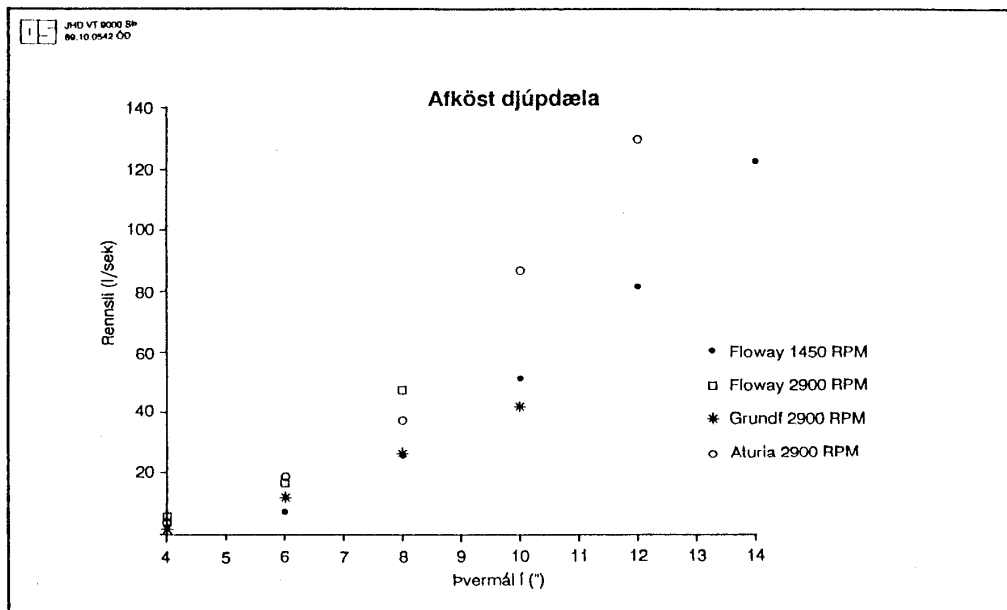
Mynd 4.4.1 Lághitaholur, þrjár megingerðir



Tillaga að þremur gerðum láthitaholna í samræmi við ofangreinda skiptingu er sýnd á mynd 4.4.1 (Sverrir Þórhallsson, 1989). Væri æskilegt að hitaveitur takmörkuðu val sitt við þessar gerðir því þá myndi efnisútleiðing og birgðavarsla á fóðringum (einungis þrjár víddir) og bortólum einfaldast. Stálfóðringarnar eru venjulega heildregin rör (St. 37.0 eða API H40) með suðuendum, en ekki sérvara fyrir olúboranir með skrúfuðum gengjum eins og notaðar eru í háhitaholur.

Vídd vinnslufóðringar takmarkar stærð (þvermál) djúpdælu sem hægt er að setja í holuna. Vegna mikillar lektar á jarðhitasvæðum er algengt að dælustærðin ráði afköstum holunnar. Þetta atriði hefur stundum valdið misskilningi því með

loftdælingu sem framkvæmd er af bormönnum í verklok fæst oft meira magn en hægt er síðan að dæla úr holunni. Þannig er e.t.v. búið að loftdæla 50-70 l/s úr holu þegar hún er prófuð fyrst með borinn á holunni, en síðan nást aðeins 45 l/s með 8" djúpdælu



Mynd 4.4.2 Hámarksafköst djúpdælna af mismunandi ytra þvermáli.

vegna þvermáls-takmarkana.

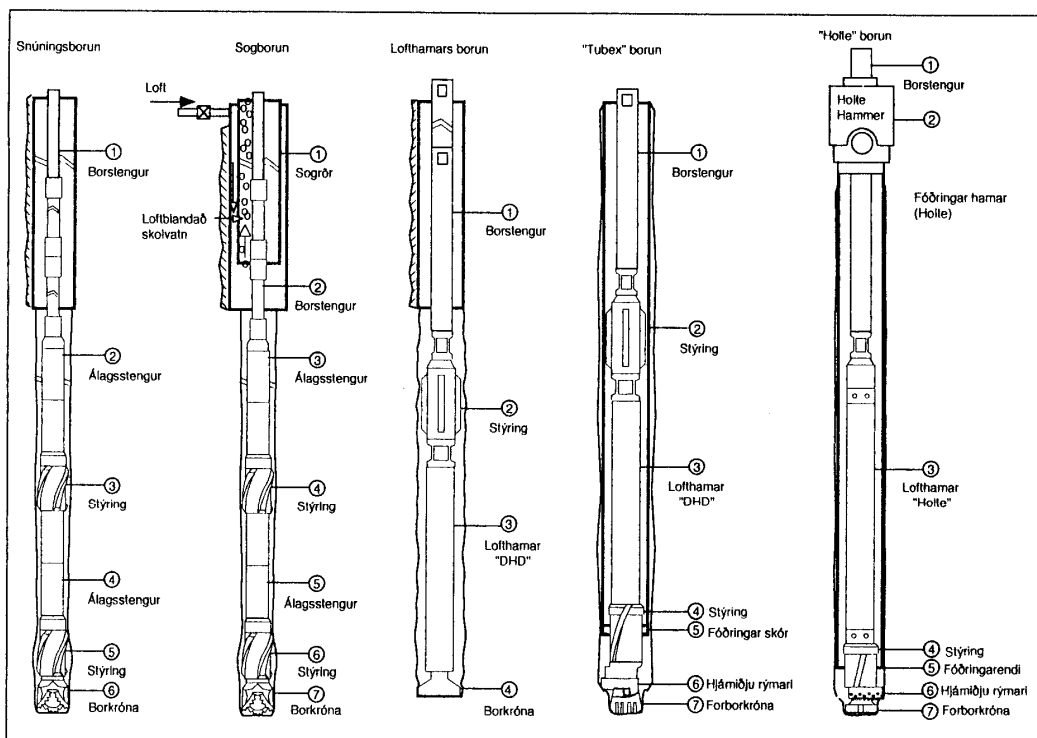
Mynd 4.4.2 Hámarksafköst djúpdælna af mismunandi ytra þvermáli.

Hámarksafköst djúpdælu af þeim gerðum sem notaðar eru hér á landi eru sýnd á mynd 4.4.2 fyrir mismunandi ytra þvermál dæluhúss. Þar kemur skýrt fram að þvermál djúpdæla takmarkar það magn sem unnt er að dæla úr holunni. Þetta er eitt helsta atriðið sem hafa verður í huga þegar gert er upp á milli holna af mismunandi víddum. Á vegum Sambands íslenskra hitaveitna var gerð könnun á djúpdælum í notkun hjá hitaveitum árið 1986 og kom þá í ljós að þrjú dæluþvermál voru algengust. Af samtals 123 dælum, voru 20 fyrir 6" holur, 52 fyrir 8" holur, 6 fyrir 10" holur og 22 fyrir 12" holur (Árni Gunnarsson, 1986).

4.4.4 Val bortækis

Stærð jarðbors og bordælna eru afgerandi um það hve víðar holur hægt er að bora og hve djúpt. Einnig þarf að velja þá boraðferð sem nota á í verkinu. Helstu aðferðir sem notaðar eru við jarðhitaborun á Íslandi í dag eru sýndar á mynd 4.4.3.

Lang algengasta boraðferðin er snúningsborun. Þá er krónunni snúið með 60-90 sn/mín og álag haft 6-18 tonn til að mylja bergið. Álagsstengur eru efnisþykkar borstengur sem hvíla á borkrónunni og þar við bætist þungi borstanganna og getur heildarþungi borstrengsins orðið 75 tonn í 2000 m holu. Hámarkskrókátak bora er mjög mismunandi og takmarkar það hve djúpt borinn kemst (sjá töflu 4.4.2).



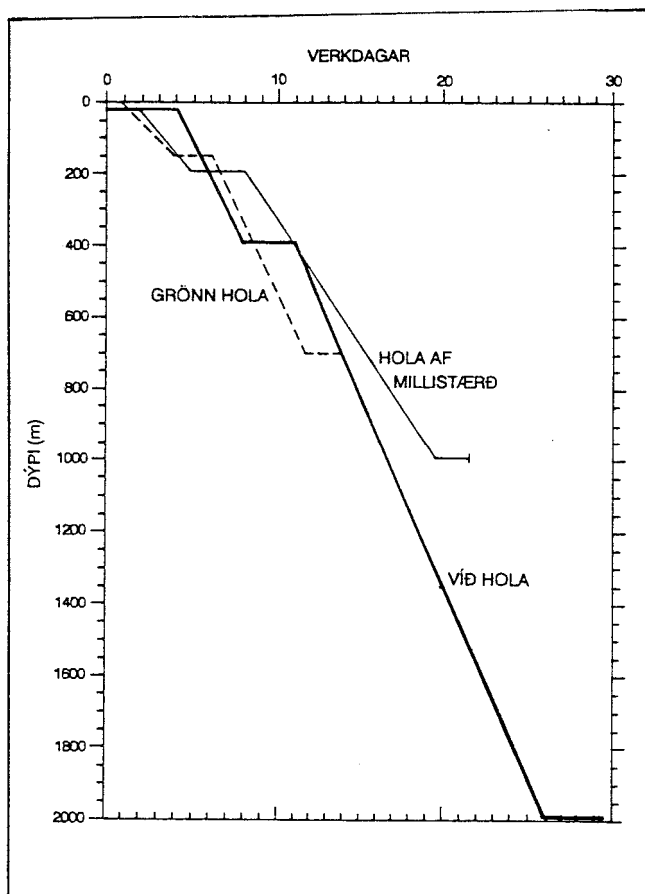
Mynd 4.4.3 Lághitaborun, meginboraðferðir.

Við borun þarf að skola svarfi upp úr holunni og ef vatn er notað má skolhraðinn helst ekki fara niður fyrir 1 m/s. Því þarf afkastamiklar stimpildætur til borunar á víðum holum og þrýstifall í stöngum getur orðið mikið (um 50 bar þegar 30-40 l/s er dælt). Með því að nota borleðju (5% af bentonit leir bætt í vatnið) eða með notkun lífrænna efna sem auka sigju vatnsins (nefnt borslím eða „polymer“) þarf ekki sama skolhraða, og er þessum ráðum stundum beitt í borun fyrir fóðringar, en óæskilegt er að nota þau við borun vinnsluhluta holunnar (Sverrir Þórhallsson, 1983) þar eð æðarnar geta stíflast.

Nokkuð algengt hefur verið að farið sé út fyrir það svið sem borar ráða við með góðu móti, einkum hvað dýpi varðar. Þá er álagsstöngum fækkað til að létta borstrenginn og dætur borsins ná ekki að halda nægri hringrás á skolvatninu. Borhraðinn snarfellur við þetta og hætta á festu eykst. Smá svarfkorn eru lýsandi um þetta ástand. Því er æskilegra að velja stærri bor til verksins, þó svo að daggjöldin séu hærri. Á mynd 4.4.4 er sýnd dæmigerð tímaáætlun yfir borun umræddra þriggja gerða borholna (sbr. mynd 4.4.1) þ.e. áætlun um verkdagafjölda og dýpi. Miðað er við borun með bortækjum fyrir viðeigandi stærð, áfallalaus borun og vinnu á vöktum allan sólarhringinn.

Við borun getur reynst nauðsynlegt að setja fóðringar af þrenns konar sverleika í holuna sem ganga þá hver innan í aðra (yfirborðsfóðring, öryggisfóðring og vinnslufóðring). Hvort setja þarf öryggisfóðringu eða ekki ræðst fyrst og fremst af því

hvort jarðlög sem borað er í gegnum eru hrungjörn. Þetta atriði er reynt að meta við gerð verklýsingar og hefur m.a. áhrif á hve víð holan þarf að vera í upphafi.



Mynd 4.4.4 Tímaáætlun fyrir borun lághitaholna samkv. mynd 4.4.1

4.4.5 Nýjungar í bortækni

Á heildina litið hefur bortækni litlum breytingum tekið í seinni tíð en nokkurra nýjunga verður þó getið hér á eftir. Aukning hefur orðið í notkun þrýstilofts við borun. Náðst hefur góður borhraði (allt að 30 m/klst) með notkun lofthamra sem eru hafðir ofan við borkrónuna og eru þeir nú til í stærðum upp í 17 ½" í þvermál. Flöt króna með karbíðoddum meitlar þá bergið með nokkur þúsund slögum á mínútu (mynd 4.4.3). Loftið sem knýr hamarinn er blandað sápu og flytur sápufroðan svarfið úr holunni. Árangur kemur strax í ljós því aukning verður í því vatni sem upp kemur þegar æð er skorin. Þessari aðferð hefur verið beitt í borun fyrir hitaveitur (Dalvík að 600 m, Hrísey að 330 m og Selfoss að 200 m, Árbær að 500 m). Þrýstigeita loftpressunnar takmarkar hve djúpt undir vatnsborð unnt er að bora með þessari aðferð. Borun gengur vel í klöpp og ummynduðum jarðlögum, en illa í hrungjörnum jarðlögum.

Til er búnaður sem gerir kleift að láta fóðringuna elta borkrónuna og er hann nefndur SOMCAS (simultaneous caing methods, áður nefnt ODEX) (mynd 4.4.3). Þessari aðferð er beitt þegar hrungjörn jarðlög eru boruð með lofti. Lofthamarinn slær á fóðurrörsskó og fylgir þá fóðringin krónunni eftir. Aðferðinni hefur verið beitt við

borun 10 ¾" holna í sandinn í Öxarfirði og við borun 7 5/8" rannsóknarholna í Eyjafirði fyrir Hitaveitu Akureyrar. Jarðboranir hf. hafa borað 14" holur með því að setja Holte hamar ofan á fóðringuna t.d. á Azoreyjum, eins og sýnt er á mynd 4.4.3.

Eitt afbrigði sem nefnt er „sogborun“ var þróað af Orkustofnun til að hindra að svarf nái að stífla æðar og til að auðvelda hreinsun á borsvarfi úr holum eftir að skoltap hefur myndast (mynd 4.4.3). Þá er hjálparfóðring sett í holuna tímabundið niður á ca. 100 m dýpi og lofti dælt utanmeð. Loftið streymir inn í holuna við fóðurrörsendann og léttir vantssúluna þar fyrir ofan, en að öðru leyti er borað á hefðbundiinn hátt með hjólakrónu og skolvatni. Aðferðin var fyrst reynd á Siglufirði, en hefur síðan verið notuð við boranir á vinnsluholum á Egilsstöðum, Hellu og á Selfossi með góðum árangri.

Framangreindar aðferðir krefjast stórra og háþrýstra loftþessa og jafnvel þrýstimaglara sem eru hrein viðbót við þau tæki sem þarf til hefðbundinnar snúningsborunar. Sammerkt með þessum loftborunaraðferðum er að svarfið stíflar síður æðarnar en áður og gerir því góðan árangur líklegri. Með loftþessu á staðnum er loks hægt í verklok að meta afköst holna með svonefndri loftdælingu.

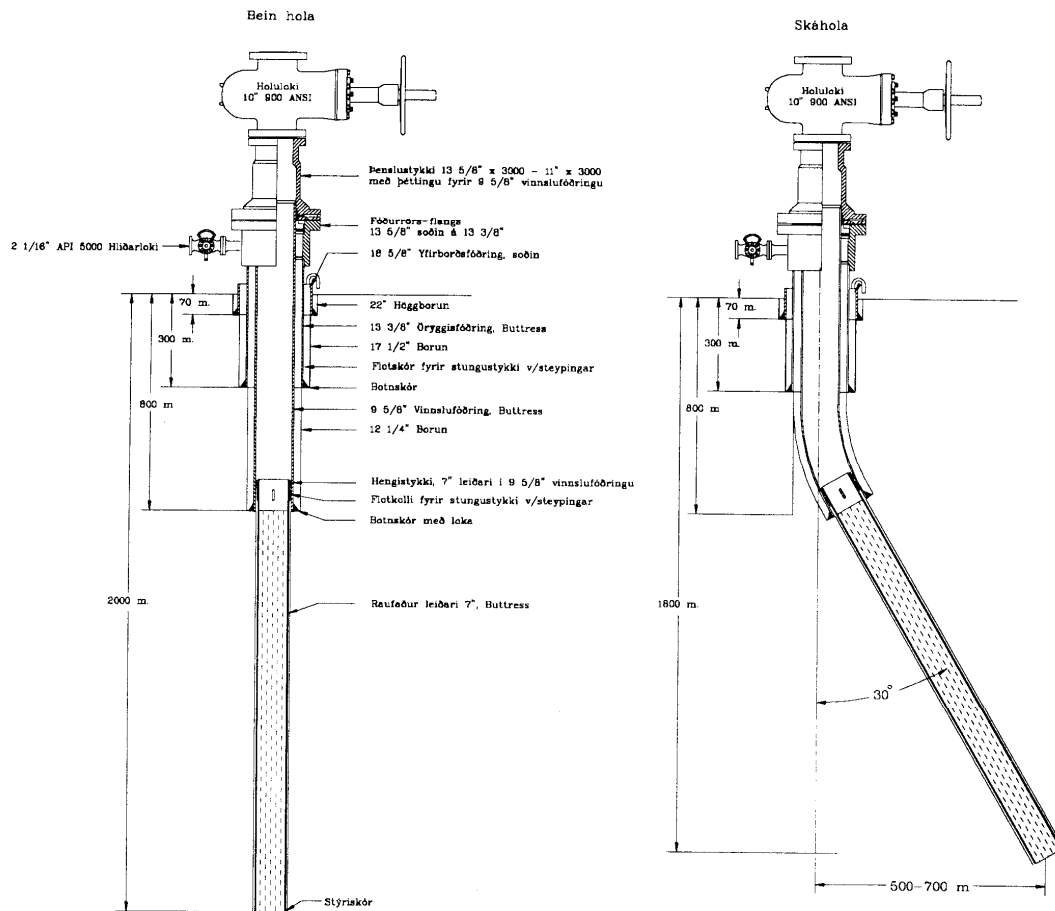
Notkun borleðju hefur einnig aukist eftir að hreinsibúnaður á vagni „gelgæs“ var keyptur til að laga borleðju og hreinsa. Notkun borleðju varð þar með hagkvæmari og er nú algengara en áður að bora með leðju, einkum í víðum holum og þar sem hrungjörn jarðlög eru.

Endurbætur hafa verið gerðar á aðferðum við að steypa fóðringar, t.d. gegnum stengur sem tryggir betri árangur.

Í þremur háhitaholum í Kröflu hefur verið beitt aðferðum við að sveigja borstrenginn frá lóðlínu með svonefndri stefnuborun (sjá mynd 4.4.5). Aðferðin er sýnd á mynd 4.4.6. Þá er borstrengurinn, eftir að 300 m dýpi er náð, sveigður frá lóðlínu um ca. 1-1,5 gráðu á hverjum 10 metrum í upphafi, uns hallinn er orðinn 30-40 gráður. Til álita kemur að beita þessari aðferð einnig við boranir hjá hitaveitum og bora t.d. nokkrar holur frá sama borplani. Einnig kemur til álita að bora út úr eldri holum sem ekki hafa nægjanleg afköst. Stefnuborun er dýrari en hefðbundin „lóðrétt borun“. Borkostnaðurinn er um 25% hærri, en á móti kemur lægri kostnaður við borplön og mildari umhverfisáhrif.

Mikilvægum upplýsingum hefur verið safnað á Suðurlandi með borun grannra hitastigulsholna með beltabor Ræktunarsambands Flóa og Skeiða. Á nokkrum stöðum hefur borinn verið notaður til borunar lítilla vinnsluhola fyrir sveitabæi niður á allt að 300 m dýpi.

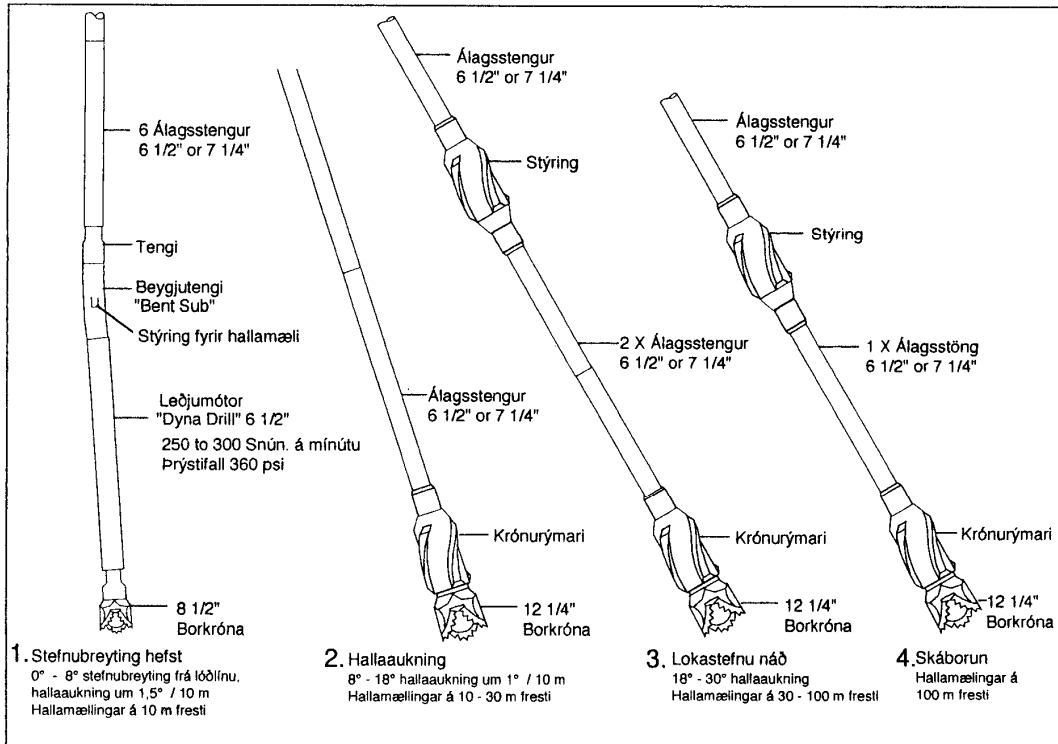
Þá verður lýst aðferð sem var nýjung á sínum tíma (upp úr 1970) við jarðhitaboranir, en sem lítið hefur verið beitt hin síðari ár. Holur voru þrýstiprófaðar, „pakkaðar“ í verklok til að bæta afköstin, einkum á kvarterum svæðum (S- og SV-lands). Gúmmítappi (pakkari) var þá settur í holuna og miklu vatni dælt á, ýmist fyrir ofan eða neðan pakkarann (sjá mynd 4.4.7). Með þessu tókst að hreinsa sand og sag úr æðum og opna þröngar vatnsrásir. Afköst holna, t.d. í Mosfellssveit, margfölduðust við þessa aðgerð.



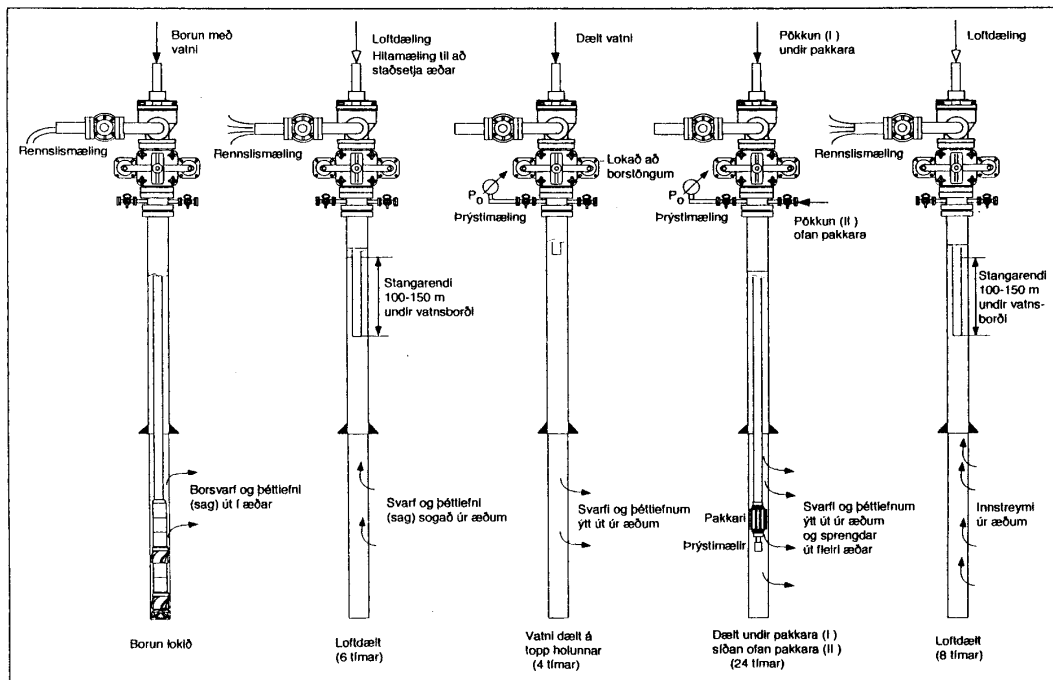
Mynd 4.4.5 Snið af „lóðréttri” og „stefnuboraðri” háhitaholu.

4.4.6 Borkostnaður

Gróf „þumalputtaregla” er að verktakakostnaðurinn við borverk sé 1100 kr á hvern boraðann metra í holu, fyrir hverja tommu (”) þvermáls í vídd (verðlag 1990-1993). Það þýðir að borun með 8 ½” krónu kostar 9.350 kr/m. Þar við bætist kostnaður við gerð borplans, flutning á bor, kaup á fódurrörum og sementi og upphald áhafnar. Meðalverð á lághitaholum (vinnsluholum), þegar allt er með talið, er á bilinu 10.000-15.000 kr/m og fer hann fyrst og fremst eftir vídd holunnar. Í rannsóknarholum er kostnaðurinn 3.000-7.000 kr/m. Tvennskonar greiðslufyrirkomulag tíðkast í borverkum, annars vegar fast verð og hins vegar daggjald. Ef um fast verð er að ræða er samið um fast verð fyrir verkið í heild, fast metraverð fyrir hvern boraðann metra, eða blöndu þessara tveggja. Daggjaldið reiknast á hvern dag sem borinn er í verki og innifelur borleigu, áhörn, olíu og borkrónur. Þá er mest um vert að verktími sé sem styðstur. Þótt borhraði skipti talsverðu máli er rétt að hafa í huga að innan við helmingur verktíma fer í það sem nefna má „borun á botni”. All nákvæmar tímaáætlanir er hægt að gera, og þar með kostnaðaráætlun fyrir borverkið í heild. Óvissa í áætlun er um 15% og snýr stærsti þátturinn að því hve djúpt skuli borað. Í mörgum tilfellum er borað svo lengi sem hrun og erfiðleikar hindra ekki frekari borun.



Mynd 4.4.6 Stefnuborun. Aðferð til að sveigja borholu frá lóðlínu.



Mynd 4.4.7 Þrýstiprófun í borlok til að auka afköst (örvunaraðgerð).

4.4.7 Ráðgjöf við boranir

Orkustofnun er langstærsti aðilinn héraendis sem sinnir rannsóknum og ráðgjöf við boranir, en auk þess hafa sjálfstætt starfandi sérfræðingar og verkfræðistofur unnið afmarkaða þætti. Kostnaður við þann þátt sem Jarðhitadeild Orkustofnunar annast er innan við 10% af kostnaði við borun. Í töflu 3 er gerð grein fyrir helstu þáttum í þjónustu Orkustofnunar við boranir.

Tafla 4.4.3 Ráðgjöf, mælingar og rannsóknir Orkustofnunar við borun lághitahola.

HÖNNUN HOLU OG VERKLÝSING	<p>Í verklýsingu koma fram jarðfræðilegar aðstæður til borunar, hönnun holunnar og efnisval. Sérstökum aðgerðum er lýst og gæða- eða lágmarkskröfum, en ekki einstökum verkþáttum.</p>
ÚTBOÐSLÝSING	<p>Mælingar og prófanir samhliða boruninni eru tíundaðar. Í útboðslýsingu eru settir fram samningsskilmálar og ákvæði um ábyrgðir, efni sem verktaki leggur til og staðla. Beinum samningum á grundvelli verklýsinga hefur fjölgað, enda nánast um einn verktaka að ræða.</p>
EFTIRLIT MEÐ BORUN OG MÆLINGAR	<p>Fylgst er með borframkvæmdinni, veitt jarðfræðileg- og bortæknileg ráðgjöf. Mælingar eru gerðar á hitastigi, þrýstingi og halla í holu í borverkinu svo og víddarmæling og steypugæðamæling í tengslum við fóðrun holunnar. Í verklok er bætt við jarðeðlisfræðilegum mælingum til könnunar á eiginleikum bergsins við holuna (16" viðnám, 64" viðnám, sjálfspenna, nátturúlegt gamma, nifteinda poruhluti). Dæluprófun (prepadæling) eða loftdæling er framkvæmd til að meta vatnsgæfni og hitastig í verklok.</p>

Heimildir:

Árni Gunnarsson, 1986. Niðurstöður könnunar á vegum SÍH. Vetrarfundur SÍH 12.-13. nóvember 1989.

E.T. Elíasson, K. Ragnars, S. Benediktsson, G. Guðmundsson, G. Björnssons, Á. Guðmundsson, H. Tómasson, 1988. The Drilling of Geothermal Wells in Iceland. Geothermal Resources Council, Handbook on Geothermal Drilling, (í vinnslu).

Sverrir Þórhallsson, 1983. Notkun skolvatns við snúningsborun. Jarðhitaborun, Bormannanámskeið 1983, Orkustofnun JBR-JHD, janúar 1983.

Sverrir Þórhallsson, 1989. Um boranir fyrir hitaveitur. Vetrarfundur Sambands íslenskra hitaveitna 20. október 1989.

Þorgils Jónasson, 1989. Jarðboranir á Íslandi. VA ritgerð í sagnfræði við Heimspekideild Háskóla Íslands, júní 1989.

4.5 Mat á vinnslugetu og vinnslueiginleikum

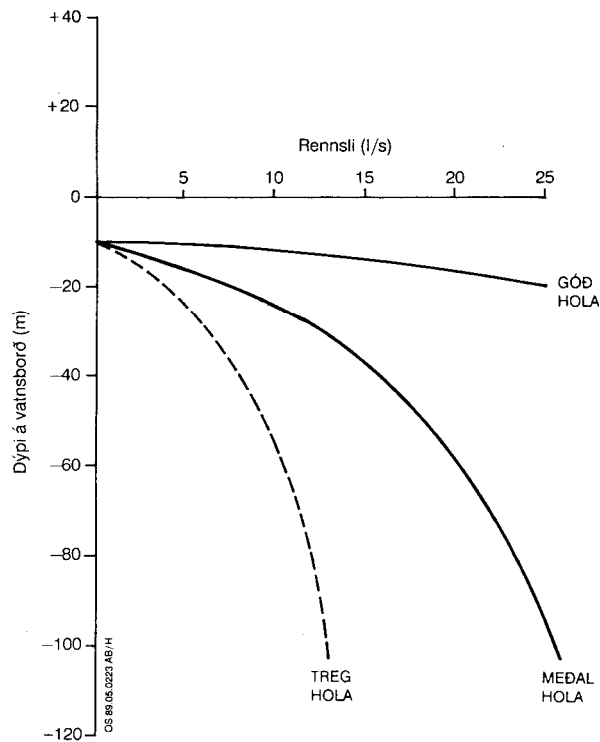
Segja má að eftir borun vinnsluholna snúist rannsóknir fyrst og fremst um forðafræði jarðhitakerfa (Guðni Axelsson, 1993) og efnafræði heita vatnsins. Að lokinni borun þarf að prófa holur til þess að meta vinnslugetu þeirra og eiginleika jarðhitakerfisins. Einnig eru gerðar borholumælingar til þess að kanna hita- og þrýstiástand kerfisins. Tilgangur þessa er í fyrsta lagi að afla upplýsinga um gerð, eiginleika og eðlisástand jarðhitakerfisins. Í öðru lagi er tilgangurinn að áætla vinnslugetu og viðbrögð jarðhitakerfisins við mismunandi massatöku. Auk þessa eru vinnslueiginleikar jarðhitavökvans rannsakaðir, nýtingar- og neyslueiginleikar hans metin auk hættu á tæringu og útfellingum.

4.5.1 Vinnslugeta

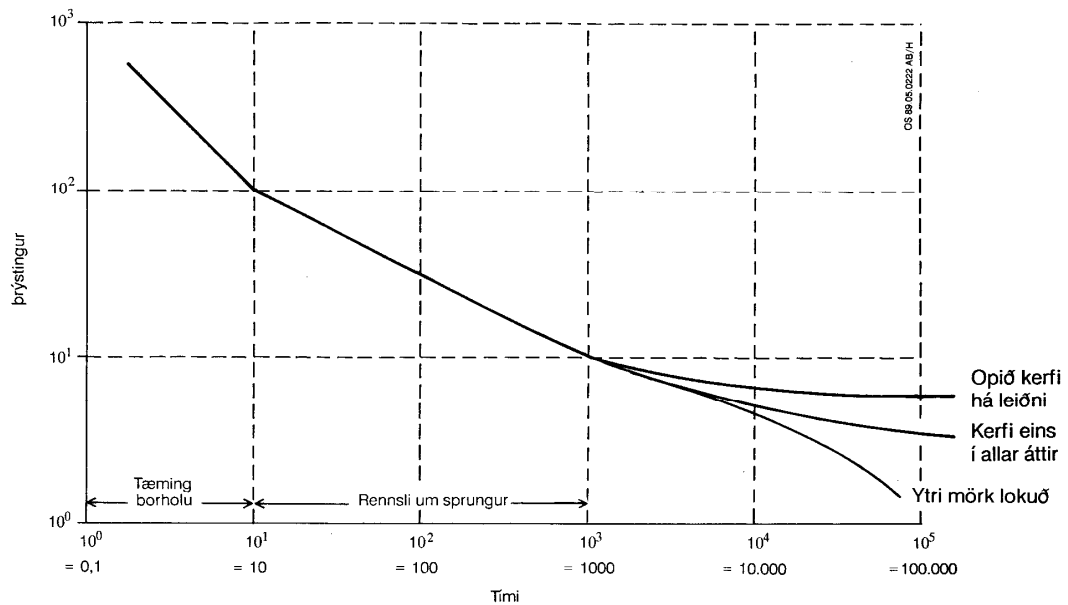
Í borlok eru afköst holna prófuð með ýmsu móti og reynt að meta lekt, vatnsrýmd og aðra eiginleika jarðhitakerfisins. Oft eru lághitaholur prófaðar strax og borun lýkur með loftdælingu í stuttan tíma til að fá gróft mat á afköstum. Niðurstöður slíkrar prófunar gefa þó aðeins hugmynd um stærðargráðu þess sem holan mun gefa í langtímadælingu. Oftast er prófað í þrepum, við mismikla dælingu. Stuttar loftdælingar gefa hins vegar engar upplýsingar um langtíma viðbrögð jarðhitakerfisins. Í lok borunar er stundum reynt að örva holur með ýmsum aðgerðum. Æskilegt er að lághitaholur séu síðan dæluþrófaðar til langs tíma með djúpdælu, helst í nokkra mánuði. Sé um háhitaholu að ræða eru gerðar ádælingarprófanir í þrepum og síðan er holan látin blása um nokkurra mánaða skeið.

Í langtíma dælu- og blástursprófunum er fylgst stöðugt með rennsli og hita vatns eða vermi háhitaholna. Samhliða er fylgst með áhrifum á vatnsborð eða þrýsting, bæði í holunni sjálfri og í öðrum holum á svæðinu. Þessar mælingar gefa upplýsingar um lekt jarðhitakerfisins, en hún er einkum háð sprungum í berginu. Einnig fást upplýsingar um stærð og ytri mörk jarðhitakerfisins og hvort og hversu greitt aðstreymi er að því. Á myndum 4.6 og 4.7 eru sýnd dæmi um viðbrögð borholna við dælingu og mismunandi viðbrögðum jarðhitakerfa í lantímaprófunum. Mynd 4.7 sýnir hvað skammtímaprófanir gefa í raun takmarkaðar upplýsingar um lantíma viðbrögð.

Við mat á orkuforða jarðhitasvæða þarf að taka tillit til jarðfræðilegra aðstæðna og innri gerðar og eðliseiginleika svæðisins, en auk þess er nauðsynlegt að meta endingartíma og líklegar breytingar vegna vinnslu til að fá raunhæft mat á afli svæðanna. Helst þarf að hafa farið fram langtímaprófun á afkastagetu svæðisins, þar sem fylgst hefur verið með viðbrögðum þess við mismikilli vinnslu eins og nefnt var hér að ofan. Á grundvelli þeirra gagna sem safnast má síðan gera forðafræðilíkan af svæðinu. Slíkar langtímaprófanir hafa því miður ekki alltaf verið gerðar á nýjum borholum og jarðhitasvæðum. Þær gefa þó upplýsingar sem eru bráðnauðsynlegar hvort sem er vegna hönnunar eða rekstrar hitaveitna.



Mynd 4.6 Vinnsluferlar (viðbrögð við mismikilli dælingu) frá þremur mismunandi gjöfum lághitaborholum.



Mynd 4.7 Þrýstibreyting í jarðhitasvæði við niðurdráttarprófun. Í upphafi vinnslu fellur vantborð eða þrýstingur hratt á meðan holan er að tæmast, en síðan hægar þegar

vatn fer að streyma inn í holuna úr vatnsæðum hennar. Stærð jarðhitakerfisins og tengsl þess við næsta umhverfi ræður langtímaviðbrögðum þess við vinnslu.

4.5.2 Vinnslueiginleikar hitaveituvatns

Áður en teknar eru ákvarðanir um efnisval og hönnun hitaveitna þarf að efnagreina jarðhitavatnið og herma þær breytingar sem það verður fyrir í dreifikerfi og húskerfum til þess að meta hættu á tæringu og útfellingum. Slík rannsókn er nauðsynleg til að þessir þættir falli sem best að aðstæðum á því jarðhitasvæði sem nýta á. Nær einungis lághitavatn er notað beint í hitaveitur, en þar sem háhitavatn er notað til upphitunar eru að jafnaði byggðar varmaskiptastöðvar til að hita upp ferskvatn. Í töflu 4.2 er sýnd dæmigerð efnasamsetning lághitavatns úr nokkrum borholum sem flestar eru notaðar af hitaveitum. Í kaflanum um notkun efnafræði í forrannsóknum hér að framan var fjallað nokkuð um efnainnihlad jarðhitavatns. Við mat á nýtingarhæfni og vinnslueiginleikum skiptir selta einna mestu máli og það hvort vatnið inniheldur súrefni eða brennisteinsvetni. Lághitavatnið er almennt ferskt, þ.e. saltinnihald þess er mjög lágt (<50mg/l). Undantekning frá þessu er lághitavatn sem orðið hefur saltmengað vegna innstreymis sjávar í jarðhitakerfið eða að vatnið hefur runnið um forn sjávarset. Lághitavatninu má skipta í átta flokka (Hrefna Kristmannsdóttir, 1990a) eftir vinnslueiginleikum eins og sýnt er í töflu 4.5.

Flokkur	Klóríð Styrkur í mg/l	Brennisteinsvetni Styrkur í mg/l	Súrefni Styrkur í mg/l	Vatnsgerð, vinnslueiginleikar
1	<50	>0,1	<0,01	Ferskt vatn, óveruleg tæringarhætta
2	<50	<0,1	<0,01	Ferskt vatn, lítil tæringarhætta
3	<50	<0,1	>0,01	Ferskt vatn, nokkur hætta á tæringum
4	>50	>0,1	<0,01	Saltmengað vatn, lítil tæringarhætta
5	>50	<0,1	<0,01	Saltmengað vatn, veruleg tæring ef súrefni kemst í vatnið
6	>50	<0,1	>0,01	Saltmengað vatn, veruleg tæringarhætta
7	~20000	—	—	Salt jarðhitavatn, ónothæft til beinnar nýtingar
8	mismunandi	—	—	Upphitað vatn, breytilegt eftir meðhöndlun

Tafla 4.5 Gerðir hitaveituvatns, flokkað eftir vinnslueiginleikum.

4.5.3 Neysluhæfni hitaveituvatns

Í flestum tilvikum er lághitavatn hæft til beinnar neyslu, en þó er sumstaðar að finna vatn sem ekki stenst ítrustu kröfur um drykkjarvatn og er jafnvel óneysluhæft, einkum vegna hás flúorstyrks. Fá dæmi eru þó um að vatn sé beinlínis hættulegt til neyslu. Samkvæmt skilgreiningu Heilbrigðisráðuneytisins er „hitaveituvatn hvorki ætlað til drykkjar né matargerðar, en er leitt í hús til upphitunar, baða og þvotta” og þarf því ekki að uppfylla kröfur sem gerðar eru til drykkjarvatns.

4.5.4 Tæring í lagnakerfi

Uppleyst súrefni í vatni tærir stálhluti og eins og fram kom í kaflanum hér á undan getur súrefni verið í jarðhitavatni, en vatn sem er yfir 80°C heitt er undantekningarlaust súrefnissnautt þegar það kemur upp úr jörðinni. Þótt jarðhitavatnið komi súrefnissnautt upp úr jörðinni getur það tekið í sig súrefni í miðlunargeymum, óþéttum rörasamskeytum eða „streymt“ inn um veggji plaströra án súrefnissperru í dreifikerfi hitaveitu (Magnús Ólafsson, 1988).

Aukin selta vatns örvar öll efnahvörf og þar með tæringu og súrefnistæring er hröðust í söltu, efnaríku vatni, þótt hún geti einnig átt sér stað í efnasnaudu vatni. Almenn má segja að veruleg hættu sé á tæringu og útfellingum í vatni sem hefur klóríðstyrk yfir 100 mg/. Nær ómögulegt er að halda hitaveitukerfum alveg súrefnisfríum og sé vatnið saltmengað er hætt við tæringu þótt súrefnisstyrkur sé mjög lágur. Í sumum hitaveitum er blandað súrefniseyðandi efni (natríumsúlfiti) í vatnið til að koma í veg fyrir tæringu. Lágt sýrustig (pH) vatns eykur einnig hættu á tæringu, en lághitavatn á Íslandi hefur yfirleitt mjög hátt sýrustig. Brennisteinsvetni tærir kopar mjög hratt og er óráðlegt að nota koparhluti í hitaveituvatn sem inniheldur það efni. Uppleystur kopar í vatni getur einnig örvað mjög stáltæringu.

4.5.5 Útfellingahætta

Jarðhitavatn er mettað af ýmsum efnasamböndum og við vinnslu getur vatnið orðið yfirmettað vegna kælingar, afloftunar við suðu eða jafnvel upphitun og þá er hættu á að efnasambandið falli út úr því.

Gerðir útfellinga	Háhitavatn	Lághitavatn	Upphitað vatn	Útfellingastaður	
				Í holu	Á yfirborði
Kalk (kalsít, aragónít)	x	x		x	x
Kísill	x			x	x
Magnesium-silikat		x	x		x
Járn-silikat	x			x	
Siliköt				x	
Járn-magnesium-silikat	x				
Zink-silikat		x			x
Ál-silikat	x				x
Járnsúlfíð				x	x
FeS₂ (pyrít markasít)	x			x	x
FeS (pyrrótít)	x	x		x	x
Járnoxíð				x	x
Fe₃O₄ (magnetít)	x				
Fe₂O₃ (hematít)	x	x			x
Járnklóríð	x				x
FeCl₃	x				x
Önnur				x	x
málmsúlfíð	x				
Kalsíum sulfat (anhydrít)	x			x	

Tafla 4.6 Helstu gerðir útfellinga sem þekktar eru frá jarðhitanýtingu á Íslandi.

Í töflu 4.6 er yfirlit yfir helstu gerðir útfellinga sem vart hefur orðið við jarðhitanýtingu á Íslandi. Fjallað hefur verið allítarlega um útfellingar við jarðhitanýtingu í nýlegum ritum (t.d. Hrefna Kristmannsdóttir, 1990b) og vísast til þeirra um frekari upplýsingar. Þær útfellingar sem valda mestum vandræðum við

nýtingu lághitavatns á Íslandi eru kalkútfellingar. Útfellingar eru yfirleitt ekki til vandræða í hitaveitum þar sem vatnið er ferskt og flestar hitaveitur sem hafa átt við veruleg útfellingavandamál að stríða nýta saltmengað vatn. Í mörgum veitum sem nýta saltmengað vatn hefur þó tekist að sneiða hjá meiriháttar vandræðum vegna kalkútfellinga með réttri hönnun veitunnar og góðu tæknilegu eftirliti með rekstri hennar.

Ferskvatn á Íslandi er mjög efnasnautt, en þó hafa komið upp einhver vandamál vegna magnesímusilikat útfellinga í öllum þeim hitaveitum sem nota upphitað ferskvatn. Orsökina er sú að magneríumsiliköt eru torleystari í heitu vatni en köldu og falla því út við upphitun. Styrkur magnesíums er hærri í köldu vatni en heitu, þar sem það hefur þegar fallið út við upphitun vatnsins djúpt í jörðu. Þar sem vatnið er notað aðeins einu sinni og ekki látið hringrása þá safnast útfellingin fljótt saman þótt aðeins fáein milligrömm falli út úr hverjum lítra vatns. Örlítið innrennsli kalds vatns í jarðhitakerfi getur valdið verulegri útfellingu magnesíumsilikata því að í heita vatninu er hár styrkur kísils og aukinn efnastyrkur hraðar einnig þessum útfellingum.

4.6 Vinnslurannsóknir

Orkuforði jarðhitasvæða er takmarkaður og má líkja nýtingu jarðhitasvæða við námugróft. Hugmyndir manna um eðli og uppruna lághitaorkunnar voru til skamms tíma þær að vatnið seitlaði frá hálendi landsins og hitnaði á leið sinni af stöðugum varmastraumi úr iðrum jarðar uns það hitti á heppilegar jarðfræðilegar aðstæður til uppstreymis. Auknar rannsóknir og reynsla við vinnslu á lághitasvæðum hafa sýnt að um mun staðbundnari orkuvinnslu er að ræða líkt og á háhitasvæðunum.

Við vinnslu flestra jarðhitasvæða er tekin úr þeim mun meiri orka en tilsvavar náttúrulegu afli svæðanna. Vinnsla hefur því mikil áhrif á svæðin og ending þeirra við stórfellda vinnslu er takmörkuð. Af þessum sökum er nauðsynlegt að halda áfram rannsóknum á svæðunum eftir að nýting hefst.

Afleiðing vinnslu er nær undantekningarlaust sú að þrýstingur lækkar í jarðhitakerfunum líkt og í vatnstanki. Er það einfaldlega vegna þess að meira vatn er tekið upp en nær að streyma inn í kerfin. Þetta veldur því að vantsborð í borholum fellur. Hversu mikið og hratt vatnsborðið lækkar ræðst af stærð og eiginleikum jarðhitakerfanna. Í mörgum tilfellum lækkar vatnsborð stöðugt við langvarandi vinnslu. Í öðrum tilfellum tekur kaldara vatn að streyma inn í jarðhitakerfi í stað þess heita sem dælt hefur verið burt. Dæmi um breytingar vegna vinnslu eru fjölmörg og má þar nefna mikinn niðurdrátt á vinnslusvæðum Hitaveitu Akureyrar (Ólafur G. Flóvenz o.fl., 1992) og kælingu á vinnslusvæðum Hitaveitu Reykjavíkur (Jens Tómasson, 1988) og Hitaveitu Selfoss (Tómasson og Halldórsson, 1981). Sömuleiðis innstreymi af sjó í jarðhitakerfið á Seltjarnarnesi (Hrefna Kristmannsdóttir, 1983) og innstreymi ferskvatns í aðra vinnsluholu Hitaveitu Þorlákshafnar (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 1990).

Gögn um viðbrögð jarðhitasvæðanna við vinnslu eru nauðsynleg undirstaða forðafraeðirannsókna og við líkanreikninga (gerð hermílkana), sem nýtast til að meta vinnslugetu svæða miðað við ákveðnar forsendur. Slíkar rannsóknir nýtast m.a. við rekstur jarðhitasvæða.

4.6.1 Vinnslueftirlit

Undirstaða raunhæfs mats á orkuforða og afli er að viðbrögð svæða við vinnslu, þ.e. niðurdráttur, kæling og breytingar á efnasamsetningu vatnsins, séu þekkt. Því fer fjarri að til séu fullnægjandi gögn um vinnslu og viðbrögð á þeim lághitasvæðum sem nú eru nýtt. Það reglubundna eftirlit með vatnsvinnslu og breytingum á hitastigi, þrýstingi og efnainnihaldi vatnsins sem nauðsynlegt er kallast einu nafni vinnslueftirlit. Einn liður í vinnslueftirliti felst í því að vatnsnám úr jarðhitakerfinu er mælt og skráð reglulega, bæði rennsli og dæling úr borholum og hverum. Nauðsynlegt er að skrá bæði heildarvinnslu og vinnslu úr hverri hollu fyrir sig. Einnig þarf að mæla vatnshita reglulega. Fylgjast þarf með viðbrögðum jarðhitasvæðisins við vatnstökunni og mæla þrýsing eða vatnsborð bæði í vinnsluholum og öðrum borholum á svæðinu sem ekki eru í notkun (athugunarholum). Á háhitasvæðunum er vinnslueftirlit flóknara og breytilegt eftir svæðum, en þar er fylgst reglulega með massastreymi, vermi og toppþrýstingi vinnsluholna ásamt þrýstingi og hita í öðrum holum á svæðinu og æskilegt er að gera hæðar- og þyngdarmælingar reglulega.

Annar liður í vinnslueftirliti er efnaeftirlit, sem felst í reglubundinni sýnatöku og efnagreiningum á vinnsluvatninu svo sjá megi fyrir breytingar í jarðhitakerfinu og breytingar á vinnslueiginleikum vatnsins.

Hvernig og hversu mikið vinnslueftirlit er nauðsynlegt er mjög mismunandi eftir eiginleikum svæðanna. Þannig er mun minni hætta á breytingum sé um sjálfrennsli að ræða heldur en þar sem dælt er úr holum Þegar niðurdráttur eykst er hætta á að kalt grunnvatn leiti inn í jarðhitakerfi, eða jafnvel sjór séu aðstæður þannig. Kæling kemur yfirleitt ekki fram alveg strax, en merki um kaldara innstreymi sjást oft mjög fljótt í breyttri efnasamsetningu. Með góðu efnaeftirliti með jarðhitavatni fæst viðvörðun áður en veruleg vandamál skella á (Kristmannsdóttir o.fl., 1992) og tóm til að bregðast við þeim. Orðið hefur betur og betur ljóst að eftirlit með vinnslu er æskilegt og nauðsynlegt er að stýra vinnslunni þannig að orkan nýtist sem best og vinnslueiginleikar jarðhitasvæðanna haldist lengi eins góðir og unnt er. Ítarlegar rannsóknir á innri gerð og hegðan svæðanna eru nauðsynleg undirstaða til að uppfylla þessi markmið. Meginatriði er að fylgjast með svæðum sem eru nýtt og varðveita gögn um vinnslu þeirra, vinna úr þeim og nota niðurstöðurnar til aukinnar hagkvæmni í vinnslu þeirra svæða og annarra svipaðra.

4.6.2 Gagnavarsla og skráning

Í gagnagrunni Orkustofnunar eru varðveittar upplýsingar um allar jarðhitaboranir á Íslandi og næstum allar jarðhitarannsóknir í landinu hafa verið framkvæmdar af stofnuninni. Gögn um efnainnihald uppsprettuvatns, gass og gufu frá gufuhverum og vatni úr borholum frá flestum jarðhitasvæðum á landinu eru til á Orkustofnun. Gögnin spanna yfir langt tímabil og eru af mismunandi gæðum. Þessi gögn hafa verið gefin út í nokkrum skýrslum, en sem fyrr er ekki til nein ein heimild sem dregur saman þessi gögn. Skráning og varðsla vinnslugagna er á mjög mismunandi stigi hjá hitaveitum landsins. Flestar skrá einhverja þætti varðandi vinnslu, en þó eru til veitur þar sem ekkert er fylgst með vinnslunni. Þar sem vatn er nægt og ekki selt samkvæmt mæli hefur fátt rekið á eftir veitum til að koma á virku vinnslueftirliti. Sumar hitaveitur skrá allar helstu upplýsingar handvirkt, en allmargar veitur safna þeim sjálfvirkt í tengslum við stýrikerfi sem þær hafa sett upp.

Orkustofnun safnar saman upplýsingum um vinnslu hjá hitaveitum eftir því sem henni er unnt. Margar hitaveitnanna hafa gert vinnslueftirlitssamninga við

Orkustofnun, sem sér þá um úrvinnslu og framsetningu á vinnslugögnunum. Gögnin sem stofnunin fær eru skiljanlega bæði misjöfn að gæðum og á mismunandi formi og það fer því oft mikil vinna í frumúrvinnslu og að koma gögnunum inn í gagnagrunnskerfi. Samræming í skráningu vinnslugagna getur sparað mikla vinnu og einfaldað úrvinnslu. Þótt handvirkar mælingar og skráning séu fullnægjandi er meira öryggi og samfella í sjálfvirkri skráningu, þar sem tryggt er að mæling er gerð á þeim tíma sem ætlast er til og alltaf á sama hátt.

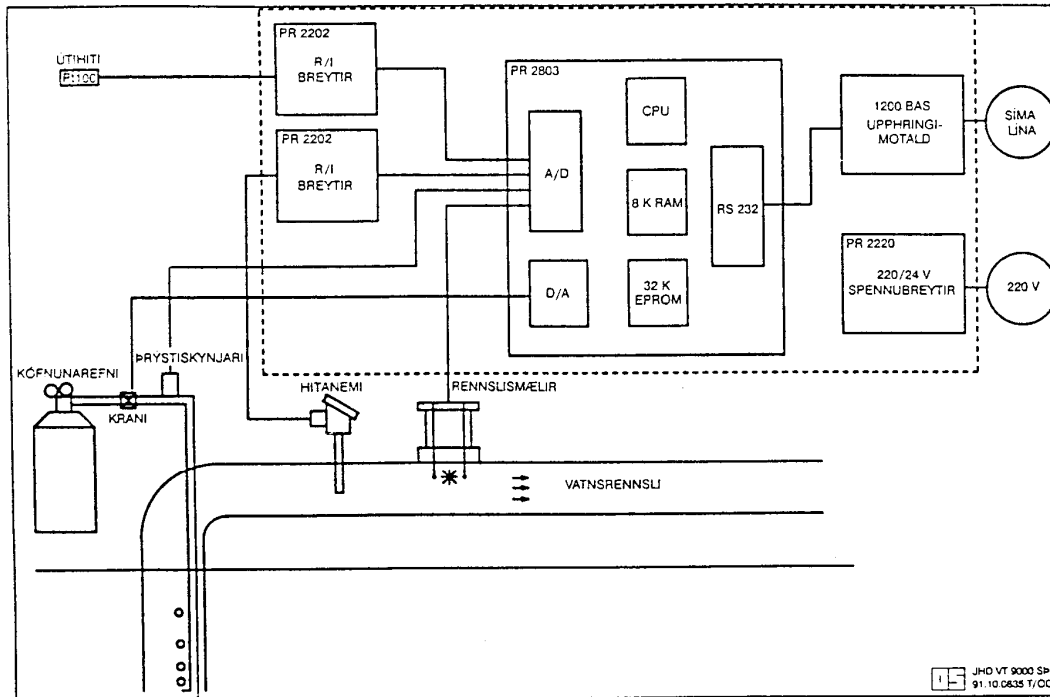
Í töflu 4.7 er yfirlit yfir þær stærðir sem nauðsynlegt er að mæla reglulega á lághitasvæðum í vinnslu, æskilega tíðni og nákvæmni mælinga.

4.6.3 Sjálfvirkt skráningarkerfi

Á undanförunum þremur árum hefur verið í uppbyggingu á Orkustofnun samræmt gagnasöfnunarnet fyrir vatnsvinnslugögn. Hannaður hefur verið búnaður til þessa, sem er að mestu sjálfvirkur og dýr í uppsetningu og rekstri (mynd 4.8). Búnaðurinn var prófaður um rúmlega eins árs skeið á tveimur lághitasvæðum áður en byrjað var að bjóða hann almennt til notkunar hjá hitaveitum. reyndist búnaðurinn í flesta staði uppfylla þær kröfur sem til hans voru gerðar og þarfnadist hann aðeins smávægilegra breytinga á prófunartímanum. Orkustofnun ýmist leigir eða selur hitaveitunum búnaðinn eftir óskum hluteigandi. Stofnunin sér um að varðveita gögnin í gagnagrunnskerfi sínu ásamt öðrum gögnum um viðkomandi hitaveitu og landssvæði.

	Mælistærð	Eining	Hvar mælt	Tíðni ef handvirkt	Tíðni ef sjálfvirkt	Nákvæmni
1	Augnabliksrennsli	l/s	vinnsluholur	1/dag — 1/viku	4/sólarhr.	10%
2	Meðalrennsli	l/s	vinnsluholur	1/viku	4/sólarhr.	5%
3	Vatnshiti	°C	vinnsluholur	1/dag — 1/viku	4/sólarhr.	0,1 — 0,5 °C
4	Vatnsborð Vatnsborð	m m	vinnsluholur mæliholur	1/dag 1/viku	4/sólarhr. 4/sólarhr.	0,1 — 0,5m 0,1m
5	Rafmagnsnotkun	kWh	vinnsluholur	1/dag — 1/viku	4/sólarhr.	
6	Straumur	A	vinnsluholur	1/dag — 1/viku	4/sólarhr.	
7	Gangstundir	klst	vinnsluholur	1/dag — 1/viku	4/sólarhr.	
8	Útihiti	°C		1/dag — 1/viku	4/sólarhr.	0,5°C
9	Þrýstingur	bar	lögn	1/dag — 1/viku	4/sólarhr.	0,05 bar

Tafla 4.7 Mælistærðir sem æskilegt er að mæla á lághitasvæðum í vinnslu.



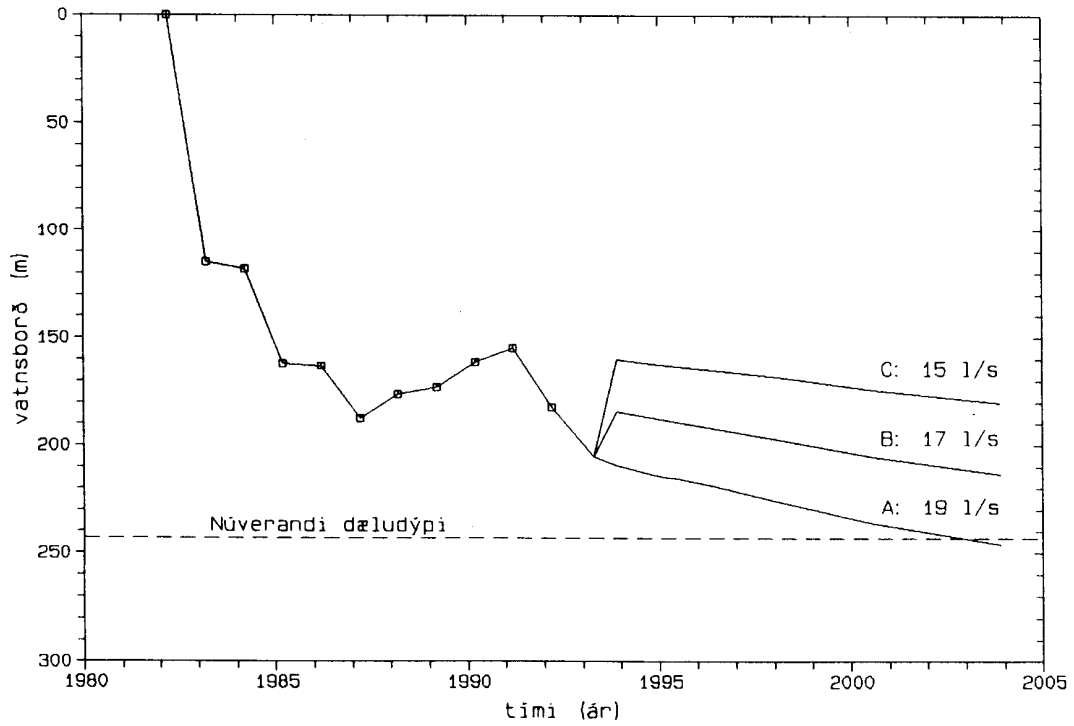
Mynd 4.8 Uppbygging safnstöðvar sem hönnuð hefur verið til sjálfvirkar söfnunar á vinnslugögnum.

4.6.4 Hermireikningar

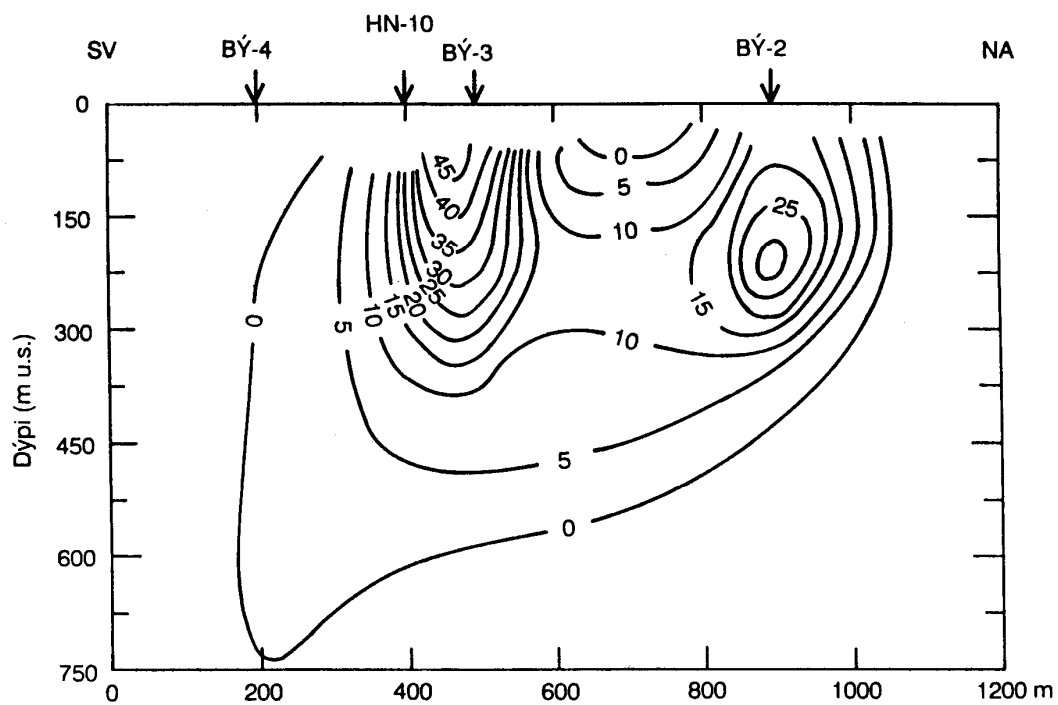
Hermireikningar eru mikilvægasta verkfærið við forðafraeðiathuganir. Eiginleikar hermilíkans fela í sér upplýsingar um eiginleika hins raunverulega kerfis. Jafnframt er líkanið notað til þess að segja fyrir um vöbrögð jarðhitakerfisins við mismunandi massatöku og áætla þannig vinnslugetu þess. Við hermireikninga er unnt að nota jöfnum höndum einföld líkön og flókni og ræður tilgangur reikninga og gæði gagna gjarnan hversu flóknu líkani er beitt (Guðni Axelsson, 1993).

Sé lítil tími til stefnu og ef halda þarf kostnaði í lágmarki eru oft notuð einföld líkön sem eru fljótleg í notkun. Slík líkön duga oft ágætlega til að herma einn þátt í viðbrögðum jarðhitakerfa eins og vatnsborðsbreytingar eða kólnun (mynd 4.9). eigi að herma nokkra þætti í gerð og viðbrögðum svæðis er nauðsynlegt að nota flókin reiknilíkön, svokölluð kubballíkön. Til að unnt sé að beita þeim þarf að hafa góð gögn og margs konar upplýsingar um kerfið og viðbrögð þess. einnig þarf öfluga tölvu, reikningarnir taka langan tíma og eru kostnaðarsamir.

Viðbrögð jarðhitakerfa við vinnslu eru oft mun flóknari en svo að aðeins sé um vatnsborðs- og þrýstingsbreytingar að ræða og afköst svæðanna eru háð fleiri þáttum en niðurdrætti. Kalt vatn rennur inn í flest svæði eftir að vinnsla hefst og til að herma slíkt samspil þarf flókið líkan. Dæmi um niðurstöður flókinna hermireikninga fyrir lághitasvæði er birt á mynd 4.10 þar sem sýnd er reiknuð kólnun jarðhitakerfisins á Botni í Eyjafirði eftir tíu ára vinnslu. Á mynd 4.11 eru sýndar reiknaðar breytingar á heildarrennsli og meðalvermi á háhitasvæðinu á Nesjavöllum með tíma fyrir 400 MWt virkjun (Guðmundur S. Böðvarsson, 1993).



Mynd 4.9 Vatnsborðsspá fyrir vinnsluholu Hitaveitu Rangæinga reiknaðar með einföldu líkani (Grímur Björnsson o.fl., 1993).

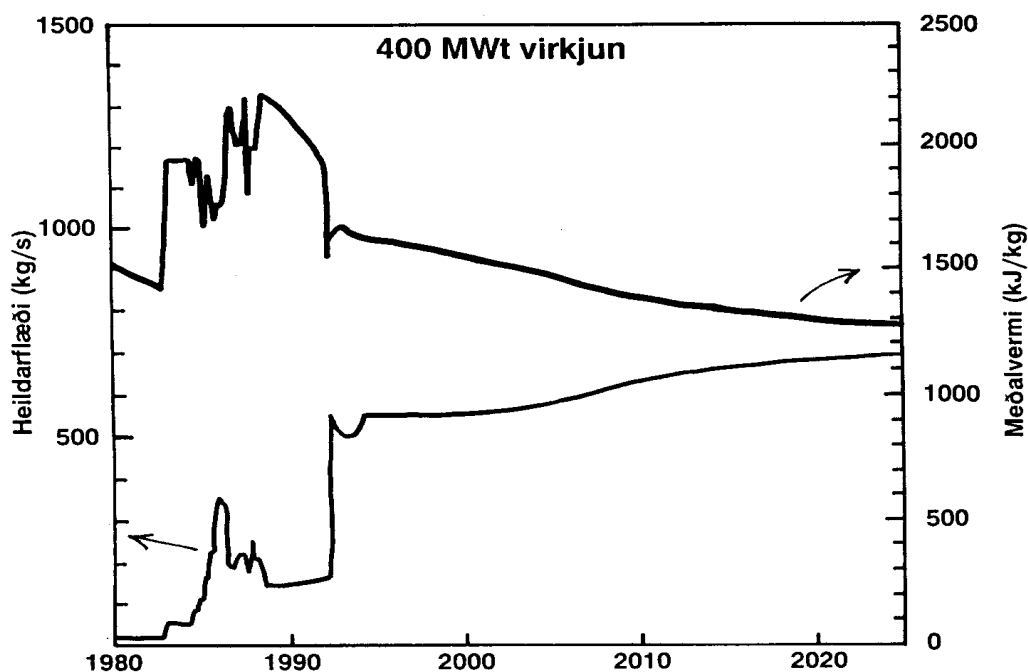


Mynd 4.10 Reiknuð kólnun í efri hluta Botnssvæðisins eftir tíu ára vinnslu (Guðni Axelsson og Grímur Björnsson, 1992).

4.6.5 Niðurdæling

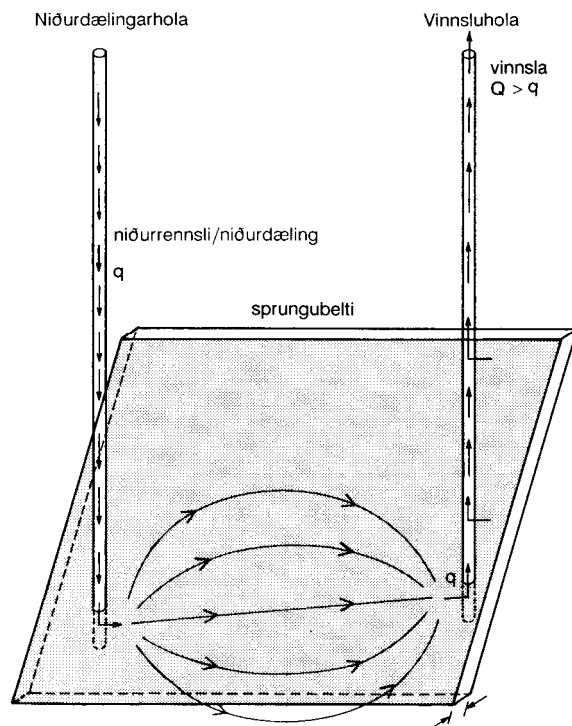
Í flestum jarðhitakerfum er fólgin mikil varmaorka og er meginhluti varmans í berginu, en aðeins lítil hluti í heita vatninu. Með niðurdælingu kaldara vatns í ónotaðar borholur má ná í hluta þess varma sem í berginu er ef vatnið nær að hitna nægilega áður en því er aftur dælt upp í vinnsluholum. Með niðurdælingu má einnig sporna við vantsborðslökkun og þannig auka vinnslugetu viðkomandi jarðhitasvæðis.

Til að rannsaka áhrif niðurdælingar á jarðhitasvæði þarf að gera prófanir á undan með ferlunarefni, annað hvort litarefni eða efni sem er í mjög lágum styrk í vatninu, til að fylgjast með ferðum vatnsins milli holna á svæðinu. Niðurstöður prófananna eru notaðar til að kanna tengsl holna og vatnsæða (mynd 4.12) og reikna hversu hröð kæling verður á vatni í vinnsluholum (mynd 4.13) við niðurdælingu. Niðurdæling hefur verið stunduð á háhitasvæðinu í Svartsengi, en ekki á neinu lághitasvæði, en prófanir hafa farið fram á nokkrum þeirra og í athugun er að hefja

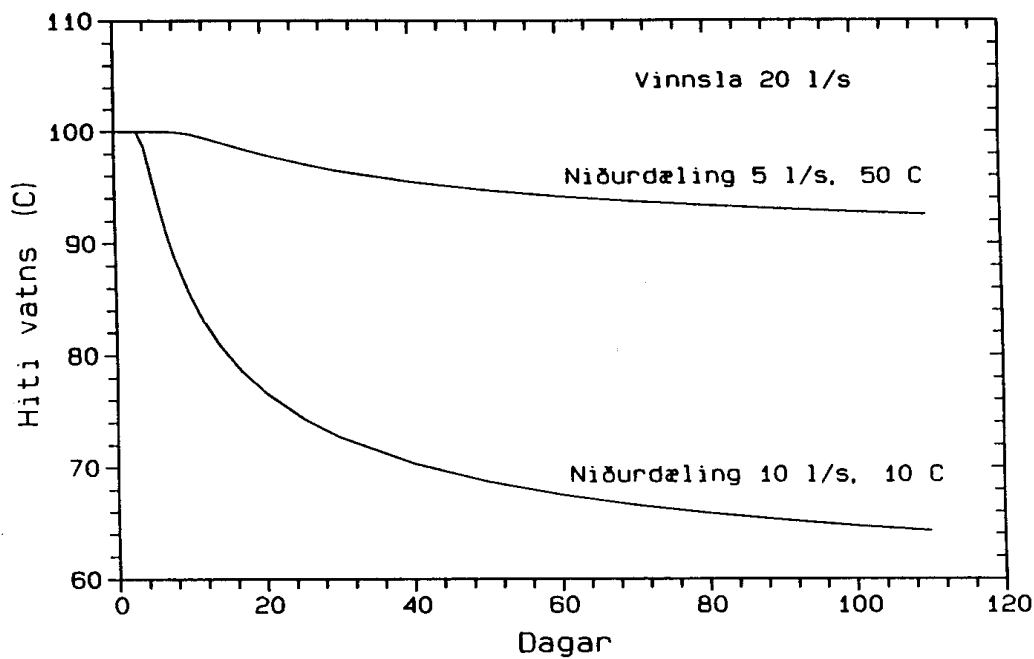


niðurdælingu á a.m.k. tveimur jarðhitasvæðum.

Mynd 4.11 Breytingar á heildarrensli og meðalvermi á Nesjavöllum miðað við 400 MW virkjun, samkvæmt endurskoðuðu kubbalíkani fyrir svæðið (Guðmundur S. Böðvarsson, 1993).



Mynd 4.12 Einfölduð mynd sem sýnir tengsl niðurdælingarholu við vinnsluholu um sprungubelti og var notuð til að túlka niðurstöður ferlunarprófana á jarðhitasvæði (Guðni Axelsson, 1993).



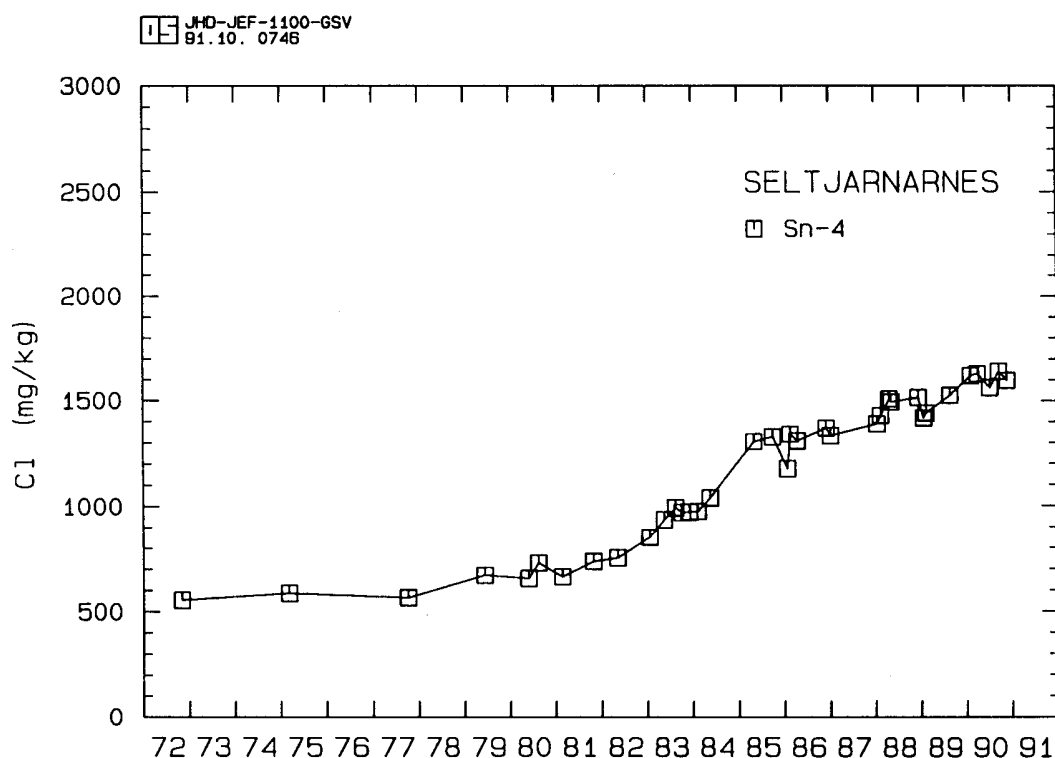
Mynd 4.13 Reiknuð kólnun vatns úr vinnsluholu miðað við tvö mismunandi tilfelli niðurdælingar (Guðni Axelsson, 1993).

4.6.6 Efnæftirlit

Efnæftirlit er gagnlegt þar sem breytingar í efnasamsetningu eru oft fyriboði innstreymis kalds vatns inn í jarðhitakerfi og sjást þær talsvert löngu áður en kælingar verður vart. Einnig geta vatnskerfi sem fæða mismunandi vatnsæðar í holum haft ólíka efnasamsetningu og efnagreining vatnssýna sem tekin eru við mismunandi aðstæður getur skýrt samspil vatnskerfa á svæðinu. Eftirlit með efnasamsetningu jarðhitavatns er notað bæði til að fylgjast með breytingum á vinnslueiginleikum vatnsins og einnig vegna þess að yfirvofandi breytingar á jarðhitakerfinu, einkum kælingu, má oft sjá fyrir út frá breyttu efnainnihaldi vatnsins. Þegar niðurdráttar fer að gæta í jarðhitasvæði getur kalt vatn farið að renna inn í það. Kalda vatnið hitnar upp af berginu í jarðhitasvæðinu og kæling kemur yfirleitt ekki fram alveg strax, en hins vegar geta merki þessa innstreymis sést mun fyrr í breyttri efnasamsetningu vatnsins.

Innstreymi sjávar inn í jarðhitakerfi með fersku vatni (mynd 4.14) sést mjög fljótt, en torveldara er að sjá innstreymi ferskvatns og þarf til þess tíðar og nákvæmar greiningar á mörgum þáttum. Innstreymi af köldu vatni eða breytingar í blöndunarhlutfalli mismunandi vatnsæða við aukna dælingu úr holu geta breytt verulega vinnslueiginleikum vatnsins. Efnahvörf sem verða í dreifikerfi geta breytt bæði vinnslueiginleikum og neysluhæfni vatnsins. Aukaefnum er sums staðar blandað í vatnið til súrefniseyðingar eða til að hefta kalkútfellingu. Þessi efni eru flest ekki hættuleg en geta valdið kvillum sé styrkur þeirra langvarandi of hár. Með nýlegri breytingu á heilbrigðisreglugerð nr. 149/1990 er hitaveitum skylt að sækja um leyfi til að nota íblöndunarefni og fylgjast reglulega með magni þeirra í dreifikerfum.

Mynd 4.14 Aukning seltu með tíma í vinnsluvatni Hitaveitu Seltjarnarness



Virkt eftirlit með efnasamsetningu hitaveituvatns getur þannig gefið tímanlega viðvörðun um vandamál í uppsiglingu og kostur gefist á að bregðast við vandanum fyrir en ella með breyttri vinnslutilhögun eða viðgerð á borðholum. Mjög mikilvægt er að sett sé upp áætlun um slíkt reglubundið efnaeftirlit sem sniðin er að aðstæðum viðkomandi hitaveitu. Orkustofnun hefur um margra ára skeið verið að byggja upp virkt kerfi til að fylgjast með breytingum á efnaeiginleikum vatns á vinnslusvæðum flestra stærri hitaveitna og einnig margra þeirra smærri.

4.7 Umhverfisáhrif jarðhitavinnslu

Jarðhitanýting er talin lítt mengandi og umhverfisvæn samanborið við flesta aðra orkuvinnslu. Þó er ljóst að nokkur umhverfisspjöll eru óumflýjanleg við nýtingu jarðhita, einkum á háhitasvæðum. Umhverfisáhrif eru einnig nokkur frá náttúrulegri virkni jarðhitasvæða. markvissum rannsóknum á umhverfisáhrifum við nýtingu jarðhita hefur fram til þessa lítið verið sinnt á Íslandi. Mikið er þó til af upplýsingum sem þessu tengjast, en þeirra hefur yfirleitt verið aflað í öðrum tilgangi. Lítil sem engin gögn eru til um suma þætti.

Helstu umhverfisspjöll sem jarðhitanýting veldur eru:

1. **Varmamengun** sem verður bæði við vinnslu jarðhita og reyndar einnig við náttúrulegt afrennsli. Alvarlegustu dæmi um varmamengun eru á stöðum þar sem frárennslisvatni er veitt beint í ár og vötn.
2. **Efnamengun** í vatni og lofti fylgir vinnslu háhita en er þó mun minni en í orkuverum kyntum með kolum og olíu. Þó er áætlað að a.m.k. 150.000 tonn af koltvíoxíði og 7000 tonn af brennisteinsvetni streymi út í loftið frá jarðhitasvæðum á Íslandi. Auk eiturefna getur úði dreifst um og valdið útfellingum á gróðri og mannvirkjum.
3. **Eðlisbreytingar** umhverfis eins og landsig og breytingar á grunnvatnsstöðu verða við jarðhitavinnslu. Einnig geta orðið breytingar á jarðskjálftavirkni vegna massatöku.
4. **Útlitsbreytingar** á yfirborði jarðar verða óhjákvæmilega við gerð mannvirkja, en landspjöll geta einnig orðið við breytingar á virkni jarðhitans á yfirborði, sem rekja má til virkjunar. Dæmi um hættur þessu samfara eru öflugar og mannskæðar gufusprengingar sem orðið hafa á vinnslusvæðum gufuvirkjana erlendis.
5. **Hávaðamengun** verður við allar framkvæmdir, einkum boranir, en þó er mestur hávaði tengdur blásandi háhitaborðholum.

Flest stór orkuvinnslufyrirtæki meta hættu á grunnvatnsmengun frá orkuverum áður en nýting hefst og fylgjast í flestum tilfellum með ástandi grunnvatns að einhverju marki eftir að orkuver taka til starfa. Eitthvert mat og mælingar á efnamengun í lofti eru yfirleitt gerðar, en þeim þætti er oftast ábótavant. Á rannsóknarstigi og í tengslum við vinnslueftirlit eru gerðar margvíslegar athuganir sem varða mengun og önnur umhverfismál. Ekki er algengt að markvissst hafi verið fylgst með virkni jarðhita á yfirborði né heldur breytingum samfara massatöku og niðurdælingu. Mat á hávaðamengun er liður í vinnueftirliti og því ávallt gert. Margir þættir umhverfisspjalla samfara jarðhitanýtingu eru sérstakir hvað hana varðar og því oft

ekki augljósir þeim sem um heilbrigðis- og umhverfismál fjalla. Jarðhitafræðingum er kunnugt um þessa þætti, en ekki er víst að þeim sé fylgt eftir þegar vinnsla hefst, þótt virkjunaraðilum hafi verið bent á þá í upphari. Nokkuð hefur skort á að markvisst eftirlit hafi verið haft með umhverfisáhrifum jarðhitavirkjana, en líklegt er að þar verði breyting á með gildistöku nýrra laga um umhverfismat vegna framkvæmda. Samkvæmt þeim er skylt að láta fara fram umhverfismat við byggingu varmaorkuvers eða jarðhitavirkjunar sem nýtir meira en 25 MW í hráorku.

Rannsóknir á náttúrulegum breytingum á virkni jarðhitasvæða eru á flestum stöðum takmarkaðar og ósamfelldar þar sem fjármagn til rannsókna er takmarkað og rannsóknir á náttúrulegu ástandi jarðhitasvæða að öllu jöfnu ekki verið forgangsverkefni. Af sömu ástæðu og reyndar fyrrum einnig vegna lítils almenns áhuga á umhverfismálum hefur heldur ekki verið lögð mikil vinna í að meta náttúrulegt útstreymi efna frá óvirkjuðum jarðhitasvæðum. fyrir allflest svæði eru til gögn um efnasamsetningu gass og vatns, en gögn um magn útstreymis eru ófullkomin og ví er mikil óvissa bundin mati á efnaútstreymi. Þannig hefur verið stærðargráðu munur á þeim tölum sem ýmsir aðilar hafa birt um náttúrulegt útstreymi efna frá jarðhitasvæðum.

Á Orkustofnun er í gangi verkefni sem miðar að því að meta umhverfisáhrif jarðhita og er þar einkum horft til vinnslu háhita. Verkefnið er samvinnuverk Orkustofnunar við Hitaveit Suðurnesja, Hitaveitu Reykjavíkur og Landsvirkjunar. Í samstarfi aðilanna hafa komið fram allmargar hugmyndir um aðferðir til að draga úr mengun og umhverfisspjöllum við jarðhitánýtingu og er hugur á að vinna að ýmsum þróunarverkefnum þar að lútandi á næstu árum. Í því sambandi má nefna hönnun búnaðar til gasbrennslu, varmaskipta til að nýta kísilríkt vatn og aðferðar til niðurdælingar á gasi.

Einnig hefur verið unnið að frumgerð umhverfisúttektar á vinnslusvæðum samvinnuaðilanna og skilgreiningu þeirra þátta sem meta þarf í umhverfisúttekt á jarðhitavirkjun. Gerður var rammi um slíka úttekt og eftirlit í framhaldi af því. Í viðauka 1 er listi yfir þessa þætti eins og þeir voru settir fram í nýlegri skýrslu Halldórs Ármannssonar o.fl. (Halldór Ármannsson o.fl., 1993).

Lokaorð

Ásgrímur Guðmundsson, Einar Tjörvi Elíasson, Halldór Ármannsson, Helgi Torfason, Jón Örn Bjarnason, Knútur Árnason og Páll Ingólfsson hafa lagt til efni og aðstoðað við gerð þessa kafla.

4.8 HEIMILDARIT

Arnórsson, S., Gunnlaugsson, E. og Svavarsson, H., 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland. II, Mineral equilibria and independent variables controlling water compositions. *Goechim. Cosmochim. Acta*, 47, 547-566.

Axel Björnsson, 1990. jarðhitarannsóknir. Yfirlit um eðli jarðhitasvæða, jarðhitaleit og vinnslu jarðvarma. Orkustofnun og Samband íslenskra hitaveitna. OS-90020/JHD-04, 50 bls.

- Axel Björnsson, Guðni Axelsson og Ólafur G. Flóvenz, 1990. Uppruni hvera og lauga á Íslandi. Náttúrufræðingurinn, 60, 15-38.
- Grímur Björnsson, Guðni Axelsson, Jens Tómasson, Kristján Sæmundsson, Árni Ragnarsson, Sverrir Þórhallsson og Hrefna Kristmannsdóttir. Hitaveita Rangæinga. Jaðhitarannsóknir 1987-1992 og möguleikar á frekari orkuöflun. Orkustofnun, OS-93008/JHD-03 B, 74 bls.
- Guðmundur S. Böðvarsson, 1993. Recalibration of the Three-dimensional Model of the Nesjavellir Geothermal Field, Iceland. Hitaveita Reykjavíkur, 111 bls.
- Guðni Axelsson, 1993. Forðafræði jarðhitans. Erindi flutt á ársfundi Orkustofnunar 1993, OS-093013, 17 bls.
- Guðni Axelsson og Grímur Björnsson, 1992. Botn í Eyjafjarðarsveit. Líkanreikningar fyrir jarðhitakerfið. Orkustofnun, OS-92012/JHD-01, 71 bls.
- Halldór Ármannsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Guðný Þ. Pálsdóttir og Árni Jón Reginsson, 1993. Áhrif jarðhitavinnslu á umhverfið. Orkustofnun, í útgáfu.
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1983. Breytingar á efnasamsetningu jarðhitavatns á Seltjarnarnesi á tímabilinu 1970-1983. Orkustofnun, OS-83106/JHD-19, 27 bls.
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1990a. Hitaveituvatn á Íslandi. Efnasamsetning og flokkun. Orkustofnun, OS-91042/JHD-23 B, 15 bls.
- Hrefna kristmannsdóttir, 1990b. Útfelling í hitaveitum. Sveitarstjórnarmál, 50, 280-287.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Magnús Ólafsson, Hilmar Sigvaldason, Helga Tuliniur, Sverrir Þórhallsson og Kristján Sæmundsson, 1990. Hitaveita Þorlákshafnar. Áhrif vinnslu á jarðhitasvæðið og tillögur til úrbóta. Orkustofnun, OS-90021/JHD-09 B, 40 bls.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Sverrir Hákonarson og Jens Tómasson, 1991. Orkuforði hitaveitna – Samræmd gagnasöfnun og vinnslueftirlit með jarðhitasvæðum í nýtingu. Erindi flutt á Orkuþingi 1991, 9 bls.
- Jens Tómasson, 1988. Elliðaáarsvæðið. Uppruni og eðli jarðhitans. Orkustofnun, OS-88027/JHD-03, 67 bls.
- Kristmannsdóttir H., Ármannsson H. og Ólafsson M., 1992. Chemical monitoring of Icelandic geothermal fields. Paper presented at the Symposium of Industrial uses of Geothermal Energy in Reykjavík, September 1992.
- Magnús Ólafsson, 1988. Súrefnisupptaka í aðveituæðum úr plasti. Orkustofnun, OS-88032/JHD-16 B.
- Ólafur G. Flóvenz, Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1992. Hitaveita Akureyrar. Vinnslueftirlit 1991. Orkustofnun, OS-92020/JHD-07 B, 34 bls.
- Sverrir Þórhallsson, 1989. Um boranir fyrir hitaveitur. Erindi flutt á vetrarfundi Sambands íslenskra hitaveitna, 20. október, 1989.
- Tómasson, J. og Halldórsson G. K., 1981. the cooling of the Selfoss geothermal area, S-Iceland. Geothermal Resources Council Transactions, 209-211.
- Valgarður Stefánsson og Benedikt Steingrímsson, 1980. Geothermal logging I. An introduction to techniques and interpretation. OS80017/JHD09, 117 bls.

4.9 Viðauki 1:

Tillögur að þáttum í umhverfismati fyrir jarðhitavirkjanir – Ástand virkjaðra svæða

1. Spurningalisti um upplýsingar sem fyrir liggja

A JARÐRASK

1. Var gerð úttekt á lífríki svæðisins fyrir virkjun?
2. Hefur verið fylgst með hugsanlegum breytingum vegna rasks?
3. Hefur orðið vart við jarðvegs- eða gróðureyðingu í kjölfar virkjunar?
4. Hefur verið grætt upp land til að hamla gegn slíkri eyðingu?
5. Er gengið tryggilega frá borholum sem ekki eru nýttar og fer fram reglulegt viðhald á toppbúnaði þeirra?
6. Hafa borholur farið úr böndum? ef svo er hafa þá verið gerðar ráðstafanir til að hemja þær og/eða laga verksummerki?
7. Hefur öllum efnistöknámum sem notaðar voru við byggingu virkjunarinnar og ekki á að nota í öðru skyni verið lokað og gengið frá þannig að vegsummerki séu ásættanleg?
8. Hefur verið gengið frá jarðraski og aðfluttu efni eftir bygging virkjunarinnar?
9. Er almennt snyrtilega gengið um svæðið; hefur t.d. járnarusli o.þ.h. verið safnað saman og það síðan fjarlæggt?

B MASSABREYTINGAR

1. Voru yfirborðsummerfki jarðhita kortlögð áður en virkjað var og hefur verið fylgst með hugsanlegum breytingum?
2. Hafa orðið breytingar á yfirborðsjarðhita? Ef svo er, eru líkur til þess að svæðið missi eða auki aðdráttarafl fyrir ferðamenn? Er öruggt að slíkar breytingar megi rekja til vinnslu, hafi þær orðið?
3. Hafa brotalínur verið kortlagðar og afstæð virkni þeirra metin?
4. Er fylgst reglulega með massatöku og orkuvinnslu úr öllum borholum?
5. Hefur verið fylgst reglulega með þrýstingi í jarðhitakerfinu?
6. Er ástæða til að ætla að markverðar breytingar hafi orðið þar á?
7. Er ástæða til að ætla að blöndun milli mismunandi vatnskerfa eða önnur röskun geti átt sér stað við mikinn niðurdrátt?
8. eru líkur til þess að gufupúðar geti myndast og valdið hættu á sprengigosum, verði massataka áfram svipuð og nú er?

9. Hefur verið fylgst grannt með landsigi ot er ástæða til að ætla að það sé umtalsvert?
10. Er fylgst reglulega með jarðhræringum og eru gerðar ráðstafanir til að bregðast við náttúruhamförum?

C HÁVAÐI

1. Hefur hávaði í nágrenni borhola verið mældur a) í blástursprófunum, b) við vinnslu?
2. Hefur hávaði í skiljustöð, stöðvarhúsi og nágrenni verið mældur?
3. Er þess gætt að hljóðdeyfar á öllum holum sem láttnar eru blása út í andrúmsloftið séu í viðunandi ástandi?

D VARMABREYTINGAR

1. Hvert fer affallsvatn frá borholum og skiljustöð (beint í jörð, í á eða stöðuvatn, í tjörn sem myndast sérstaklega, eða er því dælt aftur niður í jarðhitakerfið)?
2. Var hitastig á helstu viðtökustöðum affalls mælt fyrir virkjun og hefur verið fylgst reglulega með því síðan?
3. Hefur fundist sú breyting á hita slíkra staða er hefði getað haft áhrif til breytinga á lífríki?
4. Hefur streymi gufu til andrúmslofts frá borholum og öðrum hlutum virkjunar verið reglulega skráð?
5. Er hugsanlegt að guru- og gasútstreymi hafi haft staðbundin áhrif á veður?

E GASÚTBLÁSTUR

1. hefur streymi gufu til andrúmslofts frá borholum og öðrum hlutum virkjunar verið reglulega skráð og er vitað hver styrkur helstu hugsanlegra skaðvalda (CO₂, CH₄, H₂S, Hg, As, NH₃, Rn, B) í henni er?
2. Hefur styrkur helstu hugsanlegra mengunarvalda verið mældur í andrúmslofti í nágrenni virkjunar (SO₂ vegna hugsanlegrar oxunar H₂S auk ofangreindra gasa)?
3. Hefur verið gripið til einhverra ráðstafana til að draga úr útblæstri þeirra gastegunda er hugsanlega geta skaðlegar talist?
4. Eru útblástursleiðir gufu þannig hannaðar að eingöngu þurr gufa sleppi til andrúmslofts eða er hætta á að vatnsúði dreifist til umhverfis meðan holur eru í blæstri?

F EFNÍ Í AFFALLSVATNI

1. Voru gerðar efnagreiningar á því vatni er búast mátti við að blandaðist affallsvatni áður en til virkjunar kom og hefur verið fylgst með því vatni síðan?
2. Er vökvi úr borholum efnagreindur reglulega?

3. Er affallsvatn efnagreint reglulega?
3. Er helstu hugsanlegum mengunarvöldum (pH, Cl, B H₂S, As, Fe, Mn, Hg, Pb, Cd, Zn, Cu) gaumur gefinn þegar efnagreint er?
5. Hafa hugsanleg áhrif á lífríki v/mögulegra breytinga á efnasamsetningu verið metin?

G VERNDUN

1. Hefur verið gerð úttekt á svæðinu með tilliti til verndunar (t.d. náttúruverndar, verndunar sögulegra minja o.s.frv.)?
2. Eru hlutar svæðisins verndaðir og er þá fylgst reglulega með því að þeim sé hlíft?
3. Er skýrt kveðið á um slíkt eftirlit og hver á að sjá um það?
4. Eru viðurlög við brotum og er unnt að skjóta málum til úrskurðaraðila eða opinberra dómstóla leiki grunur á um að brotalöm sé á varðandi verndun?

H ALMANNATENGL

1. Er fylgst reglulega með viðbrögðum almennings í nágrenninu við starfsemi virkjunarinnar, t.d. með almennum borgarafundum?
2. Hafa borist kvartanir um áhrif virkjunarinnar á umhverfi sitt?
3. Hafa slíkar kvartanir, ef einhverjar eru, talist réttmætar og hefur verið unnt að bregðast við þeim með úrbótum?

I ALMENNT EFTIRLIT

1. Er í gangi skipulegt, tímasett eftirlit með helstu umhverfisþáttum?
2. Ef svo er, hver er ábyrgur fyrir því eftirliti og hver fylgist með því að það sé útfært á viðunandi hátt?

2. Hugsanlegar aðgerðir til úrbóta

Í eftirfarandi yfirliti eru hugmyndir að aðgerðum sem grípa má til ef umhverfisúttekt bendir til að úrbóta sé þörf. Virkjunaraðili sér um framkvæmd slíkra aðgerða og fjármagnar þær. Orkustofnun er ráðgjafi varðandi æskilegar framkvæmdir, hefur yfirsýn yfir umhverfisáhrif virkjunarinnar (þ.e. samræmingu og gagnasöfnun) og leyfi til að gera skyndikannanir. Vísað er til flokkunar í spurningalista.

A JARÐRASK

- 1.-3. Leitað verði sérfræðiálits um ástand lífríkis (sbr. D 3. og F 6.).
4. Virkjunaraðili sér um uppgræðslu en leitað skal sérfræðilegrar aðstoðar ef ástæða þykir til.

- 5.-9. Virkjunaraðili láti gera úttekt á umgengni og leiti álits hagsmunaaðila, t.d. Náttúruverndarráðs, ef ástæða þykir til.

B MASSABREYTINGAR

- 1.-3. Virkjunaraðili láti gera kort af núverandi yfirborðsummerkjum og freisti þess að bera þau saman við upplýsingar um svæðið fyrir nýtingu og meta að hve miklu leyti sé líklegt að breytingar megi rekja til vinnslu. Slíkt verk mætti að einhverju marki vinna í samvinnu við aðila sem búa yfir sérhæfðum tækjum, t.d. Merkjafraeðistofu Háskóla Íslands, varðandi loft- og hitamyndir. Virkjum misgengjum verði sérstakur gaumur gefinn. Ef ástæða þykir til má leita álits umsjónar- og hagsmunaaðila, t.d. Náttúruverndarráðs og Ferðamálaráðs, og í framhaldi af því gæti komið til tillagna um breytingu á rekstri, t.d. minnkun vökvatöku, (aukna) niðurdælingu o.s.frv.
- 4.-8. Virkjunaraðili láti gera forðafræðiúttekt ef nauðsynlegt þykir.
9. Virkjunaraðili láti gera hæðar- og þyngdarmælingar, ef þörf krefur.
10. Höfð verður samvinna við aðila sem búa yfir nauðsynlegri tækni, t.d. Raunvísindastofnun Háskóla Íslands, Norrænu eldfjallastöðina og Veðurstofu Íslands, um rekstur skjálftamæla. Þá verði leitað ráða hjá Almannavörnum ríkisins um viðbrögð við náttúruhamförum og þau kynnt starfsfólki og nágrönnum.

C HÁVAÐI

- 1.-2. Aðili sem býr yfir nauðsynlegri tækni, t.d. Vinnueftirlit ríkisins, verði fenginn til að mæla hávaða þar sem ástæða þykir til.
3. Virkjunaraðili geri úttekt á hljóðdeyfum eftir því sem þörf þykir.

D VARMABREYTINGAR

2. Virkjunaraðili sjái um að hiti verði mældur og reyni að meta breytingar frá upphafi virkjunar.
3. Leitað verði álits sérfróðs aðila um hugsanleg áhrif hitabreytinga á lífríki (sbr. A 1.3. og F 6).
- 4.-5. Virkjunaraðilar safni saman gögnum um útblástur hola og virkjunar og sérfróður aðili, t.d. Veðurstofa Íslands, verði fengin til að gefa álit um hugsanlegar staðbundnar breytingar á veðri af hans völdum.

E ÚTBLÁSTUR ANDRÚMSLOFTS

- 1.-2. Virkjunaraðili láti gera þær efnagreiningar á gasi sem ástæða þykir til að gera.
3. Sérfróðir aðilar verði kvaddir til ef ástæða er til að ætla að þurfi að setja upp hreinsibúnað.
4. Gerð verði úttekt á hljóðdeyfum (sbr. C 3.) t.d. með samanburði á aflmælingaaðferðum (sbr. Einar Gunnlaugsson & Gestur Gíslason 1991).

F EFNI Í AFFALLSVATNI

- 2.-4. Virkjunaraðili sjái um að efnagreiningar verði gerðar eftir því sem þörf krefur.
5. Leitað veðri álits sérfróðra aðila um hugsanleg áhrif efnabreytinga á lífríki ef þurfa þykir (sbr. A 1.-3. og D 3.).

G VERNDUN

- 1.-4. Leitað verði upplýsinga og ráða hjá umsjónaraðilum, t.d. Náttúruverndarráði eða Þjóðminjasafni, ef ástæða þykir til.

H ALMANNATENGL

1. Virkjunaraðili skipuleggi borgarafund í lok umhverfisúttektar og kynni niðurstöður hennar.
2. Virkjunaraðili afhendi gögn um kvartanir til umfjöllunaraðila, t.d. Náttúruverndarráðs eða Vinnueftirlits, láti þá meta hvort ástæða sé til frekari aðgerða og sjái um framkvæmd sé þeirra þörf.

I ALMENNT EFTIRLIT

- 1.-2. Virkjunaraðili skipuleggi og sjái um reglubundið eftirlit með helstu umhverfisþáttum skv. ráðleggingum frá ráðgjöfum.

4.10 Viðauki 2:

Dæmi um kostnaðaráætlun fyrir borun jarðhitaholna

Borun 50 m rannsóknarholu

VERKÞÁTTUR	EININGAVERÐ	FJÖLDI EIN.	SAMTALS
Flutningur til og frá borstað	100.000	1	100.000
Samtals fyrir 5 holur í 50 m:			
Borun í 25 m með holut.	5.000	125	625.000
Borun neðan 25 m	2.500	125	312.500
			1037.500
Ráðgjöf og mælingar Orkustofnunar		Ófyrirséð 15%	300.000
			200.625
Samtals áætlaður kostnaður (kr)			1538.125
Verkdagar samt. ca.	7		

Borun 200 m rannsóknarholu

VERKÞÁTTUR	EININGAVERÐ	FJÖLDI EIN.	SAMTALS
Borplan og vegur	200.000	1	200.000
Flutningur til og frá borstað	250.000	1	250.000
Borun fyrir yfirborðsfóðringu	19.000	30	570.000
Borun fyrir lausri fóðringu	12.000	10	120.000
Borun vinnsluhluta	5.000	160	800.000
Tímgjald áhöfn og bor	10.000	5	50.000
Tímgjald áhöfn og dælur	19.000	5	95.000
Tímgjald áhöfn og loftpressu	19.000	10	190.000
Rör í planið 14"	6.000	3	18.000
Yfirborðsfóðring 10 3/4"	4.000	30	120.000
Laus fóðring 7 5/8"	3.000	40	120.000
Holutoppur, flansar	30.000	1	30.000
			2563.000
Ráðgjöf og mælingar Orkustofnunar		Ófyrirséð 15%	600.000
			474.450
Samtals áætlaður kostnaður (kr)			3637.450

Óvissa í kostnaðaráætlun +/- 40%

Virðisaukaskattur ekki innifalinn.

Verkdagar samt. ca. 7

Borun 500 m vinnsluholu

VERKÞÁTTUR	EININGAVERÐ	FJÖLDI EIN.	SAMTALS
Borplan og vegur	300.000	1	300.000
Flutningur til og frá borstað	350.000	1	350.000
Borun fyrir yfirborðsfóðringu	19.000	40	760.000
Borun fyrir vinnslufóðringu	12.000	160	1920.000
Borun vinnsluhluta	7.000	200	1400.000
Tímgjald áhöfn og bor	12.000	5	60.000
Tímgjald áhöfn og dælur	25.000	5	125.000
Tímgjald áhöfn og loftpressu	25.000	10	250.000
Rör í planið 16" eða 18"	9.000	3	27.000
Yfirborðsfóðring 14"	6.000	40	240.000
Vinnslufóðring 10 3/4"	4.000	200	800.000
Fóðringarsteypa	17.000	12	204.000
Holutoppur, flansar	30.000	1	30.000
			6466.000
Ráðgjöf og mælingar Orkustofnunar			850.000
		Ófyrirséð 15%	1097.400
Samtals áætlaður kostnaður (kr)			8413.400

Óvissa í kostnaðaráætlun +/- 40%
Virðisaukaskattur ekki innifalinn.
Verkdagar samt. ca. 14

Borun 1500 m vinnsluholu

VERKÞÁTTUR	EININGAVERÐ	FJÖLDI EIN.	SAMTALS
Borplan og vegur	400.000	1	400.000
Flutningur til og frá borstað	550.000	1	550.000
Borun fyrir yfirborðsfóðringu	19.000	40	760.000
Borun fyrir vinnslufóðringu	12.000	460	5520.000
Borun vinnsluhluta ofan 900 m	9.000	400	3600.000
Borun vinnsluhluta neðan 900 m	12.000	500	6000.000
Tímgjald áhöfn og bor	12.000	5	60.000
Tímgjald áhöfn og dælur	25.000	7	175.000
Tímgjald áhöfn og loftpressu	25.000	14	350.000
Rör í planið 16" eða 18"	9.000	3	27.000
Yfirborðsfóðring 14"	6.000	40	240.000
Vinnslufóðring 10 3/4"	4.000	500	2000.000
Fóðringarsteypa	17.000	15	255.000
Holutoppur, flansar	30.000	1	30.000
			19967.000
Ráðgjöf og mælingar Orkustofnunar			1500.000
		Ófyrirséð 15%	3220.050
Samtals áætlaður kostnaður (kr)			24687.050

Óvissa í kostnaðaráætlun +/- 40%
Virðisaukaskattur ekki innifalinn.
Verkdagar samt. ca. 46

Hitaveituhandbók Samorku

Verkfræðistofa Á.G.

Árni Gunnarsson

5. kafli

Heitavatnsdælar

Júní 1992

Júní 1993 stöðvadælar

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 höfuðflokkka. 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. loftknúnar 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 djúpdælugerð 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 Crealius 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 Crealius 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 afgangsla 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

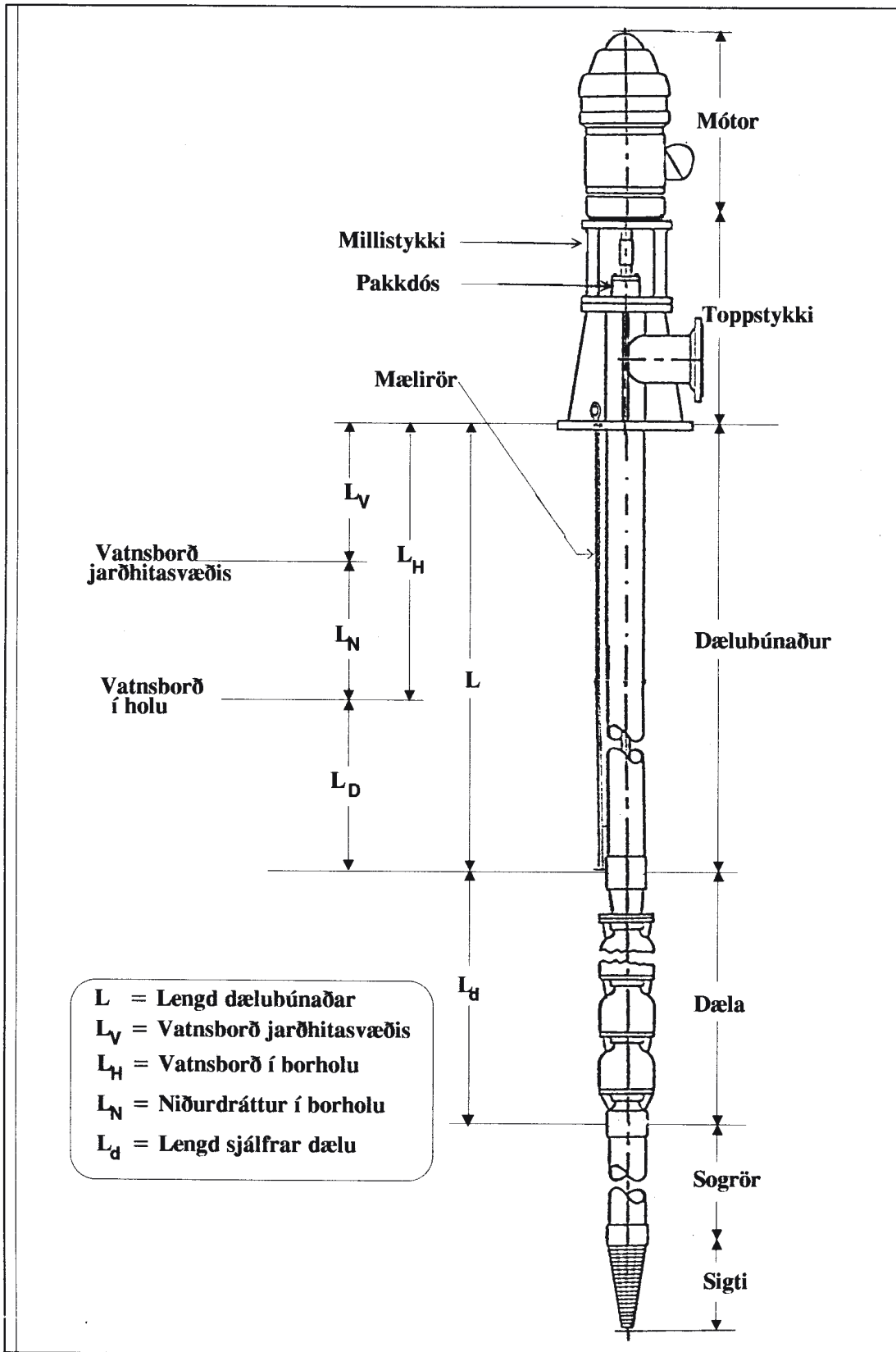
Efst trjónir mótörinn. Toppstykkinu er komið fyrir á borholuflansinum og samaþnstendur af hinu eiginlega toppstykki sem tengir dæluna við safnæð, millistykki fyrir mótör og pakkdós sem þéttir að öxlinum þar sem hann gengur upp úr toppstykkinu. Dælubúnaðurinn samanstendur af dælurörum, smurrörum, öxlum, 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 stýriþgrindum, 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.

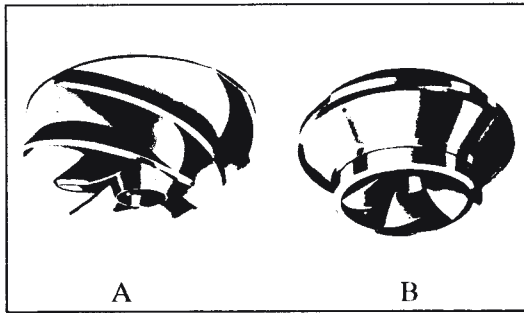
Mynd 5.2 sýnir þversnið dælu af staðlaðri gerð. Dæluhúsin eru skrúfuð saman og er það ódýrasta útfærslan á minni dælum. Þau eru boltuð saman með flönsum á stærri dælunum (10”) og á þeim minni ef óskað er eftir því sérstaklega eða ef dælan er með afþrýstum hjólum og mesta hlaupi (max axial clearance). 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.



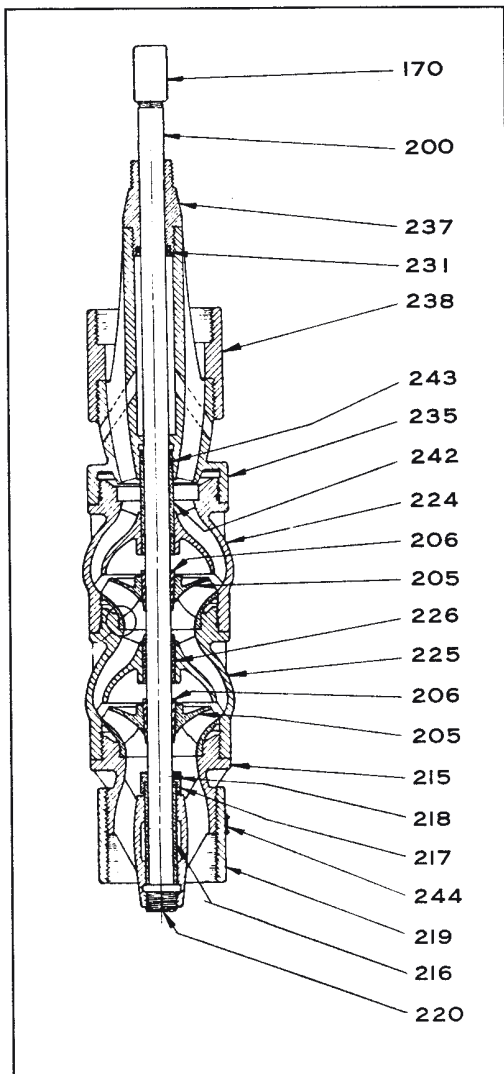
Mynd 5.1: Þversnið í öxuldjúpdælu

Mynd 5.1: Þversnið í öxuldjúpdælu

Mynd 5.2: Þversnið dælu, [2]

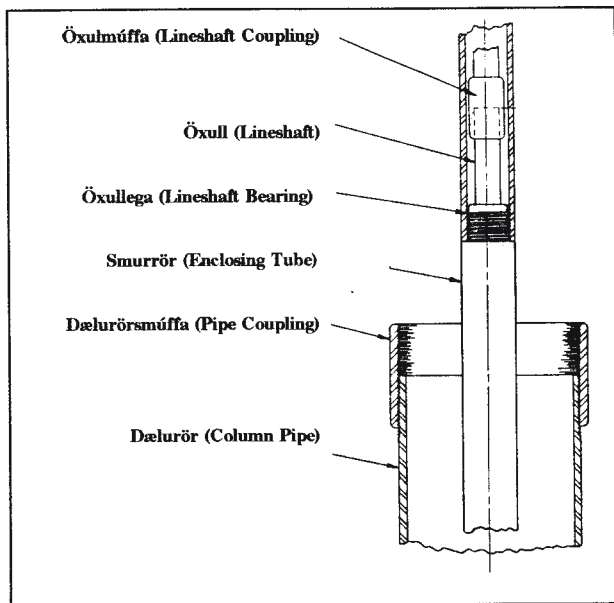


Mynd 5.4: Dæluhjólagerðir:
A: Hálf-opið (semi-open imp.)
B: Lokað (enclosed impeller)



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	Festiskrufta 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 dælubúnaðar.

Á myndina vantar stýrigrindina

Eins og áður er getið sýnir mynd 5.2 dælu af staðlaðri gerð. Reynslan 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 dælu koma þar fram. Yfirleitt gefa framleiðendur upp afkastagetu dælu miðað við eitt dæluhjól. Ef þörf er á meiri þrýstigeitu er fleiri dæluþrepum bætt við dæluna. Vinsældir öxuldjúpdælu eru ekki síst vegna þess hve einfalt er að laga hana að breyttum aðstæðum hvað snertir þrýstiþörf, t.d. vegna breytinga á vatnsborði jarðhitasvæðisins. Einnig er rétt að bæta við þeirri staðreynd að auðvelt er að viðhalda þessum búnaði 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 eftirtaldar 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

$$c_1 = \text{iðustreymisstuðull borholu} \quad [m/(l/s)^2]$$

$$m = \text{rennsli} \quad [l/s]$$

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 afkastþörf 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 dælubúnaðinum orsakar að dæluöxullinn leggst út í öxullegur og slítur þeim, þannig að endingartími búnaðarins verður ófullnægjandi.*

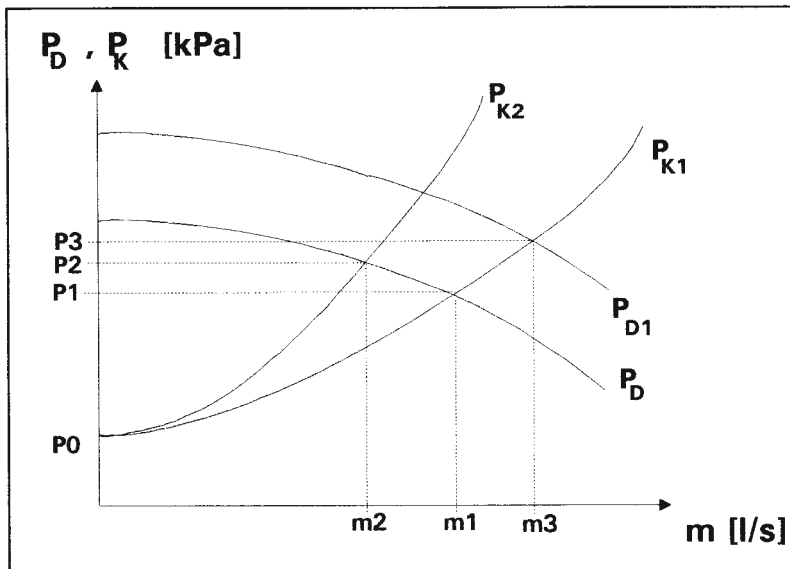
Þegar forsendur samkvæmt liðum 1-6 liggja fyrir er fyrst hægt að snúa sér að því að velja rétta stærð og gerð af dælu, dælubúnaði og mótor í viðkomandi borholu, þ.e.a.s. að virkja hana.

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 dæluvarar 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 dælukenningunni.

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 dæluvarar úr m_1 í m_2 [l/s].

Dælukenningunni er hægt að breyta með því að:

4. Velja aðra dælu/dæluhjól með kennilínu sem hentar betur.
5. Breyta fjölda dæluhjóla.
6. Breyta snúningshraða dæluvarar 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 dælu,

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 dælu 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 fólgin 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 $t < 100^\circ\text{C}$:

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

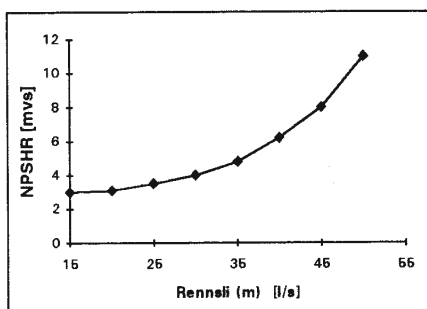
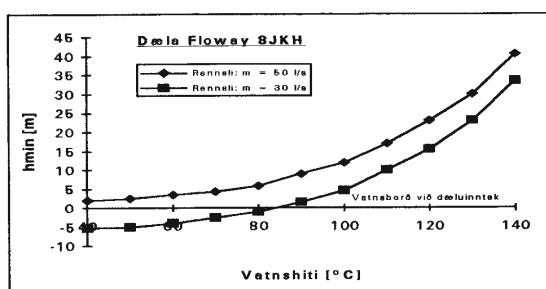
þar sem

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 = þrýstitöþ 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 þrýstitöþ 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_{12} 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 veggum 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.

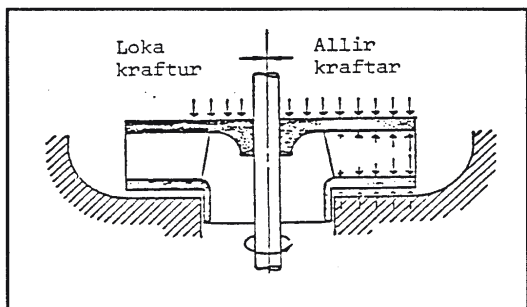
Lenging dæluöxla – E_A

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.

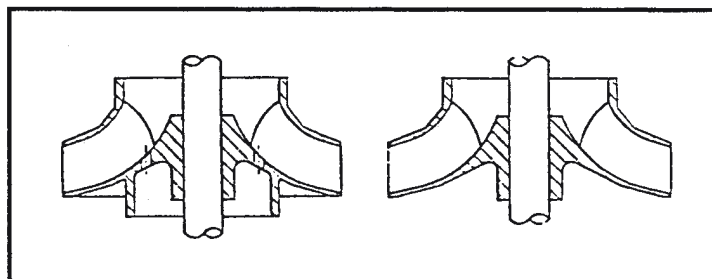
Ef öll dæluhjólin eru eins í dæluinni fæst heildartogkrafturinn með því að margfalda dæluþrýstinginn með þrýstistuðlinum k_1 . Ef sum af dæluhjólunum eru afþrýst (thrust balanced), þ.e.a.s. enginn óútfafnaður þrýstingur hvílir á þeim (ofangreint svæði á efri hluta dæluhjólsins hefur verið innilokað með 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.

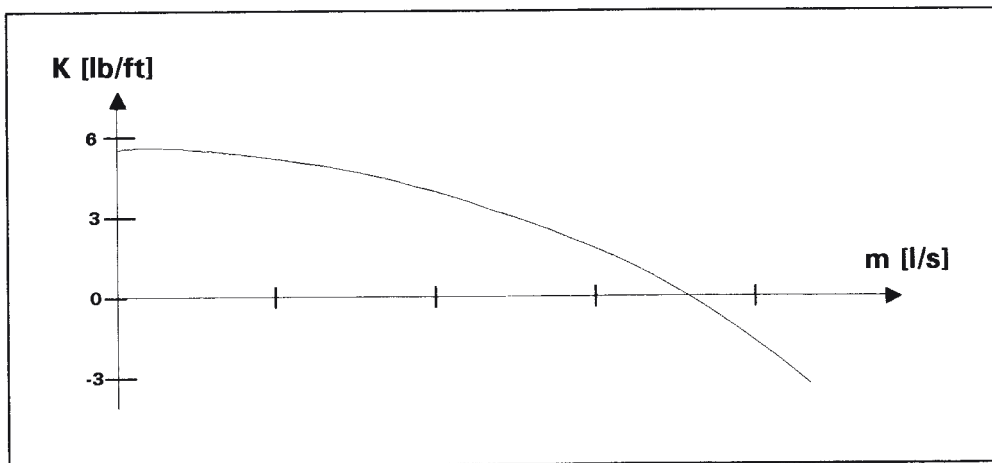
Tognun dæluöxlanna vegna togkraftsins T_A er reiknuð með jöfnu 5.14 samkvæmt lögmáli Hooke's:

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

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 opsins 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 mótörinn 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.

Öxulaflþörf dælumótors – A_M

Það afl sem mótörinn þarf að gefa frá sér út á öxul ákvarðast hverju sinni af aflþörf 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 = öxulafl mótors	[kW]
A_D = aflþörf 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 dællunnar (fjölgun 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 rennsli 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 dælnnar, 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 dælnnar, 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 fjaræsa 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 spíssaðir 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 spinnató 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.

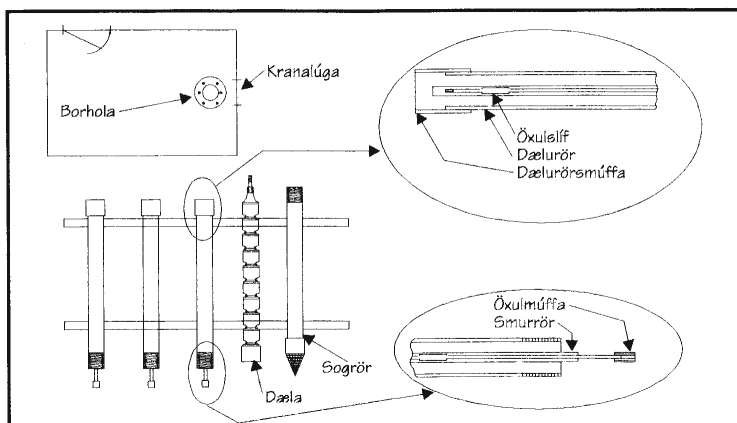
5.2.1.5.3 NIÐURSETNING

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.
-



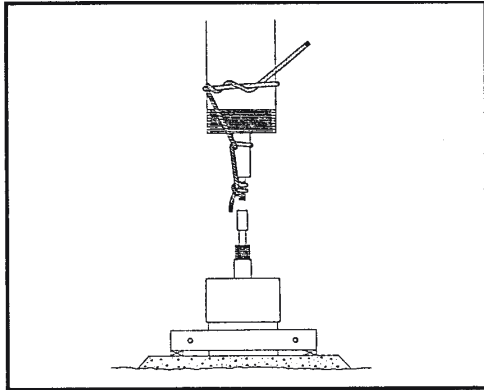
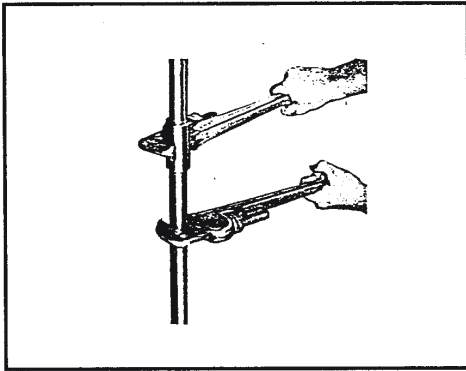
Mynd 5.11: Niðurröðun dælubúnaðar fyrir niðursetningu.

Niðursetning

Við niðursetningu 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 réttingarþekkingum 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 dæluhúsa 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 dæluhúsa 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	Hlutur	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 ónýtt, 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.

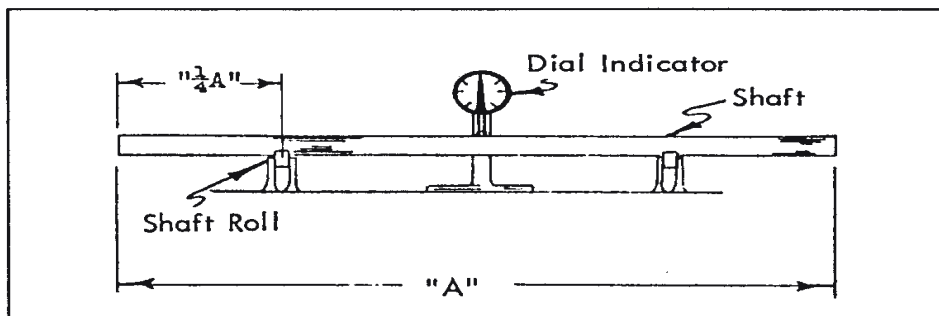
5.2.1.6.3 RÉTTING DÆLUÖXLA

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 ásnúningi þannig að útslag fáiast. Þar sem útslagið er mest skal merkja með krít og nú getur réttin hafist.

Ásnúningur er snúður þar til krítarmerkið snýr upp, réttin sett ofan á ásnúninginn 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 ásnúningurinn réttur á þessum stað.

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

Nú er klukkan færð út fyrir búkkann, á annan enda ássins, og borin að honum. Ásnúningur er snúður og merkt með krítinni þar sem útslagið er mest. Ásnúningur er því næst snúður 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 ásnúningurinn er orðinn réttur og snúa sér síðan að hinum endanum með sama hætti.



Mynd 5.14: Réttngarabekkur 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 niðurstetningu að finna hvergi upplýsingar um dæluþúnaðinn í tiltekinni borholu, t.d. hversu mörg hjól í dæluinni 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 búnaðarins 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 niðurstetningu, 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 mæliblaði 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 mælibúnaðarins. 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 hætta er á að snúran festist í henni og slitni við tilraunir til losunar.

Þar sem enginn vatnsborðsmælibúnaður er í vinnsluholu er hægt að áætla vatnsborð í henni með aðstoð kennilínu dællunnar, ef aðstaða er til að mæla rennsli, holutoppþrýsting 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 aflgjaldskrá 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 dælubúnaðarins 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.

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

þar sem

K_a = raforkukostnaður á ári	[kr/ár]
A_N = aflþörf mótors	[kW]
a_1 = orkugjald	[kr/kWh]
a_2 = aflgjald	[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 aflgjaldið 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 mótors 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 mótors 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 dæluúrfunni.	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.

Sjálfdælan 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

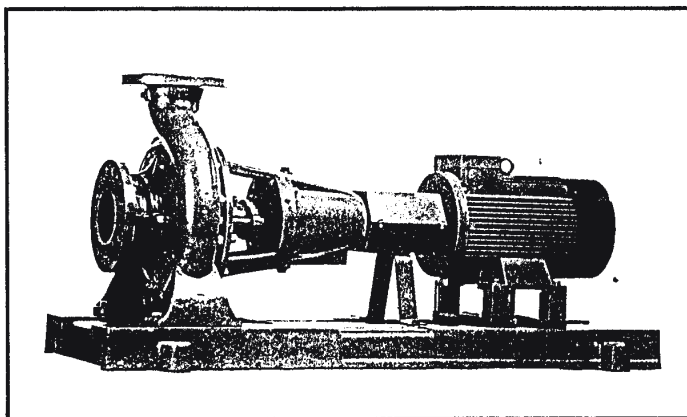
Stöðvardælur eru notaðar til að dreifa heita vatninu til neytenda eftir að því hefur verið dælt upp úr borholum. Sjaldan háttar svo til að hægt sé að dreifa því beint frá borholudælum, heldur reynist nauðsynlegt að fella þrýsting

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.
-

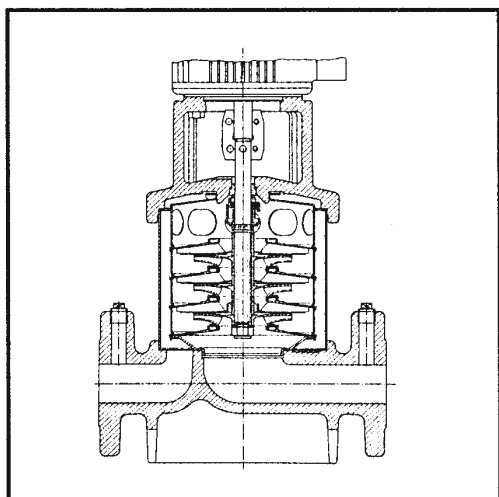
-
- / Oft er mun auðveldara og ódýrara að auka sogþrýsting dælnanna til að hindra slagsuðu, með því að láta pottinn ganga niður úr gólfplötu, í stað þess að byggja sérstakan kjallara, eins og þarf ef hefðbundnar láréttar dælur eru notaðar.

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.

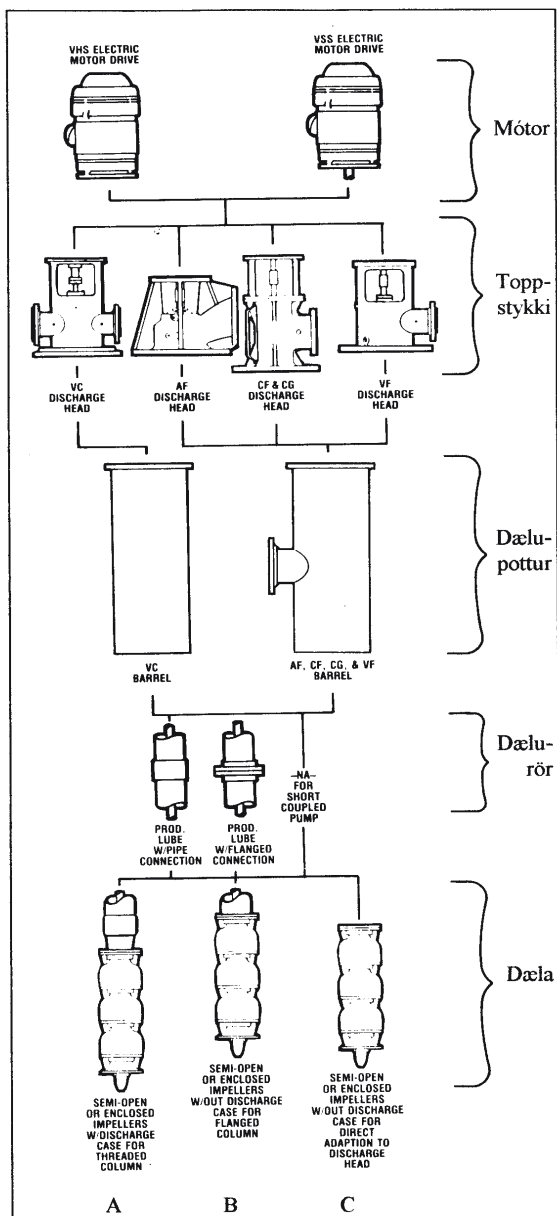


Mynd 5.16: Lóðrétt miðflóttaaflsdæla

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 notkunarsviðum. 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 mótör 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 mótörlegu (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 mótörum, ef tryggja á að þeir geti gengið á milli dælna fyrirhafnarlaust, afkastageta undanskilin, sjá nánar viðauka 7:

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

Flanstengi mótors, BD, sem tengir hann við milliþstykkið, 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 mótorsins 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 mótors, sjá mynd 5.17. Því tilheyrandi er millistykki fyrir mótörinn, ýmist sambyggt eða sjálfstætt. Toppstykkinn eru misjafnlega útfærð, t.d. háð því hvort soggreinin 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 soggrein 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 sogþrýsting (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 hálfopnum 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.

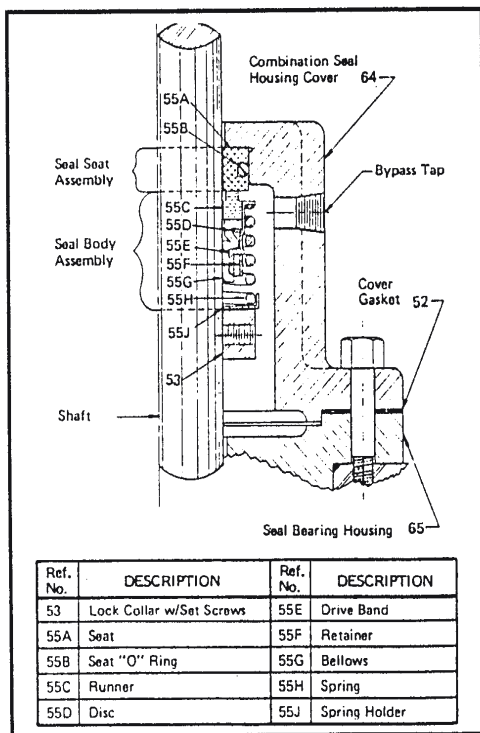
Í stöðvardælum er hins vegar neðsta húsið með straumlínulöguðu inntaki til að lágmarka þrýstifallið eins og kostur er. Sigtir er að öllu jöfnu ekki notað nema í undantekningartilfellum og er það þá hringlaga og klemmt neðan á húsið.

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 stopp.

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:

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

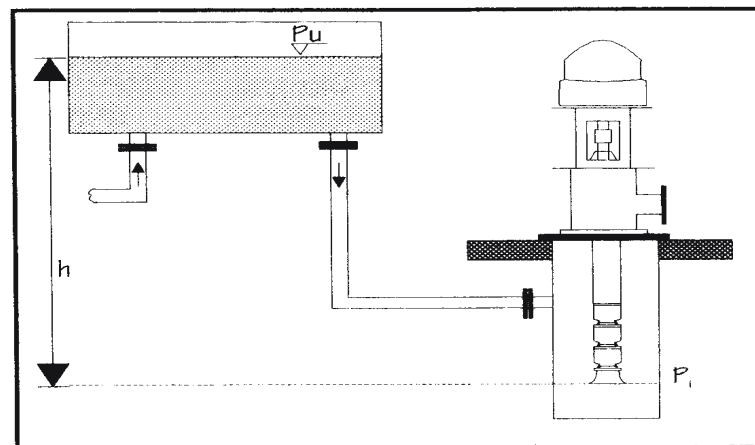
eða

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

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]

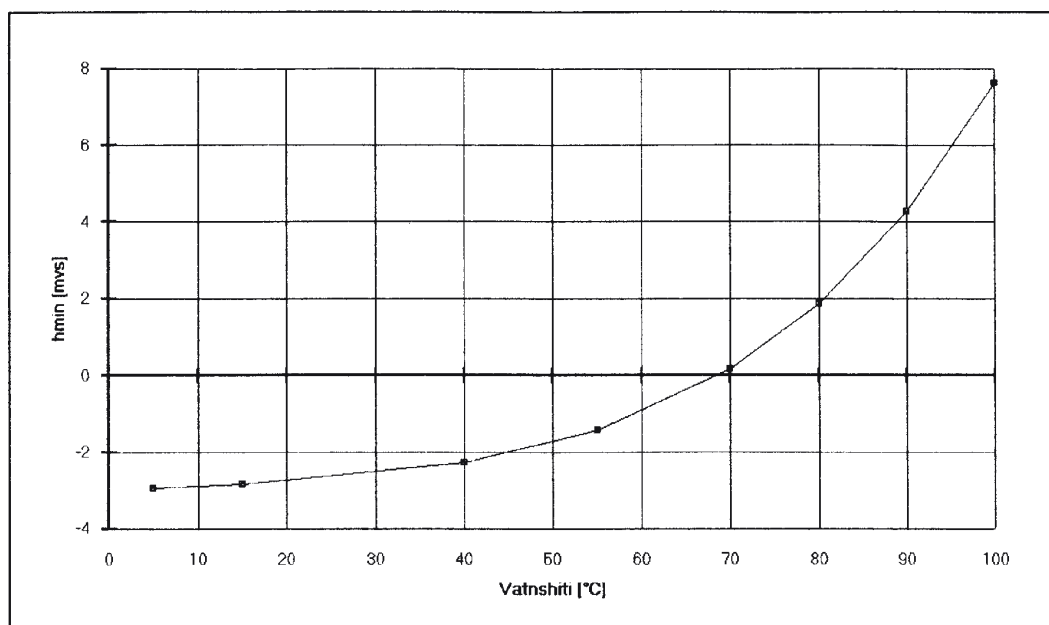
Ef jöfnur 5.39 og 5.40 eru leystar saman, fæst sú lágmarkshæð h_{min} sem verður að vera til staðar í geymi til að tryggja að ekki slagsjóði í dælu:

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

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 lægsta 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 þrjú 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 dæluhjóla.

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

/ **Lokuð dæluhjól.**

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 kílarnir (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 hreyfíkrafta	[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 hreyfíkrafta	[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.

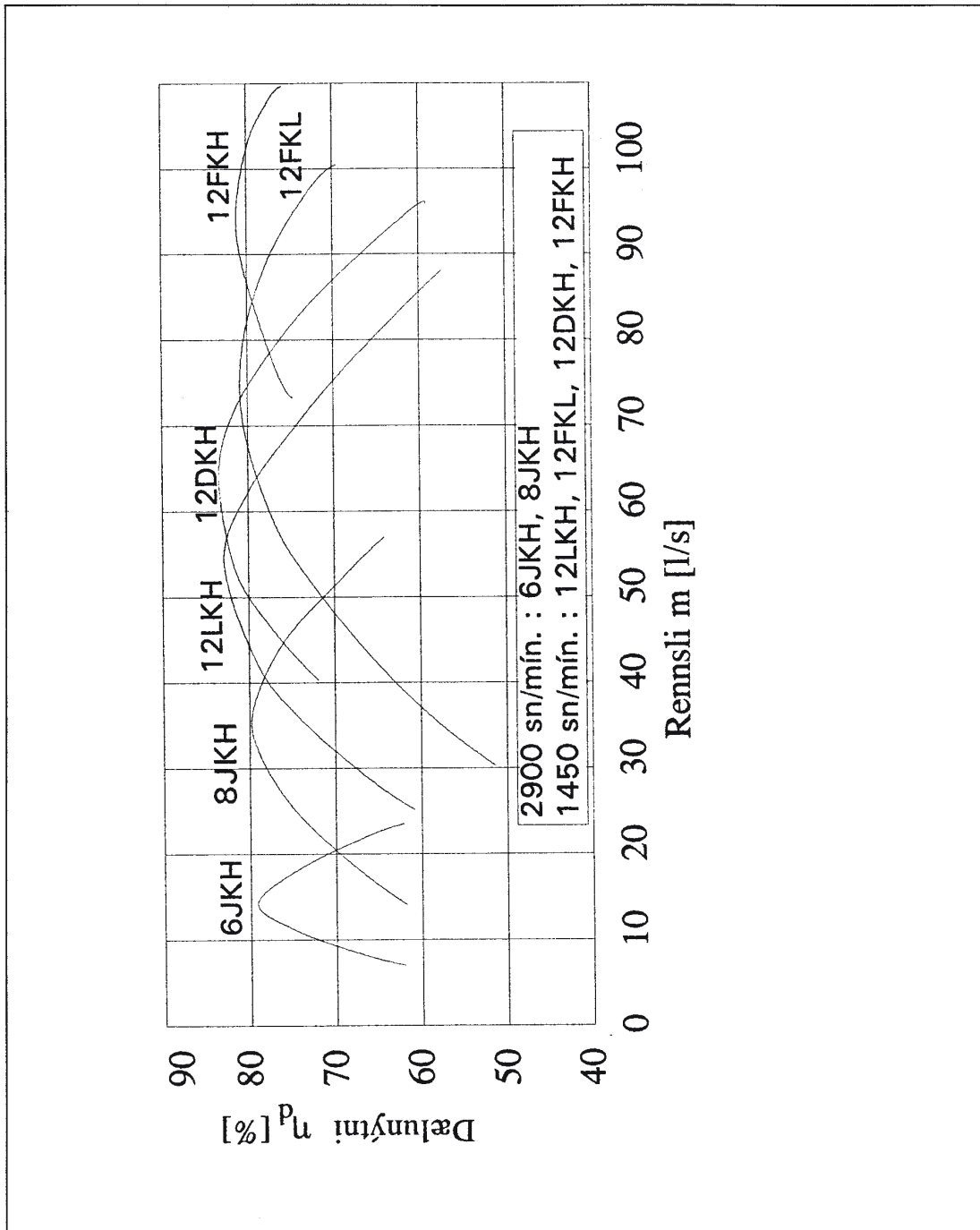
(Fitted with heaters)

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.

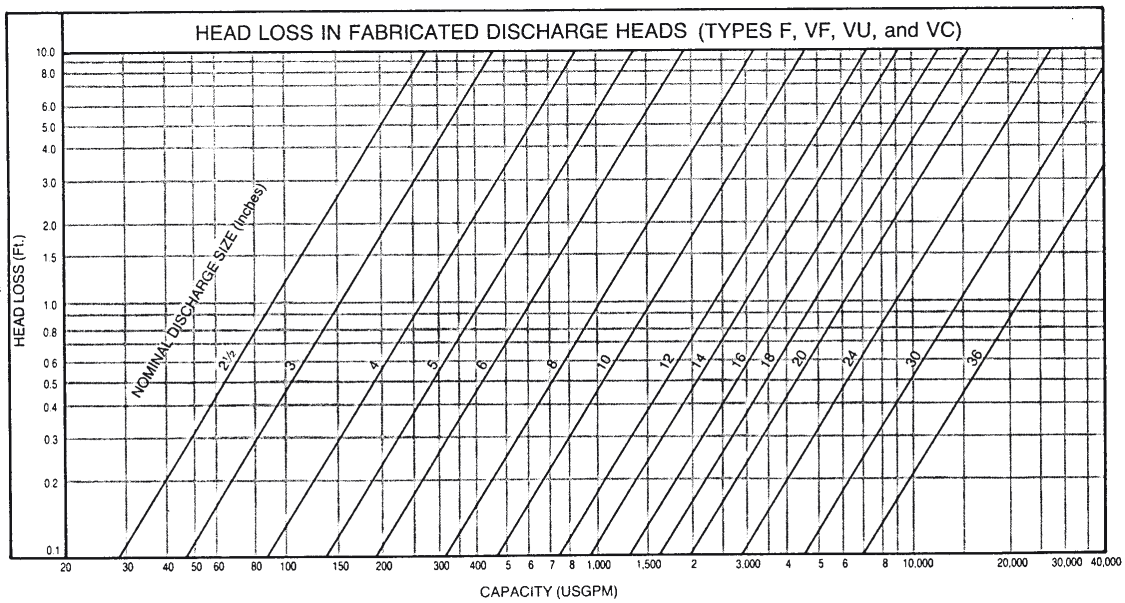
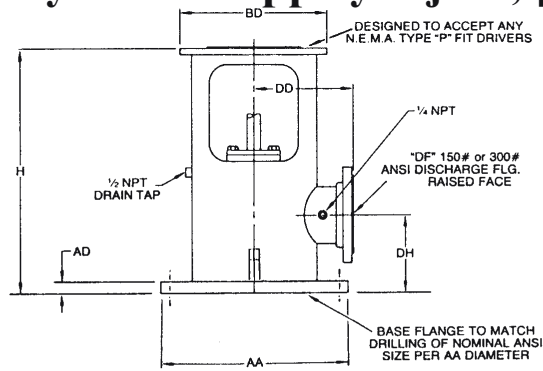
Viðauki 2 Floway dælukúrfur [1]

Yfirlit yfir algengustu öxuldjúpdælar - nýtni sem fall af rennsli.



Viðauki 4

Þrýstifall í toppstykki, [1].



215.86 Sup. 8.31.82
NOT FOR CERTIFICATION

8JKH

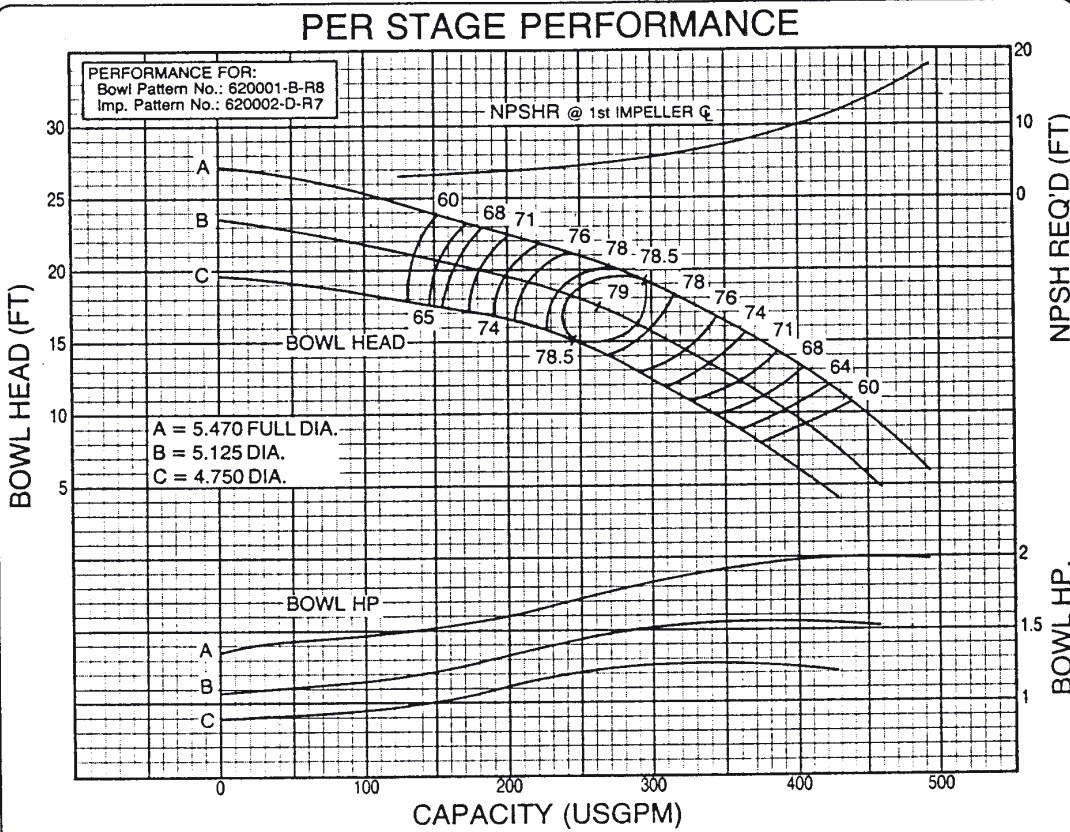
NUMBER OF STAGES	EFFICIENCY CHANGE (NO. OF POINTS)
1	-3
2	-1½
3	-½

HORSEPOWER WILL BE AFFECTED BY CHANGE IN EFFICIENCY



8JKH
1450 RPM
ENCLOSED
TYPE IMPELLER

PER STAGE PERFORMANCE



PUMP DATA

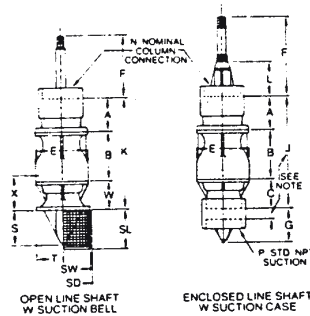
THRUST CONSTANT (K): 4.7 (K) BALANCED: 0 W.R.²/STAGE (LB. FT.²): 0.215 SPECIFIC SPEED (N_s): 2700
SHAFT DIA. (IN): 1 3/16 MAX. SPHERE (IN): 1/16 EYE AREA (IN²): 11.8 MAX. HEAD (STD. CONSTR.) (FT.): 956
MIN. SUBM. (IN): 11" IMP. WT. (LBS): 5.5 STD. AXIAL CLEARANCE (IN): 9/16 MAX. AXIAL CLEARANCE (IN):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

DIMENSIONS

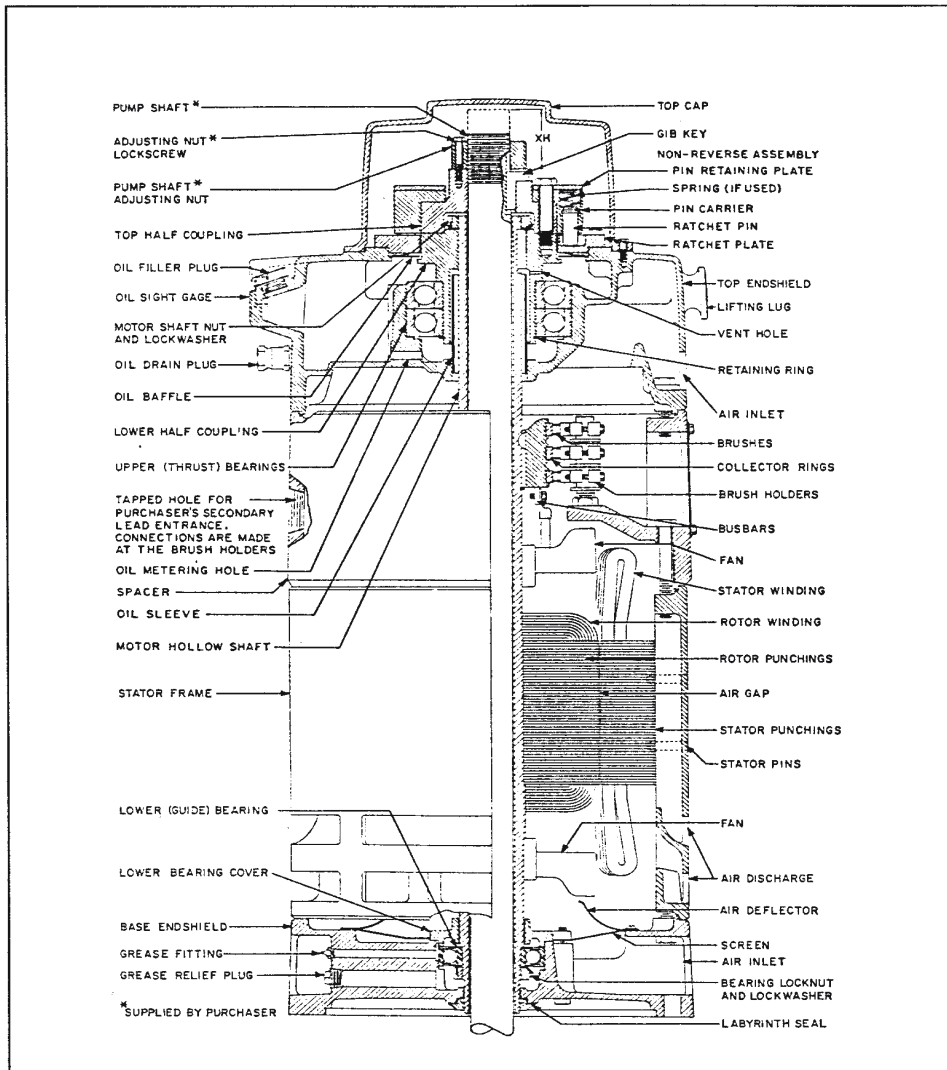
DIMS	A	B	C	E	F ₁	F ₂	G	J	K
INCHES	7 3/8	7 1/4	3 1/8	7 3/4	12	16	4 1/2	17 3/4	17 3/4
L	N	P	S	T	W	X	SD	SL	SW
8	4-5-6-8	5	4 1/2	7 3/4	3 1/8	5 3/4	8 1/2	4 7/8	7 3/4

NOTES

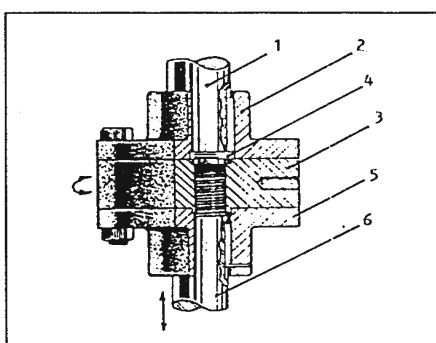
- Add "B" for each additional stage.
- "X" is the distance from the lip of the bell to the first impeller centerline. Add 2" to "J" and "C" when suction is larger or smaller than standard.
- Performance indicated is based on cold water with a specific gravity of 1.0.
- The performance shown is based 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].

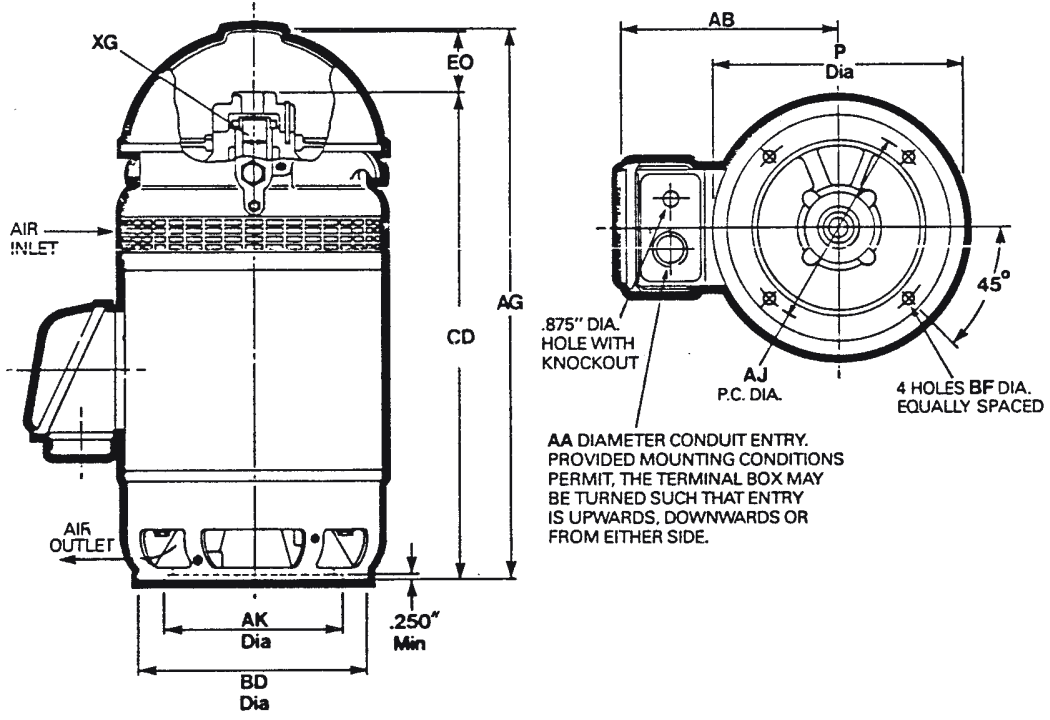


Stillanlegt ástengi fyrir VSS-mótora.

- 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 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				
3	2.2	1440	10	R184TP	—	—	7407	6307	84	83	.80	.77	4.8	35	200	230
5	3.7	2880	10	R213TP	—	—	7407	6307	84	83	.80	.77	7.1	55	230	250
7.5	5.5	2880	10	R213TP	—	—	7407	6307	84	84	.80	.80	7.8	75	230	250
10	7.5	1440	10	R213TP	—	—	7407	6307	85	84	.82	.78	11.5	75	160	250
15	11	2935	10	R254TP	12	RE54TPY	7407	6307	86	86	.85	.83	13.3	100	180	230
20	15	2935	10	R256TP	12	RE56TPY	7410*	6310	84	82	.78	.86	21.5	130	200	240
25	18.5	2940	10	R284TP	16.5	RE84TPH	7410*	6310	85	84	.80	.87	28	170	200	240
30	22	2940	10	R286TP	16.5	RE86TPH	7410*	6310	86	87	.85	.88	34.5	210	200	240
									88	87	.85	.87	40	250	200	240

NEMA weather-protected Type 1 (drip-proof)

hp	Output kW	Full Load Speed rev/min	Standard 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	12	R286TPY	12	RE86TPY	7220*	6312	88	87	.84	.81	29	160	160	200
25	18.5	975	12	R324TP	12	RE324TPY	7220*	6312	88	87	.85	.84	37	190	160	200
30	22	975	12	R326TP	12	RE326TPY	7220*	6312	89	88	.85	.84	43	220	160	200
40	30	2950	12	R324TP	12	RE324TPY	7220*	6312	88	87	.84	.80	54	360	160	200
50	37	2940	12	R324TP	12	RE324TPY	7220*	6313	89	88	.87	.80	56	320	170	200
60	45	2940	12	R324TP	12	RE324TPY	7220*	6312	90	89	.86	.82	65	440	160	200
75	55	2940	12	R324TP	12	RE324TPY	7220*	6312	90.5	89	.83	.80	72	410	170	200
100	75	2955	12	R324TP	12	RE324TPY	7220*	6312	91	90	.88	.85	88	500	160	200
125	90	2960	12	R324TP	12	RE324TPY	7220*	6312	91.5	90	.88	.85	94	500	170	200
150	110	2965	12	R324TP	12	RE324TPY	7220*	6312	92	91	.89	.86	106	600	170	200
200	150	1470	20	R404TPY	20	RE404TPY	7220*	6315	90	89	.82	.75	102	580	170	200
250	185	1480	20	R404TPY	20	RE404TPY	7220*	6315	91	90	.89	.85	128	780	180	200
300	220	1480	20	R404TPY	20	RE404TPY	7220*	6315	91.5	91	.89	.85	133	750	170	200
350	260	1480	20	R404TPY	20	RE404TPY	7220*	6315	90	89	.85	.82	141	740	160	200
400	300	1480	20	R404TPY	20	RE404TPY	7220*	6315	91	90	.88	.84	168	890	170	200
									92	91	.89	.84	198	1050	140	200
									92.7	91	.88	.84	205	1080	140	200
									93	91	.88	.84	220	1140	140	200
									93.5	91	.88	.84	230	1200	140	200
									94	91	.88	.84	240	1260	140	200
									94.2	91	.88	.84	260	1440	140	200
									94.4	91	.88	.84	282	1600	140	200
									94.5	91	.88	.84	300	1800	140	200
									94.2	93	.85	.87	382	2400	150	200
									94.5	94.2	.85	.84	428	3000	160	200
									94.5	94.2	.85	.84	488	3500	160	200

- NOTES:
 1. Down/thrust figure in brackets is number of thrust bearings used.
 2. Down/thrust figure 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 frame is weatherproofing is fitted.
 4. Reference is quoted for standard frame/base combination.
 5. Amps are listed for 415 volts.
 For 230 volts – multiply by 1.08
 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						Prepafföldi (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 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] : 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

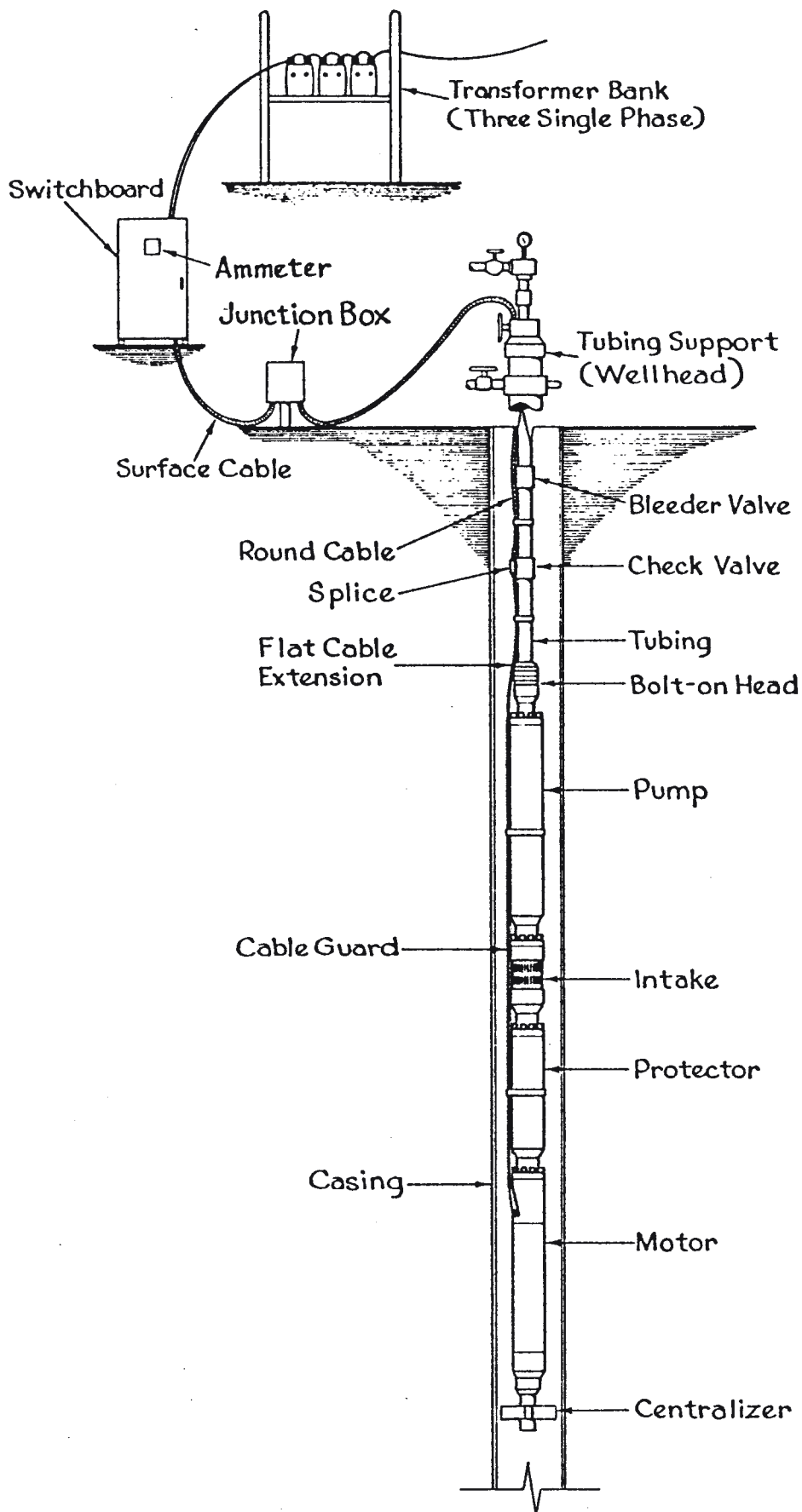
25.5.92

SÝNIDÆMI 5

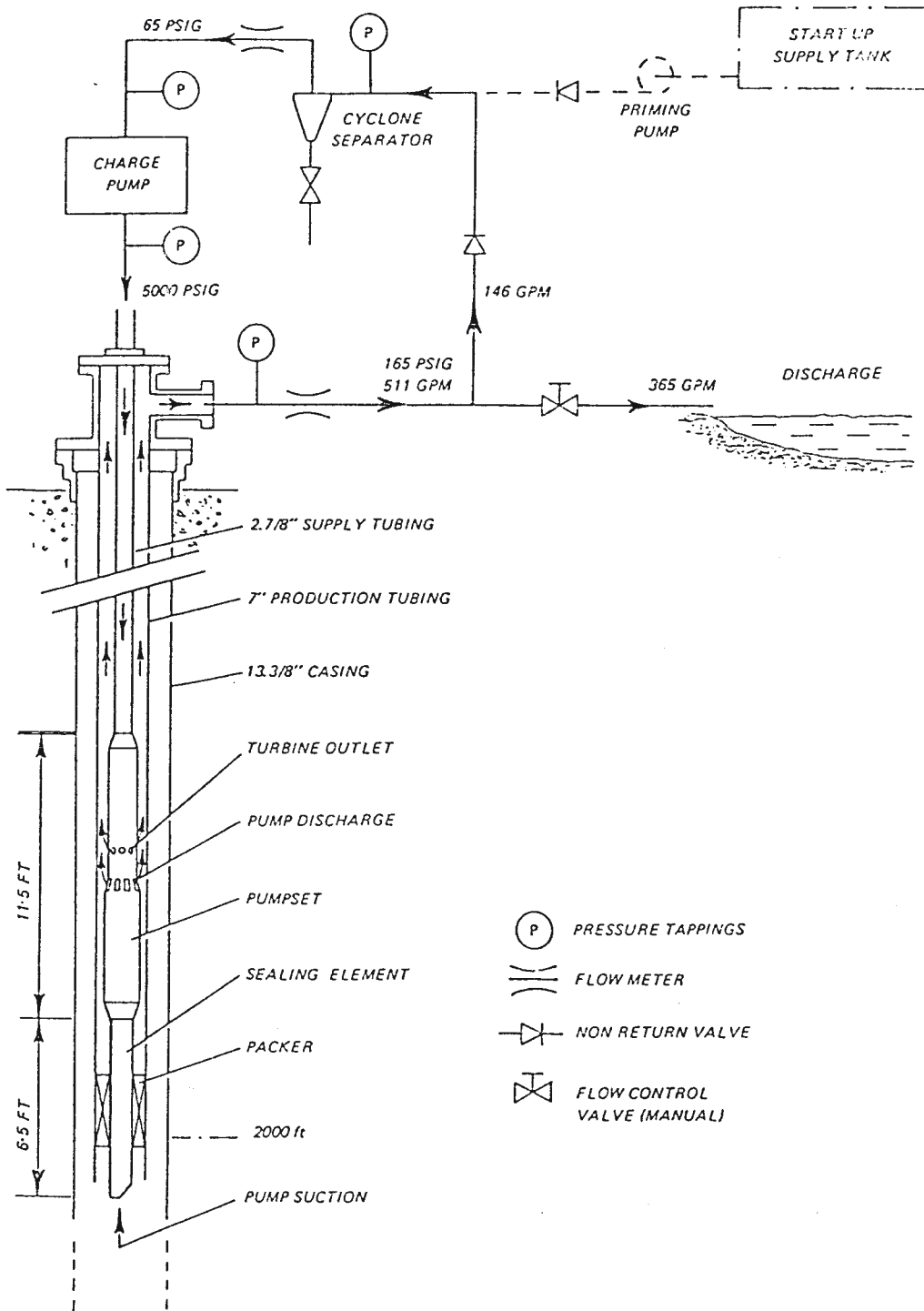
Á.G.

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



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. rennsli	ATH.	
R5																
R9																
R10																
R11																
R15																
R17																
R19																
R20																
R21																
R34																
R35																
R38																
B-STÖÐ							AUGNABLIKS RENNSLI (l/h)									

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 = $\frac{[\text{HOLUR [m}^3] - \text{STÖÐ [m}^3]}{[\text{HOLUR [m}^3]}] \times 100\% = \dots\dots\dots$ [%]
 HOLUR [l/h] HOLUR [m³]

Hitaveituhandbók Samorku

Þorbjörn Karlsson
Wilhelm V. Steindórsson

6. kafli

Hönnunarleiðbeiningar

Október 1990

Efnisyfirlit

6.1	Inngangur	.3
6.2	Afl- og orkupörf hitaveitusvæða	.3
6.3	Vatnspörf hitaveitu	.5
6.4	Hönnun aðveitu- og dreifikerfis	.8
6.5.	Varmatap frá hitaveituleiðslum	.14
6.6.	Heimildarit	.17
6.7	Töfluskrá	.18
6.8	Myndir og línurit	.24
6.9	KÓLNUN Í HITAVEITULEIÐSLUM TÖFLUR OG LÍNURIT	.35
	VIÐAUKI 6D SKRÁ YFIR REIKNISTÆRÐIR OG TÁKN	.41

6.1 Inngangur

Með hugtakinu hitaveita er átt við mannvirki sem veitir varma til neytenda í samfelldum bæjarhverfum eða heilum bæjum. Varminn er venjulega fluttur með heitu vatni sem hér á landi er langoftast unnið með borunum á jarðhitasvæðum og síðan leitt í aðveituæð þangað sem markaðurinn er. Hitaveituvatninu er síðan dreift til neytenda í dreifikerfi sem er hliðstætt kaldavatns- eða raforkudreifikerfi.

Ef ekki er nýtanlegur jarðvarmi fyrir hendi innan hagkvæmrar fjarlægðar frá markaðinum er varminn unninn úr brennsluolíu í kyntum kötlum með rafmagni í rafskautakötlum eða með hjálp varmadælu. Heitt vatn er sem fyrr sá miðill sem flytur varmann til neytenda. Hér má segja að kyndistöðin komi í stað borholna og aðveituæðar fyrir jarðvarmaveitur þar sem hagkvæmast er að hún sé staðsett í næsta nágrenni markaðarins.

Þar sem jarðvarmaveiturnar eru svo miklu algengari hérlendis en kyntar veitur fer varla hjá því að það efni sem hér er kynnt taki mið af þeim að miklu leyti. Raunar eiga þessar tvær gerðir hitaveitna sennilega fleira sameiginlegt en ekki og því má segja að megnið af efninu eigi við báðar gerðirnar.

6.2 Afl- og orkupörf hitaveitusvæða

Aflpörf. Ýmsar aðferðir má nota til að ákvarða varma- og vatnspörf fyrir byggingar á hitaveitusvæðum. Þetta má gera t.d. með því að reikna út varmatap allra bygginga á svæðinu. Þessi aðferð er óhentug, tímafrek og ekki hagkvæm í framkvæmd og því eru einfaldari leiðir valdar.

Um árábil hafa verið notaðar reynslutölur við áætlun á hámarksaflpörf við upphitun húsa á veitusvæði Hitaveitu Reykjavíkur. Þær tölur sem notaðar hafa verið gefa meðalgildi hámarksálags sólarhringsins í verstu kuldaköstum, svokallaða grunnafllpörf, og er hún gefin í töflu 6.2.1 bls. 22 (dálki A). Þar sem þessar tölur eru nokkurra ára gamlar má reikna með að þær séu allt að 10% of háar þegar tillit er tekið til strangari krafna og vandaðri frágangs á byggingum í dag.

Taflan gefur meðalpörf sólarhringsins og er venjan að bæta við þau 15% til að mæta dægursveiflum. Í töflunni er meðtalið heitt neysluvatn og þá reiknað með að það sé tekið beint af kerfinu. Ennfremur eru töp í húskerfum og töp í dreifikerfum innifalín en þau eru hvort fyrir sig áætluð 5%.

Ef meta á aflpörfina til upphitunar bygginga á svæðum utan Reykjavíkur≠svæðisins verður að gera samanburð á verstu kuldaköstum í Reykjavík og á því svæði sem til athugunar er. Athuganir hjá Hitaveitu Reykjavíkur (úr grein eftir Jóhannes Zoëga skv. [1], frumheimildar ekki getið) benda til að ofangreindar tölur fullnægi hitunarþörfinni í -10°C útihita. Samkvæmt yfirliti um dreifingu meðalhita í Reykjavík á árunum 1974-1983 [2] kemur í ljós að til jafnaðar er hitinn undir -10°C í 1,7 daga á ári. Athugun gerð fyrir sama tímabil á Akureyri sýnir að útihitinn þar er jafn oft undir -13°C . Því væri eðlilegt að miða hitaveitu á Akureyri við þann útihita og fást þá samsvarandi tölur þar með því að margfalda Reykjavíkurtölnurnar með hlutfallinu $33/30 = 1,1$.

Gefur það grunnaflltölur þær sem sýndar eru í dálki B í töflu 6.2.1. Ef samsvarandi lægsti útihiti á athugunarsvæðinu er $T^{\circ}\text{C}$ fæst meðal-grunnafllpörf til upphitunar bygginga þar með því að margfalda tölurnar í dálki A með hlutfallinu:

$$(20-T)/30$$

Dæmi 6.2.1. Ef hanna á hitaveitu með grunnhita $T_g = -9^{\circ}\text{C}$ eru gildin í dálki A í töflu 6.2.1 margfölduð með stærðinni $(20 + 9)/30 = 0,9667$. Fást þá þau gildi sem sýnd eru í dálki C í töflunni.

Orkunotkun. Á Orkustofnun hefur á undanförunum árum verið unnið að athugunum á orkunotkun við

hitun húsnæðis hér á landi. Hafa þrjár skýrslur komið út á vegum stofnunarinnar um þetta efni. Fjallar ein um rafhitað húsnæði [3] en tvær um orkunotkun hitaveitna [4,5]. Þá hefur Orkusparnefnd allt frá árinu 1977 gefið út allmargar skýrslur og áætlanir um orkubúskap Íslendinga í nútíð og framtíð, t.d. „Húshitunarspá 1986-2015” [6].

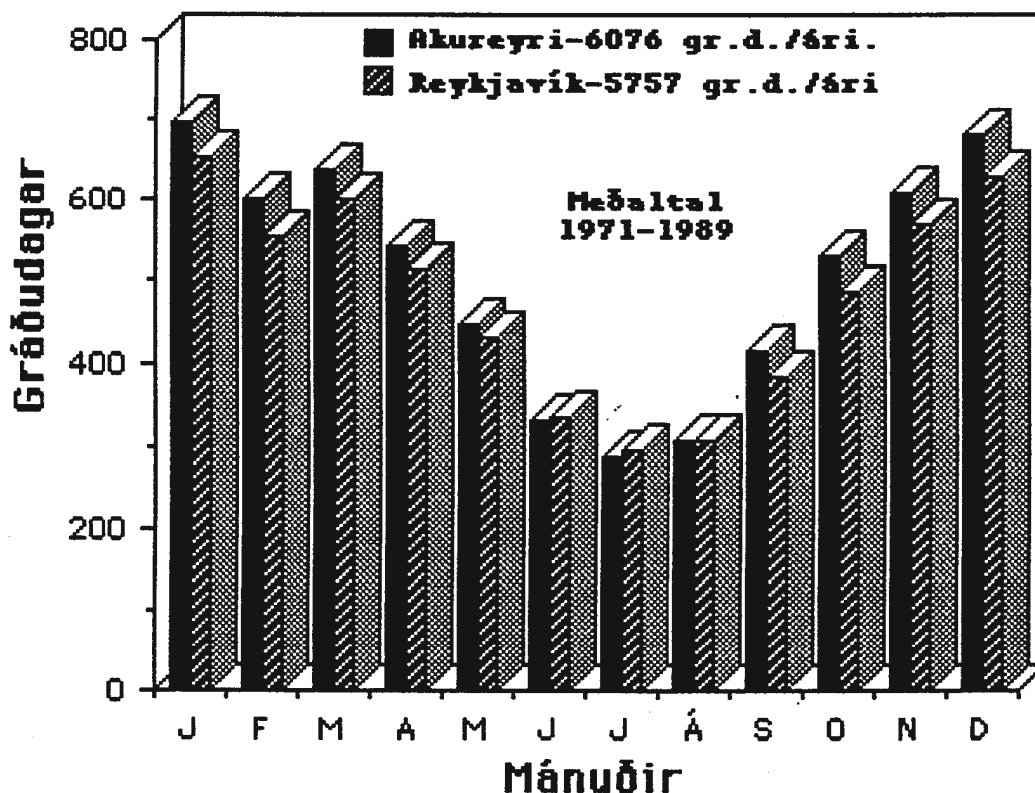
Sú fyrri af skýrslum Orkustofnunar um orkunotkun hitaveitna [4] fjallar um orkunotkun við húshitun í Kópavogi, en sú síðari [5] fjallar um orkunotkun hjá Hitaveitu Hafnarhrepps, á Höfn í Hornafirði. Niðurstöður þessarar skýrslu eru sýndar í töflu 6.2.2 bls. 22.

Niðurstöðurnar frá Höfn í Hornafirði gefa einnig orkunotkun, þar sem orkumælar eru notaðir við hitaveituna þar. Í Kópavogsskýrslunni er reiknað með að nýtt orka til hitunar sé 50 kWh fyrir hvert tonn af heitu vatni og fæst samkvæmt því að meðalorkunotkunin á ári er 83 kWh/m³ húsnæðis eða um 9,5% meira en mældist á Höfn í Hornafirði, þar sem hún var 75,8 kWh/ m³. Í skýrslunni um niðurstöðurnar á Höfn er þessi mismunur skýrður að hluta til a.m.k. með mismunandi ársmeðalhita á þessum stöðum þegar athuganirnar voru gerðar (5,1°C á Höfn, 4,0°C í Reykjavík). Niðurstöðurnar frá Kópavogi eru mjög nálægt niðurstöðum athugana sem gerðar voru á meðalvatnsnotkun á veitusvæði Hitaveitu Reykjavíkur árin 1967-1976 [7], sem reyndist vera 1,78 m³/ m³.ár (rúmmetrar vatns á hvern rúmmetra af húsnæði á ári) á móti 1,75 m³/ m³.ár í Kópavogi. Orkusparnefnd [6] hefur tekið mið af framangreindum niðurstöðum í sínum áætlunum og reiknar t.d. með 84-89 kWh/m³ orkunotkun við hitun íbúðarhúsa (mismunandi eftir verði heita vatnsins).

Gráðudagar. Meðalorkunotkun yfir árið má einnig áætla út frá þeirri forsendu að hún standi í beinu hlutfalli við fjölda gráðudaga í meðalári. Fjöldi gráðudaga á ákveðnum degi er sá gráðufjöldi sem meðalútihitinn liggur undir einhverjum gefnum hita. Þegar um upphitun húbýla er að ræða er viðmiðunarhitinn oft valinn 20°C. Ef meðalútihitinn er 20°C eða hærri er gráðudagafjöldinn = 0. Á sama hátt er gráðudagafjöldinn 13 ef meðalútihitinn er 7°C. Sé tímabilið 1971-1983 valið sem viðmiðunartímabil er gráðudagafjöldinn undir 20°C í meðalári 5.757 í Reykjavík en 6.076 á Akureyri.

Það eru verstu skilyrðin sem eru ráðandi um það hver mestu afköst hitaveitna þurfa að vera. Í dæmunum hér að ofan er Hitaveita Reykjavíkur hönnuð þannig að hún geti viðhaldið gefnum innihita í -10°C sem svarar til 30 gráðudaga per sólarhring en tilsvareandi hönnunarskilyrði á Akureyri væru -13°C eða 33 gráðudagar. Þessir hönnunarútihtar kallast *grunnhitar* hitaveitnanna.

Í töflu 6.2.3 bls. 23 eru gefin meðaltöl gráðudaga eftir mánuðum á ýmsum veðurathugunarstöðvum á landinu fyrir tímabilið 1971-1989. Sjá einnig mynd hér að framan.



Leiðréttir

gráðudagar. Gráðudagar eins og þeir eru skilgreindir hér að framan taka einungis mið af meðalhita sólarhrings en aðrir veðurþættir eins og sólgeislun og vindar koma þar alls ekki inn. Það segir sig sjálfst að hér er um ófullkomna viðmiðun að ræða og því hafa komið fram hugmyndir um leiðréttu gráðudaga þar sem tillit er tekið til þessarra þátta.

Þessir tveir þættir, sólgeislun og vindar, hafa gagnstæð áhrif á upphitunarþörf bygginga, og áhrif hvors þáttar fyrir sig eru í hámarki eða nálægt því á sama tíma og áhrif hins eru í eða nálægt lágmarki. Á sumrin er sólgeislun í hámarki, og má reikna með því að á hlýjustu dögum, a.m.k. þegar hitinn fer yfir 15°C (kannski eru mörkin neðar), sé ekki þörf á annarri upphitun. Með lækkanði sól og kólnandi veðri minnka áhrif geislunar. Samhliða því má búast við meiri varmaþörf vegna vinda – bæði auknum varmaflutningi í gegnum útfleti bygginga og auknum loftsúgi í gegnum byggingar og þar af leiðandi meiri upphitun á útilofti. Það er því augljóst að með hefðbundnum gráðudagareikningi veldur sólgeislun því að orkuþörf yfir árið til upphitunar er ofmetin en á hinn bóginn valda vindar því að hún er vanmetin.

Ekki hafa ítarlegar og skipulegar rannsóknir farið fram á framangreindum áhrifum á upphitunarþörf við íslenskar aðstæður. Er því ekki tímabært að taka upp leiðréttu gráðudaga á þessum vettvangi.

Heitt kranavatn. Það er áætlað að árleg notkun heits kranavatns nemi frá 7 til 10% af heildarvatnsnotkun hitaveitu yfir árið. Athuga skal þó að skammtímaálag vegna neysluvatnsnotkunar getur orðið margfalt meira en álag vegna ofnakerfa og er það því oft ráðandi, sérstaklega við hönnun heimæða.

Önnur not fyrir heitt vatn. Hitaveituvatn er nýtanlegt til annarra hluta en til hitunar híbýla og neysluvatns. Hér kemur til greina iðnaðarnotkun ýmiss konar, gróðurhús, sundlaugar og snjóbræðslukerfi. Vatnsþörf til þessara nota þarf að athuga sérstaklega fyrir hvert tilfelli og verða hér ekki gefnar neinar algildar reglur þar um.

6.3 Vatnsþörf hitaveitu

Þegar grunnafþörf hitaveitu er fengin liggur næst fyrir að ákvarða vatnsþörf hitaveitunnar. Það eru tvö atriði sem ráða því hve mikið af heitu vatni þarf til að flytja og skila þeim varma sem óskað er, þ.e. stærð ofna í húsum og vatnshitinn.

Verkefnið er sem sé að finna afköst ofna af mismunandi stærðum í 20°C innihita og með breytilegan framrennslishita vatnsins. Um þetta gilda nokkuð flóknar reglur, en ekki verður hjá því komist að gera því máli einhver skil. Til grundvallar er lagt hitunarkerfi byggingar, sem er í jafnvægi við sitt umhverfi þar sem eftirfarandi lögmál gilda:

$$Q = \text{Varmatap byggingar} = \text{Varmagjöf ofna} = \text{Varmi úr ofnvatni}$$

Stærð ofna í húsum er ráðandi um það hve vel heita vatnið skilar sínum varma. Á hitaveitusvæðum þar sem sæmilega hár framrennslishiti er fyrir hendi (t.d. 80°C) er ekki óalgengt að ofnahönnun sé svokölluð 80/40/-15 hönnun, sem þýðir að stærð ofnanna sé slík að með 80°C framrennslishita vatns og 40°C bakrennslishita viðhaldi ofninn 20°C innihita í -15°C útihita. Ofnar nýta þannig varma úr vatninu sem svarar til 40° við þessar aðstæður. Ef vatnshitinn er lægri getur sami ofn skilað sama varma, en þá því aðeins að vatnsrennsli í gegn sé aukið, en það þýðir lakari nýtingu.

Dæmi 6.3.1 Ofnahönnunin 80/40/-15 segir í raun til um ofnastærð. Sömu hönnun er hægt að gefa upp á ýmsa vegu, t.d. miðað við annan framrennslishita, og er það sýnt á mynd 6.1. Þar kemur fram t.d. að 70/45/-15 merkir sömu hönnun miðað við 70°C framrennslishita. Hér er hitafallið í ofninum orðið minna (25° móti 40°) og þarf því vatnsrennsli með 70°C vatni að vera u.þ.b. 60% meira en með 80°C framrennsli (40/25 = 1,60) og er það einnig sýnt á mynd 6.1 bls. 29. Myndin sýnir okkur að við enn lægri hita margfaldast vatnspörfin og það er augljóst að aðrar ráðstafanir þarf að gera ef vatnshitinn er lágur. Ein leið er þá að stækka ofnana og ná þannig betri varmanýtingu, þ.e. meiri kælingu vatnsins á leið þess í gegnum ofna.

Við skulum aðeins staldra lengur við mynd 6.1 og sjá hvernig nota má hana til að reikna út hvernig vatnspörfin eykst með lækkanði framrennslishita. Lítum á annað reiknidæmi.

Dæmi 6.3.2 Ofnakerfi er hannað fyrir 80/40/-15 en í ljós hefur komið að meðalhiti vatnsins við húsinntak við mesta álag (-15°C) er $T_f = 68^\circ\text{C}$.

1. Hver er áætlaður frárennslishiti frá þessu húsi á kaldasta tíma (-15°C)?
2. Hvert er hitafall vatnsins, ΔT_v , yfir ofnakerfið við þessi álagsskilyrði?
3. Hve miklu meira vatn notar þetta hús við þessi álagsskilyrði en ef það hefði fengið (a) 80°C, (b) 75°C heitt vatn?

Lausn:

1. Á mynd 6.1 má lesa að við 68°C framrásarhita yrði bakrásarhitinn

$$T_b = 46,8^\circ\text{C}.$$

2. Á mynd 6.1 má lesa að lækkan vatnshita yfir ofnakerfið er $\Delta T_v = 21,2^\circ\text{C}$.

3. a) Enn notum við mynd 6.1 sem sýnir að við $T_f = 80^\circ\text{C}$ er hlutfallsleg vatnsnotkun $V_{80} = 1,00$ og við $T_f = 68^\circ\text{C}$ er hún $V_{68} = 1,89$.

Umframþörf vegna lágs vatnshita er því $V_{68}/V_{80} = 1,89/1,00$ eða 89%

- b) Við 75°C er $V_{75} = 1,25$ og eins og áður fæst við 68°C að $V_{68} = 1,89$. Umframvatnspörfin við 68°C miðað við 75°C framrennsli er því $V_{68}/V_{75} = 1,89/1,25 = 1,512$ eða 51,2%.

Þessi dæmi sýna hve mjög vatnspörfin er háð framrennslishita. En þessi umframþörf er misjöfn eftir útihita eins og greinilegt er af eftirfarandi dæmi:

Dæmi 6.3.3. Hver verður bakrásarhitinn T_b og hitafallið ΔT_v yfir ofnakerfið þegar hlýrra er í veðri, t.d. við útihita (a) $T_u = -6^\circ\text{C}$, (b) $T_u = +6^\circ\text{C}$? Gert er ráð fyrir því að framrennslshitinn sé enn 68°C.

Lausn: Við finnum af mynd 6.5. bls. 33:

$$T_{\dot{u}} = -6^{\circ}\text{C}, T_b = 36,0^{\circ}\text{C}, \Delta T_v = 68,0 - 36,0 = 32,0^{\circ}\text{C}.$$

$$T_{\dot{u}} = +6^{\circ}\text{C}, T_b = 24,5^{\circ}\text{C}, \Delta T_v = 68,0 - 24,5 = 43,5^{\circ}\text{C}.$$

Fyrir 80°C framrennsli fæst einnig af mynd 6.5:

$$T_{\dot{u}} = -6^{\circ}\text{C}, T_b = 31,3^{\circ}\text{C}, \Delta T_v = 80,0 - 31,3 = 48,7^{\circ}\text{C}.$$

$$T_{\dot{u}} = +6^{\circ}\text{C}, T_b = 22,6^{\circ}\text{C}, \Delta T_v = 80,0 - 22,6 = 57,4^{\circ}\text{C}.$$

Umframrennsli vegna lágs framrennslishita er þá:

$$T_{\dot{u}} = -6^{\circ}\text{C}, V_{68}/V_{80} = 48,7/32,0 = 1,522 \text{ eða } 52,2\%$$

$$T_{\dot{u}} = +6^{\circ}\text{C}, V_{68}/V_{80} = 57,4/43,5 = 1,320 \text{ eða } 32,0\%.$$

Umframnotkun vegna lágs vatnshita fer því hlutfallslega minnkandi með hækkandi útihita.

Varmanýting í ofnum eykst þegar þeir eru stækkaðir. Þeirri aðferð er því oft beitt að auka yfirborðsflatarmál ofna ef um tiltölulega lágan vatnshita er að ræða. Svo er t.d. á Dalvík og í Ólafsfirði þar sem vatnshitinn er 58°C og 62°C .

Dæmi 6.3.4 Gefin er ofnahönnun 75/34/-15. Hér er miðað við 75°C framrennslishita og kólnun í gegnum ofna í 34°C þegar útihiti er -15°C . Mynd 6.2 bls. 30 sýnir okkur hvernig bakrennslishiti frá ofnum lækkar með stækkuðum ofnum. Miðað við 34°C bakrennsli og 75°C framrennsli sést að ofnastærðin er $A/A_0 = 1,3$.

Enda þótt ofnahönnun miðist yfirleitt við -15°C útihita er ekki þar með sagt að hanna þurfi hitaveitu fyrir þann sama útihita. Við sáum í kafla 6.2 að í Reykjavík miðast hitaveitan við -10°C útihita (grunnhita) og á Akureyri jafngildir það að hitaveita þar ætti að miðast við -13°C grunnhita. Við hærri útihita en ofnar eru hannaðir fyrir fæst betri varmanýting þar sem vatnsnotkun er minni en hönnunargildi, hægara rennsli í gegnum ofnana og þar með lægri bakrennslishita. Þetta er sýnt á mynd 6.3 bls. 31.

Dæmi 6.3.5 Ofninn sem um er rætt í dæmi 6.3.4 skal notaður í hitaveitu sem hönnuð er fyrir 9°C grunnhita. Finna skal fyrir framrennslishita $T_f=80^{\circ}\text{C}$ hver bakrennslishitinn er við þennan grunnhita.

Lausn: Af mynd 6.3 fæst:

$$\text{Fyrir } A/A_0 = 1,3, T_{\dot{u}} = -9^{\circ}\text{C} \text{ og } T_f = 80^{\circ}\text{C} \text{ verður } T_b = 28,1^{\circ}\text{C}.$$

Varmagjöf ofna ræðst af meðalmun milli vatnshita í ofnum og herbergishita (ΔT_m). Ef ofn á að gefa sama varma með 70°C framrennslishita (T_f) og hann gefur með 80°C framrennslishita verður bakrennslishitinn (T_b) að vera því hærri sem framrennslishitinn er lægri. Þetta er sýnt á mynd 6.4, bls. 33, sem gefur bakrennslishita fyrir mismunandi framrennslishita miðað við sömu varmagjöf í ofni og fæst með 80°C framrennslishita.

Dæmi 6.3.6 Í dæmi 6.3.5 að ofan var fundið að með 80°C framrennsli og ofnastærð $A/A_0 = 1,3$ í -9°C útihita verður bakrennslishitinn $T_b = 28,1^{\circ}\text{C}$. Nú viljum við finna hver bakrennslishitinn verður við sömu aðstæður með 75°C framrennslishita.

Lausn: Mynd 6.4 gefur:

$$\text{Með } T_f = 75^{\circ}\text{C}: T_b = 29,5^{\circ}\text{C}.$$

Dæmi 6.3.7 Lækkun vatnshita í ofnum úr 75°C í $29,5^{\circ}\text{C}$ þýðir hitalækkun um $\Delta T_v = 75 - 29,5 = 45,5^{\circ}\text{C}$. Hve mikinn varma gefa ofnarnir fyrir hvert kg af vatni sem í gegnum þá streymir? Gefið er að vatn gefur frá sér $c_v = 4,186 \text{ kJ/kg}$ fyrir hverja gráðu sem það kólnar.

Lausn: Varminn er $q = 4,186 * 45,5 = 190,5 \text{ kJ/kg}$.

Í ofangreindum dæmum (6.3.1 og 6.3.4 – 6.3.7) höfum við nú fundið eftirfarandi:

- a) Ofnahönnun 75/34/-15 samsvarar því að ofnastærð sé 30% yfir 80/40/-15 hönnun.
 b) Með þessa ofna og 75°C framrennsli í -9°C útihita verður bakrennslishi $T_b = 29,5^\circ\text{C}$.
 c) Varmi frá ofnum sem nýtist til hitunar er $q = 190,5$ kJ/kg af vatni.

Dæmi 6.3.8. Hanna skal hitaveitu sem byggð er á eftirfarandi forsendum:

Húsrymi sem hitaveitu er ætlað að þjóna er 200.000 m³ (45% 1 hæð, 25% 2 hæðir, 10% 3 hæðir, 20% 4 hæðir og meira). Grunnhiti hitaveitunnar er gefinn $T_g = -9,0^\circ\text{C}$, framrennslishi hitaveituvatns er $T_f = 75,0^\circ\text{C}$, og miða skal við ofnahönnun 75/34/-15.

Finna skal grunnafþörf hitaveitunnar.

Lausn: Samkvæmt töflu hér á eftir verður grunnafþörfin þessi:

Húsgerð	W/m ³	m ³ alls	Grunnþörf kW
1 hæð	23,7	90.000	2.133
2 hæðir	21,3	50.000	1.065
3 hæðir	19,3	20.000	396
4 hæðir ofl.	16,9	40.000	676
Samtals	21,3	200.000	4.260

Dæmi 6.3.9. Í kafla 6.2 er frá því skýrt að hámarksafþörfin til hitunar sé áætluð 15% meiri en grunnafþörfin. Miðað við þær forsendur skal nú finna vatnsþörf hitaveitunnar í dæmi 6.3.8.

Lausn: Samkvæmt dæmi 6.3.7 er varminn sem fæst úr vatninu

$$q = 190,5 \text{ kJ/kg} = 190,5 \text{ kW/(kg/s)}.$$

Vatnsþörfin er fyrir grunnafþörf $P = 4,260$ kW

$$m_v = 1,15 P/q = 1,15 * 4,260 / 190,5 = 25,7 \text{ kg/s}$$

Nú er venjan að mæla vatnsrennsli í m³/s eða l/s. Í töflu 6.3.1 bls. 22 eru gefin gildi eðlismassa vatns við mismunandi hita. Ef miðað er við eðlismassa vatns við 75°C, um 975 kg/m³ eða 0,975 kg/lítra, fæst nauðsynlegt vatnsmagn fyrir hitaveituna $25,7 / 0,975 = \underline{26,4 \text{ l/s}}$.

6.4 Hönnun aðveitu- og dreifikerfis

Pípuþvermál er fundið út frá gefnum forsendum um leyfilegt þrýstifall eða leyfilegan rennslisraða í pípunni. Oft er í almennum dreifikerfum miðað við leyfilegt þrýstifall sem nemur frá 0,5-1,0 bar/km, sem er jafngilt því að þrýstingur falli 5-10 metra (vatnssúlu, m H₂O) á kílómetra (5-10 mm H₂O /m). Eftirfarandi jafna gildir fyrir þrýstifallið:

$$h = 0,0827 * f * v^2 * L / D_i^5, \quad (6.1)$$

þar sem h = þrýstifall, [m H₂O]
 f = viðnámsstuðull, fer eftir gerð og vídd pípu
 v = rennsli í pípu, [m³/s]
 L = lengd pípu, [m]
 D_i = innra þvermál pípu, [m]
 k = hrjúfleiki pípu

Viðnámsstuðullinn f er háður ýmsum þáttum svo sem seigju og eðlismassa vatnsins, rennslisraða í pípunni, innra þvermáli hennar og hrjúfleika pípuveggjarins k . Fyrir hæfilegt rennsli (u.þ.b. 1 m/sek) vatns í pípum er stuðullinn svo til eingöngu háður innra þvermáli og hrjúfleika og má áætla gildi hans með nægilegri nákvæmni með jöfnunni (eftir Nikuradse):

$$f = 1/[2 \cdot \log_{10}(3,715 \cdot D_i/k)]^2 \quad (6.2)$$

Fyrir venjulegar stálpípur má reikna með hrjúfleikanum

$$k = 0,04 \text{ mm} = 0,00004 \text{ m} \quad (6.3)$$

Með þessu gildi á k má nú finna gildið á f fyrir allar staðlaðar pípustærðir og er það gefið í töflu 6.4.1.

Þegar gildið á f er fundið er jafna (6.1) auðleyst og við finnum eftirfarandi jöfnu fyrir þvermálið D_i :

$$D_i = [0,0827 \cdot f \cdot v^2 / (h/L)]^{0,2} \quad (6.4)$$

Miðað við þær forsendur að þrýstifall sé á bilinu 5 – 10 m H₂O/km eru gildi á h/L á bilinu 0,005 – 0,01 m/m sem nota skal í jöfnu (6.4). Þarna fást þá efri og neðri mörk fyrir innra þvermálið D_i , og síðan verður að velja staðlaða pípustærð samkvæmt því.

Dæmi 6.4.1. Hver skal gildleiki stálpípu vera sem þarf að flytja 3 l/sek af heitu vatni? Lengd leiðslu er 400 m.

Lausn: Valið er að leyfa 10 mm H₂O/m þrýstifall, $h/L = 0,01$ m/m.

Valið er gildið $f = 0,0166$ (líklegt gildi).

$$D_i = (0,0827 \cdot 0,0166 \cdot 0,003^2 / 0,01)^{0,2} \text{ (m)} = 0,06582 \text{ (m)}$$

$$D_i = 65,82 \text{ (mm)}$$

Samkvæmt töflu 6.4.1 er valin pípustærðin 2 1/2" (DN 65 mm).

$$D_i = 70,9 \text{ (mm)}, f = 0,0173.$$

Þar sem f -gildið er stærra en það sem er valið er nauðsynlegt að endurreikna dæmið með tilliti til hins rétta f -gildis.

$f = 0,0173$ leiðir af sér $D_i = 66,37$ mm sem leyfir ekki minnkun á pípuvídd.

Niðurstaða:

Valin er 2 1/2" (DN 65 mm) pípa.

Berið saman við töflu 6.4.2 bls. 24.

Í mörgum tilvikum er handhægt og fljótlegt að velja pípustærðir myndrænt út frá þrýstifallslínuritum og þrýstifalls, „nómógrömmum“. Slík gögn er hægt að finna t.d. í handbókum um dælur og rör. Hafa skal hugfast að auðvelt er að gera stórar skekkjur við notkun þessara myndrænu gagna ef ekki er vel að gáð.

Þrýstifallslínurit. Á mynd 6.6 bls. 34 er sýnt dæmi um þrýstifallslínurit. Báðir ásar línuritsins eru í lógaritmískum kvarða

Dæmi 6.4.2. Texti sá sami og í dæmi 6.4.1

Valið er að leyfa 10 mm H₂O/m þrýstifall.

$$3 \text{ l/sek} = 3 \cdot 60 \cdot 60 \text{ l/klst} = 10.800 \text{ l/klst.}$$

Lausn: Á línuritinu á mynd 6.6 bls. 34 er lausnaraðferðin sýnd.

Þar sem lóðréttu línun frá rennslinu 10.800 l/klst sker lárétta línuna fyrir þrýstifallið 10 mm H₂O/m má lesa röraþvermál sem er tæpar 2 1/2" (DN 65 mm).

Niðurstaða:

Pípuþvermálið 2 1/2" (DN 65 mm) er valið í þessu tilviki.

Rennslis hraði verður um 0,8 m/sek.

Berið saman við töflu 6.4.2 bls. 24 og dæmi 6.4.1.

Þrýstifalls „nómógrömm“. Á mynd 6.7 bls. 35 er sýnt dæmi um þrýstifalls „nómógramm“. Þegar tvær stærðir „nómógrammsins“ eru gefnar á lóðréttu súlunum er dregin bein lína á milli þeirra punkta sem gefur aðrar stærðir sem skurðpunkta á viðkomandi súlu „nómógrammsins“.

Dæmi 6.4.3. Texti sá sami og í dæmi 6.4.2. Valið er að leyfa 10 mm H₂O/m þrýstifall. Rennsli = 3 l/sek.

Lausn: Á „nómógramminu“ á mynd 6.7 bls. 35.

Þar sem beina línan sem gengur í gegnum þekktu stærðirnar „leyfilegt þrýstifall“ og „rennsli“ sker súluna fyrir röraþvermál fæst minnsta röraþvermál sem þarf til að þrýstifallið yfirstigi ekki gefin þrýstifallsmörk (10 mm H₂O/m).

Af fyrstu súlunni til hægri má lesa þvermál sem jafngildir tæplega

2 1/2" (65 mm).

Niðurstaða:

Valið er pípuþvermálið 2 1/2" í þessu tilviki.

Rennslis hraðinn verður því um 0,8 m/sek.

Berið saman við töflu 6.4.2 bls. 24, dæmi 6.4.1 og dæmi 6.4.2.

Dæmi 6.4.4. Finna skal út samkvæmt framangreindum reglum hvert þvermál aðveituæðar okkar litlu hitaveitu ætti að vera. Að framan í dæmi 6.3.9 var fengið að hámarksrennslið þarf að vera 26,4 l/s eða 0,0264 m³/s.

Lausn: Við ákvörðun á pípuþvermáli notum við t.d. töflu 6.4.2 sem reiknuð hefur verið samkvæmt jöfnu (6.1). Er þar gefið rennsli í stöðluðum stálpípum miðað við þrýstifall 5,0 mm H₂O/m og 10,0 mm H₂O/m. Taflan sýnir að 150 mm (6") pípa hentar. Nánari útreikningar sýna að með þessu rennsli í 150 mm pípu fellur þrýstingurinn sem nemur $h/L = 0,00809$ eða 8,09 m H₂O/km. Þversniðsflatarmál þessarar pípu er 199,3 cm² eða 0,01993 m² og verður hraði vatnsins í henni þá 1,32 m/s sem telst mjög hæfilegt.

Dæling: Langoftast hagar þannig til að dæla þarf vatninu frá jarðhitasvæðinu til markaðarins. Reiknum með því að vatninu sé dælt úr geymi eða þró þar sem hæð vatnsborðsins er H_1 metrar. Á leiðarenda er vatninu dælt upp í annan geymi og er vatnsborðið í honum í H_2 metra hæð. Köllum lengd aðveituæðarinnar L_0 (metra). Reiknum ennfremur með því að á leiðinni, í fjarlægð L_1 metra frá byrjunarpunkti æðarinnar, þurfi leiðslan að fara yfir hæð eða hrygg sem er í hæðinni H_3 metrar þar sem H_3 er hærri en bæði H_1 og H_2 . Þrýstihæð dælnunnar fyrir aðveituæðina þarf þá að vera a.m.k. jöfn hærri tölunni sem hér að neðan er gefin:

$$\begin{aligned} a) H_d &= H_2 - H_1 + h * L_0 \\ b) H_d &= H_3 - H_1 + h * L_1, \end{aligned} \quad (6.5)$$

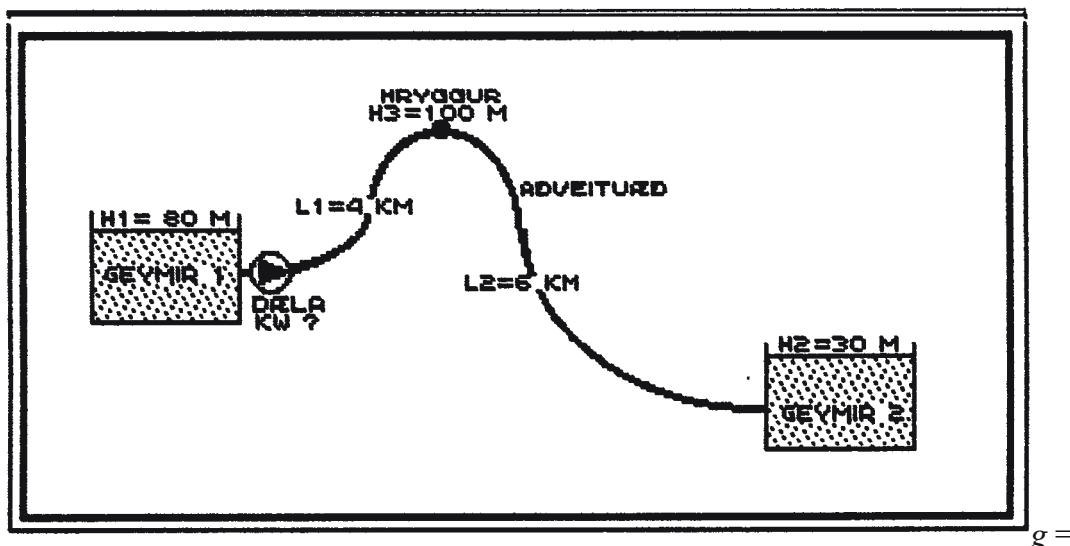
þar sem h er þrýstifallið í leiðslunni reiknað samkvæmt (6.1).

Ef engin hæð eða hryggur er á aðveituleiðinni gildir jafna (a). Ef jafnan gefur neikvætt gildi fyrir H_d þýðir það að aðveituæðin liggur niður á við með það miklum halla að ekki þarf neina dælu til að flytja vatnið, þ.e. rennslið er sjálfrennandi. Ef hæðin H_d er jákvæð er unnt að ákveða rafhreyfilstærð fyrir dælu samkvæmt jöfnunni:

$$P_d = H_d * V * \rho * g / n \text{ [W]} = 13,66 * H_d * V \text{ [kW]} \quad (6.6)$$

þar sem V = rennsli hitaveituvatns, m³/s
 H_d = þrýstihæð dælu, m

□ = eðlismassi hitaveituvatns, 975 kg/m³



þyngdarhröðun = 9,81 m/s²

n = heildarnýtni dælubúnaðar, áætlað 70%

Dæmi 6.4.5. Hugsum okkur að fyrir okkar hitaveitudæmi sé:

$H_1 = 80$ m; $H_2 = 30$ m; $H_3 = 100$ m; $L_0 = 10$ km; $L_1 = 4$ km.

Hve stóran rafhreyfil þarf fyrir þessa dælingu?

Lausn: Með $h = 8,09$ m/km og $v = 0,0264$ m³/s fæst þá:

a) $H_d = 30 - 80 + 80,9 = 30,9$ m

b) $H_d = 100 - 80 + 8,09 \cdot 4 = 52,36$ m (6.7)

Þrýstihæð dællunnar ræðst því hér af hryggnum á leiðinni og þarf hún sem sé að dæla 0,0264 m³/s og gefa 52,36 m þrýstihæð. Stærð rafhreyfils til að knýja dælluna þarf að vera:

$$P_d = 52,36 \cdot 0,0264 \cdot 975 \cdot 9,81 / 0,7 = 18888 \text{ W}$$

Pd = 18,89 kW (6.8)

Þar sem leiðsla liggur yfir hrygg, myndast hætta á lofttappa og þarf því að koma fyrir lofttæmingarloka á hæsta punkti leiðslunnar.

Dreifikerfi er það net af pípum sem lagt er um hið byggða svæði sem hitaveitunni er ætlað að þjóna og flytur heita vatnið til neytenda. Staðsetning pípanna ræðst að miklu leyti af skipulagi byggðarinnar. Pípunetinu má líkja við tré þar sem aðalpípur eru svokallaðar stofnpípur en út frá þeim koma greinar sem geta síðan skipst upp í fleiri greinar allt eftir aðstæðum á hverjum stað. Oft eru einstakar greinar samtengdar þannig að kerfið myndar lokaðar hringtengdar rásir, og er það gert í þeim tilgangi að jafna þrýsting í kerfinu og til aukins öryggis og þæginda fyrir neytendur þegar gera þarf við bilanir. Slíkar samtengingar eru vandmeðfarnar og þarfnast nákvæmra útreikninga.

Í jarðvarmaveitum eru dreifikerfin yfirleitt einföld, þar sem vatnið er að jafnaði leitt í fráveitukerfi eftir að það hefur farið í gegnum hitunarkerfi bygginga. Undantekningar eru þó frá þessari reglu þar sem bakrásarvatni er safnað saman til kælingar á framrennsli, t.d. í Laugarneshverfinu í Reykjavík og á Seltjarnarnesi, þar sem borholuvatnið er vel yfir 100°C, eða til endurupphitunar eins og t.d. á Akureyri.

Dreifikerfi í kyntum hitaveitum (t.d. Höfn í Hornafirði og Seyðisfirði) eru að jafnaði tvöföld, þar sem heita vatnið er í lokaðri hringrás frá kyndistöð til neytenda og síðan til baka til kyndistöðvar. Enginn teljandi

munur er á útreikningum á pípustærðum fyrir einföld og tvöföld dreifikerfi og verður í því dæmi sem hér á eftir verður tekið fyrir miðað við einfalt kerfi.

Aðferðin til að ákvarða pípustærðir í dreifikerfi er sú sama og fyrr er lýst í kaflanum um aðveituæðina. Þegar dreifikerfið hefur verið teiknað upp eins og fyrirhugað er að byggja það með greinum og heimæðum til allra notenda er hægt að ganga á röðina og skrá hámarksvatnsþörf hjá hverjum og einum samkvæmt þeim aðferðum sem lýst er að framan. Síðan rekur maður sig áfram frá notendum til dælustöðvar dreifikerfisins og safnar saman því vatnsmagni sem hver og einn þarf á að halda. Vatnsmagn í öllum greinum og greinabútum, stofnleiðslum og stofnleiðslubútum er þá fengið og pípustærðir síðan reiknaðar eins og áður og enn miðað við 5 – 10 mm H₂O/m þrýstifall.

Gert er ráð fyrir því að þegar kerfið er byggt séu allar pípur og suður prófaðar við 12 bar þrýsting. Hins vegar er æskilegt að vinnuþrýstingur í dreifikerfi fari ekki yfir 6 bar, vegna hættu á ofnaskemmdum ef hann er hærri. Lágmarks þrýstingur við inntak þarf að vera a.m.k. 2 bar til þess að öruggt megi teljast að vatnið nái að streyma í gegnum öll hitunarkerfin. Ef dreifikerfið er tvöfalt verður að tryggja að þrýstingur í því sé alls staðar nægilega hár til að koma bakrennslisvatninu til baka. Því verður að reikna út hvernig þrýstingur dreifist um kerfið.

Öll tengistykki, s.s. beygjur, hné og téstykki, svo og allir lokar á leiðslum, valda viðnámi í rennslinu og þar af leiðandi þrýstifalli. Þægilegt er að reikna viðnám hvers tengistykkis til jafngildrar lengdar pípu af sömu stærð og er þá auðvelt að reikna heildarviðnám hvers pípubúts í kerfinu með jöfnu (6.1). Jafngildar lengdir tengistykkja eru gefnar upp í beinu hlutfalli við innra þvermál pípa og eru þær sýndar í töflu 6.4.3 bls. 25. Við frumáætlanir þrýstifalls í almennum dreifikerfum er tengi≠stykkjum oft sleppt, en 10% bætt við þrýstifall röranna vegna átætlaðra þrýstifallsáhrifa tengistykkjanna.

Dæmi 6.4.6. Í dreifikerfi er notað 90° hné á 4" lögn. Hvað jafngildir 4" hnéð löngu 4" röri?

Lausn: Samkvæmt töflu 6.4.3 er $L/D_i = 33,0$ fyrir 90° hné. Samkvæmt töflu 6.4.1 er $D_i = 107,1$ mm fyrir 4" rör:

$$L_j = 33 * D_i = 33 * 107,1 = 3.534 \text{ m}$$

$$L_j = 3,53 \text{ m (jafngildir 3,53 m af 4" röri).}$$

Við útreikninga á þrýstifalli í dreifikerfi eru lengdir allra pípuáfanga leiðréttar með tilliti til tengistykkja í samræmi við töflu 6.4.3 bls. 25 og síðan er gengið á röðina og reiknað þrýstifall í hverjum áfanga. Summan af þrýstifalli frá dælustöð út í enda hvernar greinar að viðbættum lágmarksþrýstingi við inntak í hús gefur þá nauðsynlegan þrýsting frá dælustöð út í enda á viðkomandi grein. Hæsti þrýstingur þannig fenginn gefur þá þann lágmarksþrýsting sem verður að vera í kerfinu frá dælustöð.

Ákvörðun þrýstifalls í samtengdum greinum, þar sem um hringtengdar rásir er að ræða, er ekki einfalt mál og verður ekki gerð tilraun til þess á þessum vettvangi að lýsa þeim reikniðferðum. Þar sem um slíkar rásir er að ræða er til einföldunar reiknað með því að rásin sé lokuð í einhverjum ákveðnum punkti og að rennslíð í pípunum sé í áttina að lokunarpunktinum frá hvorri hlið fyrir sig.

Dæmi 6.4.7. Einföld mynd af dreifikerfi er sýnd á mynd 6.8 bls. 36. Myndin sýnir þann legg sem nær lengst frá dælustöð. Inn á teikninguna er skráð hámarksrennslí í hverjum áfanga fyrir sig ásamt pípustærð sem miðuð er við það að þrýstifall fari aldrei yfir $h/L = 0,01$ mH₂O/m.

Inn á mynd 6.8 bls. 36 hafa lengdir pípuáfanga einnig verið skráðar vegna útreikninga á þrýstifalli í gegnum kerfið. Þessir útreikningar eru síðan sýndir í töflu 6.4.4 bls. 25. Jafngildar viðbótarlengdir pípuáfanga, L_j/D_p , samkvæmt töflu 6.4.3 bls. 25 eru teknar með í reikninginn og er þar miðað við einn opinn renniloka og té eða hné á hverjum bót, eftir því sem við á. Þrýstifall er síðan reiknað út samkvæmt jöfnu (6.1) þar sem jafngildum lengdum tengistykkja er bætt við lengdir samkvæmt mynd 6.8. Aftasti dálkur í töflunni sýnir samanlagðan þrýsting í leiðslunni

frá enda að dælustöð og þar tekið til greina að þrýstingur í enda dreifikerfisins má ekki vera undir $2,0 \text{ bar} = 20 \text{ m H}_2\text{O}$. **Kemur út úr þeim útreikningum að þrýstingur í dælustöð verður að vera a.m.k. $28,7 \text{ m H}_2\text{O}$ eða um $2,9 \text{ bar}$ (yfirþrýstingur).**

6.5. Varmatap frá hitaveituleiðslum

Varmatap frá einangruðum pípum. Varmaflutningur á sér alltaf stað þar sem hitamunur milli tveggja staða er fyrir hendi og flyst varminn þá frá heitari stað til kaldari. Varmaflutningur getur orðið með þrennu móti: (a) með varmaleiðingu, þar sem hlutir eru í snertingu hver við annan, (b) með varmaburði, þar sem heitt kvikefni (vökvi, gas) streymir um kaldara efni eða kalt kvikefni um heitara efni, og (c) með varmageislun, þar sem hlutir senda frá sér orkubylgjur og miðla þeim flötum sem þær lenda á af þeim varma sem þær flytja.

Varmaflutningur frá hitaveituleiðslum er að langmestu til orðinn vegna varmaleiðingar. Í skýrslu Odds Björnssonar um *Kólnun vatns í hitaveitulögnum* [9] eru þessi mál tekin til umfjöllunar, og verður stuðst við niðurstöður þeirrar skýrslu í því sem hér á eftir kemur.

Varmatap frá pípuleiðslum má gefa með jöfnu á forminu:

$$Q/L = (T_v - T_u)/R \quad [\text{W/m}] \quad (6.9)$$

þar sem Q/L = varmatap á lengdareiningu pípu, [W/m],

T_v = meðalhiti vatns í pípu, [°C]

T_u = útihiti, [°C],

L = lengd pípuleiðslu, [m],

R = varmaviðnám pípuveggjar með einangrun og öðru efni sem þar kann að vera utan yfir, [m. °C/W].

Hér verða teknar til athugunar fjórar gerðir af leiðslum sem algengastar eru í hérlendum hitaveitum:

1. Leiðsla ofanjarðar í hlífðarkápu úr blikki eða áli. Þetta eru stálpípur og er algengast að þær séu einangraðar með steinullareingrun. Þar utan yfir kemur hlífðarkápan, og er ekki gert ráð fyrir neinu varmaviðnámi í henni. Veggur stálpípunnar veitir einnig hverfandi vörn gegn varmatapi þannig að viðnámið er eingöngu fólgið í steinullarlaginu.

2. Leiðsla ofanjarðar með pólýureþaneingrun (PÚ) og í hlífðarkápu úr pólýepýlen (PE) plastpípu. Þetta eru stálpípur sem eru fyrst og fremst notaðar niðurgrafnar í dreifikerfum en þær má eins nota ofanjarðar ef henta þykir. Hér sem fyrr er ekki tekið tillit til pípuveggjarins en hins vegar er tekið tillit til varmaviðnáms vegna hlífðarkápunnar.

3. Niðurgrafið stálrör með PÚ-einangrun í PE-hlífðarkápu. Þetta er sama leiðslan og lýst er hér á undan en nú niðurgrafin. Er þetta sú leiðslugerð sem algengast er að nota í dreifikerfum. Reiknað varmaviðnám fyrir þessar leiðslur miðast við það að foreinangruð pípan er lögð í sandfyllingu og er reiknað með að utan um PE-plastkápuna allt í kring komi jafnþykkt lag af þurrum sandi, $h_1 = 15$ cm þykkt. Dýpt jarðvegs frá yfirborði jarðar niður á sandhólkinn er reiknuð $h_2 = 55$ cm.

Í töflu 6.5.1 bls. 26 eru gefin leiðnigildi fyrir pípuefni, einangrunarefni og ýmis jarðvegsefni sem nauðsynleg eru til að reikna út varmatap frá hitaveituleiðslum. Í töflu 6.5.2 bls. 26 er síðan reiknað út varmaviðnám framangreindra þriggja gerða af leiðslum með þeim aðferðum sem lýst er í heimild [9]. Í töflunni eru einnig gefnar upp einangrunarþykkir, bæði fyrir steinullareinangrun, h_s , og fyrir PÚ-einangraðar pípur, h_p , ásamt utanmáli PE-hlífðarkápu, D_e . Varmaviðnám niðurgröfnu leiðslunnar, R_3 , er reiknað fyrir jarðvegfsyllingu með leiðnitölu $\square = 1,15$ [W/m. °C].

Tafla 6.5.2 sýnir að varmaviðnám steinullareinangraðra pípa (R_1) er hærra en varmaviðnám þeirra foreinangruðu ofanjarðar (R_2), enda einangrun þeirra fyrrnefndu þykkari. Niðurgrafin foreinangruð pípa gefur mest varmaviðnám (R_3).

4. Asbestpípa í jarðvegsgarði. Vegna mikils kostnaðar langra aðveituæða hafa asbestpípur lagðar í sandlag og þaktar með jarðvegsgarði verið notaðar á allmörgum stöðum hérlendis. Í eldri leiðslum af þessari gerð hefur asbestpípan verið óeinangruð í moldargarðinum en nokkrar af þeim yngri hafa verið einangraðar að hluta (65% - 75% af ummáli). Í töflu 6.5.3 eru sýndar útreiknaðar varmaviðnámstölur fyrir þessar leiðslur þar sem R_4 eru gildi fyrir óeinangraða asbestpípu, R_5 eru viðnámsgildi fyrir asbestpípu einangraða að hluta með 30 mm

þykku PÚ-einangrunarlagi, og R_6 eru fyrir asbestpípu einangraða að hluta með 50 mm þykku steinullarlagi. Í öllum tilfellum er reiknað með 600 mm þykku jarðvegslagi yfir pípu (með einangrun þar sem við á) og leiðnitala jarðvegsins reiknuð $\alpha_j = 1,00$ [W/m. °C].

Samkvæmt reglugerð útgefinni af Heilbrigðis- og tryggingamálaráðuneytinu árið 1983 er innflutningur og notkun asbests hér á landi bönnuð með vissum undantekningum þó. Eru undantekningar takmarkaðar við það að önnur efni komi ekki með góðu móti í stað asbests.

Þær ýmsu gerðir hitaveituleiðslna sem að framan er lýst eru sýndar með einföldum teikningum á mynd 6.9. bls. 37.

Í **viðauka C** eru gefin dæmi um kólnun í hitaveituleiðslum fyrir mismunandi hita og rennsli. Þessar töflur og myndir má nota til að áætla kólnun í leiðslum af þeim gerðum sem þar eru nefndar.

Þar sem eðlisvarmi vatns er nánast óbreytilegur þótt hitinn breytist lítillega er hitalækkun vatnsins í gefinni pípulengd í beinu hlutfalli við varmatapið.

$$Q/L = (T_v - T_u)/R \approx c_v * m * \Delta T_v / L, \text{ [W/m]}, \quad (6.10)$$

þar sem

- ΔT_v = hitafall í leiðslu = $T_0 - T_L$, [°C]
- T_0 = vatnshiti í pípunni í byrjun, [°C]
- T_L = vatnshiti á leiðarenda, [°C]
- c_v = eðlisvarmi vatns = 4186 [J/kg °C]
- m_v = vatnsrennsli [kg/s].

en Q , L , T_v , T_u og R eru sömu stærðir og áður voru skilgreindar, (jafna 6.9). Með þau varmaviðnámsgildi sem sýnd eru í töflum 6.5.2 og 6.5.3 er þá auðvelt að reikna kólnun vatnsins í gefinni pípulengd með ákveðið vatnsrennsli. Við skilgreinum stærðina:

$$a = L / (m_v * c_v * R) \quad (6.11)$$

og fæst þá eftirfarandi jafna fyrir hitafallið í leiðslunni:

$$\Delta T_v = a * (T_v - T_u) \quad (6.12)$$

Reyndar er meðalhiti vatnsins í pípunni, T_v , ekki þekktur fyrr en kólnunin er fengin, en í fyrstu atrennu má setja byrjunarhitann T_0 í staðinn og síðan endurtaka útreikningana með því að setja $T_v = T_0 - \Delta T_v / 2$. Ef leiðslan er ekki því lengri eða gildið á R ekki því lægra, á þessi aðferð að nálgast rétta hitalækkun án margra endurtekninga. Góð viðmiðunarregla er að óþarfi sé að endurtaka útreikningana ef gildið á a er mjög lítið, t.d. er

$$a < 0,02 \quad (6.13)$$

en þá gefur (6.12) hitafall með innan við 1% skekkju í fyrstu atrennu.

Dæmi 6.5.1. Aðveituæð hitaveitu er 10 km löng. Vatnsrennslið er 25,8 kg/s og flytja skal vatnið í 150 mm leiðslu ofanjarðar með steinullareinganrun ($R = 2,121$ m°C/W). Vatnshiti inn á aðveituæð er $T_0 = 80^\circ\text{C}$ og finna skal kælingu vatnsins við grunnhita veitunnar sem er $T_u = -9^\circ\text{C}$.

Lausn: Við reiknum út stærðina:

$$a = L / (m_v * c_v * R) = 10.000 / (25,8 * 4186 * 2,121) = 0,04366.$$

Jafna (6.12) gefur þá:

$$\Delta T_v = a * (T_v - T_u) = 0,04366 * (80 + 9) = 3,886^\circ\text{C}$$

Endurtökum útreikningana með $T_v = 80 - 3,886 / 2 = 78,057^\circ\text{C}$:

$$\Delta T_v = a * (T_v - T_u) = 0,04366 * (78,057 + 9) = 3,801^\circ\text{C}.$$

Næsta endurtekning gefur $\Delta T_v = 3,803$ og eru frekari útreikningar óþarfir. Hiti vatnsins á leiðarenda er þá:

$$T_L = 80 - 3,80 = 76,2^\circ\text{C}.$$

Draga má úr þessari kælingu með grennri aðveituæð, sem þýðir meira dæluafli. Verður þá að meta hvaða kostur er vænlegastur.

Dæmi 6.5.2. Sjáum nú hver áhrif það hefur á þessa útreikninga ef varmaviðnám leiðslunnar er í lægra lagi. Reiknum sama dæmi og áður en nú með óeinangraðri asbestpípu í jarðvegsgarði. Pípan er þá 150 mm að innanmáli, vatnsmagn er það sama, $m_v = 25,8$ kg/s, lengd leiðslunnar $L = 10$ km og úr töflu 6.5.3 bls. 27 fæst að $R = 0,431$ [$\text{m}^\circ\text{C}/\text{W}$].

Lausn: Við reiknum eins og áður:

$$a = L/(m_v * c_v * R) = 10.000/(25,8 * 4186 * 0,431) = 0,2148.$$

Jafna (6.12) gefur þá:

$$\Delta T_v = a * (T_0 - T_u) = 0,2148 * (80 + 9) = 19,1172^\circ\text{C}.$$

Endurtökum útreikninga með $T_v = 80 - 19,1172/2 = 70,441^\circ\text{C}$.

$$\Delta T_v = a * (T_v - T_u) = 0,2148 * (70,441 + 9) = 17,064^\circ\text{C}.$$

Endurtökum enn með $T_v = 80 - 17,064/2 = 71,468^\circ\text{C}$:

$$\Delta T_v = a * (T_v - T_u) = 0,2148 * (71,468 + 9) = 17,285^\circ\text{C}.$$

Frekari endurtekningar gefa: $\Delta T_v = 17,261, 17,263$ og við sjáum að ástæðulaust er að fara lengra. Hitinn á leiðarenda er þá:

$$T_L = 80 - 17,3 = 62,7^\circ\text{C}.$$

Hér kemur glögg fram hve mikil kælingin er í óeinangraðri asbestleiðslu.

Dæmi 6.5.3. Reikna kælingu vatns í 120 m legg í dreifikerfi. Rennsli = 11,71 kg/s í 100 mm foreinangraðri neðanjarðarpípu. Tafla 6.5.2 bls. 26 gefur $R_3 = 3,114$, vatnshitinn er $T_0 = 76,0^\circ\text{C}$ og útihiti er $T_u = -9^\circ\text{C}$.

Lausn: Enn reiknum við út stærðina:

$$a = L/(m_v * c_v * R) = 120/(11,71 * 4186 * 3,114) = 0,000786.$$

Hér er $a < 0,02$ sbr. (6.13) og engin þörf á að endurtaka hitafallsreikninga. Við fáum:

$$\Delta T_v = a * (T_0 - T_u) = 0,000786 * (76 + 9) = 0,0668^\circ\text{C},$$

og vatnshitinn í lokin er:

$$T_L = 76 - 0,0668 = 75,93^\circ\text{C}.$$

Þá athugum við kælingu í dreifikerfinu og miðum við sama legg og reiknaður var í töflu 6.4.4. Þessir útreikningar eru settir upp í töflu 6.5.4 með lengdum L eins og taflan sýnir. Nú eru notaðar niðurgrafnar stálpípur með PÚ-einangrun og í PE-hlífdarkápu og gilda því varmaviðnámstölur R_3 úr töflu 6.5.2.

Það kemur í ljós að kæling frá dælustöð út í enda er um $2,1^\circ\text{C}$ og meðalhiti vatnsins í dreifikerfinu er ekki langt frá 75°C eins og reiknað hafði verið með. Hér er reiknað með hámarksrennsli í kaldasta veðri sem hitaveitunni er ætlað að anna. Þegar hlýrra er í veðri og rennsli í pípum minna verður kælingin meiri, bæði í aðveituæð og í dreifikerfi.

Í heimæðum má reikna með því að ekki sé alltaf um að ræða stöðugt rennsli. Þar getur því kæling vatnsins orðið umtalsverð og ekki mörg ráð til að koma í veg fyrir það. Má áætla að um eða yfir helmingur

af kælingu í dreifikerfi hitaveitna verði í heimæðaleiðslum Helstu leiðir til að draga úr óþægindum fyrir neytendur af þessum sökum er að hanna dreifikerfin þannig að heimæðar séu eins stuttar og aðstæður leyfa og að pípustærðir séu eins litlar og unnt er, þó þannig að þrýstifall að húsvegg við hámarksálag verði innan leyfilegra marka.

Dæmi 6.5.4. Heimæð að húsi er 104 m löng mæld frá brunni og þvermál 20 mm. Hiti í brunni er að jafnaði 70°C. Ársnotkun hússins er 317 m³ vatns og meðalhiti ársins er áætlaður 2,0°C.

Hve mikið kólnar vatnið í pípunni við meðalrennsli?

Lausn: Meðalrennsli til hússins er:

$$V = 317 \cdot 1000 / 8760 / 3600 = 0,01 \text{ [l/s]}$$

Fyrir 20 mm niðurgrafna pípu gefur tafla 6.5.2 (aftasti dálkur) varmaviðnámið $R = 6,305 \text{ m}^\circ\text{C/W}$. Við reiknum síðan eins og áður skv. jöfnu (6.11):

$$a = L / (m_v \cdot c_v \cdot R) = 104 / (0,01 \cdot 4186 \cdot 6,305) = 0,394 \text{ m}^\circ\text{C/W}.$$

Hér er gildið á a allmiklu stærra en 0,02 (sbr. jöfnu 6.13) og þarf því að endurtaka útreikninga eins og lýst er í dæmum 6.5.1 og 6.5.2. Kæling vatnsins í heimæðinni verður þá:

$$\Delta T_v = 22,4^\circ\text{C}, \text{ þ.e. } T_L = 70 - 22,4 = \underline{47,6^\circ\text{C}}.$$

6.6. Heimildarit

1. VST og VN, verkfræðistofur (1976): Áætlun um Hitaveitu Akureyrar. Október 1976.
2. Þorbjörn Karlsson (1984): Íslenskar hitaveitur – hugleiðingar um vatnsnotkun og sölufyrirkomulag. Erindi flutt á vetrarfundum SÍR og SÍH 15.-16. nóvember 1984. Prentað í útgáfu erinda á ráðstefnunni, bls. 46-52, maí 1985.
3. Jón Vilhjálmsson og Olavi M. Ojala (1984): Orkunotkun við hitun húsnæðis. 1 Rafhitun í þéttbýli utan hitaveitusvæða. Orkustofnun, OS-84099/OBD-03B, desember 1984.
4. María J. Gunnarsdóttir (1986): Orkunotkun við hitun húsnæðis. 2 Húshitun í Kópavogi. Orkustofnun, OS-86036/JHD-11 B, maí 1986.
5. Árni Ragnarsson (1989): Orkunotkun við hitun húsnæðis. 3 Höfn í Hornafirði. Orkustofnun, OS-89028/JHD-12 B, ágúst 1989.
6. Orkuspárnefnd (1986): Húshitunarspá 1986 – 2015. Skýrsla gefin út af Orkustofnun, OS-86081/OBD-01, desember 1986.
7. Gunnar Kristinsson (1981): Um hemla og mæla í hitaveitukerfum. Erindi flutt á aðalfundi SÍH, maí 1981. Sveitastjórnarmál, 41, 4, bls. 243-246.
8. Potter, P. J., (1959): Power Plant Theory and Design. Reinhold Press Company, New York.
9. Oddur B. Björnsson (1980): Kólnun vatns í hitaveitulögnum. Unnið af Fjarhitun h.f. fyrir Jarðhitadeild Orkustofnunar. Skýrsla nr. OS80008/JHD04, Reykjavík, apríl 1980.

6.7 Töfluskra

Tafla 6.2.1	Reynslutölur notaðar til að áætla hámarksaffþörf við upphitun húsa með hitaveitu	22
Tafla 6.2.2	Vatns- og orkunotkun til hitunar íbúðarhúsnæðis eftir stærð í Kópavogi og í Höfn í Hornafirði samkvæmt skýrslum Orkustofnunar	22
Tafla 6.2.3	Gráðudagar á nokkrum veðurathugunarstöðvum	23
Tafla 6.3.1	Eðlismassi vatns við mismunandi hita	22
Tafla 6.4.1	Gildi viðnámsstuðuls f fyrir staðlaðar vatnspípur að nafnmáli frá 15 til 600 mm. Reiknað samkvæmt jöfnu (6.1)	24
Tafla 6.4.2	Vatnsrennsli í gegnum stálpípur fyrir þrýstifall $h/L = 0,005$ og $0,01$ m H_2O/M (5,0 og 10,0 mm H_2O/m). Reiknað samkvæmt jöfnu (6.1)	24
Tafla 6.4.3	Jafngildar lengdir, L_j/D_p fyrir tengistykki og loka af ýmsum gerðum	25
Tafla 6.4.4	Pípuviddir og þrýstifall í lengsta legg dreifikerfis skv. mynd 6.8 við hámarksrennsli	25
Tafla 6.5.1	Leiðnitölur og eðlismassi fyrir ýmis pípu efni, einangrunarefni og jarðvegsefni notuð til að meta varmatap frá pípuleiðslum ofanjarðar og neðanjarðar	26
Tafla 6.5.2	Varmaviðnámstölur fyrir pípuleiðslur 1 – 3 sem lýst er í texta, reiknaðar samkvæmt heimild [9]	26
Tafla 6.5.3	Varmaviðnámstölur fyrir asbestpípur lagðar í jarðvegsgarð	21
Tafla 6.5.4	Reiknuð kæling í dreifikerfi hitaveitu	27

Tafla 6.2.1.
 Reynslutölur notaðar til að áætla hámarksafþörf
 við upphitun húsa með hitaveitu.

	<i>A</i> <i>Reykjavík</i>	<i>B</i> <i>Akureyri</i>	<i>C</i> $T_g = -9^\circ\text{C}$
Einlyft hús	24,5 W/m ³	27,0 W/m ³	23,7 W/m ³
Tvílyft hús	22,0 W/m ³	24,2 W/m ³	21,3 W/m ³
Þrílyft hús	20,0 W/m ³	22,0 W/m ³	19,3 W/m ³
Fjórlyft hús og hærri	17,5 W/m ³	19,3 W/m ³	16,9 W/m ³

Tafla 6.2.2.

Vatns- og orkunotkun til hitunar íbúðarhúsnæðis eftir stærð í Kópavogi og í Höfn í Hornafirði samkvæmt skýrslum Orkustofnunar [3,4].

Stærð húsa m^3	Kópavogur 1984		Höfn í Hornafirði 1984		
	Vatnsnotkun m^3	$t/m^3 \cdot \text{ár}$	Vatnsnotkun m^3	$t/m^3 \cdot \text{ár}$	Orkunotkun $kWh/m^3 \cdot \text{ár}$
>1000	632.416	1,56	5.029	1,00	47,5
900–1000	61.365	1,64	961	1,16	58,5
800–900	91.718	1,53	1.657	1,22	66,3
700–800	145.507	1,53	3.828	1,26	61,1
600–700	201.687	1,62	8.362	1,57	76,6
500–600	150.241	1,79	13.229	1,42	69,5
400–500	221.416	1,80	25.565	1,56	77,1
300–400	104.793	1,88	17.266	1,63	79,3
200–300	17.683	2,39	6.499	1,86	97,7
100–200	1.918	3,48	1.597	2,90	121,2
Samtals	1.525.003	1,76	83.993	1,54	75,8

Tafla 6.3.1.

Eðlismassi vatns við mismunandi hita.

Hiti $T, ^\circ\text{C}$	Eðlismassi $\rho \text{ kg/m}^3$	Hiti $T, ^\circ\text{C}$	Eðlismassi $\rho \text{ kg/m}^3$	Hiti $T, ^\circ\text{C}$	Eðlismassi $\rho \text{ kg/m}^3$
20	998,3	45	990,2	70	977,7
25	997,1	50	988,0	75	974,8
30	995,7	55	985,7	80	971,6
35	994,0	60	983,2	85	968,4
40	992,3	65	980,5	90	965,2

Gráðudagur á nokkrum veðurathugunarstöðvum á Íslandi (reiknaðir gráður dagar undir 20°C)

Veðurath. stöð	Jan.	Feb.	Mars	Apríl	Mái	Júní	Júlí	Ágúst	Sept.	Okt.	Nóv.	Des.	Samtals
Akureyri	696,1	601,4	638,1	542,8	446,9	329,2	285,8	305,0	413,1	529,5	609,5	679,0	6076
Eyrarbakki	664,5	560,0	607,6	510,6	422,5	326,8	285,8	302,8	392,1	504,7	582,2	642,8	5803
Hallormsstaður	678,3	585,5	624,1	540,4	461,6	336,0	283,8	310,0	407,5	511,9	593,8	657,0	5990
Hvanneyri	707,1	589,7	635,1	536,1	447,0	342,3	300,5	318,4	411,0	528,2	609,2	675,9	6101
Kvígindisdalur	667,7	585,1	642,7	556,1	476,8	372,8	328,2	335,4	413,6	509,1	581,9	649,7	6119
Reykjavík	651,5	554,3	602,1	513,2	429,6	336,2	295,0	306,0	383,9	485,5	567,7	628,1	5753

Tafla 6.4.1.

Gildi viðnámsstuðuls f fyrir staðlaðar vatnspípur að nafnmáli frá 15 til 600 mm.
Reiknað samkvæmt jöfnu (6.1.).

<i>Pípustærð</i>	D_y	D_i	f	<i>Pípustærð</i>	D_y	D_i	f		
¾	20	26,9	22,9	0,0226	6	150	168,3	160,3	0,0144
1	25	33,7	29,7	0,0211	8	00	219,1	210,1	0,0136
1¼	32	42,4	38,4	0,0198	10	250	273,0	263,0	0,0130
1½	40	48,3	43,7	0,0192	12	300	323,9	312,7	0,0126
2	50	60,3	55,7	0,0181	14	350	355,6	344,4	0,0123
2½	65	76,1	70,9	0,0172	16	400	406,4	393,8	0,0120
3	80	88,9	83,1	0,0165	18	450	457,2	444,6	0,0117
4	100	114,3	107,9	0,0156	20	500	508,0	495,4	0,0115
5	125	139,7	132,5	0,0149	24	600	609,6	597,0	0,0111

Tafla 6.4.2.

Vatnsrennsli í gegnum stálpípur fyrir þrýstifall $h/L=0,005$ og $0,01$ m H_2O/m
(5,0 og 10,0 m H_2O/m). Reiknað samkvæmt jöfnu (6.1).

<i>Pípa</i> "	D_i mm	<i>Rennsli, lítrar/sek.</i>		<i>Rennslishraði, m/s</i>	
		10 mm/m	5 mm/m	10 mm/m	5 mm/m
¾	22,9	0,184	0,130	0,446	0,315
1	29,7	0,364	0,257	0,525	0,371
1¼	38,4	0,714	0,505	0,617	0,436
1½	43,7	1,002	0,708	0,668	0,472
2	55,7	1,893	1,338	0,777	0,549
2½	70,9	3,549	2,509	0,899	0,636
3	83,1	5,389	3,811	0,994	0,703
4	107,9	10,647	7,529	1,164	0,823
5	132,5	18,21	12,87	1,320	0,934
6	160,3	29,81	21,08	1,477	1,045
8	210,1	60,33	42,66	1,740	1,231
10	263,0	108,18	76,50	1,991	1,408
12	312,7	169,39	119,78	2,206	1,560
14	344,4	218,25	154,33	2,343	1,657
16	393,8	308,92	218,44	2,536	1,793
18	444,6	423,72	299,61	2,729	1,930
20	495,4	560,13	396,07	2,906	2,055
24	597,0	908,91	642,97	3,247	2,296

Tafla 6.4.3.

Jafngildar lengdir, L_j/D_i , fyrir tengistykki og loka af ýmsum gerðum
(Heimild: Potter: Power Plant Theory and Design [8]. Ath. að fyrir skyndilega minnkun eða stækkun miðast jafngild lengd við minna þvermálið, d .)

Tengistykki	L_j/D_i	Tengistykki	L_j/D_i
Venjulegt hné	33,0	Sama, 50% lokaður	190,0
45 hné	16,5	Sama, 75% lokaður	800,0
Langradíus beygja	20,0	Keiluloki	350,0
Meðalradíus beygja	25,0	Keiluloki, hnégerð	175,0
Kröpp 90° beygja	66,0	Einstefnuloki	33–530,0
180° beygja	75,0	Rennsli úr geymi í pípu	17,0
Té, beint í gegn, sama vidd	20,0	Minnkun, $d/D=0,75$	7,0
Sama minnkað um helming	33,0	Minnkun, $d/D=0,5$	11,0
Sama minnkað um fjórðung	26,0	Minnkun, $d/D=0,25$	14,0
Té, rennsli til hliðar	67,0	Stækkun, $d/D=0,25$	30,0
Renniloki, fullopin	8,0	Stækkun, $d/D=0,5$	18,0
Sama, 25% lokaður	39,0	Stækkun, $d/D=0,75$	7,0

Tafla 6.4.4.

Pípuviddir og þrýstifall í lengsta legg dreifikerfis
skv. mynd 6.8. við hámarksrennsli. Tölur í aftasta dálki tákna
nauðsynlega þrýstihæð í byrjun hvers pípuáfanga.

Pípu- áfangi	v l/s	D_i mm	L m	L_j/D_i	L_j/D_i	$(L+L_j)/D_i$	f $\cdot 10^{-4}$	h_i m H_2O	Σh_i m H_2O
A–B	26,40	160,3	50	312	29	341	144	0,43	28,67
B–C	16,76	132,5	120	906	32	938	149	1,05	28,34
C–D	13,99	132,5	120	906	29	935	149	0,73	27,19
D–E	12,01	107,9	120	906	29	935	149	0,54	26,46
E–F	8,05	83,1	150	1390	74	1464	156	0,90	25,92
F–G	4,49	83,1	120	1444	32	1476	165	0,85	25,02
G–H	4,23	83,1	120	1444	29	1473	165	0,75	24,17
H–I	3,97	83,1	100	1203	29	1232	165	0,56	23,42
I–J	3,71	83,1	100	1203	29	1232	165	0,49	22,86
J–K	3,05	70,9	120	1693	74	1767	172	0,93	22,37
K–L	1,99	70,9	120	1693	29	1722	172	0,38	21,44
L–M	0,93	43,7	120	2746	67	2813	192	1,06	21,06
Lágmarksþrýstingur í enda, mH ₂ O									20,00

Tafla 6.5.2.

Varmaviðnámstölur fyrir pípuleiðslur 1-3, sem lýst er í texta, reiknaðar samkvæmt heimild [9]. Einangrunarþykkt foreinangraðrar pípu í PE-plastkápu samkvæmt íslenskum framleiðsluvenjum. Leiðnitala jarðvegs fyrir leiðslu nr. 3 reiknuð $\lambda_j = 1,15$ [W/m·°C].

Pípa mm	Pípuleiðsla nr. 1		Pípa í PE-hlífðarkápu – leiðslur nr 2 og 3			
	h_s mm	R_1 m·°C/W	D_e mm	h_u mm	R_2 m·°C/W	R_3 m·°C/W
20	50	7,054	90	29,05	5,255	6,305
25	50	6,267	90	25,65	4,230	5,280
32	50	5,509	110	31,00	4,118	5,086
40	50	5,101	110	28,05	3,526	4,493
50	50	4,446	140	36,65	3,636	4,507
65	50	3,815	140	28,75	2,578	3,449
80	50	3,427	170	37,05	2,773	3,571
100	50	2,858	200	38,85	2,375	3,114
125	50	2,455	225	38,15	1,998	2,696
150	50	2,121	250	35,85	1,630	2,293
200	50	1,710	315	41,15	1,468	2,057
250	50	1,419	355	35,10	1,054	1,607
300	50	1,224	420	41,05	1,041	1,546
350	50	1,127	450	39,70	0,930	1,416
400	50	1,000	500	38,40	0,801	1,260
450	50	0,899	560	42,00	0,781	1,211
500	50	0,817	600	36,00	0,616	1,030
600	50	0,691	710	38,20	0,551	0,926

Tafla 6.5.1.

Leiðnitölur fyrir ýms pípuefni, einangrunarefni og jarðvegsefni og eðlismassi nokkurra jarðvegsefna notuð til að meta varmatap frá pípuleiðslum ofanjarðar og neðanjarðar [9].

Efni	Eðlismassi ρ [kg/m ³]	Leiðni, λ [W/m·°C]
Pólýureþan (PÚ) plastfrauð	–	0,035
Steinull	–	0,040
Glerull	–	0,042
Pólýepýlen (PE) plastpípuefni	–	0,40
Asbest-sement pípuefni	–	0,465
Stálpípuefni	–	46,0
Þurr sandur	–	0,31
Þurr mól	1.700	0,70
Sandkenndur jökulruðningur	–	1,15
Leirkenndur jarðvegur	1.500	1,45
Leirkenndur jarðvegur	2.000	2,00
Venjulegur þurr moldarjarðvegur	–	1,00

Tafla 6.5.4.

Reiknuð kæling í dreifikerfi hitaveitu. Hiti vatns frá dælustöð er 76,2°C og útihiti er $T_u = -9^\circ\text{C}$. Pípulengdir, víddir og rennsli er eins og sýnt er í Töflu 6.4.4. Pípur eru niðurgrafnar, með PÚ-einangrun og í PE-hlífðarkápu samkvæmt Töflu 6.4.2. Tölur í aftasta dálki tákna vatnshita í lok hvers pípuáfanga.

Afangi	Vatnsrennsli [l/s]	Vatnsrennsli [kg/s]	Pípa [mm]	Lengd [m]	R [m ² °C/W]	T [°C]
A-B	26,40	25,74	150	50	2,293	76,18
B-C	16,76	16,34	125	120	2,696	76,13
C-D	13,99	13,64	125	120	2,696	76,06
D-E	12,01	11,71	100	120	3,114	75,99
E-F	8,05	7,85	80	150	3,571	75,88
F-G	4,49	4,38	80	120	3,571	75,73
G-H	4,23	4,12	80	120	3,571	75,56
H-I	3,97	3,87	80	100	3,571	75,42
I-J	3,71	3,62	80	100	3,571	75,26
J-K	3,05	2,97	65	120	3,449	75,03
K-L	1,99	1,94	65	120	3,449	74,67
L-M	0,93	0,91	40	120	4,493	74,08

Tafla 6.5.3.

Varmaviðnámstölur fyrir asbestpípur lagðar í jarðvegsgarð. Reiknað samkvæmt heimild [9]. Þykkt jarðvegslags er í öllum tilfellum reiknuð 600 mm og leiðnitala jarðvegs $\lambda_j = 1,00 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ (sbr. [9]).

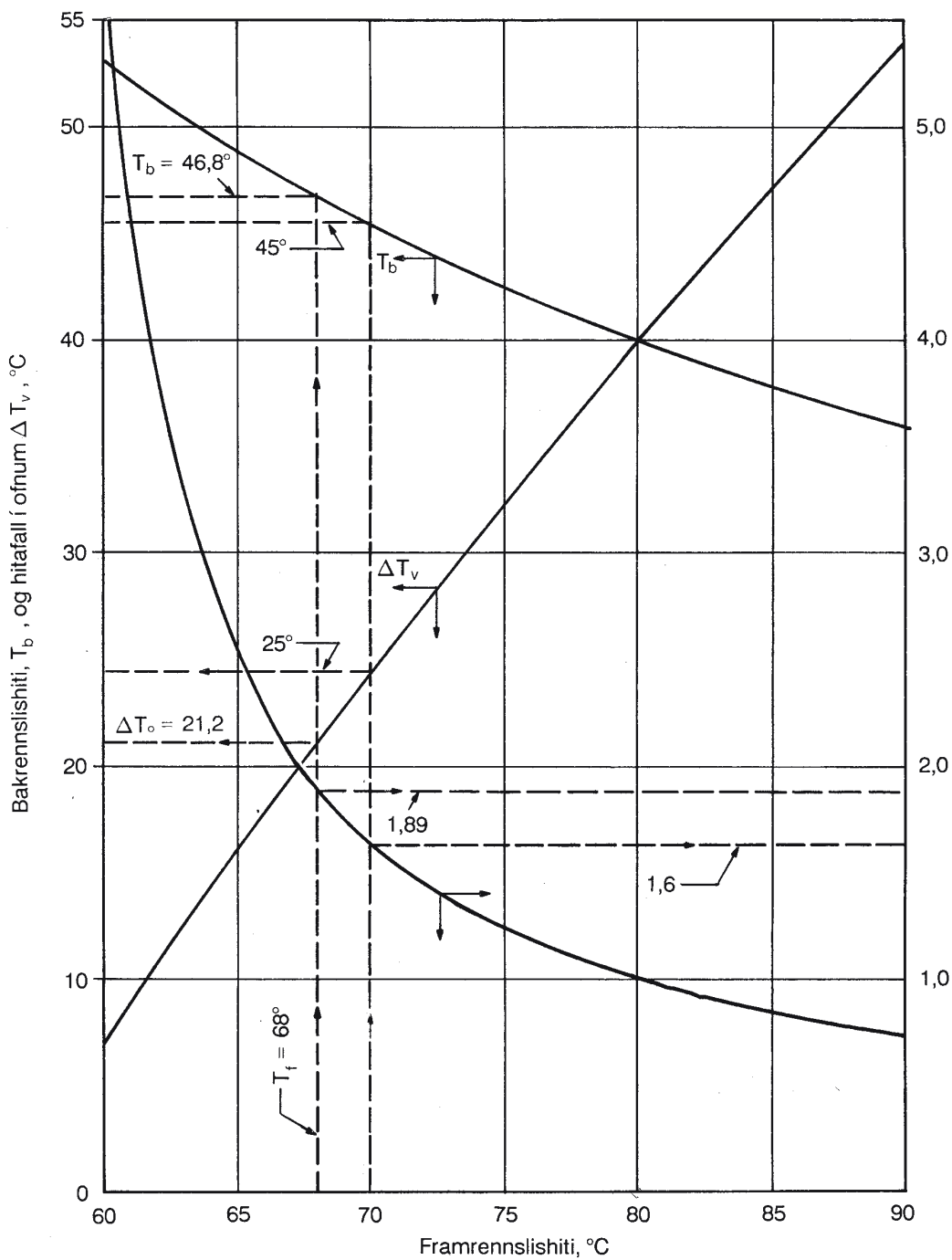
D_y mm	D_i mm	Óeinangr. pípa R_d [m ² °C/W]	30 mm PÚ-einangr. R_d [m ² °C/W]	50 mm steinull R_d [m ² °C/W]
83	65	0,568	0,999	1,027
98	80	0,529	0,933	0,963
120	100	0,492	0,864	0,895
149	25	0,458	0,798	0,829
178	50	0,431	0,745	0,777
236	200	0,390	0,664	0,697
288	250	0,355	0,604	0,637
346	300	0,332	0,558	0,591
404	350	0,313	0,522	0,554
442	400	0,287	0,486	0,518

6.8 Myndir

og línurit

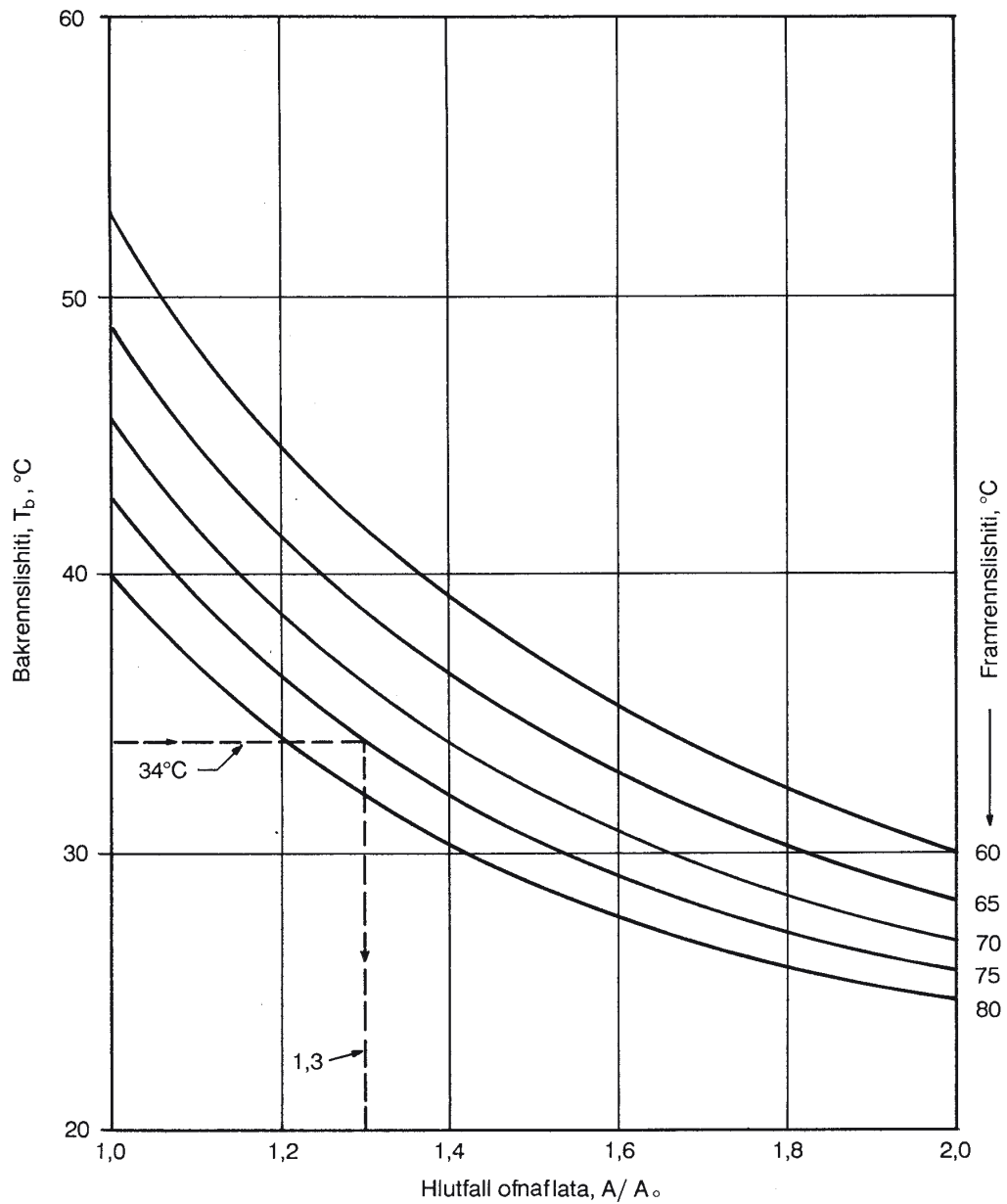
- Mynd 6.1 80/40/-15 ofnahönnun. Bakrennslishiti, hitafall og hlutfallsleg vatnsnotkun í -15°C útihita og mismunandi framrennslishita 29
- Mynd 6.2 Bakrennslishiti við gefinn framrennslishita og -15°C útihita sem fall af ofnastærð sem er ákveðið margfeldi af 80/40/-15 hönnun 30
- Mynd 6.3 Bakrennslishiti fyrir 80°C framrennslishita fyrir mismunandi útihita og breytilega ofnastærð 31
- Mynd 6.4 Bakrennslishiti fyrir mismunandi framrennslishita sem samsvarar gefnum bakrennslishita með 80°C framrennslishita 32
- Mynd 6.5 Bakrennslishiti fyrir mismunandi framrennslishita í breytilegum útihita. 80/40/-15 ofnakerfi 33
- Mynd 6.6 Þrýstifallslínurit 34

Mynd 6.7	Þrýstifalls„nómógramm”	35
Mynd 6.8	Sýnishorn af dreifikerfi	36
Mynd 6.9	Helstu gerðir hitaveituleiðslna	37

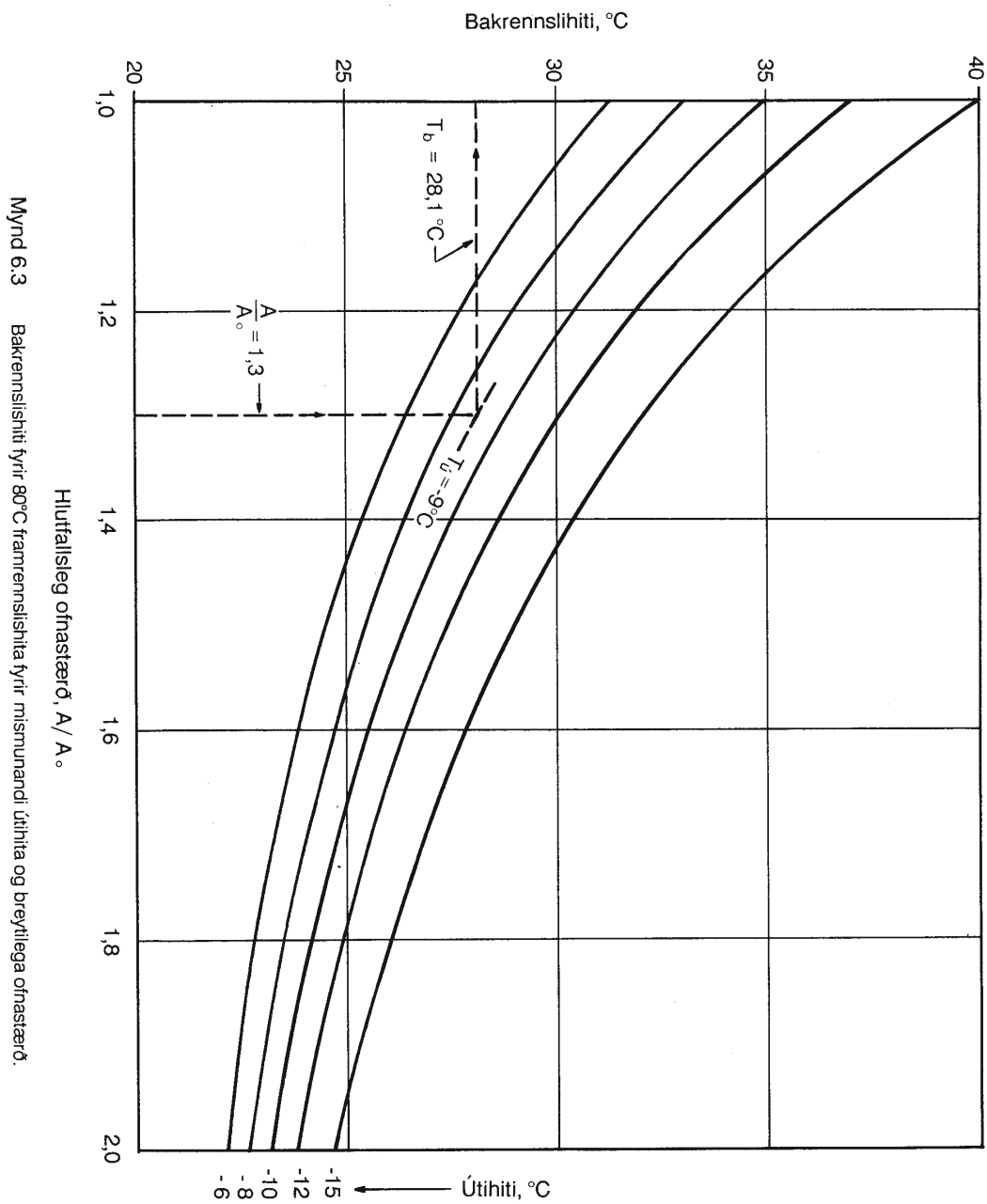


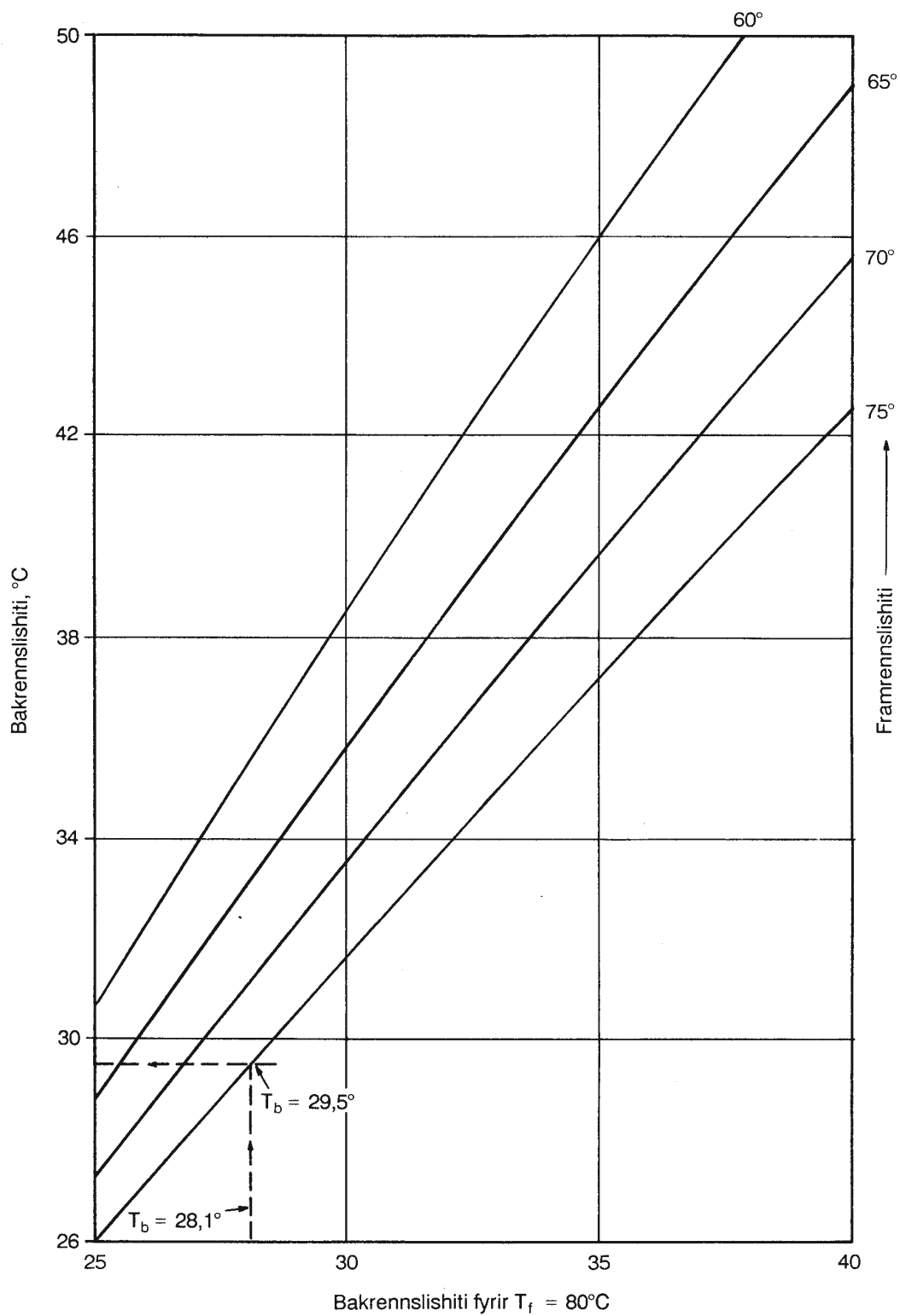
ofnahlönnun. Bakrennslíshiti, hitafall og hlutfallsleg framrennslíshita

Mynd 6.1. 80/40/ -15 vatnsnotkun í -15°C útihita og mismunandi

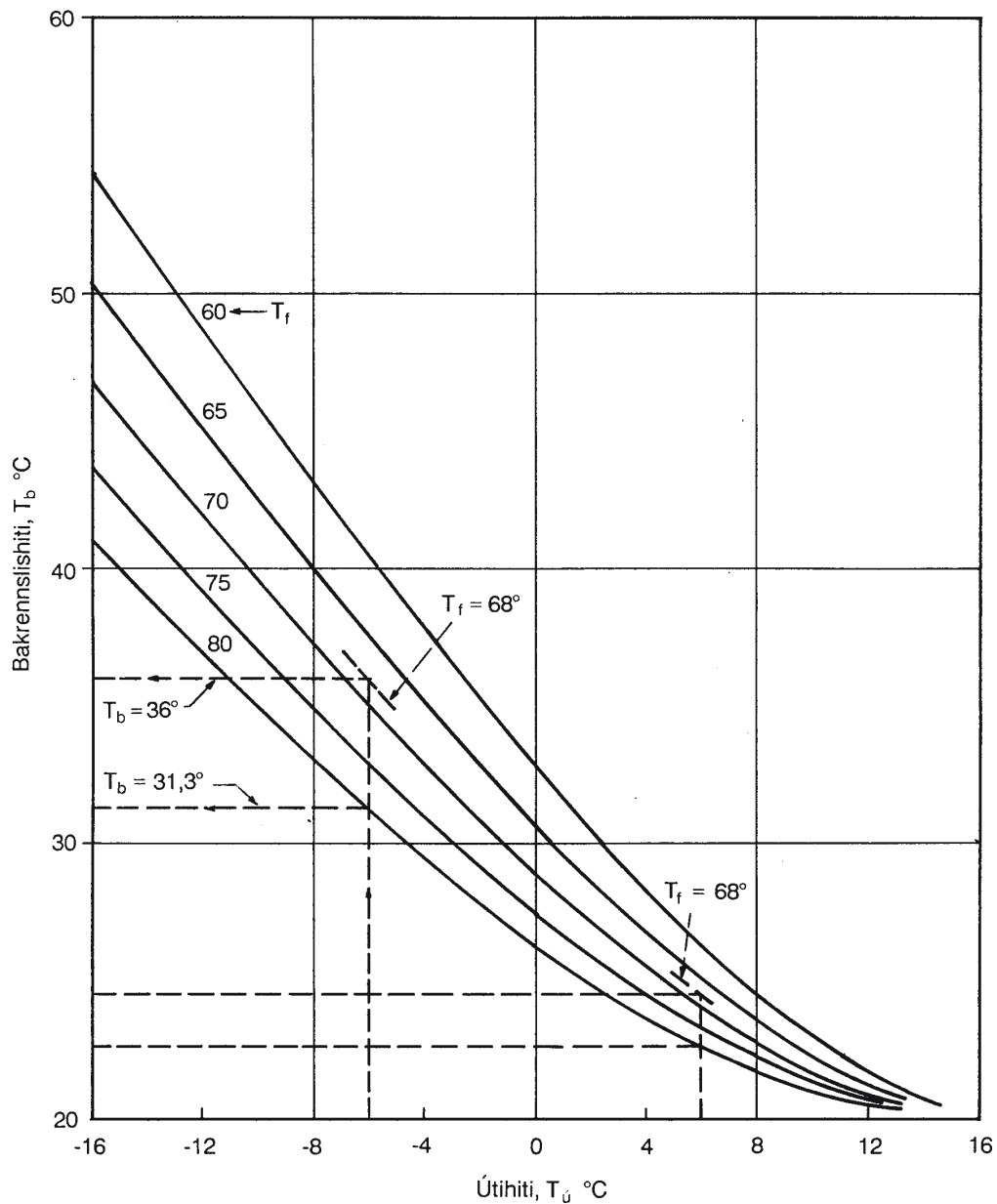


Mynd 6.2. Bakrennslíshiti við gefinn framrennslíshita og -15°C útihita sem fall af ofnastærð, sem er ákveðið margfeldi af $80/40/-15$ hönnun.

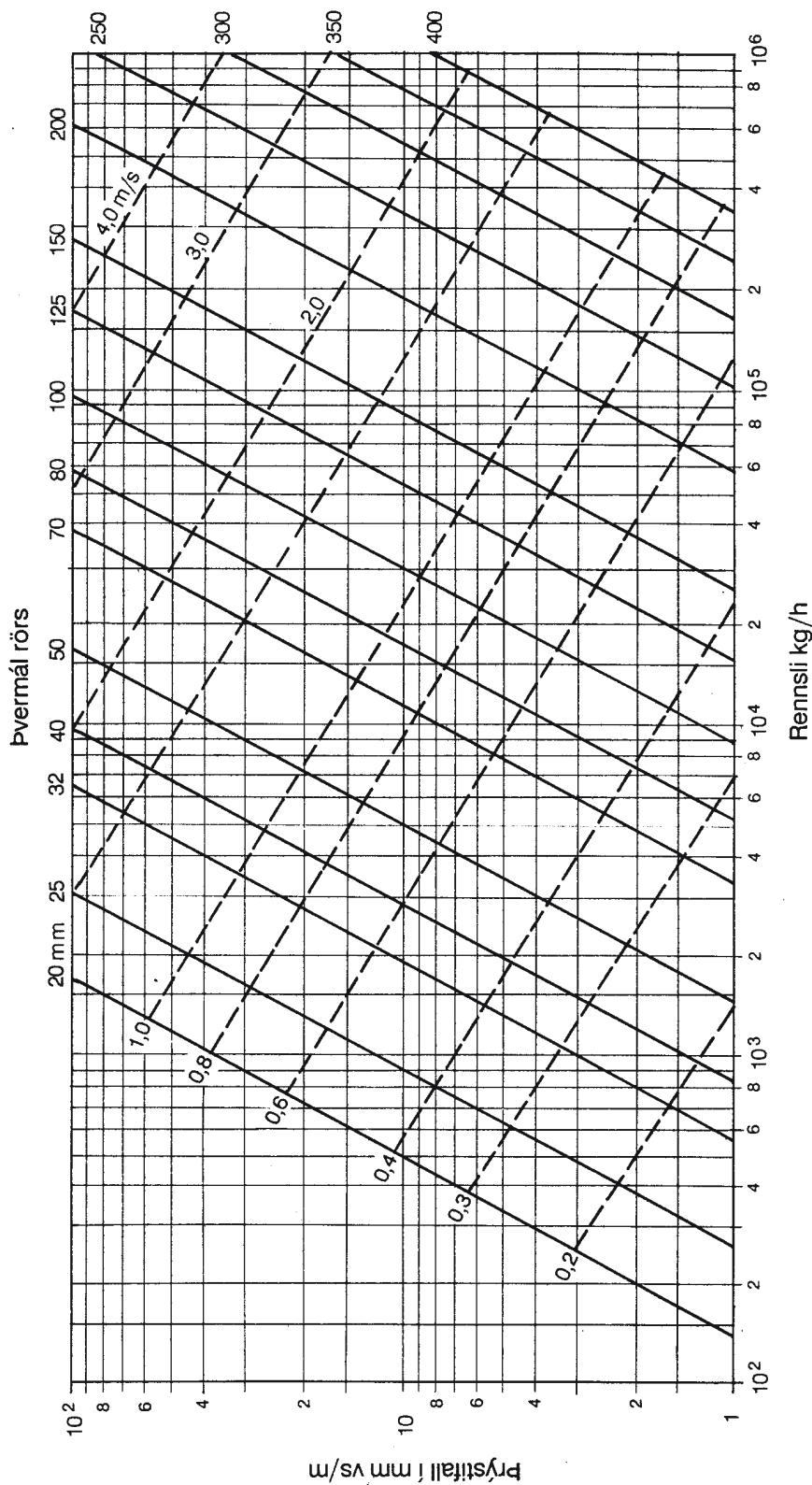




Mynd 6.4. Bakrennslshiti fyrir mismunandi framrennslshita, sem samsvarar gefnum bakrennslshita með 80°C framrennslshita.



Mynd 6.5. Bakrennslíshiti fyrir mismunandi framrennslíshita í breytilegum útihita.
80/ 40/ -15 ofnakerfi

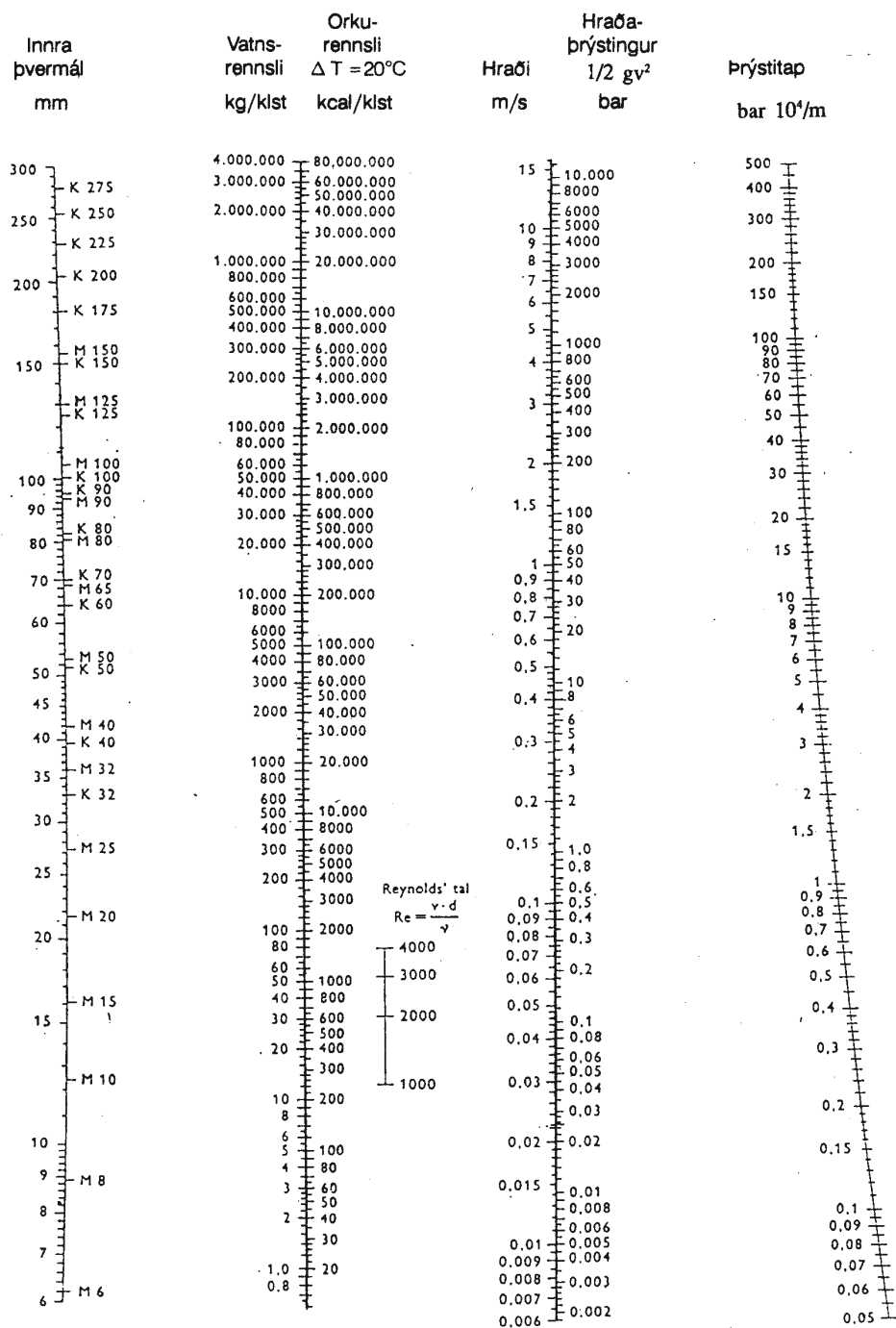


Mynd 6.6. Prýstfallsínurit

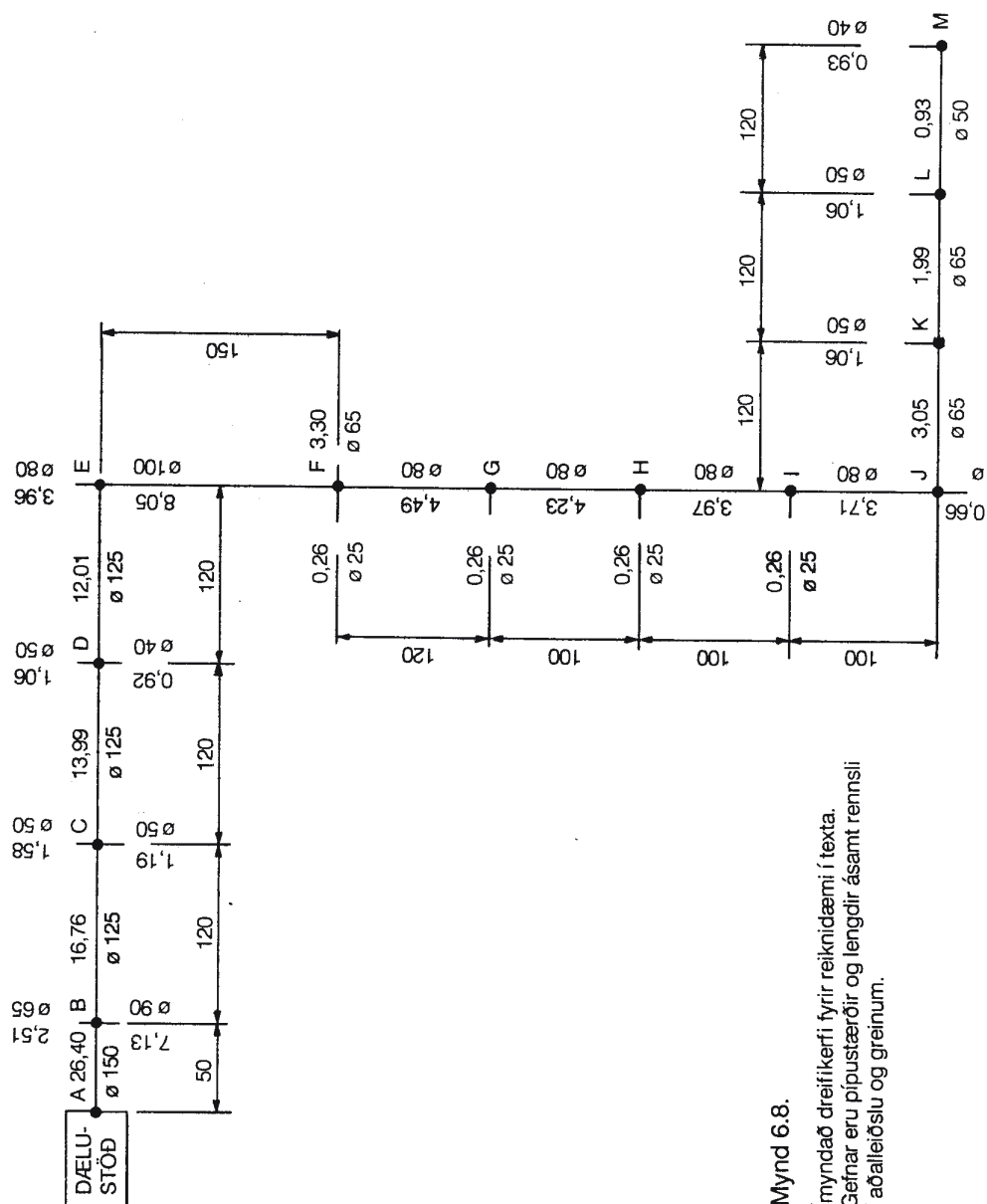
Þrýstitap fyrir soðin og heildregin stálrör

Vatn 80°C

Meðalþykk soðin rör og heildregin ketilrör til notkunar í hitalögnum og pípuleiðslum, þar sem ekki er búist við miklum útfellingum eða tæringu. Notkunarsvið: Á hitabilinu 60-110°C er skekkja í þrýstitapi innan við ± 10%.

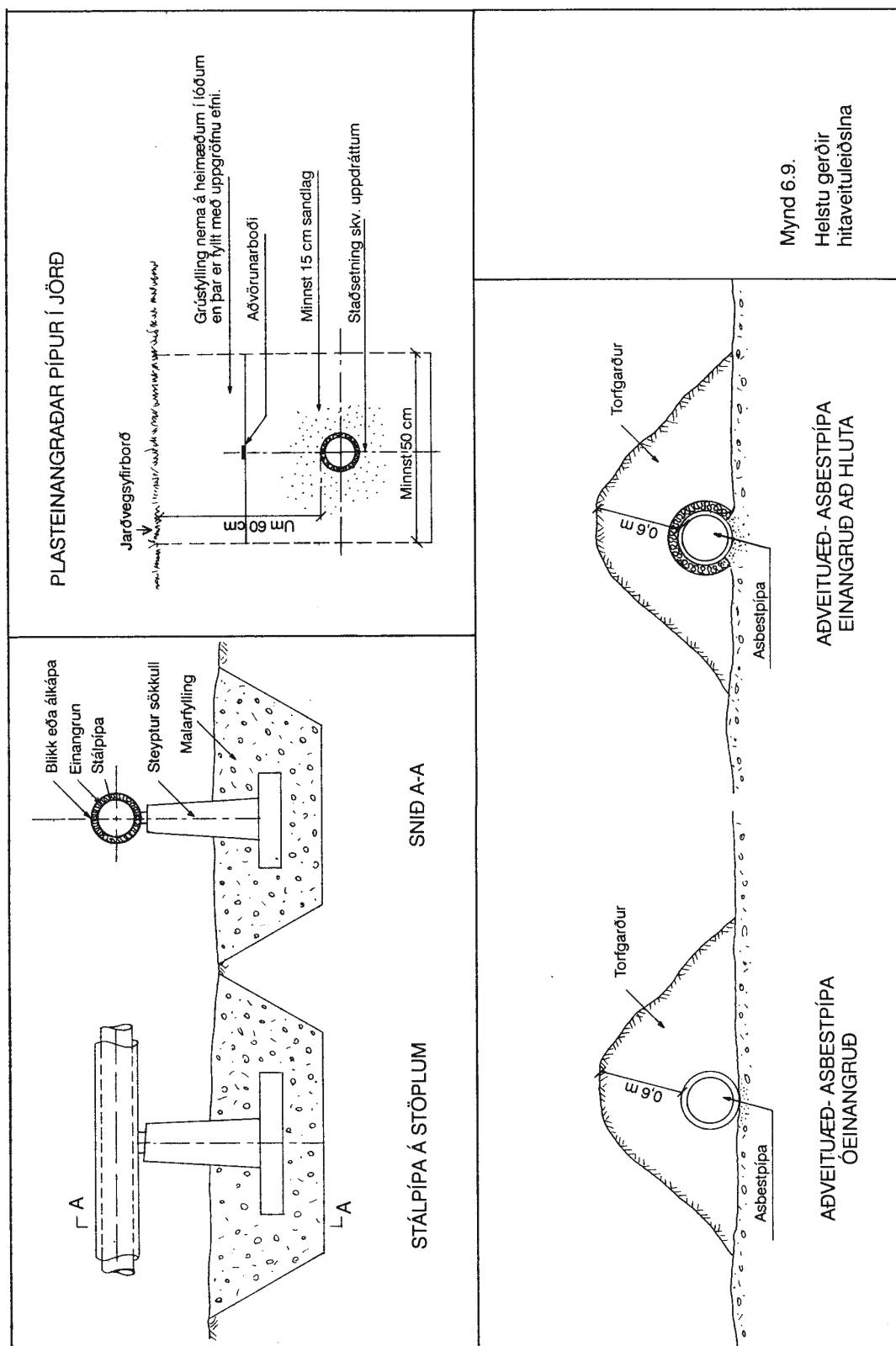


Mynd 6.7. Þrýstifalls"nómógramm"



Mynd 6.8.

Ímyndað dreifikerfi fyrir reiknidæmi í texta.
Gefnar eru þípu stærðir og lengdir ásamt rennsli í aðalleiðslu og greinum.



6.9 KÓLNUN Í HITAVEITULEIÐSLUM TÖFLUR OG LÍNURIT

Tafla 6.C.1 Kólnun í stálpípuleiðslum

39

Tafla 6.C.2 Kólnun í asbestípum

40

Mynd 6.C.1 Hitafall í hitaveituleiðslum. Stálpípa ofanjarðar einangruð með steinull. Pípustærðir

20 – 125 mm	41
Mynd 6.C.2 Hitafall í hitaveituleiðslum. Stálpípa ofanjarðar einangruð með steinull. Pípustærðir 125 – 600 mm	42
Mynd 6.C.3 Hitafall í hitaveituleiðslum. Asbestpípa í jarðvegsgarði. (a) Óeinangruð. (b) Einangruð að hluta með steinull. Stærðir: 60 – 400 mm	43

Tafla 6.C.1.

Kólnun í stálpípuleiðslum: 1) ofanjarðar með steinullareinangrun;
 2) ofanjarðar með PÚ-einangrun í PE-hlífðarkápu;
 og 3) niðurgrofnun í PÚ-einangrun í PE-hlífðarkápu. Kólnun, $\Delta T = T_o - T_L$,
 gefin í °C/km, er reiknuð fyrir *hitamismun milli byrjunarhita vatns og útihita*.
 $\Delta T = T_o - T_u = 95^\circ C$ og $75^\circ C$.

a. Þrýstifall $h/L = 10,0$ mm/m

Nafnmál pípu, mm	Rennsli l/s	Hitamismunur $\Delta T_o = 95^\circ C$			Hitamismunur $\Delta T_o = 75^\circ$		
		ΔT_{v1}	ΔT_{v2}	ΔT_{v3}	ΔT_{v1}	ΔT_{v2}	ΔT_{v3}
20	0,184	16,38	21,31	18,12	12,93	16,82	14,31
25	0,364	9,67	13,97	11,37	7,64	11,03	8,97
32	0,714	5,74	7,60	6,20	4,53	6,00	4,89
40	1,002	4,45	6,36	5,03	3,51	5,02	3,97
50	1,893	2,73	3,32	2,69	2,15	2,62	2,12
65	3,549	1,70	2,51	1,88	1,35	1,98	1,49
80	5,389	1,25	1,55	1,20	0,99	1,22	0,95
100	10,647	0,76	0,92	0,70	0,60	0,72	0,55
125	18,21	0,52	0,64	0,47	0,41	0,50	0,37
150	29,81	0,37	0,48	0,34	0,29	0,38	0,27
200	60,33	0,23	0,26	0,19	0,18	0,21	0,15
250	108,18	0,15	0,20	0,13	0,12	0,16	0,11
300	169,39	0,11	0,13	0,089	0,089	0,104	0,070
350	218,25	0,095	0,11	0,075	0,075	0,090	0,059
400	308,92	0,075	0,094	0,060	0,059	0,074	0,047
450	423,72	0,061	0,070	0,045	0,048	0,056	0,036
500	560,13	0,051	0,067	0,040	0,040	0,053	0,032
600	908,91	0,037	0,046	0,028	0,029	0,037	0,022

b. Þrýstifall $h/L = 5,0$ mm/m

20	0,130	22,27	28,63	24,55	17,59	22,60	19,38
25	0,257	13,41	19,17	15,69	10,58	15,13	12,39
32	0,505	8,01	10,56	8,64	6,32	8,34	6,82
40	0,708	6,23	8,88	7,04	4,92	7,01	5,56
50	1,338	3,83	4,67	3,78	3,03	3,68	2,98
65	2,509	2,40	3,53	2,65	1,90	2,79	2,09
80	3,811	1,77	2,18	1,70	1,39	1,72	1,34
100	7,529	1,08	1,29	0,99	0,85	1,02	0,78
125	12,87	0,73	0,90	0,67	0,58	0,71	0,53
150	21,08	0,52	0,68	0,48	0,41	0,53	0,38
200	42,66	0,32	0,37	0,26	0,25	0,29	0,21
250	76,50	0,21	0,29	0,19	0,17	0,23	0,15
300	119,78	0,16	0,19	0,13	0,13	0,15	0,10
350	154,33	0,13	0,16	0,11	0,11	0,13	0,087
400	218,44	0,11	0,13	0,085	0,084	0,10	0,067
450	299,61	0,086	0,099	0,064	0,068	0,078	0,051
500	396,07	0,072	0,095	0,057	0,057	0,075	0,045
600	642,97	0,052	0,066	0,039	0,041	0,052	0,031

Tafla 6.C.2.

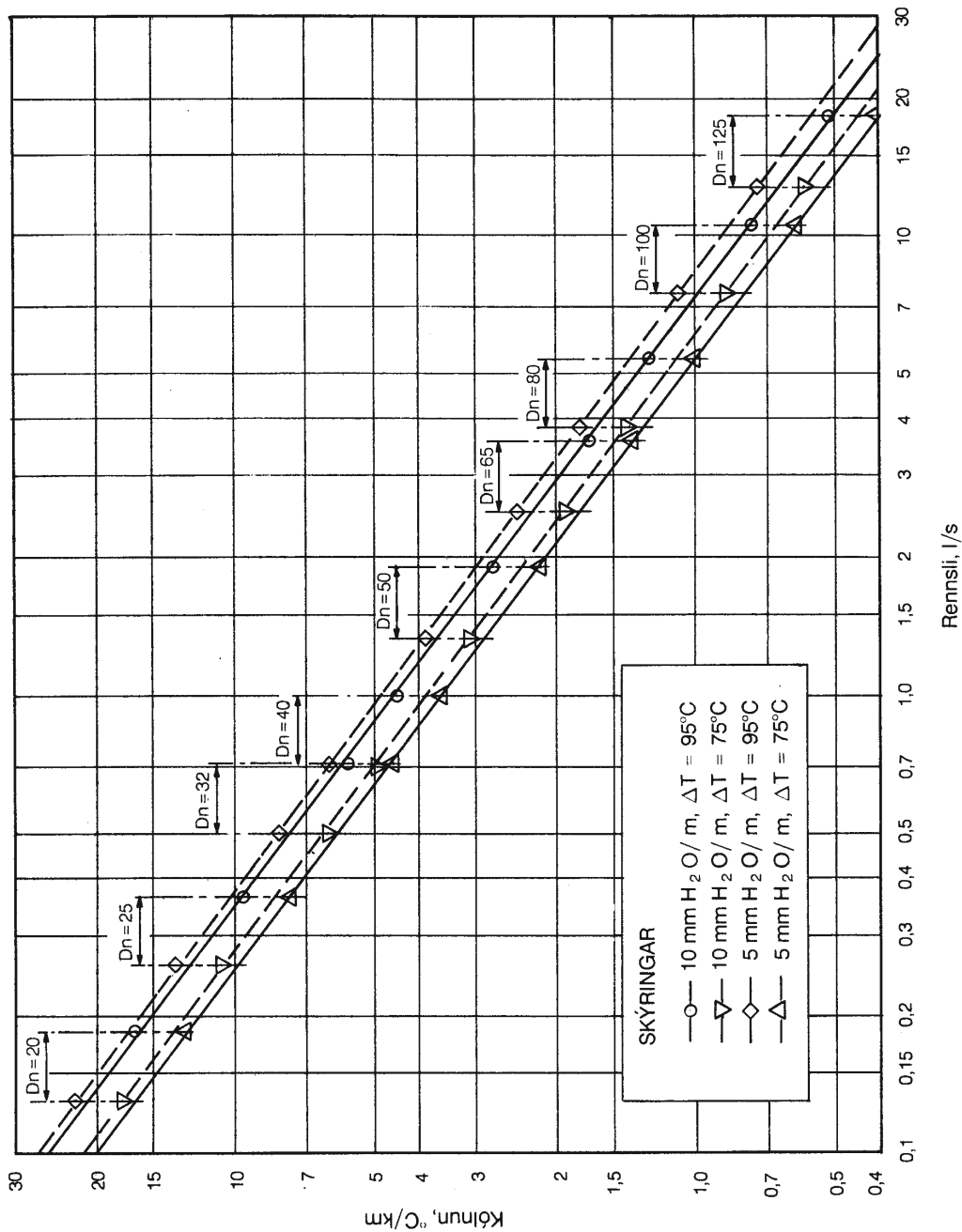
Kólnun í asbestpípuleiðslum í jarðvegsgarði: 4) óeinangraðar pípur;
 5) pípur einangraðar að hluta með PÚ-einangrun;
 6) pípur einangraðar að hluta með steinull. Kólnun reiknuð á sama hátt
 og í Töflu 6.C.1. fyrir $\Delta T_v=95$ og 75°C .

a. Þrýstifall $h/L=10,0$ mm/m

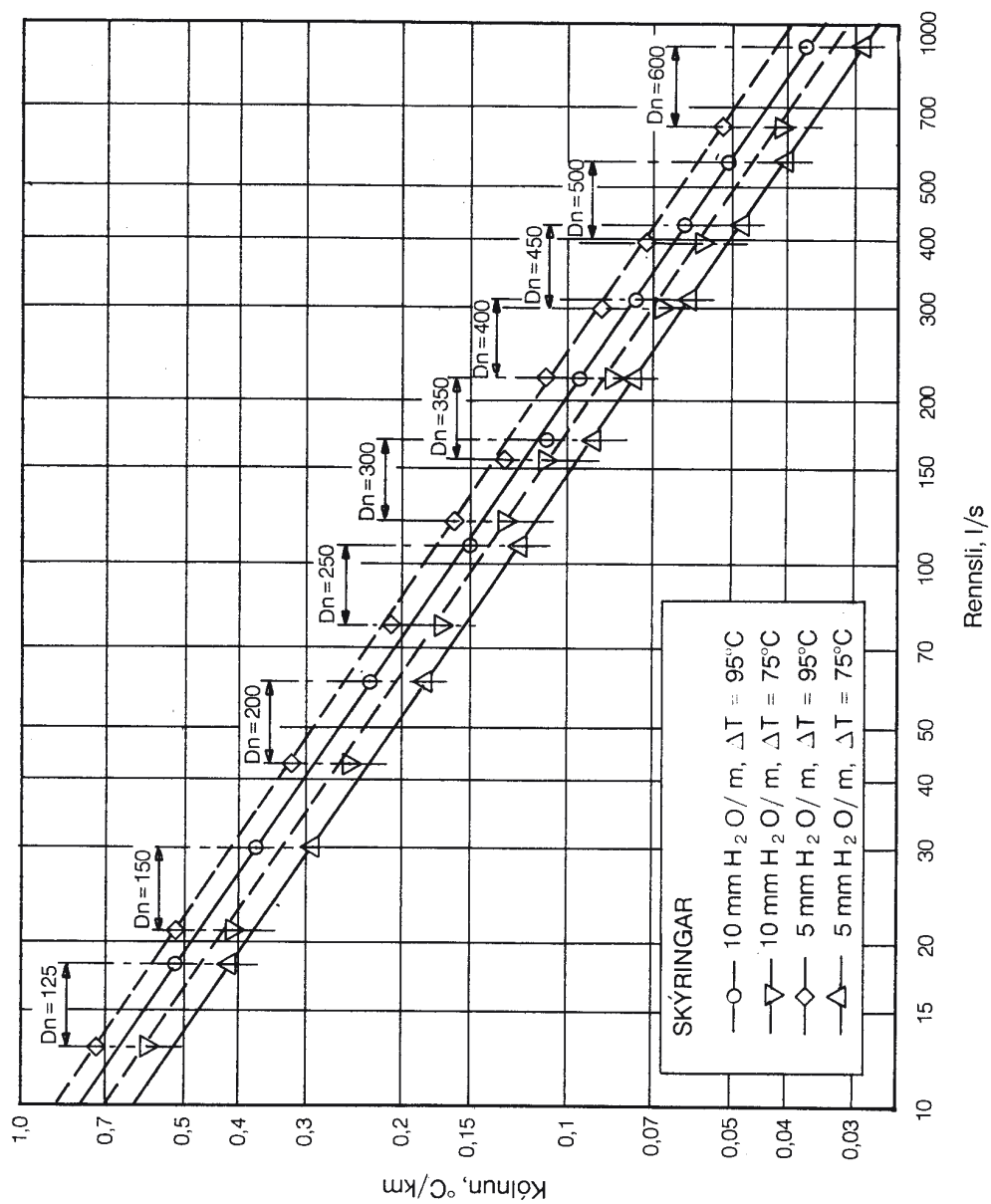
Innanmál pípu, mm	Rennsli l/s	Hitamismunur $\Delta T_o=95^\circ\text{C}$			Hitamismunur $\Delta T_o=75^\circ$		
		ΔT_{v4}	ΔT_{v5}	ΔT_{v6}	ΔT_{v4}	ΔT_{v5}	ΔT_{v6}
65	2,760	13,75	8,08	7,78	10,85	6,38	6,21
80	4,751	8,82	5,11	4,95	6,97	4,03	3,91
100	8,513	5,40	3,11	3,01	4,26	2,46	2,37
125	15,24	3,28	1,89	1,82	2,59	1,50	1,44
150	24,53	2,18	1,27	1,21	1,72	1,00	0,96
200	51,90	1,14	0,67	0,64	0,90	0,53	0,51
250	92,78	0,70	0,41	0,39	0,56	0,33	0,31
300	149,07	0,47	0,28	0,26	0,37	0,22	0,21
350	222,53	0,33	0,20	0,19	0,26	0,16	0,15
400	314,80	0,26	0,15	0,14	0,20	0,12	0,11

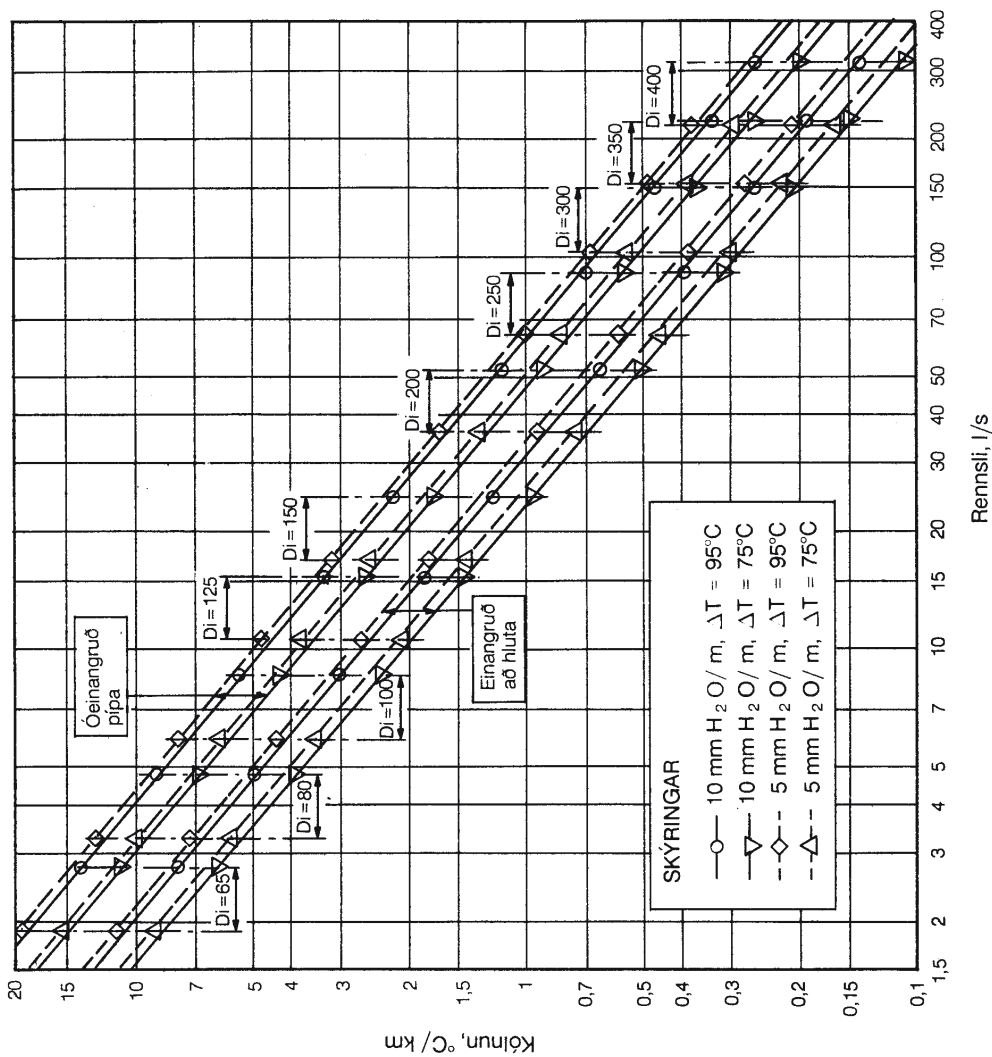
b. Þrýstifall $h/L=5,0$ mm/m

65	1,90	19,27	11,49	11,20	15,21	9,07	8,84
80	3,28	12,53	7,32	7,10	9,89	5,78	5,61
100	5,87	7,73	4,48	4,33	6,10	3,54	3,42
125	10,51	4,71	2,74	2,63	3,72	2,16	2,08
150	16,91	3,14	1,83	1,76	2,48	1,44	1,39
200	35,78	1,65	0,97	0,93	1,31	0,77	0,73
250	63,96	1,02	0,60	0,57	0,80	0,47	0,45
300	102,77	0,68	0,41	0,38	0,54	0,32	0,30
350	153,42	0,48	0,29	0,27	0,38	0,23	0,22
400	217,03	0,37	0,22	0,21	0,29	0,17	0,16



Mynd 6.C.1. Hitafall í hitaveituleiðslum. Stálpípa ofanjarðar einangruð með steinulli. Pípustærðir: 20-125 mm





Mynd 6.C.3. Hitafall í hitaveituleiðslum. Asbestpípa í jarðvegsgarði. a) Óeinangruð. b) Einangruð að hluta með stærnuli. Stærðir: 65-400mm.

VIÐAUKI 6D SKRÁ YFIR REIKNISTÆRÐIR OG TÁKN

D.1. Latneskt letur

- a : reiknistuðull til að finna hitafall í pípum (sjá jöfnu (6.11))
- A : flatarmál, t.d. ofna, [m²]
- A_o : flatarmál við hönnunaraðstæður, t.d. ofnahönnun 80/40/-15, [m²]
- c_p : eðlisvarmi vatns = 4186 [J/kg. °C] eða 4,186 [kJ/kg. °C]
- d : minna þvermál af tveimur samliggjandi (sjá Töflu 6.4.3), [mm] eða [m]
- D : þvermál pípu, [mm] eða [m]
- D_e : utanmál PE-hlífðarkápu á foreinangruðum pípum, [mm]

D_i :	innra þvermál pípu, [m] eða [mm]
D_n :	nafnmál pípu, t.d. stálpípu (hvorki nákvæmt ytra eða innra þvermál), [mm]
DN :	sama og D_n
D_y :	ytra þvermál pípu, [m] eða [mm]
f :	viðnámsstuðull á innra yfirborði pípa
GJ :	orkueining, gígajúl = 1.000.000.000 júl [J]
g :	þyngdarhröðun = 9,81 [m/s ²]
h :	þrýstifall í pípum gefið í metrum eða mm vatns, [m H ₂ O] eða [mm H ₂ O]
h_s :	þykkt steinullareinangrunar, [mm]
h_u :	þykkt PÚ-einangrunarlags á pípum, [mm]
H :	hæð á landi eða vatnsborði, [m]
H_d :	nauðsynleg þrýstihæð dælu, [m]
k :	hrjúfleiði pípuveggjar, [m] eða [mm]
kJ :	orkueining, kílójúl = 1.000 júl [J]
kWh :	orkueining, kílóvattstundir
L :	lengd pípu, [m]
L_j :	jafngild lengd tengistykkja á pípuleiðslum, [m]
m_v :	massarennslí vatns, [kg/s]
n :	nýtni, t.d. dælu
P :	varmaafli, [kW]
P_d :	aflþörf dælu, [W] eða [kW]
q :	orka í heitu vatni á massaeiningu, [kJ/kg]
Q :	varmi, [J] eða varmaafli, [W] = [J/s]
R :	viðnám gegn varmastreymi frá pípu, [m. °C/W]

- t : tonn = 1000 kg (sjá töflu 6.2.2)
- T : hiti, [°C]
- T_b : bakrennslishiti hitaveituvatns, [°C]
- T_f : framrennslishiti hitaveituvatns, [°C]
- T_g : grunnhiti hitaveitu, [°C]
- T_0 : vatnshiti í pípu í byrjun, [°C]
- T_L : vatnshiti í pípu eftir að vatnið hefur farið vegalengdina L , [°C]
- T_u : útihiti, [°C]
- T_v : meðalhiti vatns í pípu, [°C]
- V : vatnsrennsli, [l/s] eða [kg/s]

D.2. Grískt og blandað letur

- ΔT : hitabreyting, [°C]
- ΔT_m : meðalhitamunur milli vatnshita í ofnum og herbergishita, [°C]
- ΔT_0 : mismunur á meðalhita vatns í pípu og útihita, [°C]
- ΔT_v : kæling vatns í pípu eða í ofni, [°C]
- \square : varmaleiðnistuðull efnis, [W/(m. °C)]
- \square_j : varmaleiðnistuðull jarðvegs, [W/(m. °C)]
- \square : eðlismassi efnis, t.d. vatns, jarðvegs, o.s.frv.

Hitaveituhandbók Samorku

Fjarhitun hf.

**Gísli Geir Jónsson
Oddur B. Björnsson**

7. Kaffi

Leiðbeiningar um lagningu pípna

Uppfærður í Febrúar 1999

Efnisyfirlit

7.1.	MISMUNANDI GERÐIR HITAVEITULAGNA	4
7.1.1.	ALMENNT	4
7.1.1.1.	Stálpípur á stöplum	4
7.1.1.2.	Stálpípur í steiptum stokk	4
7.1.1.3.	Stálpípur einangraðar með úretani í plastkápu	4
7.1.1.4.	Plastlagnir	4
7.1.1.5.	Asbestlagnir	5
7.2.	STÁLPÍPUR EINANGRAÐAR MEÐ ÚRETANI Í PLASTKÁPU	6
7.2.1.	EFNISEIGINLEIKAR	6
7.2.1.1.	Efniseiginleikar stálpípu	6
7.2.1.2.	Efniseiginleikar plastkápu	6
7.2.1.3.	Efniseiginleikar úretaneinangrunar	6
7.2.2.	MEÐFERÐ PÍPA	8
7.2.2.1.	Geymsla í birgðageymslu	8
7.2.2.2.	Flutningur á pípum	8
7.2.2.3.	Uppstilling pípa við pípusuðu	8
7.2.2.4.	Frágangur á pípuendum fyrir suðu	9
7.2.3.	PÍPUSUÐA, STÁLPÍPUR	10
7.2.3.1.	Kröfur við pípusuðu	10
7.2.3.2.	Eftirlit með pípusuðu	10
7.2.4.	SAMSETNING Á PLASTKÁPU	11
7.2.4.1.	Almennt	11
7.2.4.2.	Hólkasamsetning með einfaldri þéttingu	11
7.2.4.3.	Hólkasamsetning með tvöfaldri þéttingu	11
7.2.4.4.	Hólkasamsetning með suðu	12
7.2.4.5.	Hólkar úr stáli	12
7.2.4.6.	Ýmsar aðrar samsetningar	12
7.2.4.7.	Hvers ber að gæta við frágang hólka	13
7.2.4.8.	Val efnis við samsetningu á plastkápu	13
7.2.4.9.	Lekaprófun á hólkum	14
7.2.5.1.	Einangrun með tveimur efnispáttum	14
7.2.5.2.	Einangrun með frauðvélum	16

7.2.5.3.	Einangrun með úretanskálum . . . . .	.16
7.2.5.4.	Framleiðslugallar við frauðun . . . . .	.17
7.2.6.	JARÐVINNA OG LEGA LAGNA	18
7.2.6.1.	Almennt um legu lagna . . . . .	.18
7.2.6.2.	Gröftur . . . . .	.18
7.2.6.3.	Fylling í skurði . . . . .	.19
7.2.7.	MISMUNANDI HITAVEITUKERFI	20
7.2.7.1.	Hreyfing á pípum við upphitun . . . . .	.20
7.2.7.2.	Hitaveitukerfi með þönnum . . . . .	.21
7.2.7.3.	Með forhituðum pípum (forhitað kerfi) . . . . .	.21
7.2.7.4.	Hitaveitukerfi með upphitunarþönnum . . . . .	.22
7.2.7.5.	Hitaveitukerfi lögð köld án þana . . . . .	.22
7.2.7.6.	Hitaveitukerfi með innbyggðum þönnum í pípum í plastkápu . . . . .	.22
7.2.8.	BRUNNAR, FOREINANGRAÐIR LOKAR OG INNTÖK	23
7.2.8.1.	Hitaveitubrunnar . . . . .	.23
7.2.8.2.	Foreinangraðir lokar og tæmingar . . . . .	.24
7.2.8.3.	Hitaveituinntök . . . . .	.24
7.3.	PLASTLAGNIR	26
7.3.1.	EFNISEIGINLEIKAR	26
7.3.1.1.	Efniseiginleikar plastpípa . . . . .	.26
7.3.1.2.	Eiginleikar einangrunar . . . . .	.27
7.3.1.3.	Súrefnisupptaka . . . . .	.28
7.3.2.	SAMSETNINGAR PLASTPÍPA	29
7.3.2.1.	Stúfsuða . . . . .	.29
7.3.2.2.	Rafbræðing . . . . .	.29
7.3.2.3.	Aðrar samsetningar . . . . .	.29
7.3.2.4.	Eftirlit með pípusuðu . . . . .	.29
7.3.2.5.	Þrýstiprófun . . . . .	.29
7.3.3.	LAGNING PLASTPÍPA	29
7.3.3.1.	Meðferð og lagning plastpípa . . . . .	.30
7.3.3.2.	Jarðvinna . . . . .	.30
7.3.3.3.	Hitapensla . . . . .	.30

7.1. Mismunandi gerðir hitaveitulagna

7.1.1. Almennt

Hér á landi hafa verið notaðar ýmsar gerðir hitaveituæða. Ýmis, atriði koma til álita þegar velja á milli gerða, og má þar m.a. nefna stofnkostnað, viðhaldskostnað, rekstrarkostnað og kröfu um endingu. Þessi atriði hafa vegið misþungt á mismunandi tímum og tækninni hefur fleygt fram. Því eru eldri lagnir af ýmsum gerðum eftir því hvernær þær voru lagðar. Helstu gerðum hitaveituæða sem lagðar hafa verið hér á landi er lýst í stuttu máli hér að neðan.

7.1.1.1. Stálpípur á stöplum

Á óbyggðum svæðum þar sem unnt er að hafa sverar aðfærsluæðar ofanjarðar getur hentað vel að hafa stálpípu á stöplum. Pípan er þá að jafnaði einangruð með steinull og hefur hlífðarkápu úr zinkhúðuðu stáli eða áli. Pípan hvílir á steiptum stöplum sem eru með 5 til 20 m millibili eftir vídd pípunnar. Ofan á stöplana eru settir sleðar úr stáli, sem pípan getur hreyfst á þegar hún hitnar og kólnar. Á æðina eru settar festur og þanar eða þenslulykkjur.

Kostirnir við þessa lausn eru m.a. að hún er hlutfallslega ódýr, auðvelt er að fylgjast með ástandi lagnarinnar og að komast að henni til viðhalds.

Ókostir eru m.a. þeir, að lögnin er ofanjarðar og er því hindrun fyrir umferð, og erfitt að láta hana falla vel inn í umhverfið. Einnig er hættu á að pípan tærist ef raki kemst undir hlífðarkápuna, ef hann á ekki greiða leið út úr henni aftur.

7.1.1.2. Stálpípur í steiptum stökk

Stálpípur í steiptum stökk eru, ásamt foreinangruðum pípum í plastkápu, ein vandaðasta gerð hitaveituæða sem notaðar hafa verið. Í dag er ekki fjárhagslega hagkvæmt að leggja hitaveitulagnir í steiptum stökk.

Helstu kostir stokksins eru að endingartíminn er langur og viðhaldskostnaður lítill. Stofnkostnaður hans er hins vegar hár og stökkurinn tekur mikið rými í götum og gangstígum.

7.1.1.3. Stálpípur einangraðar með úretani í plastkápu

Stálpípur einangraðar með úretani í plastkápu er sú gerð hitaveitulagna sem mest er notuð hér á landi. Mikil aukning hefur verið í notkun þessarar lagna á undanförunum árum m.a. vegna aukinnar tækni og gæða við pípuframleiðsluna og pípusamsetninguna. Margar nýjungar hafa einnig komið fram á þessu sviði.

Helstu kostir þessa kerfis eru m.a. góð einangrun og vatnsvörn. Helstu ókostirnir eru þeir að pípukerfið er frekar dýrt og að plastkápan þolir illa högg og punktálag t.d. vegna steina.

7.1.1.4. Plastlagnir

Plastpípur eru sveigjanlegri hitaveitulagnir en hefðbundin kerfi með stálpípum, samskeyti eru færri og fljótlegt er að leggja þær. Plastpípur tærast ekki þó vatn komist að þeim utanfrá og þarf því ekki að vanda eins til frágangs þeirra og við stállagnir. Þetta er m.a. ástæða þess að plastlagnir í hitaveitukerfum eru oftast ódýrari en stállagnir.

Á undanförunum árum hefur töluvert verið lagt af einangruðum plastlögnum (pólýpropýlen, pólýbútýlen, pólýetýlen o.fl.) í sveitaveitum þar sem hver heimæð er mjög löng miðað við það sem þekkist í þéttbýli. Ástæðan fyrir notkun plastlagna í slíkum hitaveitum er, að langar lagnir til fárra notenda eru ekki hagkvæmar nema pípur, frágangur þeirra og einangrun sé ódýr.

Með því að nota einangraðar plastpípur í hitaveitur í litlu byggðarlagi er unnt að spara stofnkostnað m.v.

hefðbundin stálpípukerfi. Mestur sparnaður er í grennri lögnum, hins vegar verður kostnaðurinn við plastlagnir meiri en við hefðbundnar stálpípur í sverum lögnum.

Plastlagnir hafa ýmist verið einangraðar með steinull eða úretanhólkum. Þetta hitaveitukerfi er einungis hægt að nota í sæmilega þurru landi þar sem einangrunin helst þurr mest allt árið. Í þurrum jarðvegi kólnar vatnið lítið meira en í foreinangruðum pípum, en í vætutíð má gera ráð fyrir aukinni kælingu.

Ókostur við plastlagnir er að súrefni kemst í einhverjum mæli í gegnum pípuna og inn í lagnakerfið með vatninu, og þarf að huga að þessu þegar hitaveitukerfi er hannað. Nánar er vikið að eiginleikum og einangrun plastlagna í kafla 7.3.

7.1.1.5. Asbestlagnir

Um asbestlagnir gildir margt það sama og um plastlagnir. Asbestpípur eru ódýrar samanborið við stálpípur og ekki þarf að vanda eins til frágangs á þeim og stálpípa þar sem asbestið tærist ekki þó vatn komist að pípunum utanfrá. Lagnakerfið verður því í heild mun ódýrara en samsvarandi kerfi úr stáli. Asbestið er hins vegar gegndræpt, þ.e. hleypir vatni í gegnum sig.

Lagðar hafa verið nokkrar aðveituæðar úr asbeiströrum sem tengd eru saman með asbestmúffum.

Asbestlagnir eru lagðar í þurran jarðveg og eru oftast einangraðar með jarðvegi sem settur er yfir þær. Í þurrum jarðvegi er varmatapið ekki mikið, en það eykst mikið með auknum raka í jarðveginum. Asbestpípur hafa því einkum verið lagðar þar sem þurft hefur að flytja heitt vatn langar leiðir, næganlegt heitt vatn er fyrir hendi, og kostnaður við öflun þess það lágur að ekki komi að sök þótt varmatapið sé mikið.

Asbestlagnir hafa einnig verið einangraðar að hluta á þann hátt að steinull eða úretanskálar með rakavörn eru settar yfir efri hluta pípunnar.

Helsti kostur asbestlagna er fyrst og fremst lágur stofnkostnaður, en helstu ókostirnir eru mikið varmatap og að pípan hleypir í gegnum sig vatni í einhverjum mæli. Á síðari árum hefur notkun asbests verið bönnuð hér á landi og víða erlendis, nema með vissum undanþágum, vegna hættu á skaðlegum áhrifum asbests við meðhöndlun pípanna.

7.2. Stálpípur einangraðar með úretani í plastkápu

7.2.1. Efniseiginleikar

7.2.1.1. Efniseiginleikar stálpípu

Í hitaveitulagnir eru oftast notuð stálrör St. 37 sem hafa eftirtalda efniseiginleika:

Flotspennur	235 N/mm ²
Brotspennur	350-480 N/mm ²
Hitapánstuðull	0,012 mm/m°C

Helstu kostir stáls eru mikill styrkur, formfesta og mikið hitaþol.

Helstu ókostir stáls eru hitaþenslur og tæring við viss skilyrði. Stál ryðgar t.d. ef það kemst í snertingu við súrefnisríkt vatn, og eykst ryðmyndunin mikið ef hitinn fer yfir 60°C við þær aðstæður.

7.2.1.2. Efniseiginleikar plastkápu

Plastkápan utan um úretaneinangrunina er úr pólýetýlen skammstafað PEH eða HDPE. Þetta efni er í eðli sínu hvítt og þolir illa sólarljós. Til að auka ljósþolni þess er blandað saman við það kolasalla. PEH þolir vel sýrur og lúta og flest efni sem koma fyrir í jarðveginum.

PEH hefur einnig þá kosti að vera vatnsþétt, með lága rúmþyngd, þægilegt í meðförum, formfast, seigt og endingargott. Efnið þolir ekki slæma meðferð þó það sé nógu sterkt til að þjóna sínum tilgangi í jörðinni.

PEH er mjög eftirgefanlegt og eins og öll plastefni hegðar það sér svipað og vökvi. Það gefur strax eftir við 37 N/mm² þrýsting og við langtímaálag gefur það eftir við hvaða álag sem er, jafnvel við 0,5 N/mm². Það er því mikilvægt að gæta þess vel þegar fyllt er yfir lagnirnar, að þær hvíli jafnt á allri plastkápunni, en verði hvergi fyrir punktálagi t.d. vegna steina eða undirlagskubba.

PEH þolir ágætlega -40°C, en þegar hiti efnisins er um eða undir frostmarki verður það mjög stökkt og þolir illa högg eða annað punktálag. PEH þolir 100°C í mjög stuttan tíma og 40°C til lengri tíma. PEH leiðir hita illa. Ef hita á plastkápuna, t.d. við hólkasamsetningar, þarf að gera það með mildum loga svo yfirborðið ofhitni ekki.

Nánar er gerð grein fyrir eiginleikum plastefna í kafla 7.3.

7.2.1.3. Efniseiginleikar úretaneinangrunar

Pólýúretan (PÚR-einangrun) verður til við efnabreytingu þegar blandað er saman tveimur efnablöndum, ísócýanati og pólýóli. Harðnað pólýúretan er skaðlaust ef hiti þess er innan við 175°C, en við hærri hita byrjar efnið að gefa frá sér hættulegar gastegundir.

Pólýól er ekki talið skaðlegt við venjulegan umhverfishita. Ísócýanatið veldur hins vegar ertingu ef það kemst í snertingu við húðina. Innöndun á gufu úr því er skaðleg fyrir augu og lungu og getur leitt til asmakenndra öndunarörðugleika. Hættan eykst með auknum hita.

Helstu kröfur til efniseiginleika pólýúretans sem notað er til einangrunar á hitaveiturörum eru:

Þrýstiþol	≥ 0,3 MPa við 20°C, sem lækkar með vaxandi hita
Meðalrúmþyngd	≥ 80 kg/m ³
Minnsta rúmþyngd	≥ 60 kg/m ³
Varmaleiðni	≤ 0,033 W/m°C, við 50°C
Hitaþol	130°C í 40 ár

Saman við ísócýanatið og pólýólið er blandað nauðsynlegum viðbótarefnum, allt eftir því hvaða eiginleika á pólýúretani er verið að sækjast eftir, t.d. eftir því við hvaða hitastig frauðunin á að fara fram.

Í eina tíð var freoni blandað í pólýólið til að kalla fram freyðingu í úretaninu. Það hefur verið bannað af umhverfisástæðum og fóru þá flestir hitaveituröraframleiðendur Evrópu að framkalla freyðingu með

íblöndun vatns í pólýólíð sem myndaði CO₂ í bólunum. Við það þurfti að rýmka kröfur um varmaleiðni úr $\leq 0,027 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ í $\leq 0,033 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. Nú eru margir framleiðendur farnir að freyða með sýklópentani (suðumark 49°C) sem gefur nokkru betri varmaeinangrun en vatnið en er hins vegar nokkuð sprengifímt. Það verður því ekki séð að sýklópentan verði notað við freyðingar í samskeyti í nánustu framtíð.

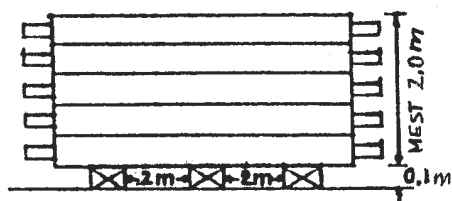
Geymsluþol ísósýanatsins og pólýólsins er um 6 mánuðir. Efnin mega ekki frjósa og ekki er gott að geyma þau við hærra hitastig en 20°C.

7.2.2. Meðferð pípa

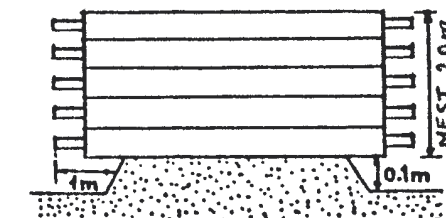
7.2.2.1. Geymsla í birgðageymslu

Pípum skal raða þannig upp að þær verði ekki fyrir of miklu punktálagi (3 N/mm^2). Undirlagið þarf að vera slétt og þurr. Pípunum má aldrei stafla hærra en 2 m. Þeim skal stafla á planka sem eru minnst 100 mm breiðir. Ekki skal vera lengra á milli planku en 2 m.

Einnig er gott að stafla pípunum upp á slétt sandlag. Til þess að pípuendarnir liggja ekki í vatni, skal u.þ.b. 1 m standa út fyrir sandundirlagið.



Pípum staflað á planku



Pípum staflað á sandlag.

Tryggja þarf að vatn komist ekki inn í einangrunina við pípuendann og að suðuendinn tærist ekki. Margir framleiðendur gera það með því að bera vatnsvörn á úretaneinangrunina við pípuendann og ryðvarnarefni í stálpípuendann.

7.2.2.2. Flutningur á pípum

Við flutning á pípum á flutningatæki skal tryggja eftirfarandi:

- Að á palli flutningatækisins séu engar nibbur eða hvassar brúnir, sem geta skemmt plastkápuna, og að þær hvíli á fullnægjandi undirlagi.
- Að pípunar standi ekki meira en 2 m aftur fyrir pall flutningatækisins.
- Að pípunum sé ekki sturtað af palli flutningatækisins.

Þar sem plastkápan verður stökk í kulda, skal sérstaklega forðast að hún verði þá fyrir höggi eða mikilli beygju.

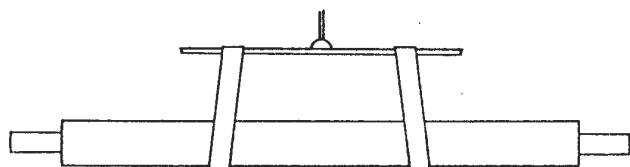
Við hífingar á pípum skal gæta þess að ekki séu notaðar vírstroffur eða kaplar utan um plastkápuna. Nota skal minnst 100 mm breiða borða við hífingu á pípum.

Ef pípur eru hífðar með því að krækja inn í endana á þeim, skal það gert þannig, að það valdi ekki skemmdum á suðuendunum, t.d. með því að setja plasthlíf eða gúmmíhlíf á hífingarkrókinn.

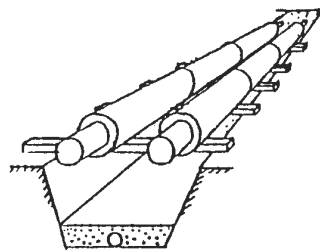
Aldrei má draga pípunar eftir jörðinni, því það eyðileggur endann á plastkápunni.

7.2.2.3. Uppstilling pípa við pípusuðu

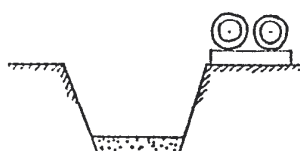
Þægilegast er að sjóða pípunar saman á plönkum við eða yfir skurðinum. Áður en pípunar eru hífðar ofan í skurðinn, skal lekaprófa þær og ganga frá samskeytum. Pípunar eru síðan hífðar ofan í skurðinn með breiðum borðum.



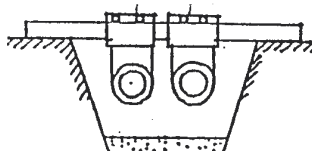
Pípa hjóð með breiðum borðum.



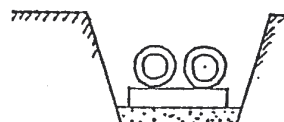
Pípur á plönkum yfir skurði.



Pípur á plönkum við skurð



Sverar pípur hengdar upp með talúm



Pípur á plönkum í skurði.

Ef pípur eru soðnar niðri í skurði, skulu þær hvíla á sandhrúgum eða minnst 100 mm breiðum plönkum, sem eru fjarlægðir áður en sandað er yfir pípunar. Í stað plankanna er hægt að nota pólýstýrenkubba (frauðplast), en þá er hægt að skilja eftir í jörðinni. Þegar pípunar eru soðnar ofan í skurði, þarf skurðurinn að vera breiðari og dýpri við pípusamskeyti, en þegar pípunar eru soðnar saman og gengið frá pípusamskeytum yfir skurðinum. Minnst 300 mm frítt pláss þarf þá að vera til hliðar við og undir plastkápu við pípusamskeyti.

7.2.2.4. Frágangur á pípuendum fyrir suðu

Ef stytta þarf lagnir, skal stytta beinar pípur en ekki greinistykki. Plastkápan skal skorin eftir beinni línu hornrétt á pípunu, þannig að engar skarpar brúnir eða nibbur myndist við skurðinn. Suðuendinn skal vera jafn langur og suðuendarnir á óskornum pípum.

Ekki skal saga, bora, eða leggja annað slíkt álag á kápuenda undir frostmarki. Sérstaklega hafa sverar kápur sýnt sig að vera viðkvæmar. Við slíka vinnu í kulda er nauðsynlegt að velgja kápu með mildum loga.

Hreinsa skal vandlega allt úretan af suðuendanum, þar sem eiturgufur losna úr úretaninu þegar það hitnar upp í 175°C. Áður en suða hefst er æskilegt að setja málmplötu upp á stálrörið, sem leggst að endafletinum á úretaninu til þess að það hitni ekki um of.

7.2.3. Pípusuða, stálpípur

7.2.3.1. Kröfur við pípusuðu

Suðumenn sem vinna við pípusuðu skulu hafa hæfnisvottorð í pípusuðu frá Iðntæknistofnun Íslands, eða samsvarandi skírteini skv. viðeigandi prófunarflokki í ÍST EN 287-1.

Pípur með veggþykkt 4,0 mm eða meira skal rafsjóða. Nota skal basískan suðuvír skv. staðli ISO 2560 eða annan sambærilegan viðurkenndan rafsúðuvír fyrir stál St.-37.0 skv. Din 1626. Hann á að geyma á þurrum stað. T.d. er æskilegt að hann sé geymdur í hitaofni úti á vinnustað.

7.2.3.2. Eftirlit með pípusuðu

Gæði pípusuðu er hægt að rannsaka m.a. á eftirfarandi hátt:

- a) Skoða suðurnar
- b) Röntgenmynda suðurnar
- c) Hljóðbylgjuþrófun
- d) Lekaprófa suðurnar
- e) Þrýstiprófa suðurnar

Skoðun á suðum

Nauðsynlegt er að skoða hvort áferð á suðum sé góð, þ.e. að ekki séu mikil kantsár (brennt úr grunnefni), ekki of hár kúfur eða fyllingu vanti.

Áður en suðuvinna hefst þarf að kanna hvort fösun sé rétt með tilliti til efnisþykktar og mikilvægt er að rétt bil sé á milli röraenda.

Fösun á endum pípa sem eru \varnothing 150 og stærri er 30° , þ.e. suðan verður 60° V-suða og suðugapið skal vera 2,5 til 3,5 mm.

Röntgenmyndun og hljóðbylgjuþrófun á suðum

Framkvæma þarf reglubundnar athuganir á hæfni suðumanna með prófunartækjum (röntgen- eða hljóðbylgjutækjum).

Suðugæði skulu almennt vera samkvæmt flokki C í ÍST EN 25817 eða betra. Suður á lokum skulu þó fullnægja flokki B sama staðals.

Ef illframkvæmanlegt er að mynda suður á staðnum vegna aðstæðna eða kostnaðar er í sumum tilvikum hægt að skera einstakar suður úr lögninni og senda þær til rannsóknar.

Sem viðmiðun er talið eðlilegt að um 5% af suðulengdum á suðum $\geq \varnothing 65$ séu röntgenmyndaðar.

Lekaprófun á pípusuðum

Þegar búið er að sjóða pípurarnar saman er hægt að lekaprófa suðurnar áður en gengið er frá pípusamskeytum. Pípuendum er lokað og settur er upp þrýstimælir og annar búnaður vegna prófunarinnar. Lofti er nú dælt inn í pípuna þannig að 1,5 bar yfirþrýstingur sé í þeim. Þegar réttum þrýstingi er náð skal bera sápuvatn á suðurnar og athuga hvort þær leki. Mikil slysaætta er ef loftþrýstingurinn við slíkar prófanir er hærri en 1,5 bar. Ef suða gefur sig við lekaprófun skýst laus endi af stað af miklu afli ef þrýstingurinn er of hár.

Þegar lekaprófuninni er lokið skal ganga frá pípusamskeytum (sjá grein 7.2.4) og jarða lögnina.

Lekaprófun er einungis framkvæmd til þess að kanna hvort suðan leki. Þrýstiprófun er hins vegar styrkleikaprófun til þess að kanna hvort einstakir hlutar kerfisins (t.d. festur) þoli þær spennur, sem myndast vegna vatnsþrýstings í kerfinu.

Þrýstiprófun

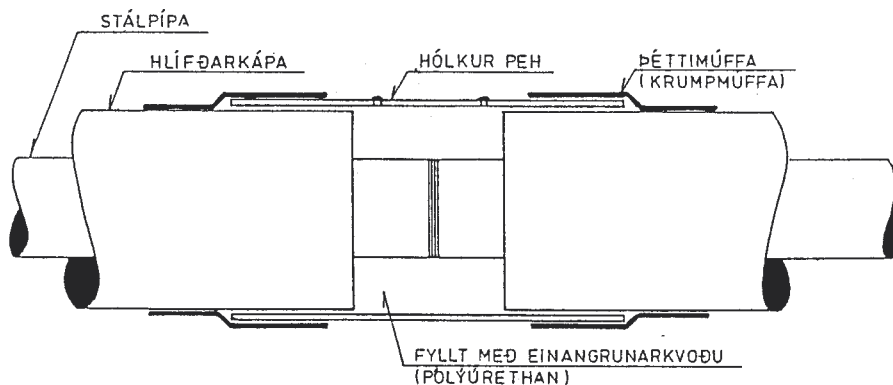
Þrýstiprófa skal hitaveitukerfið þegar búið er að ganga frá því að fullu þ.e. með festum, þenslum og lokum. Prófa skal kerfið með köldu vatni og skal þrýstingurinn í lægsta punkti vera 1,5-sinnum mesti áætlaður vinnuþrýstingur. Þrýstingurinn skal standa í minnst 15 mínútur og skulu suður sem ekki var búið að lekaprófa vandlega yfirfarnar.

7.2.4. Samsetning á plastkápu

7.2.4.1. Almennt

Frágangur á pípúsamskeytum er sá hluti hitaveitukerfisins, sem hvað mikilvægast er að vanda vel fráganginn á. Rannsóknir á Norðurlöndum hafa leitt í ljós að 60 til 80% af bilunum í dreifikerfum eru á pípúsamskeytum. Stærsti hluti þessarra bilana var vegna óvandaðra vinnubragða.

Til eru margar mismunandi aðferðir og efni til að setja saman plastkápu á pípúsamskeytum. Undanfarin ár hefur hér á landi aðallega verið notuð samsetning eins og sýnd er á meðfylgjandi teikningu.



Hólkasamsetning með einfaldri þéttingu.

Hólkurinn er gerður úr sama efni og plastkápan, sem er utan um úretanið (einangrunina). Hann er framleiddur með því að þenja út rörbút eins og er í plastkápunni. Efniseiginleikar hólksins og plastkápunnar eru því að mestu leyti þeir sömu. Aðallega er um tvær gerðir af svona hólkum að ræða. Annars vegar skothólkar sem notaðir eru við einfalda þéttingu og hins vegar krumphólkar sem notaðir eru við tvöfalda þéttingu.

Krumpmúffur eru til þess að þétta hólkana til endanna. Til eru margar gerðir af þeim. Hér á landi hafa einkum verið notaðar tvær gerðir, þ.e. Raychem og Canusa krumpmúffur. Krumpmúffan er hituð með mildum gasloga, en við það dregst hún saman og strekkist utan um samskeytin og leggst þétt að þeim. Við upphitunina bráðnar lím sem er innan á krumpmúffunni og festist við plastkápuna og hólkendann.

Mismunurinn á Raychem og Canusa krumpmúffum eru eiginleikar límsins, mismikil hitunarþörf og litabreytingar við upphitunina. Límið í Raychem krumpunum er mjúkt (fljótandi „mastic“ við notkunarhita) og hefur lægra bræðslumark og þarf því minni varma. Canusa krumpunar hafa hart lím og þurfa því meiri varma. Þær hafa einnig þann eiginleika, að þær breyta örlítið um lit þegar þær hafa verið hitaðar hæfilega mikið. Þegar þær kólna, fá þær aftur sinn fyrri lit.

Ekki er æskilegt að neinn gangi frá hólkasamsetningum nema hann hafi farið á námskeið í því hjá Iðntæknistofnun Íslands eða á annað viðurkennt námskeið.

7.2.4.2. Hólkasamsetning með einfaldri þéttingu

Sú hólkasamsetning sem lýst er hér að ofan er með einfalda þéttingu, þ.e.a.s. að einungis er ein hindrun fyrir utanaðkomandi vatn að komast á milli plastkápunnar og hólksins í einangrunina, þ.e. krumpmúffan. Þegar um slíka samsetningu er að ræða er þess krafist að samskeytin séu lekaprófuð. Lekaprófunina má ekki framkvæma fyrr en krumpan hefur náð að kólna.

7.2.4.3. Hólkasamsetning með tvöfaldri þéttingu

Árið 1990 var í fyrsta skipti notuð hólkasamsetning hér á landi með tvöfaldri þéttingu við endurnýjun hitaveitu í miðbæ Reykjavíkur. Tvöföld þétting sem notuð hefur verið hér á landi er frábrugðin einfaldri

Þéttingu í eiginleikum hólksins. Hólkurinn er krumphólkur með límingu í endunum að innanverðu og eru endar hólksins krumpaðir utan um plastkápuenda pípunnar á svipaðan hátt og krumpmúffurnar. Krumphólkurinn getur því yfirfært núningskrafta milli pípuenda sem venjulegur hólkur (skothólkur) gerir ekki.

Tvöföld þétting er dýrari en einföld þétting. Hún er hins vegar mun öruggari þétting, sérstaklega þar sem búast má við jarðvatni..

7.2.4.4. Hólkasamsetning með suðu

Við langar sverar lagnir (>Ø300) er algengt að hólkurinn sé soðinn (bræddur) við plastkápuna. Um er að ræða ýmsar gerðir, t.d.:

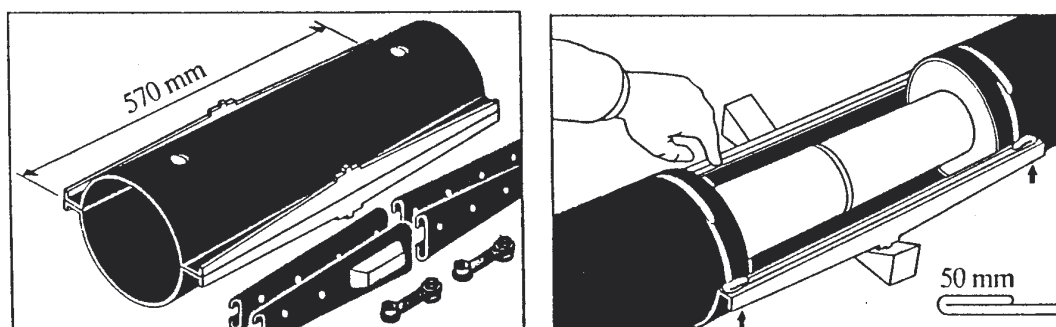
1. Sjóða saman hólk og kápu með bræddu plasti svipað og við rafsúðu á stálpípum.
2. Hita hólk og kápu með lofti og þrýsta þeim saman.
3. Bræða saman hólk og kápu með því að hleypa rafstraumi á rafmagnsþræði sem komið er fyrir milli hólks og kápu eða innsteyptir í hólkin.

Við suðuna er mjög mikilvægt að hitinn sé réttur. Ekki er rétt að láta aðra en sérþjálfaða menn með réttan tækjabúnað annast suðuvinnuna.

7.2.4.5. Hólkur úr stáli

Ein hólkasamsetning, sem Hitaveita Akureyrar (Norðurorka) hefur notað og var einnig notuð í aðfærsluæðinni að Flugstöð Leifs Eiríkssonar, er stálmúffur svipaðar og notaðar hafa verið utan um samsetningar á rafstrengjum. Þær eru húðaðar með plasti og til að fyrirbyggja tæringu ef plathúðin skemmist er komið fyrir anóðum á múffunni. Stálmúffurnar eru í tveimur hlutum (jafnvel þremur fyrir sverari pípur), sem leggjast eins og samlokur utan um pípusamskeytin. Samlokurnar eru ýmist boltaðar saman eða festar með kílum.

Áður en múffurnar eru settar utan um endana á plastkápunni eru þéttibönd sett utan um plastkápuendana og á samsetninguna milli múffuhlutanna. Þéttiböndin eru eina þéttingin og þarf því alltaf að lekaþrófa múffusetninguna.



7.2.4.6. Ýmsar aðrar samsetningar

Á undanförunum árum hefur verið ör þróun í efnum til samsetningar á hólkum. Það kemur m.a. til af því að langstærsti hluti þeirra bilana sem orðið hafa á hitaveitulögnum eru vegna þess að hólkasamsetningarnar hafa lekið. Því hefur verið lögð mikil áhersla á að betrubæta þær.

Ein aðferð sem rutt hefur sér til rúms er upphitun á krumpborðum með rafmagni, sem hleypt er á koparþræði sem eru í krumpborðanum. Hitinn sem myndast kemur af stað tveimur efnabreytingum samtímis. Annars vegar dregst krumpborðinn saman (krumpast), og hins vegar bráðnar miðhluti krumpborðans saman við plastkápuna og hólkendann. Notaður er hitaskynjari til að fylgjast með hitanum, en hann er tengdur við tölvu sem stjórnar rafstraumnum og upphitunartímanum. Þannig er hægt að tryggja rétta upphitun á krumpunni.

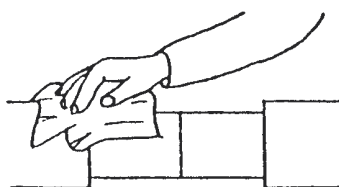
7.2.4.7. Hvers ber að gæta við frágang hólka

Til þess að tryggja sem besta samsetningu á plastkápunni eru nokkur atriði sem verður að huga vel að. Þau mikilvægustu eru eftirfarandi:

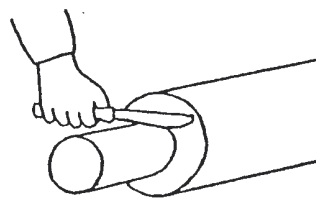
1. Að ekki sé gengið frá samskeytum á plastkápu í rigningu nema tjaldað sé yfir þau.
2. Að tryggt sé að enginn raki eða óhreinindi séu á yfirborði plastkápu og stálrörs með því að hreinsa yfirborðið með klút og hita stálrörið með mildum gasloga. Ef raki er í enda einangrunarinnar skal fjarlægja blauta einangrun. Ef endinn á plastkápunni er rispaður, skal slípa rispurnar niður með hnífsblaði. Ef rispurnar eru djúpar skal stytta stálrörið.
3. Áður en krumphólkar og krumpmúffurnar eru hitaðar, verður að forhita plastkápuna með mildum gasloga, þannig að hún sé minnst 60°C heit u.þ.b. einni mínútu eftir að upphitun lýkur.
4. Að allar samsetningar séu skoðaðar af eftirliti.
5. Að allar samsetningar með einfaldri þéttingu séu lekaprófaðar og oftast einnig samsetningar með tvöfaldri þéttingu.



Tjalda í rigningu.



Hreinsa samskeyti.



Fjarlægja blauta einangrun.

Forðast ber að ganga frá pípúsamskeytum í frosti, en ef það er óhjákvæmilegt, verður að geyma allt efni á upphituðum stað fyrir notkun. Auk þess þarf að þurrka og hita rörendana. Sérstaklega þarf að varast að hrím myndist á pípúsamskeytum.

Ef raki eða bleyta er í hólknnum eða í enda einangrunarinnar á pípunni þegar frauðað er, gengur þetta vatn í efnasamband við úretanið. Við þetta minnka gæði úretansins verulega hvað varðar þrýstipól og varmaleiðni. Minnkuð varmaleiðni veldur því að plast- og krumphólkurinn verða í meiri hita, sem styttingu þeirra verulega.

7.2.4.8. Val efnis við samsetningu á plastkápu

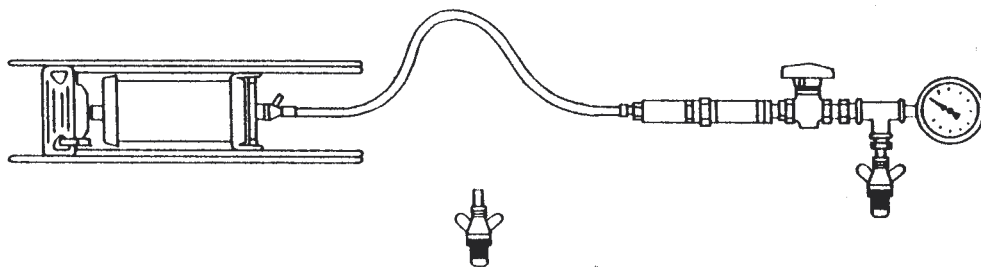
Oft getur verið erfitt að meta hvaða samsetningar á plastkápu eigi að velja. Hafa þarf í huga, að við sumar aðstæður er meiri ástæða til að velja betri lausnir þó þær séu dýrari. Þetta á einkum við um eftirtaldir aðstæður:

- a) Þegar lögnin er oft eða alltaf í jarðvatni.
- b) Þegar lögnin er lögð þar sem erfitt eða kostnaðarsamt er að endurnýja hana.
- c) Ef lögnin er lögð þar sem það ylli verulegum óþægindum að endurnýja hana.

Við val á samsetningu á plastkápu þarf einnig að hafa í huga að vatnshiti í flestum hitaveitukerfum á Íslandi er nokkurn veginn hinn sami allt árið. Víða erlendis breytist vatnshitinn eftir álagi, jafnvel innan hvers sólarhrings. Hreyfingar á pípunum í jörðu eru því minni á Íslandi en í hitaveitum víða erlendis. Minna álag er á samsetningarmúffur í kerfum með fastan framrennslishita.

7.2.4.9. Lekaprófun á hólkum

Lekaprófun á hólkum er framkvæmd þannig, að lofti er dælt inn í hólkin þar til 0,2 bara yfirþrýsting er náð með þar til gerðri pumpu, t.d. eins og sýnd er á meðfylgjandi mynd. Sápuvatni er nú úðað á öll samskeyti hólksins og kannað hvort þau séu þétt.



Tæki til lekaprófunar.

7.2.5.

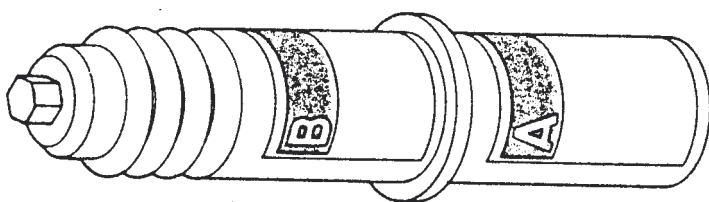
Einangrun pípúsamskeyta

7.2.5.1. Einangrun með tveimur efnispáttum

Hér á landi er úretanblandan sem hellt er í hólka gerð með því að blanda saman tveimur efnispáttum (ísócyáanati og pólyóli) á þann hátt, að öðrum efnispáttinum (ísócyáanati) er hellt úr einum plastbrúsa yfir í annan sem hinn efnispátturinn (pólyól) er í. Blandan er síðan hrist í ákveðinn tíma áður en henni er hellt í hólkin, en hristitíminn er háður hita og tegund efnablöndunnar.

Sumir þeirra efnispáttar sem eru í blöndunni hafa lágt suðumark og eru mjög hættulegir fyrir öndunarfærin. Sú vinnuaðferð sem notuð er hér á landi hefur því verið bönnuð víða erlendis og er einungis tímaspursmál hvenær það verður einnig gert hérlandis.

Í stað þess að setja efnispáttina í tvö ílát hafa sumir framleiðendur sett þá í hylki með tveimur aðskildum hólfum, þar sem efnispáttirnir eru settir í sitt hvort hólf í réttum hlutföllum. Við frauðun er skilveggurinn á milli hólfanna rofinn og efnispáttirnir hristir saman.



Hylki með aðskildum hólfum.

Við frauðun í hólka þurfa eftirtalin atriði að vera

í lagi til þess að gæði úretansins verði fullnægjandi:

1. Góð blöndun efnispáttar
2. Hitastig efnispáttanna
3. Umhverfishitinn
4. Þurr umhverfi
5. Rétt magn efnispáttar

Hiti efnispáttanna: Þau grunnefni sem notuð eru hér á landi til að freyða í hólka þurfa að vera 10-20°C þegar blöndun fer fram. Æskilegur hiti er um 20°C. Ef þau eru heitari, er hætt á að ekki vinnist tími til fullnægjandi blöndunar og að eitruð grunnefni gufi upp þegar hellt er á milli plastbrúsanna. Til eru tvær gerðir af frauðefni, þ.e. sumarfrauð (15-35°C) og vetrarfrauð (5-20°C).

Ef skammtarnir eru of kaldir við blöndun er hætt á því að frauðið fylli ekki hólkin, sellurnar verði of stórar

og mismikil eðlisþyngd, þannig að jaðarsvæðin verða bæði stökk og grófkornótt.

Umhverfishitinn: Hiti á yfirborði hólksins og stálpípunnar á að vera á bilinu 15-45°C. Ef hiti stálrörsins er hærri en 45°C, þarf að gæta þess að efnablandan hellist ekki beint á yfirborð rörsins. Ef hiti hólksins er innan við 15°C þarf að hita hann upp með mildum gasloga.

Þurrur umhverfi: Stálrörið og hólkurinn að innanverðu eiga að vera þurrir og hreinir. Einnig þarf að fjarlægja blautt frauð. Ef raki er í hólknum þegar frauðað er verður viðloðun frauðfnisins ófullnægjandi, það dregst saman og rörið ryðgar.

Rétt magn efnisþátta: Þegar frauðað er, þarf að tryggja að rétt magn efnisþátta sé notað við blöndunina. Til þess að það sé hægt þarf stærð holrýmisins sem frauðað er í að vera þekkt. Lengd á suðuendum þarf því alltaf að vera sú sama í hverju einstöku verki, þannig að ávallt fari sama magn efnisþátta í hólka með sömu pípuvidd.

Ef of mikið magn er sett í hólkin þrýstist efnið út og plastkápan þenst of mikið út. Einangrunin fær einnig of mikla rúmþyngd. Ef of lítið er frauðað í hólkin fyllist holrýmið ekki alveg af frauði og frauðið fær of litla rúmþyngd og verður veikt.

Blöndunin: Mjög mikilvægt er að standa rétt að blönduninni á ísócyáanatinu og pólýolinu. Vönduð blöndun tryggir jöfn efnisgæði og þar með þéttari samsetningu.

Þegar búíð er að hella efnisþáttunum saman þarf að hrista brúsann vel þar til blandan er öll orðin jöfn ljósbrún. Hrista þarf brúsann kröfuglega, en hristitíminn er mislangur eftir hita og eiginleikum blöndunnar. Þeim mun heitara sem efnið er og þeim mun kröftugar sem hrist er þeim mun styttri er hristitíminn. Hristitíminn er yfirleitt á bilinu 10 til 30 sek.

Mikilvægt er að tæma vel úr brúsunum þegar frauðað er til að tryggja rétt hlutföll efnisþátta við blöndunina.

Þegar búíð er að hella blöndunni í hólkin, þarf að tryggja að allt loft fari úr hólknum. Það er m.a. hægt að gera með því að setja í hólkin tappa með götum á sem hleypir loftinu út. Þegar liðnar eru minnst 15 mínútur frá því frauðað var eru tapparnir fjarlægðir og endanlegir tappar settir í hólkin. Einnig eru til tappar með götum á hliðinni, sem eru fyrst reknir hálfu leið niður í hólkagötin, þannig að loftið komist út um hliðargötin. Þegar allt loft er farið úr hólknum eru tapparnir reknir á kaf þannig að götin á tappanum hverfa ofan í hólkin.

Öryggisráðstafanir: Gæta þarf ýtrustu varúðar þegar unnið er með þá efnisþætti sem notaðir eru við framleiðslu á frauði. Einkum er það ísócyáanatið sem er varasamt ef ekki er gætt ýtrustu varúðar við meðferð þess. Við meðferð efnanna skal hafa eftirfarandi í huga:

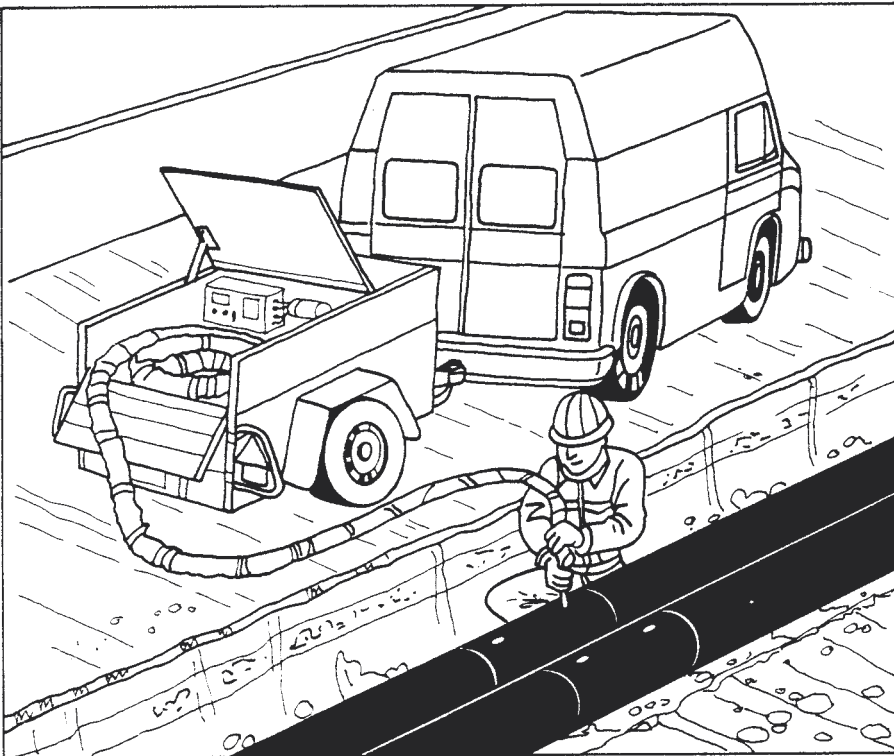
1. Að anda ekki að sér gufum frá efnunum, því hættuleg efni í blöndunni gufa upp við 23°C. Vinnuverndarreglur krefjast þess að notaðar séu öndunarhlífar af réttri gerð og hanskar við freyðingu.
2. Að gæta þess að efnisþættirnir komist ekki í snertingu við húð eða augu og skal því nota hanska og hlífðarglæraugu við freyðingu. Einnig skal gæta þess að vera ekki með höfuðið beint yfir hólknum þegar freytt er og að hafa vindinn í bakið.
3. Ef kveikt er í úretani myndast eitruð gas. Því er mikilvægt að hreinsa allt úretan vel af suðuendum og setja málmhlíf við enda einangrunar þegar pípur eru soðnar.
4. Tómunum ílátum undan freyðiefnunum og efnisafgöngum verður að halda til haga og fara með í viðurkennda eiturefnaeyðingu.

7.2.5.2. Einangrun með frauðvélum

Algengast er erlendis að freyða í hólka með vélum. Þetta er sú aðferð sem tryggir bestu gæðin á frauðinu þegar látið er freyða í hólka á staðnum. Til eru margar misfullkomnar gerðir af slíkum vélum á markaðnum.

Árið 1991 var slík vél í fyrsta skipti tekin í notkun hér á landi. Hún er á kerru í vel einangruðum kassa með hitara sem tryggir réttan hita á blöndunni. Hægt er að stilla stærð skammtanna og blöndunarhlutföll.

Þegar freytt er í hólka er mikilvægt að vita hvað stóran skammt af efnablöndunni þarf að setja í hólkin. Stærð skammtsins er reiknuð út frá endanlegu rúmmáli af einangrun sem þarf að vera í hólknunum. Því er mikilvægt að allir suðuendar séu jafn langir, til þess að hver pípuþæð hafi alltaf sömu stærð af áfyllingarskammti.



7.2.5.3. Einangrun með úretanskálum

Áður fyrr var algengt að hólkar í föstum kerfum væru einangraðir með úretanskálum. Slæm reynsla var af notkun þeirra m.a. vegna þess að ef vatn komst inn í hólkana þá átti það greiða leið að stálrörinu. Vatnið tærir stálið. Það gufar upp og gufan á auðvelt með að komast inn í úretanið þó það hrindi frá sér vatni sem ekki er í gufunni.

Ef freytt er í múffur þá bindst úretanið við stálrörið og virkar sem vörn fyrir það og hindrar að vatn sem kemst inn í múffuna komist að stálrörinu.

Kosturinn við úretanskálarnar er hins vegar sá að þær eru verksmiðjuframleiddar, en við það er hægt að ná meiri gæðum á sjálfu frauðinu en þegar freytt er á staðnum.

7.2.5.4. Framleiðslugallar við frauðun

Frauðun í hólka gerir miklar kröfur til vinnuaðferða við frauðunina. Í töflunni hér að neðan er gerð grein fyrir algengustu mistökum við frauðun.

Framleiðslugallar

<i>Gallar</i>	<i>Einkenni</i>	<i>Ráðstafanir</i>
Gölluð blöndun á pólýóli og ísócyanati grófkorna, brúnleitt og stökkt	Frauðið slímugt og mjúkt, óhreint, -lengja hristitíma	Við handvirka frauðun: Við vélfrauðun:
/ hreinsa blöndunarhólf sannreyna hitastig hráefnis		
Ónóg binding (of lítið ísócyanat)	Ljóst, mjúkt, svampkennt frauð, mikill samdráttur	Gæta þess að fara eftir leiðbeiningum framleiðanda um blöndunarhlutföll
Of mikil binding (of mikið ísócyanat)	Frauðið brúnleitt og eitt-hvaða stökkara	Fara eftir leiðbeiningum framleiðanda um blöndunarhlutföll
Of lítið magn (til áfyllingar)	Holrýmið fyllist ekki alveg af frauði, of lítill þéttleiki, of lítil rúmþyngd	Fara yfir magnútreikning
Of mikið magn	Efni þrýst út, plasthólkurinn þenst of mikið út, of mikil rúmþyngd	Fara yfir magnútreikning
Gölluð afloftun	Holrými fyllist ekki alveg af frauði, þrátt fyrir rétt magn	Hafa góða afloftunarmöguleika, bæta e.t.v. við götum á hólka.
Of lágt hitastig	Frauðefni of óvirkt, greinilegt jaðarsvæði sem er bæði stökkt og grófkorna	Hækka hitastig hráefnis upp í u.þ.b. 20°C, hita upp múffusvæðið
Raki	Slæm viðloðun þar sem raki var, eftir atvikum samdráttur	Þurrka upp frauðunarrýmið
Ryk, óhreinindi	Slæm viðloðun	Hreinsa yfirborð holrýmisins sem á að fylla með frauði
Afgösun frauðefnisins	Krumphólkar belgjast upp við afgösun	Frauðið verður að hafa lokið efnabreytingu (minnst 24 klst.) Holrými verður að vera fullkomlega fyllt af frauði. Blanda frauðefnið vel, annars verður frauðið að hluta með opnar sellur.

7.2.6. Jarðvinna og lega lagna

7.2.6.1. Almennt um legu lagna

Allar lagnir skal staðsetja út frá hnitum, varanlegum mannvirkjum eða lóðamörkum. Lagnir verður að staðsetja þannig að allir kaflar þeirra séu ákveðnir á einhlítan hátt, þannig að auðvelt sé að staðsetja þær m.a. vegna viðhalds lagnanna og upplýsinga sem veita þarf öðrum aðilum sem þurfa að grafa í námunda við þær.

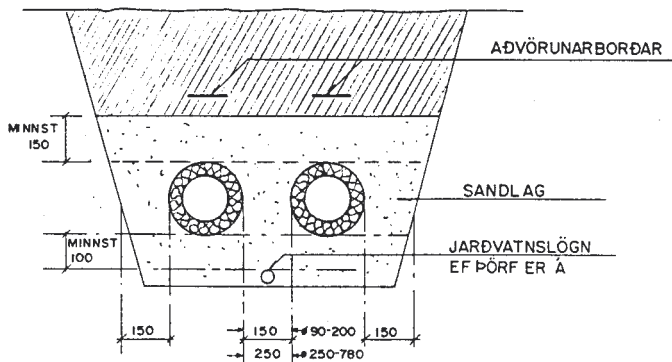
Ef lagnir eru ekki lagðar eins og uppdrættir sýna, er mikilvægt að öll slík frávik séu færð inn á teikningar.

Þar sem utanaðkomandi vatn er helsta orsök allra skemmda á hitaveitukerfum, er mikilvægt að velja pípustæði þar sem jarðvegurinn er sem þurrastur. Ef ekki er hægt að komast hjá því að leggja hitaveitulagnir í jörðu, þar sem þær koma til með að liggja í jarðvatni verður að leggja jarðvatnslögn undir hitaveitulagnirnar ef það er hægt. Ef það er ekki hægt þarf að vanda sérstaklega allar pípumsetningar og huga vel að því hvaða samsetning á plastkápunni sé best að nota við þessar aðstæður.

7.2.6.2. Gröftur

Þegar grafið er fyrir pípu í plastkápu skal lágmarksbreidd og dýpt skurðarins vera a.m.k. eins og fram kemur á meðfylgjandi töflu.

Plastk. Ø í mm	2 pípur Botnr. m	1 pípa Botnr. m	Skurðdýpt m
90	0,70	0,40	0,65
110	0,70	0,40	0,65
140	0,70	0,45	0,65
160	0,80	0,45	0,70
200	0,90	0,50	0,75
225	1,00	0,55	0,75
250	1,10	0,60	0,80
315	1,20	0,70	0,90
355	1,30	0,75	1,00
400	1,40	0,80	1,00
450	1,50	0,85	1,00
500	1,60	0,90	1,10
560	1,80	1,00	1,20
630	2,00	1,00	1,30
710	2,20	1,20	1,40
800	2,40	1,30	1,50

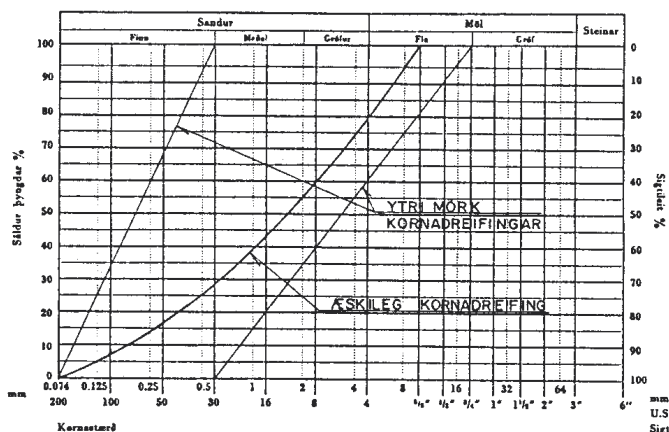


Jarðvinnuþversnið.

Þegar pípur eru soðnar saman ofan í skurði og/eða gengið þar frá samskeytum, þarf að grafa skurðinn víðari og dýpri við samsetninguna. Æskilegt er að minnst 300 mm séu friir frá plastkápu að skurðvegg og –botni. Þar sem greiningar eru út úr stofni skal þess gætt, að nóg pláss sé fyrir þær hreyfingar á greiningunni, sem stofnlögnin veldur.

7.2.6.3. Fylling í skurði

Áður en fyllt er í skurði skal tryggja að jarðvegurinn geti ekki sigið við þann stað þar sem pípurarnar eru steyptar fastar, t.d. næst inntökum og við brunna.



Kornadreifingarferill fyrir fyllingu kringum pípur.

Í skurðbotninn er jafnað út og þjappað minnst 100 mm lagi af sandi. Í Danmörku eru gerðar þær kröfur að það efni sem fyllt er með að plastkápunni uppfylli þær kröfur sem fram koma á meðfylgjandi kornadreifingarferli.

Hér á landi og víða annars staðar hefur hins vegar krafan almennt verið sú, að í kringum plastkápuna sé fyllt með efni sem er með mestu kornastærð ≤ 8 mm.

Þegar búið er að leggja út pípurarnar er allt grjót og annað sem hrúnið hefur ofan í skurðinn vandlega hreinsað upp. Síðan er fyllt yfir þær með sams konar efni og sett var undir þær og skal það ná minnst 150 mm yfir pípurarnar. Þjappa skal vel að pípunum með handverkfærum og gæta þess að pípurarnar hliðrist ekki til við framkvæmdina. Hlutverk fyllingarlagsins kringum pípurarnar er þrjúþætt:

1. Að hlífa plastkápunni svo hún verði ekki fyrir of miklu punktalagi.
2. Að tryggja að fullnægjandi núningsmótstaða sé á milli plastkápunnar og jarðvegsins í kringum hana. Því meiri sem núningsmótstaðan er, þeim mun minni hreyfing er á pípunni í jarðveginum.
3. Fyllingin virkar sem viðvörun um að lögn sé þar undir þegar grafið er ofan af henni.

Ofan á fyllingarlagið kringum pípurarnar er settur aðvörunarborði. Þegar um tvöfalt kerfi er að ræða með sverari pípum en $\varnothing 100$ er settur aðvörunarborði yfir báðar pípurarnar.

Ofan á fyllingarlagið er síðan fyllt varlega með uppgrofnu efni. Ekki skal þó setja efni með stórum

steinum ofan á fyllingarlagið. Í vegum og öðrum sambærilegum stöðum skal þó setja efni sem hefur sömu burðareiginleika og efnið sem fyrir er í veginum. Lágmarksfylling ofan á pípur í götum, mælt frá efri brún plastkápu, er 500 mm.

7.2.7. Mismunandi hitaveitukerfi

7.2.7.1. Hreyfing á pípum við upphitun

Hitaveitukerfi hafa fram á síðustu ár verið hönnuð þannig, að settar hafa verið festur með vissu millibili og á milli festanna hefur verið komið fyrir þenslum (þanar, barkar eða þenslulykkjur), sem eiga að taka upp hreyfingar á pípunum í jörðu. Mesta fjarlægð milli festu og þenslumöguleika er ákvörðuð þannig að ekki verði of miklar spennur í stálrörinu þegar fullur hiti er kominn á það ($\leq 180 \text{ N/mm}^2$).

Ef miðað er við að mesta leyfileg spenna í stálrörinu sé 180 N/mm^2 , núningsstuðull milli plastkápu og sands 0,43, fylling ofan á plastkápu 600 mm og efnisþykkt stálröranna og ytra þvermál plastkápunnar eins og fram kemur í töflunni að neðan, þá er mesta leyfileg lengd (þanlengd) frá festu að þenslu (þenslulykkju eða beygju) eftirfarandi:

Stálrör Plastkápu Ø mm flatarmál	Efnis- þykkt mm	Mesta leyfilega þanlengd m
26,9/90	2,65	27
33,7/90	3,25	38
42,4/110	3,25	38
48,3/110	3,25	45
60,3/140	3,65	48
76,1/140	3,0	60
88,9/160	3,60	60
114,3/200	3,60	60
139,7/225	4,00	72
168,3/250	4,50	84
219,1/315	4,50	84

Ef engin festa er á milli þenslumöguleika, má hafa tvöfalda þanlengd á milli þeirra.

Ef lofthitinn við lagningu pípu er 5°C og framrennslshitinn er 80°C , þá fæst óþvinguð lenging hvers lengdarmeters pípunnar með jöfnunni:

$$\Delta L = a(t_2 - t_1) \times L = 0,012(80 - 5) \times 1 = 0,9 \text{ mm}$$

Þar sem úretan og kápa hitna minna en stál og kápu er haldið fastri vegna núnings, myndast skerkraftar milli úretansins og stálsins. Úretanið þarf að geta tekið upp þessar skerspennur (getur tekið allt að $0,6 \text{ N/mm}^2$, sem er svipað og viðloðunin milli stálsins og úretansins eftir að búið er að sandblása stálið).

Milli úretansins og plastkápunnar myndast samsvarandi skerkraftur, en eftir kórónameðhöndlun á plastkápunni verður viðloðunin milli hennar og úretansins um $0,2 \text{ N/mm}^2$.

Þegar þessum skilyrðum er fullnægt, erum við með svokallað fast kerfi, þ.e. að stálið hreyfist ekki inni í úretaninu og úretanið hreyfist ekki inni í plastkápunni. Lögnin hreyfist sem ein heild þegar hún hitnar og kólnar.

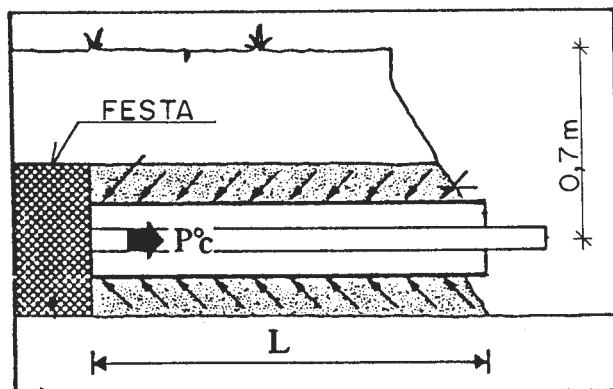
Þau hitaveitukerfi sem lögð hafa verið hér á landi á undanförunum árum með stálpípum einangruðum með úretani í plastkápu, hafa verið föst kerfi. Hægt er að velja um nokkrar mismunandi aðferðir við lagningu á slíku kerfi. Um þær helstu verður fjallað hér á eftir.

7.2.7.2. Hitaveitukerfi með þönum

Þegar um er að ræða kerfi þar sem hitaþensla og hitasamdráttur pípanna er tekin upp af þenslum (þanar, þenslulykkjur og barkar), þá er fyllt yfir pípunar áður en heitu vatni er hleypt á þær.

Í töflunni hér að neðan sést hve mikið foreinangraðar pípur lengjast við að hitna um 70°C, annars vegar án núningsmótstöðu, og hins vegar ef búið er að fylla yfir þær með u.þ.b. 0,7 m af fyllingu áður en upphitun fer fram. Lengingin á pípunum í jörðu mælist frá festu að þeim stað þar sem pípan hefur óhindraða hreyfingu (án núningsmótstöðu).

Fjarlægð frá festu Að lausum enda:L	Lenging í mm			Óhindrð hreyfing
	Ø25	Ø40	Ø70	
10m	7,43	7,57	7,80	8,40
20m	12,92	13,48	14,40	16,80
30m	16,47	17,73	19,80	25,20
40m	18,08	20,32	24,00	33,60
50m	18,08	21,25	27,00	42,00



Lenging á pípu.

7.2.7.3. Með forhituðum pípum (forhitað kerfi)

Önnur aðferð sem mikið er notuð við lagningu á hitaveitukerfum felst í því að hitaveitulagnirnar eru hitaðar upp í þann hita sem er mitt á milli lægsta hitans sem kerfið getur orðið fyrir (áður en það er tekið í notkun eða við rekstrarstopp) og framrennslshitans. Þegar þeim hita er náð er fyllt yfir lögnina.

Þar sem núningsmótstaðan á milli plastkápunnar og sandlagsins undir pípunni hindrar að hluta til þenslu (lengingu) pípunnar, er nauðsynlegt að mæla hana við forhitunina til að sjá hvort lengingin skili sér, sérstaklega á sverari pípum. Í flestum tilvikum þarf að hita pípuna upp fyrir meðalhitann til að fá reikningslega þenslu (lengingu) eins og óskað er.

Þegar heitu vatni er nú hleypt á lögnina, eftir að búið er að fylla yfir hana, verða þrýstispennur í stálpípunni aldrei það háar, að þær fari yfir leyfilegar hámarksspennur. Í þessu kerfi er ekki þörf fyrir að vera með þenslur.

7.2.7.4. Hitaveitukerfi með upphitunarþönum

Þriðja aðferðin, sem byggir á sömu grundvallaraðferð og við forhitun í pípum, er notkun á upphitunarþönum. Þessi aðferð er notuð þar sem erfitt er að forhita langar pípulengdir áður en fyllt er yfir þær.

Í stað þess að forhita pípuna, eru upphitunarþanar settir inn á pípuna með ákveðnu millibili. Nú er fyllt yfir pípuna nema þar sem þanarnir eru. Þanarnir eru forspenntir, þannig að þegar hiti pípunnar er mitt á milli lágsta hita sem pípan getur fengið (fyrir notkun eða við rekstrarstöðvun t.d. vegna viðhalds) og framrennslishitans, þá eru þanarnir pressaðir saman að fullu. Þanarnir eru nú soðnir fastir, þannig að þeir virka ekki lengur sem þanar, heldur eru þeir eins og hluti af pípunni. Nú er gengið frá upphitunarþönum eins og um venjuleg pípusamskeyti væri að ræða.

Kerfið er orðið eins og hitaforspent kerfi. Hæstu spennur í stálrörinu verða því alltaf innan leyfilegra marka.

Þegar hitaveitukerfi er með framrennslishita allt að 60°C hærrí en lofthitinn þegar fyllt er yfir pípurnar, er hægt að leggja kerfið án þana og upphitunarþana, og án þess að forhita pípurnar. Það sama gildir um allar bakrennslislagnir svo framarlega sem vissa er fyrir því að ekki fari heitara vatn en 60°C inn á bakrennslislagnirnar.

Í forhituðu kerfi má ekki fylla yfir greiningar fyrr en kerfið er orðið fast, þ.e. þegar búið er að fylla yfir stofnlögnina og sjóða upphitunarþana fasta.

7.2.7.5. Hitaveitukerfi lögð köld án þana

Fjórða aðferðin, sem hefur ekki verið mikið notuð á Norðurlöndum, er að leggja kerfið án forhitunar og án þess að vera með þana og festur.

Þessi aðferð byggist á því, að leyfðar eru miklu hærrí þrýstispennur í stálrörunum en í öðrum kerfum. Á greiningarstykkjum í þessu kerfi eru því settar sérstakar styrkingar á suðuna þar sem greiningin er soðin við stofninn.

Í þessu kerfi eru þrýstispennur í stálrörinu mun meiri en í forhituðum kerfum og því ennþá meiri hætta á að pípan lyftist upp úr jörðinni ef grafið er frá henni.

7.2.7.6. Hitaveitukerfi með innbyggðum þönum í pípum í plastkápu

Orkuveita Reykjavíkur hefur lagt hitaveitukerfi (System 4 frá Lögstör) þar sem hluti af pípunum hafa innbyggða litla þana, sem taka upp þenslu sem er allt að 20 mm. Þanarnir eru með stoppara, þannig að hann getur tekið upp beygju-, tog- og þrýstikrafta. Þetta kerfi er lagt eins og kerfi sem eru lögð köld án þana (sjá 7.2.7.5). Munurinn á þessum tveimur kerfum er sá, að í þessu kerfi verða mestu spennur í stálpípunni innan við 150 N/mm².

7.2.8. Brunnar, foreinangraðir lokar og inntök

7.2.8.1. Hitaveitubrunnar

Á hitaveitukerfum hafa verið settir brunnar með vissu millibili, þar sem komið er fyrir festum, þönum, lokum, vatns- og lofttæmingum og öðrum nauðsynlegum útbúnaði.

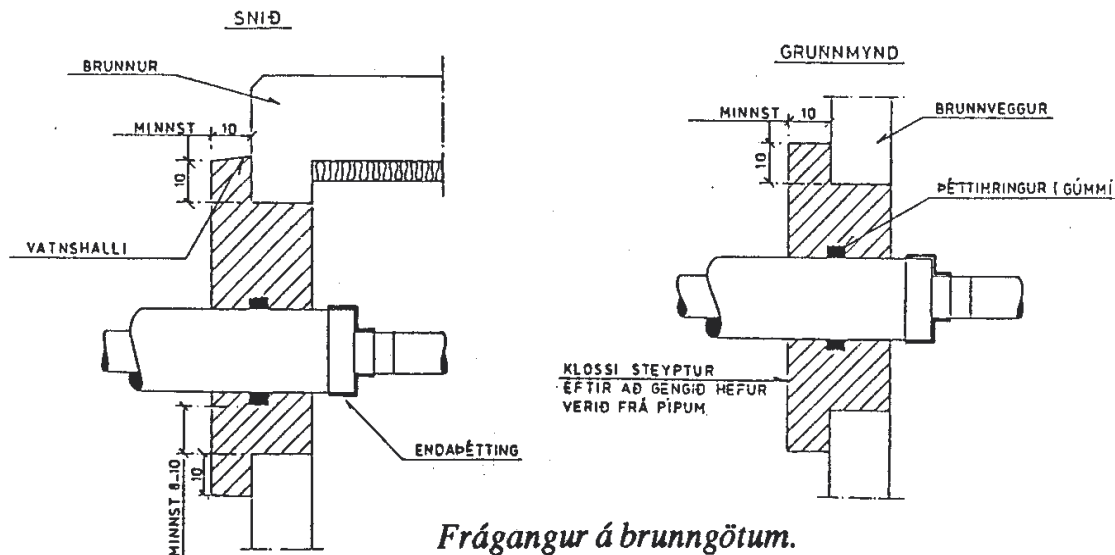
Við gerð brunna þarf að hafa eftirfarandi í huga:

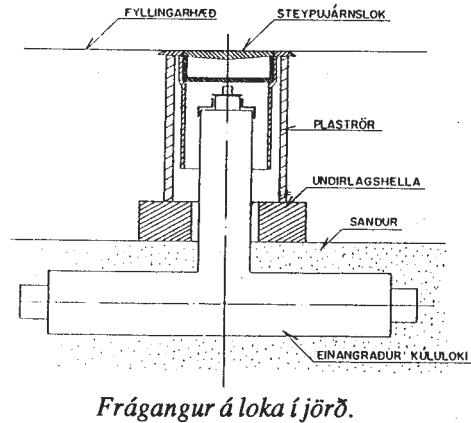
1. Að brunnarnir séu vatnsþéttir.
2. Að vanda sérstaklega steypu á klossum í göt á brunnum (nota titrara og hafa rauf efst í steypumótunum að innanverðu til að fylgjast með steypunni). Þetta er algengasti lekastaðurinn í brunnum.
3. Að lagt sé frárennsli frá þeim, og þá helst úr botni.
4. Að staðsetja brunna þannig, að yfirborðsvatn safnist ekki að þeim.
5. Að nauðsynlegar útloftanir séu á brunnum (t.d. tvær $\text{Ø } 150 \text{ mm}$).
6. Að brunnarnir séu það stórir, að auðvelt sé að vinna við nauðsynlegt viðhald í þeim.

Alengt hefur verið að miða við, að ekki séu fleiri en 15 til 20 hús á hverri greiðu frá loka í dreifikerfisbrunni. Þessi viðmiðun og leyfileg mesta fjarlægð milli þenslumöguleika, hefur verið ákvarðandi um fjölda brunna í dreifikerfum.

Stórum höfuðlokum, flansatengingum og þeim útbúnaði sem þarfnast reglubundins viðhalds skal koma fyrir í brunnum. Á síðustu árum hafa kerfi verið hönnuð með færri brunnum m.a. af eftirtöldum ástæðum:

1. Brunnar eru mjög dýrir
2. Mikið er um bilanir í brunnum vegna utanaðkomandi tæringar.
3. Alengt er orðið að hitaveitukerfi séu lögð án þess að þau séu með þenslum og festum.
4. Almenn er farið að nota foreinangraða höfuðloka og tæmingar í plastkápu á hitaveitukerfum.

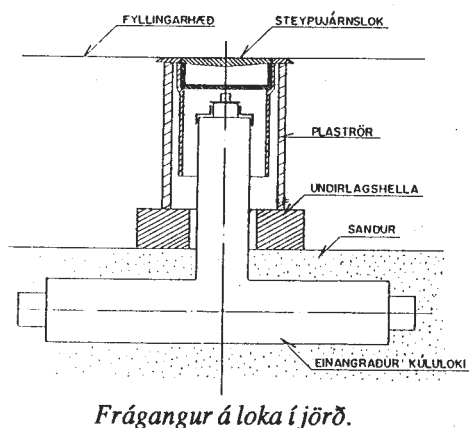




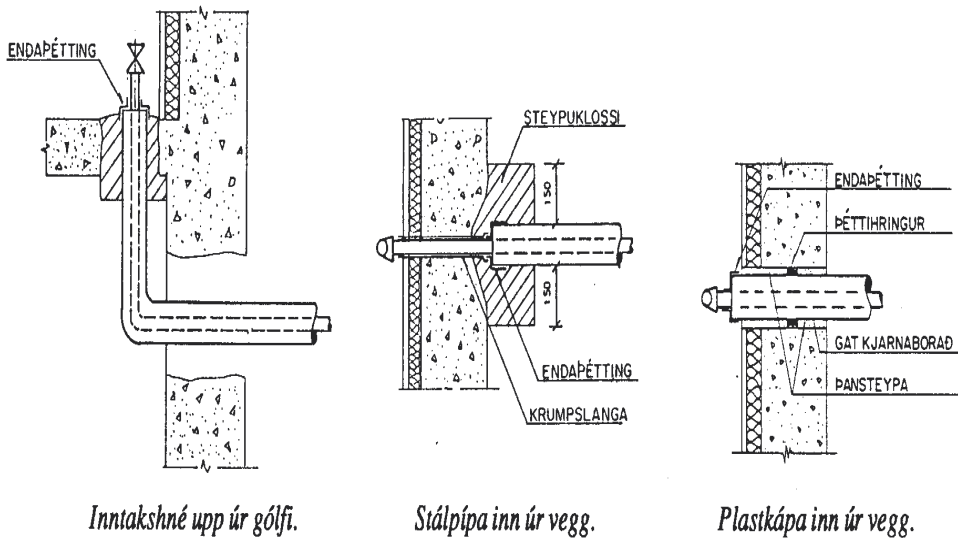
7.2.8.2. Foreinangraðir lokar og tæmingar

Eins og fram kemur að ofan, er í stað brunna orðið algengt að setja foreinangruð stykki í jörðu, þ.e. höfuðloka, loft- og vatnstæmingar og festur. Fjöldi þana og festa er algjörlega háð því hvers konar kerfi menn ætla að leggja, sbr. 7.2.7.2 til 7.2.7.6. Loft- og vatnstæmingar eru settar á hápunkta og lágpunkta.

Ganga má frá foreinangruðum höfuðlokum m.a. eins og sýnt er á meðfylgjandi mynd eða t.d. með því að koma þeim fyrir í frárennslisbrunni.



7.2.8.3. Hitaveituinntök



Inntakshné upp úr gólfi.

Stálpípa inn úr vegg.

Plastkápa inn úr vegg.

Inntök í hús eru ýmist beint inn úr útvegg eða gegnum sökkulvegg og upp úr gólfi. Þar sem inntakið kemur inn í húsið skal vera gólfniðurfall.

Inntak inn úr vegg: Í sumum tilvikum er plastkápan látin ná inn úr útveggnum. Algengast er þó að einungis stálrörið nái inn úr útveggnum. Þá er borað innan frá hæfilega stórt gat fyrir stálpípuna. Krumpslanga er nú sett upp á stálpípuna og síðan endahetta sem lokar fyrir enda einangrunarinnar. Þess skal vandlega gætt að krumpslangan og endahetta krumpist vel með mildum loga eftir venjulega forhitun. Gæta skal þess að ekkert loft verði eftir í endakrumpunni. Ef svo er þá er einfaldast að ná því í burtu með því að stinga suðuvír milli stálrörs og endakrumpu meðan hún er ennþá heit, og þrýsta loftinu síðan út. Röriinu er nú stungið í gegnum gatið og klossi steypdur utan um pípuna að útveggnum (vegginn skal fyrst hreinsa og bleyta).

Þar sem pípan í veggnum getur ekki tekið upp togkrafta, þarf að tryggja þenslumöguleika á pípunni ef beini leggurinn út frá húsinu er of langur. Mesta hættan er ef tog myndast í pípunni því þá losnar steypuklossinn frá húsinu.

Steyptir klossar duga ekki sem þétting þar sem jarðvatn liggur að veggnum.

Inntak upp úr gólfi: Þegar inntak er tekið upp úr gólfi, er gat gert á gólfplötu inn við útvegg og á sökkulvegginn. Á foreinangruðu pípuna er sett inntakshné, sem gengur í gegnum sökkulvegginn og upp úr gólfplötunni. Plasteinangrunin með endahettu skal ná 50 mm upp fyrir frágengið gólf. Nú er fyllt að pípunni og steypit í gatið á gólfinu, en yfirleitt er ekki steypit í sökkulvegginn.

7.3. Plastlagnir

7.3.1. Efniseiginleikar

7.3.1.1. Efniseiginleikar plastpípa

Í töflu hér að neðan er almennt yfirlit yfir plastefni og er þeim raðað upp í réttri tímaröð eftir því hvenær byrjað var að framleiða úr þeim pípur (Heimild: Neste-Studsvik).

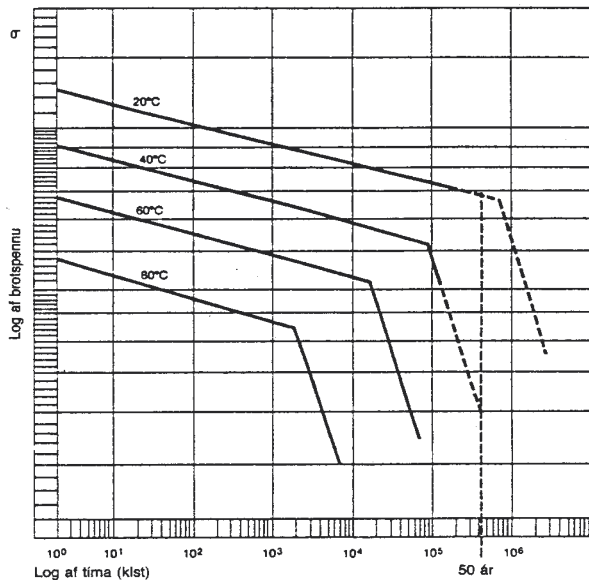
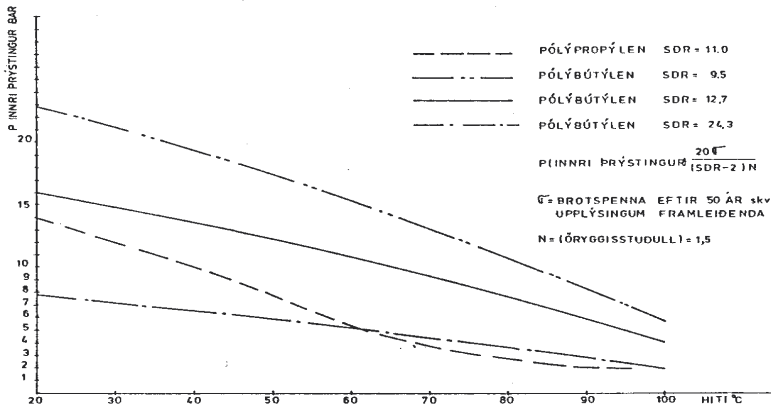
Plastefni	Skamstöfun	Framleiðsla hófst	Eðlismassi	Hönnunar- spenna við 20°C (MPa)	Þvermál
Pólývínýlklóríð	PVC	1935	1400	10,0-14,0	40-630
Pólýetýlen	LDPE	1945	930-940	2,5-3,2	16-160
Pólýetýlen	HDPE	1955	1950-965	5,0-6,3	25-1600
Pólýpropýlen	PP	1955	910-925	5,0*)	25-1600
Pólýbútýlen	PB	1955	920	5,0*)	25-160
Pólýester	GRP	1955	1700	>100	200-2400
Pólýetýlen	PEX	1968	930-965	5,0*)	25-160
Pólýetýlen	MDPE	1971	940-950	5,0-6,3	25-1600
Pólýetýlen	LLDPE	1986	935-940	5,0	16-160
Pólýetýlen 100	HDPE 100	1990	950-965	8,0	25-1600

*) Þessar pípur þola hærra hita við uppgefna spennu.

Í hitaveitur í sveitum hafa einkum verið notaðar PP og PB pípur. Þær ásamt MDPE og PEX pípum hafa verið notaðar í snjóbræðslur.

Flest byggingarefni eru sveigjanleg. Þetta lýsir sér þannig að sé sett álag á efnið verður á því viss formbreyting sem er háð álaginu eða spennunni sem það verður fyrir. Þessi formbreyting er í beinu hlutfalli við spennuna upp að vissu marki og efnið fer aftur í upphaflegt horf þegar spennunni er létt af því. Plastefni haga sér hins vegar öðru vísi. Formbreyting plasts er ekki í beinu hlutfalli við spennuna og er stöðug á meðan álag varir. Þannig „skriður“ plastið undir álagi. „Skriðið“ eykst með hita. Afleiðing þessa er að eftir tiltekinn tíma lætur plastið undan og rifnar. Endingartími plastsins er þannig hvoru tveggja háður álaginu og hitanum.

Ef plastpípu er ætlað að endast tiltekinn tíma verður að takmarka álagið og hitann sem hún verður fyrir við notkun. Skv. ISO staðli skulu plastpípur endast í a.m.k. 50 ár og setur það tilteknar takmarkanir á hita og notálag.



Myndin hér að ofan sýnir dæmigerða hegðun plastefnis undir álagi. Lárétti ásinn sýnir tíma (endingar-tíma) og lóðrétti ásinn sýnir brotspennu. Aðskildir ferlar eru teiknaðir fyrir mismunandi hita efnisins. Heildregnu línurnar eru skv. niðurstöðum mælinga en brotnu línurnar eru dregnar sem framlenging. Með því að skoða ferilinn fyrir 20°C má finna brotspennu eftir 50 ára notkun. Leyfileg hönnunarspenna er svo skilgreind þannig að deilt er í útkomuna með öryggisstuðli t.d. á bilinu 1,3 til 2,5.

Í hitaveitu, þar sem vatnshiti er ekki of hár <70 til 80°C, má nota pípur úr PEX, PB og PP. Ennfremur ætti að vera unnt að nota pípur úr MDPE, ef hitinn er lágur <50°C. Þegar valið er efni verður ávallt að hafa í huga að ýmsar takmarkanir eru á notkun plastpípa. Þessar takmarkanir eru innbyrðis tengdar, þannig að ef gengið er of langt í einum þættinum kemur það niður á öðrum.

Við hönnun hitalagna úr plasti er mikilvægt að gera sér grein fyrir samspili hita, þrýstings, efnisþykktar röra og endingartíma. Ef t.d. ákveðin pípa endist í 20 ár við 70°C og 6 bara þrýsting, verður t.d. að lækka þrýstinginn í 5 bör og hitann í 60°C ef hún á að endast í 50 ár. Ef sama pípa á að þola hita sem er 80°C í 50 ár þarf e.t.v. að lækka þrýstinginn í 3 bör.

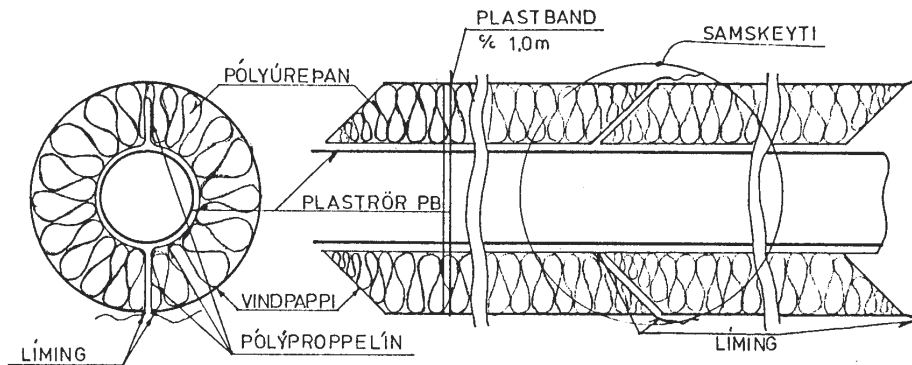
7.3.1.2. Eiginleikar einangrunar

Ein tegund einangrunar sem notuð hefur verið hér í sveitum undanfarin ár er n.k. samloka (tvær skálar) úr pólýúretani með tjörubornum pappa að utanverðu. Pólýpropýlen filma er sett innan á einangrunarskálarnar til varnar því að raki, sem kemst að pípunni eða úr henni komist í einangrunina. Rifa

er á einangrunarsamlokunni að neðan til að hleypa út raka eftir að vatn hefur flætt umhverfis pípunna. Önnur aðferð er að nota sammiðja pólýetýlen pípur.

Einangrunin kemur í 2 til 4 m lengjum og er fest á pípunna með plastböndum.

Einangrunin kemur í 2 til 4 m lengjum og er fest á pípunna með plastböndum.



Einangrun á plastpípu.

Mikilvægt er að pípan sé ekki lengi umflotin vatni. Tímabundið flóð kemur ekki að sök þar sem rakaprýstingurinn í heitari hluta einangrunarinnar heldur á móti rakastreymi inn að rörinu og þurrkar einangrunina þegar jarðvegurinn þornar.

Pólýúretan einangrunin heldur einangrunarhæfni sinni þó hún blotni tímabundið svo fremi hún brotni ekki niður.

Gera má ráð fyrir að vatnið í plastpípunni kólni talsvert í miklum rigningum, en ef jarðvegurinn er vel afvatnandi minnkar varmatap fljótt aftur eftir að stytir upp.

7.3.1.3. Súrefnisupptaka

Plastpípur hafa þann ókost að súrefni kemst í einhverjum mæli í gegnum pípuveggina og þar með í vatnið sem um þær streymir. Ennfremur leitar vatn í litlum mæli út í gegnum pípuvegginn og kemst þannig í pípuinangrunina ef ekki eru gerðar ráðstafanir eins og að setja vatnspétta filmu innan á pípuinangrunina, en magnið er það lítið að það ætti ekki að hafa mikil áhrif á einangrunina fyrr en að löngum tíma liðnum.

Upptaka súrefnis er hlutfallslega minni í víðum pípum en í grönnum og kemur þar til hlutfall yfirborðs pípunnar og vatnsinnihald. Unnt er að minnka súrefnisupptöku með því að setja einhvers konar vörn utan um pípunna, t.d. álþynnu eða súrefnishlíf úr plasti. PEX og PB pípur eru einu pípunar sem eru framleiddar með áfastri súrefnishlíf.

7.3.2. Samsetningar plastpípa

7.3.2.1. Stúfsuða

Stúfsuða eða bein samsuða er einkum notuð við samsetningu víðari pípa (>50 mm) úr HDPE, MDPE, PP og PB. Aðferðin felst í því að svokölluðum „spegli“ er komið fyrir á milli enda pípanna sem sjóða á saman. Spegillinn hitar upp enda pípanna og síðan er pípunum þrýst saman. Upphitunartíminn, hitinn og þrýstingurinn er valinn þannig að eðliseiginleikar upprunalega efnisins haldi sér eftir samsuðuna. Hitann og þrýstinginn verður að stilla og aðlaga hráefni pípunnar, þvermáli hennar og veggþykkt. Þetta er vandasamt verk og er unnið með sérstökum suðuvélum af þjálfuðum mönnum.

Suðuaðferðinni má skipta upp í nokkur þrep: Hið fyrsta er að slétta enda pípanna þannig að þeir falli þétt að speglinum allan hringinn. Þá eru endar pípanna þvegnir. Speglinum er síðan komið fyrir á milli enda pípanna og upphitun hefst. Pípunum er fyrst þrýst saman með töluverðu affli í tiltekinn tíma. Síðan er þrýstingurinn minnkaður um stund og fer sá tími eftir efnisþykktinni. Algeng mistök eru að þessi tími er hafður of stuttur þannig að brædda efnið er of „grunnt“ þegar pípunum er þrýst saman eftir upphitun. Þessi þrýstingur (suðuþrýstingurinn) má ekki vera of hár, en það veldur því að of mikið af efninu þrýstist til hliðar þannig að suðan verður of köld. Eftir upphitun er spegillinn fjarlægður eins fljótt og kostur er, svo bráðna plastið kólni ekki áður en endunum er þrýst saman. Þegar suðuþrýstingi er beitt skal auka þrýstinginn smátt og smátt, en ekki of snögg. Suðuþrýstingurinn er jafnhár þrýstingnum við upphaf hitunarinnar. Suðan þarf að fá að kólna í tiltekinn tíma og má ekki losa um spennuna of snemma til að suðan verði góð, þ.e. hafa sama styrk og heil pípa.

7.3.2.2. Rafbræðing

Rafbræðing er hraðvirkari suðuaðferð en hinar hefðbundnu stúf- eða múffusuður. Sérstök tengistykki, n.k. tvöfaldar tengimúffur með innsteyptum hitaþráðum nálægt yfirborði pípanna, eru sett á enda pípanna sem sjóða á saman. Rafstraumi er hleypt á rafhitaþræðina með því að tengja í vírenda sem standa út úr tengimúffunni.

Pípuendana þarf að jafna áður en suðan hefst þannig að þeir falli vel hvor að öðrum. Þegar rafstraumi er hleypt á þræðina hitna þeir nægilega mikið til að bræða endana saman. Valinn er upphitunartími og straumur í samræmi við efniseiginleika, stærð og þykkt pípanna. Unnt er að fá búnað fyrir rafsuðumúffur fyrir pípuviddir allt að 250 mm í þvermál.

7.3.2.3. Aðrar samsetningar

PEX pípur er ekki hægt að sjóða, en notuð eru tengi í stærðum upp í 50 mm (Ø40). Nota skal einungis tengi sem viðurkennd eru af framleiðanda pípanna.

7.3.2.4. Eftirlit með pípusuðu

Eins og áður segir er suða plastpípa vandasamt verk og skal það einungis unnið af framleiðendum pípanna eða sérstökum kunnáttumönnum með rétt tæki.

7.3.2.5. Þrýstiprófun

Þegar búíð er að sjóða pípunar saman skal þrýstiprófa þær með köldu vatni og skal þrýstingurinn vera 1,5 – faldur mesti notþrýstingurinn. Allar pípusuður skulu vandlega yfirfarnar þegar réttum þrýstingi er náð.

7.3.3. Lagning plastpípa

7.3.3.1. Meðferð og lagning plastpípa

Plastpípur í víddum 25 mm til 63 mm eru seldar á rúllum í allt að 250 m lengjum, 75 mm í allt að 150 m lengjum, en sverari pípur í 15 til 16 m lengdum. Varast skal að geyma pípur óvarðar fyrir sólarljósi í langan tíma.

Við lagningu plastpípa verður að forðast að draga þær eftir hvössu grjóti eða öðru, sem hefur beittar brúnir. Rispur geta dregið verulega úr endingu þeirra, en það fer nokkuð eftir gerð plastsins hve viðkvæmar pípunar eru gagnvart rispum.

Þegar búið er að sjóða pípunar saman eða tengja þær á annan hátt og þrýstiprófa þær skal leggja þær óþvingaðar í skurðinn þannig að ekki sé strekkt á þeim. Þær skal síðan einangra og sanda kringum þær.

Plastpípur má ekki hita með loga þannig að þær fari að glansa. Ef það gerist hefur plastið hitnað um of og pípan skaðast. Ef hita þarf pípunu við tengingar (sjá 7.3.2), skal það gert með breiðum loga, sem haldið er á stöðugri hreyfingu, stuttan tíma í einu. Hitaleiðni plastsins er mjög lítil, og verður það því að fá tíma til að hitna í gegn.

7.3.3.2. Jarðvinna

Velja skal pípustæði þar sem vatn leitar frá pípunni. Æskilegustu pípustæðin eru skurðbakki, vegkantur eða þar sem hraun eða annar opinn jarðvegur er undir. Ef ekki er kostur á því er mælt með því að pípan sé lögð í garð ofanjarðar. Þetta er til að minnka eins og kostur er að einangrunin blotni sérstaklega þar sem hlífin utan um einangrunina er ekki vatnsheld. Grafið skal fyrir pípunni þannig að minnst 400 mm jarðvegur sé ofan á einangruninni og minnst 100 mm niður fyrir neðri brún á henni. Lágmarksskurðbreidd skal vera 400 mm. Ekki má leggja pípunar í krappari boga en 100 sinnum þvermálið.

Þegar búið er að koma einangraðri pípunni fyrir í skurði skal setja minnst 100 mm sandlag kringum pípunu og fylla síðan yfir hana með uppgröfnu efni. Mesta kornastærð sandsins skal vera 8 mm.

7.3.3.3. Hitapensla

Þar sem hitaþanstuðull plastpípa er mjög hár (0,06 - 0,2 mm/m°C) þenjast þær mikið við upphitun. Við upphitun á pípunni í jörðu þrýstist pípan saman og verður fyrir varanlegri formbreytingu sem kemur ekki að sök. Þessi varanlega formbreyting á pípunni veldur því hins vegar, að ef pípan kólnar aftur verður togspenna í henni. Þetta veldur því, að ef pípan er tekin í sundur, dregst hún saman. Það getur því í sumum tilvikum þurft að ná í pípunu inn í fyllinguna til að geta tengt endana saman.

Heimildaskrá

Fjernvarme 26.1, projektrapport. Energiministeriets energiforskningsprogram Danmark, nóvember 1984.

2. Plastic pipes for water supply and sewage disposal. Neste, 1989.

3. Lögstör rör, manual.

4. ABB I.C.Möller, manual.

5. Starpipe, manual.

Athugasemdalisti

Ný mynd kemur í kafla 7.2.4.1 og 7.2.8.2,

Mynd í kafla 7.2.4.3 fellur niður en mynd í kafla 7.2.4.1 getur einnig átt við um tvöfalda þéttingu.

Texti undir mynd í kafla 7.2.4.1 ætti að vera “Hólkasamsetning”

Hitaveituhandbók Samorku

Ragnar Gunnarsson
Svavar Tr. Óskarsson

8. Kafli

Hústengingar og stjórnþæki

auk þess sömdu:

Jakob S. Friðriksson kafla 8.5.1. um rúmmálsþæla
og Sölvi Sólbergsson kafla 8.5.2. um orkumæla

Júní 1992

EFNISYFIRLIT:

8.1.	Inngangur	4
8.2.	Tengigrindur	5
8.2.1.	Almennar forsendur	5
8.2.2.	Áhleyting og frágangur	5
8.2.3.	Rekstur hitakerfa.....	6
8.2.4.	Tengigrindur hitaveitna – yfirlit.....	8
8.3.	Einlínmyndir hitakerfa.....	11
8.3.1.	Einfalt kerfi, bein upphitun og neysluvatn, snjóbræðslu.....	12
8.3.2.	Einfalt kerfi, bein upphitun og neysluvatn, gólfgeisli frá ofni	13
8.3.3.	Tvöfalt kerfi, gólfhitalögn, bein upphitun og neysluvatn.....	14
8.3.3.	.....	15
8.3.4.	Tvöfalt kerfi, bein upphitun og varmaskiptir á neysluvatn	15
8.3.5.	Einfalt kerfi, bein upphitun og neysluvatn með skerpingu á snjóbræðslu.	16
8.3.5.	.....	17
8.3.6.	Einfalt kerfi, óbein upphitunmeð varmaskipti á ofnakerfi.....	17
8.4.	NÚMERASKRÁ Á TENGIHLUTUM	18
8.4.1.	Númeraskrá á búnaði hitaveitna.....	18
8.4.2.	Númeraskrá á búnaði hita- og neysluvatnskerfa	20
8.5.	MÆLIBÚNAÐUR – VAL	24
8.5.1.	Rúmmálsmælar.....	24
8.5.1.1.	Rúmmálsmælar - almennt	24
8.5.1.2.	Hugtök	25
8.5.1.3.	Stærð mæla.....	26
8.5.1.4.	Val á mælum	27
8.5.1.5.	Uppsetning og umgengni við mæla	29
8.5.2.	Orkumælar	30
8.5.2.1.	Reikniverk	30
8.5.2.2.	Rúmmálsmælir	30
8.5.2.3.	Hitanemar.....	31
8.5.2.4.	Mæliaðferð	32
8.5.3.	Hemlar - val	34
8.6.	Snjóbræðsla.....	36
8.6.1.	Snjóbræðslulögn.....	36
8.6.2.	Hæfileg stærð bakrásar – snjóbræðslu.....	37
8.6.3.	Afkastageta snjóbræðslu.....	38

8.7. Hagnýtar töflur og leiðbeiningar	39
8.7.1. Hagnýtar upplýsingar um vatnsnotkun	40
8.7.2. Hlutfallsleg vatnsnotkun – dæmi	41
8.7.3. Orkuinnihald vatns	42
8.7.4. Jafnvægisstilling hitakerfa – markdeiling	43
8.8. Heimildir:.....	45

8.1. Inngangur

Þessi kafli er saminn sem hagnýtar leiðbeiningar til handa þeim starfsmönnum hitaveitna sem sjá um uppsetningu og viðhald á tengigrindum hitaveitna. Kaflanum er ætlað að sýna hvernig uppsetningu tengigrinda er háttað á ýmsum stöðum ásamt því að draga fram þá reynslu og þekkingu sem safnast hefur gegnum tíðina.

Höfundar þessa kafla hafa haldið námskeið á vegum SÍH og Lagnafélags Íslands um stjórnþæki og tengingar. Í tengslum við þessi námskeið hafa verið unnin námskeiðsgögn sem kaflinn byggir m.a. á, ásamt þeirri reynslu og upplýsingum sem safnast hafa á námskeiðum þessum víða um land. Á meðan á samningu kaflans stóð safnaði skrifstofa SÍH nánari upplýsingum frá öllum hitaveitum landsins og er þeim komið fyrir í kaflanum. Við samningu kaflans var hafður til hliðsjónar sambærilegur kafli frá samtökum danskra hitaveitna.

Þar sem ekki eru fyrir hendi, svo vitað sé, skilgreindar rekstrarkröfur er varða afhendingartíma á heitu vatni til notenda, byggir kaflinn á þeim almennu forsendum að hitastig vatns sé allt að 90°C og að þrýstingur framrása sé 1,5 bar hærra en þrýstingur bakrása. Fyrsti hluti kaflans fjallar um tengigrindur hitaveitna eins og þær eru nú. Næsti hluti fjallar um einlínmyndir hitakerfa þar sem leitast er við að sýna þær tegundir tengigrinda og hitakerfa sem algengastar eru um þessar mundir, ásamt þeim útfærslum sem taldar eru bestar. Síðan er kafli um mælabúnað og val á mælum, hemlum og orkumælum. Næsti kafli er um snjóbræðslukerfi. Að síðustu fylgja hagnýtar töflur og leiðbeiningar. Þær ber að nota frekar sem þumalputtareglur en sem forsendur fyrir hönnun eða fræðilegum útreikningum.

Kaflinn er einfaldur en ítarlegur og til þess að hann nýtist sem hagnýtt verkfæri verða menn að kynna sér innihaldið og koma því heim og saman við eigið umhverfi.

8.2. Tengigrindur

8.2.1. Almennar forsendur

Almennar forsendur fyrir útfærslu tengigrinda, sem sýndar eru á yfirlitsmyndum, eru að hitastig vatns frá hitaveitu sé allt að 90°C og þrýstingur framrása a.m.k. 1,5 bar hærri en bakrásaþrýstingur. Hámark lokunarþrýstings er 10 bar. Við rekstur dreifikerfis er leitast við að halda þrýstingi heita vatnsins hærri en kalda vatnsins.

Tilgangur með uppsetningu tengigrinda á vegum hitaveitna við húskerfi, er að skapa staðlaða umgjörð um mæli- og stjórnbúnað veitunnar sem tryggja á neytendum öruggan og hagkvæman aðgang að heitu vatni, að uppfylltum ákveðnum skilyrðum sem getið er í reglugerð viðkomandi hitaveitu.

Oftast samanstendur tengigrind af þremur hlutum, síu, hemla- og/eða mælibúnaði. Eins og fram kemur á yfirlitsmyndum er útfærsla tengigrinda hjá hitaveitum mjög mismunandi, og miðast oftast við staðbundin skilyrði hjá hverri veitu (sölukerfi, bein eða óbein vatnsnotkun ofl.) Tengihlutir í tengigrindum eru til að tryggja ákveðin afhendingarskilyrði á vatni til notenda og er tilgangi þeirra lýst í númeraskrá. Hjá sumum hitaveitum er ákveðnum búnaði komið fyrir í dreifikerfinu, sem á að koma í stað tengihluta í tengigrind eins og t.d. þrýstijafnara hjá Hitaveitu Mosfellsbæjar. Á sama hátt er hjá einstaka hitaveitum, gerðar kröfur til notenda um að slíkum búnaði sé komið fyrir í húsveitukerfi, og er þess þá getið í reglugerð hitaveitunnar. Gera þarf meiri kröfur til gæða tengihluta í tengigrindum hitaveitna en almennt er í hitalögnum, vegna hærri þrýstings og erfiðari rekstrarskilyrða. Við uppsetningu þarf að tryggja að auðvelt sé að þjónusta búnaðinn og að tengigrindin valdi ekki óþarfa óþægindum bæði er varðar umfang og rennslisþjóð.

8.2.2. Áhleypling og frágangur

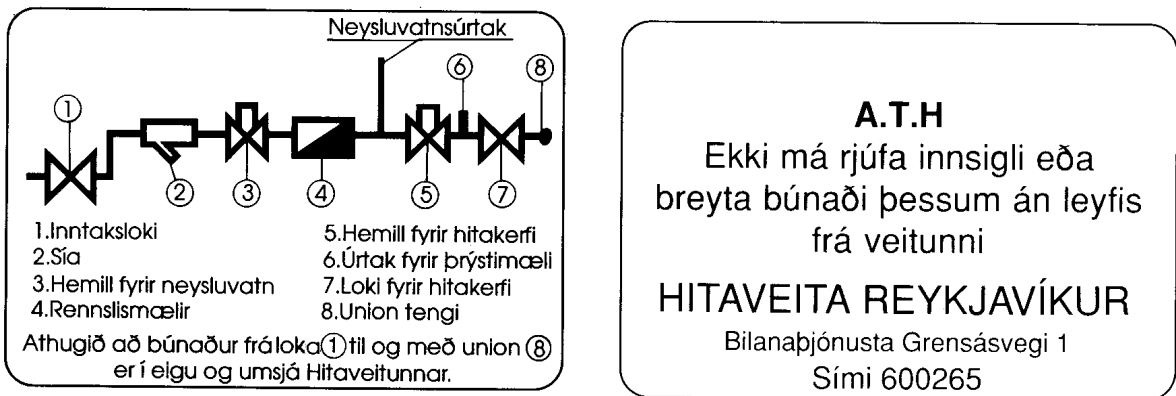
Að uppfylltum kröfum hitaveitunnar, hefst áhleypling með hreinsun á heimæð. Við útskolun er oftast notaður þar til gerður hólkur sem gengur upp í síuhúsið (tæki nr. 2 í númeraskrá), og tryggir að óhreinindi berist ekki framhjá síuhúsi að mælabúnaði. Eftir áhleypingu á hitakerfi, er hámarksrennsli oftast takmarkað með stillingu hemla (tækni nr. 3 og 5). Sú stilling á að miðast við þau skilyrði (þrýsting) frá dreifikerfi sem ætla má að séu til staðar við hámarks álag veitunnar, áþekkt jafnvægisstillingu hitakerfa.

Markmið með hemlun er almennt tvíþætt:

1. Að takmarka hámarksrennsli við stærð rennismælis og tilgreindan afltopp.
2. Að jafna hlutfallslegt rennsli til notenda við áætlað hámarksálag, með hliðsjón af staðsetningu notandans á veitusvæðinu.

Innstíllt hámarksrennsli um hemla og frágangur rennismæla er almennt innsiglað. Rétt er að leiðbeiningar séu áfastar tengigrind, þar sem kemur fram númer og heiti tengihluta, ásamt þjónustusíma viðkomandi hitaveitu.

Mynd 8.2.1 Dæmi um leiðbeiningar á tengigrind frá Orkuveitu Reykjavíkur



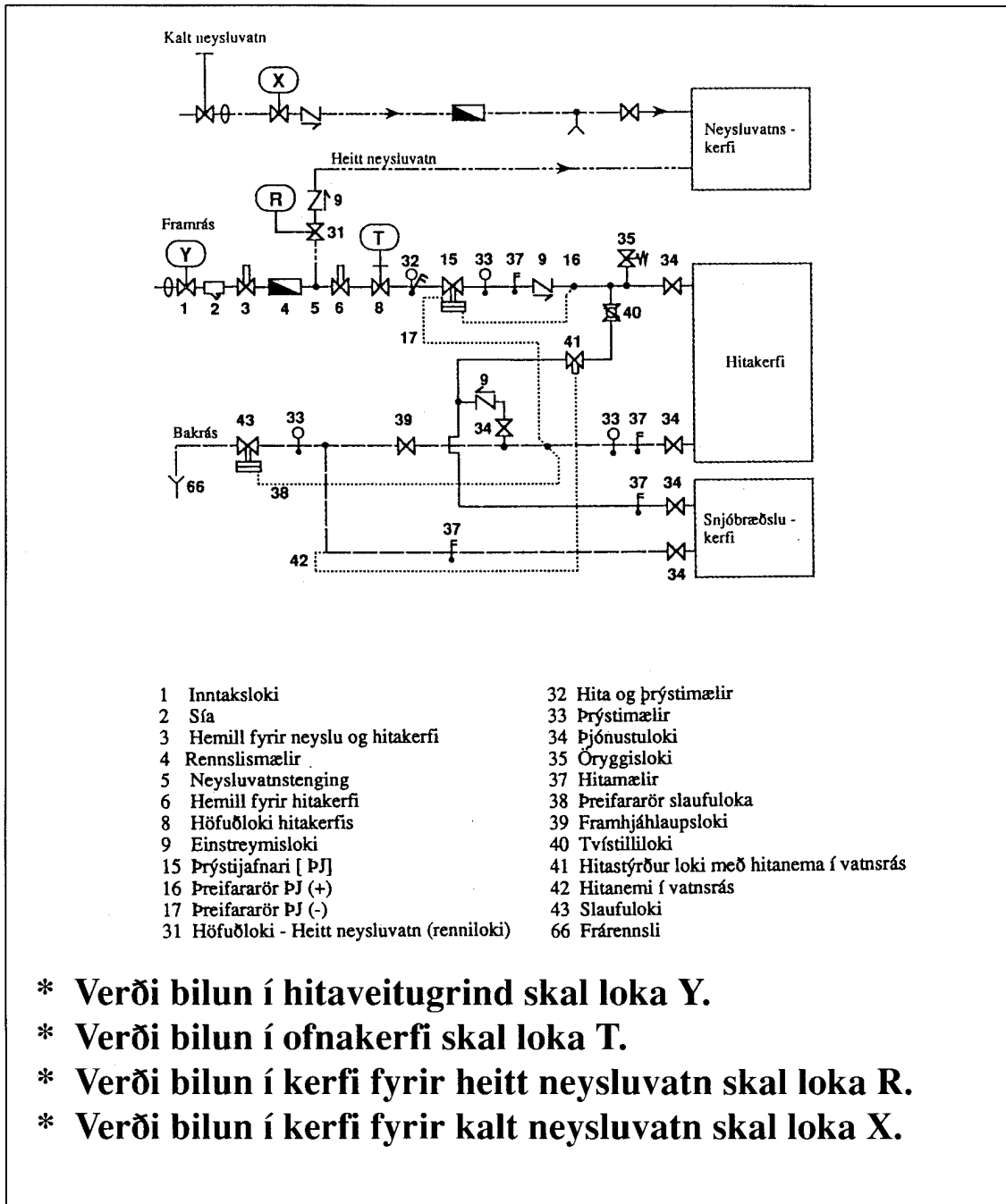
8.2.3. Rekstur hitakerfa.

Rekstrarskilyrði hitakerfa markast að miklu leyti af tengi- og afhendingarmáta frá viðkomandi hitaveitu. Grundvallarþáttur hans er að sjálfsögðu hitastig og þrýstingur heita vatnsins frá tengigrind og stöðugleiki þess á hverjum tíma. Stjórnþúnaði hitakerfis er ætlað að stýra rennsli vatnsins frá tengigrind og tryggja að lagnakerfið geti flutt það vatnsmagn sem þarf, að og frá ofnum.

Áríðandi er að notendur og þjónustuaðilar geti séð á auðveldan hátt hvernig lokað er fyrir ákveðna hluta lagna kerfisins m.a. með því að merkja höfuðloka og skrá rekstrarleiðbeiningar, sem geymdar eru í tryggum umbúðum við húsveitugrind.

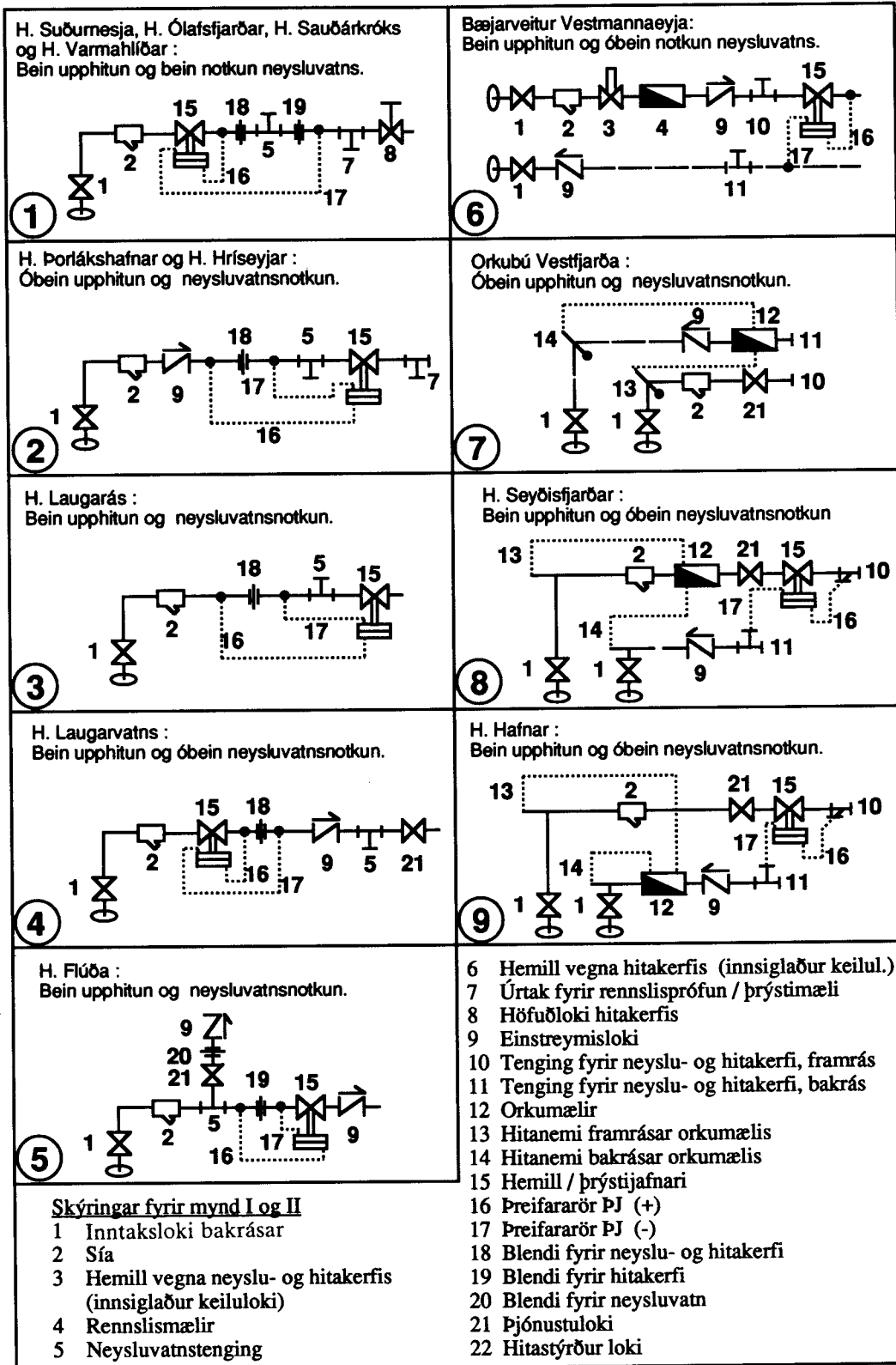
Mynd 8.2.2 Dæmi um leiðbeiningar á tengigrind og húsveitugrind

Til að fá góða yfirsýn yfir tengi-og húsveitugrind og vatnsveitukerfin er gott að hengja upp á vegg hjá grindinni hliðstæða mynd og sýnd er hér að neðan. Nauðsynlegt er að staðsetja myndina næst þeim stað sem mest not er fyrir hana, merkja öll tæki og mikilvægustu loka með merkispjöldum og leiðslur með plastvafningum í mismunandi litum, sem gefa til kynna innihaldið og í hvaða átt vatnið rennur. Slíkar merkingar hafa e.t.v. ekki mikið að segja fyrir þá sem eru kunnugastir kerfinu en það getur hjálpað ókunnugum, sem uppgötva leka eða önnur óhöpp, að bregðast rétt við.

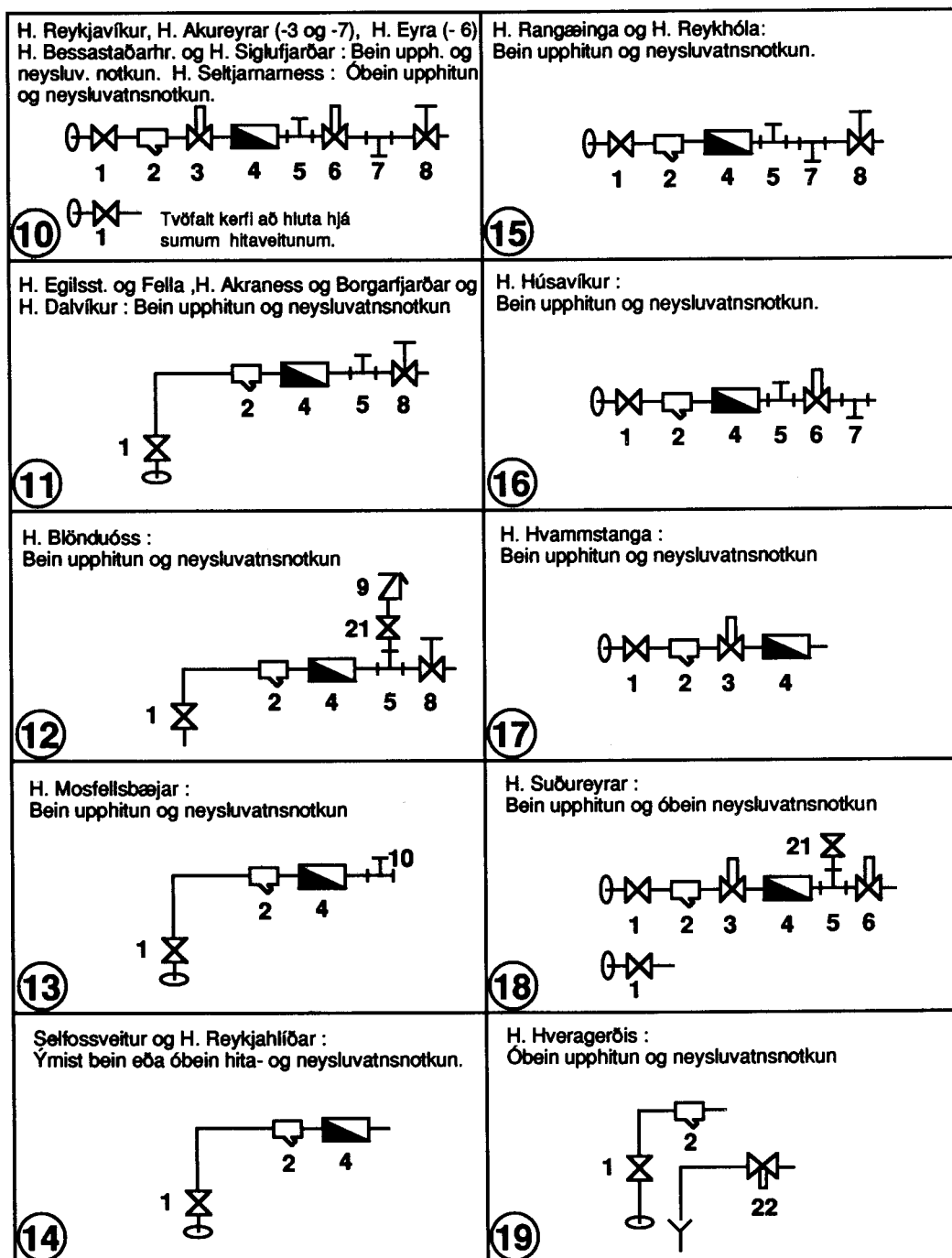


8.2.4. Tengigrindur hitaveitna – yfirlit

MYND 8.2.3 TENGIGRINDUR HITAVEITNA I



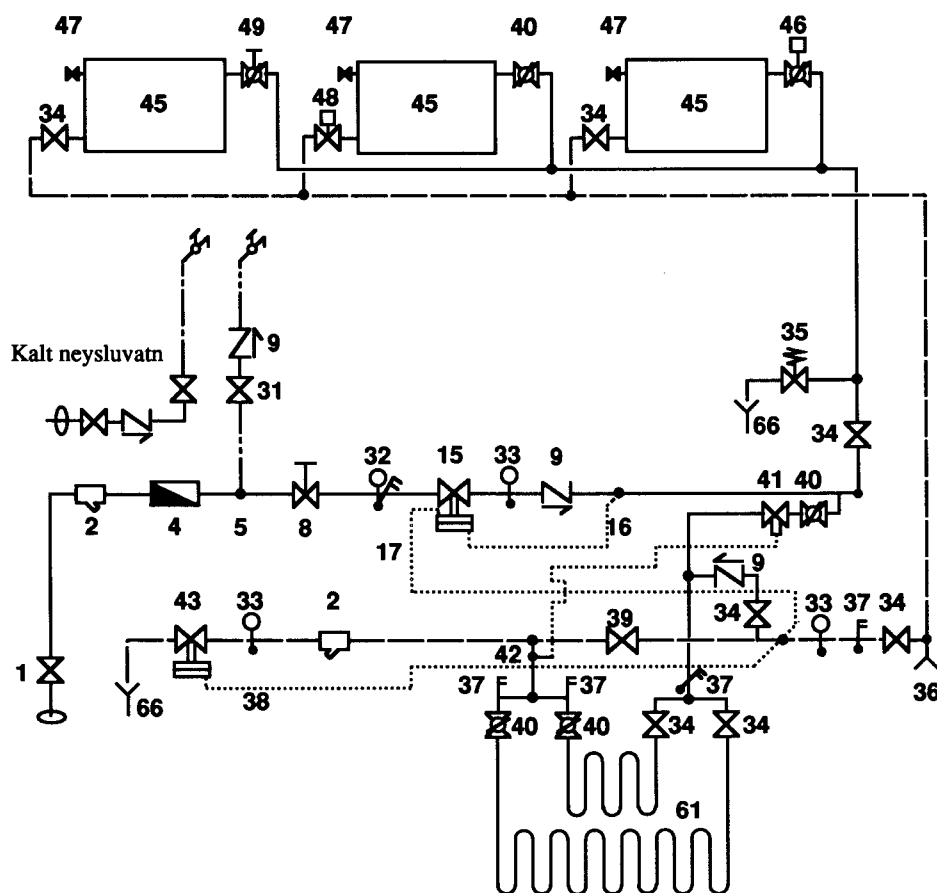
MYND 8.2.4 TENGIGRINDUR HITAVEITNA II



8.3. Einlínummyndir hitakerfa

8.3.1 Einfalt kerfi, bein upphitun og neysluvatn, snjóbræðsla

Einfalt dreifikerfi þ.e. bakrásarvatn fer ekki til hitaveitunnar aftur. Gegnumstreymiskerfi, bein upphitun þ.e. ekki er notaður varmaskiptir. Ennfremur er bein notkun á neysluvatni. Eftir áhleypingu hitaveitumanns (sjá frágang tengigrindar) og jafnvægisstillingu þípulagningarmanns (sjá jafnvægisstillingu hitakerfa) fer framrásarvatnið inn á ofna og stjórnast ýmist af herbergishita, hita bakrásarvatns eða með handstillingu. Ofnarnir gefa frá sér varma, við það kólnar vatnið og fer í bakrásarlögn. Nýting varmans ræðst af stærðum ofna og jafnvægisstillingu kerfis. Áður en bakrásarvatnið fer í gegnum slaufuloka út í fráveitu er það leitt í gegnum snjóbræðslu. Í mestu kuldum þarf að skerpa á þessu kerfi með sjálfvirkum loka.

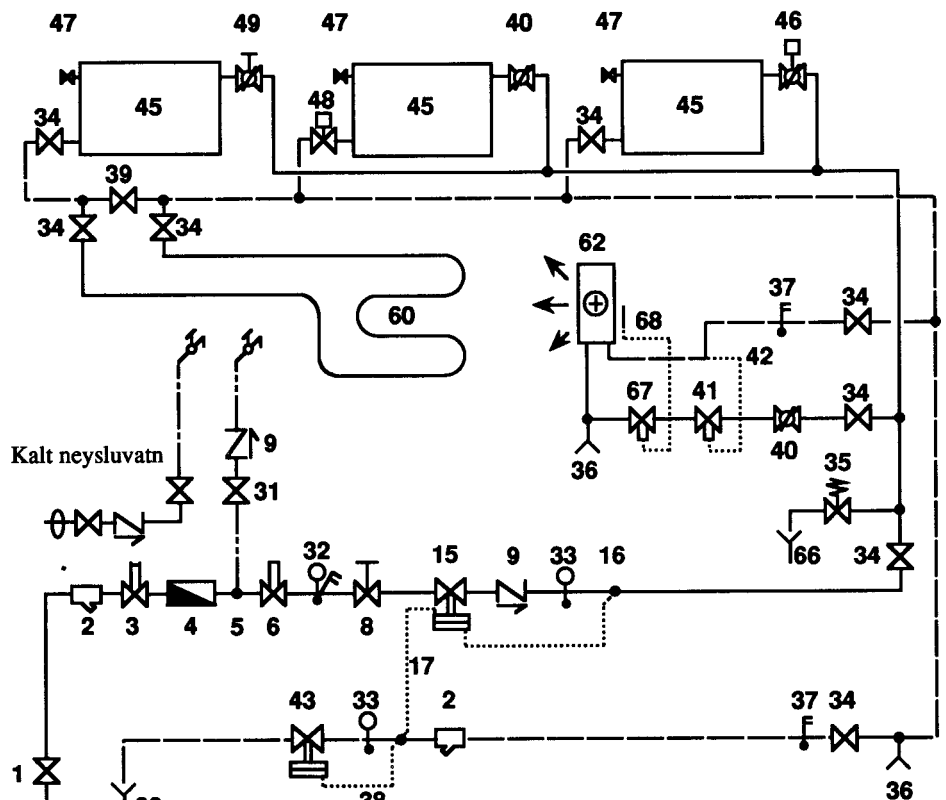


- | | | | |
|----|--|----|--|
| 1 | Inntakslöki | 37 | Hitamælir |
| 2 | Sía | 38 | Þreifararör slaufuloka |
| 4 | Rennslismælir | 39 | Framhjáhlaupsloki |
| 5 | Neysluvatnstenging | 40 | Tvístillilöki |
| 8 | Höfuðloki hitakerfis | 41 | Hitastýrður loki m. hitanema. í vatnsrás |
| 9 | Einstreymisloki | 42 | Hitamælir í vatnsrás |
| 15 | Þrýstijafnari [PJ] | 43 | Slaufuloki |
| 16 | Þreifararör PJ (+) | 45 | Ofnar |
| 17 | Þreifararör PJ (-) | 46 | Hitastýrður framrásarloki |
| 31 | Höfuðloki - Heitt neysluvatn (rennilöki) | 47 | Loftskrúfa |
| 32 | Hita og þrýstímælir | 48 | Hitastýrður bakrásarloki |
| 33 | Þrýstímælir | 49 | Handstýrður ofnloki |
| 34 | Þjónustuloki | 61 | Snjóbræðsla |
| 35 | Öryggisloki | | |
| 36 | Tæming (áfullig) | | |

8.3.1. Einfalt kerfi, bein upphitun og neysluvatn, snjóbræðslu

8.3.2 Einfalt kerfi, bein upphitun og neysluvatn, gólfgeisli frá ofni

Einfalt dreifikerfi þ.e. bakrásarvatn fer ekki til hitaveitunnar aftur. Gegnumstreymiskerfi, bein upphitun þ.e. ekki er notaður varmaskiptir. Ennfremur er bein notkun á neysluvatni. Eftir áhleypingu hitaveitumanns (sjá frágang tengigrindar) og jafnvægisstillingu þápuþagningarmanns (sjá jafnvægisstillingu hitakerfa) fer framrásarvatnið inn á ofna og hitablásara sem stjórnað ymist af herbergishita, hita bakrásarvatns eða með handstillingu. Frá baðofni er bakrásin leidd með framhjáhlaupi út í stutta gólfhitalögn og síðan aftur inn á aðal bakrásarlögnina. Ofnarnir og hitablásari gefa frá sér varma ásamt gólfgeislanum og við það kólnar vatnið og fer í bakrásarlögn. Nýting varmans ræðst af stærð ofna, hitablásara og jafnvægisstillingu kerfis. Að lokum fer vatnið í gegnum slaufuloka í fráveitu.



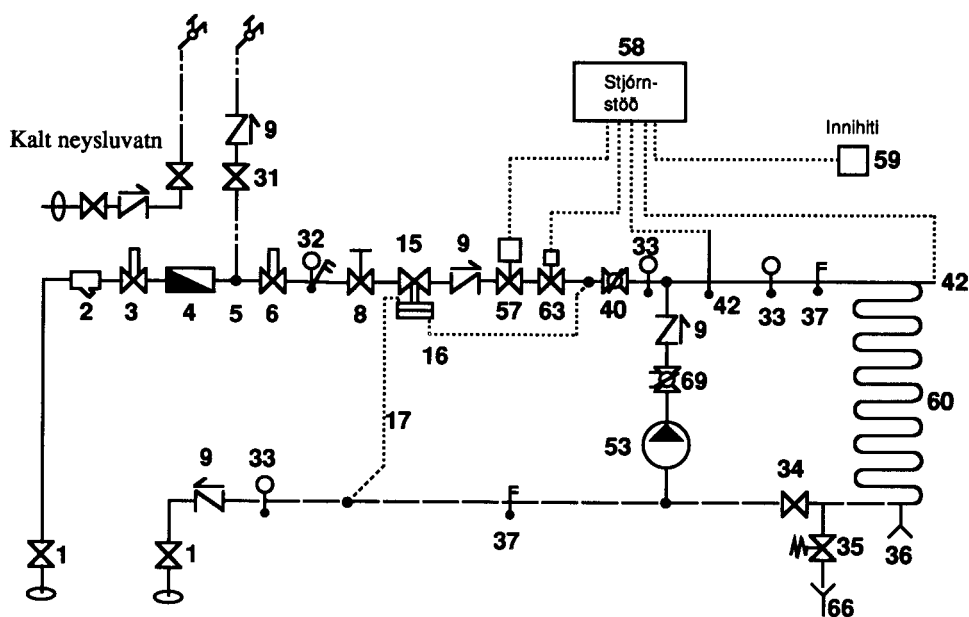
- 1 Inntaksloki
- 2 Sía
- 3 Hemill fyrir neyslu- og hitakerfi
- 4 Rennslismælir
- 5 Neysluvatnstenging
- 6 Hemill fyrir hitakerfi
- 8 Höfuðloki hitakerfis
- 9 Einstreymislöki
- 15 Þrýstijafnari [ÞJ]
- 16 Þreifararör ÞJ (+)
- 17 Þreifararör ÞJ (-)
- 31 Höfuðloki - Heitt neysluvatn (rennilöki)
- 32 Hita og þrýstímælir
- 33 Þrýstímælir
- 34 Þjónustulöki
- 35 Öryggislöki

- 36 Tæming (áfylling)
- 37 Hitamælir
- 38 Þreifararör slaufuloka
- 39 Framhjáhlaupslöki
- 40 Tvístíllöki
- 41 Hitastýrður löki með hitanema í vatnsrás
- 42 Hitanemi í vatnsrás
- 43 Slaufulöki
- 45 Ofnar
- 46 Hitastýrður framrásarlöki m/ tvístillingu
- 47 Loftskrüfa
- 48 Hitastýrður bakrásarlöki
- 49 Handstýrður ofnlöki m/ tvístillingu
- 60 Gólfhitalögn
- 62 Hitablásari
- 66 Frárennsli
- 67 Hitastýrður löki með hitanema í loftrás
- 68 Hitanemi í loftrás.

8.3.2. Einfalt kerfi, bein upphitun og neysluvatn, gólfgeisli frá ofni

8.3.3 Tvöfalt kerfi, gólfhitalögn, bein upphitun og neysluvatn

Tvöfalt dreifikerfi þ.e. bakrásarvatnið fer til hitaveitunnar aftur. Hringrásar-kerfi, bein upphitun þ.e. ekki er notaður varmaskiptir. Ennfremur bein notkun á neysluvatni. Eftir áhleypingu hitaveitumanns (sjá frágang tengigrindar) og jafnvægisstillingu pípulagningarmanns (sjá jafnvægisstillingu hitakerfis) fer framrásarvatnið inn á gólfhitalögn sem verður að vera blandað bakrásarvatni. Hiti framrásarvatnsins þarf að vera jafn til að forðast óþarfa spennur í upphituum gólfplötum. Þá má vatnið ekki fara heitara inn á geislahitunarþípurar en 60°C. Yfirálagsvörn verður að vera á slíkum kerfum sem lokar örugglega fyrir rennsli heita vatnsins ef eitthvað fer úrskeiðis. Að síðustu fer vatnið í gegnum loka á bakrennsli hitaveitunnar.

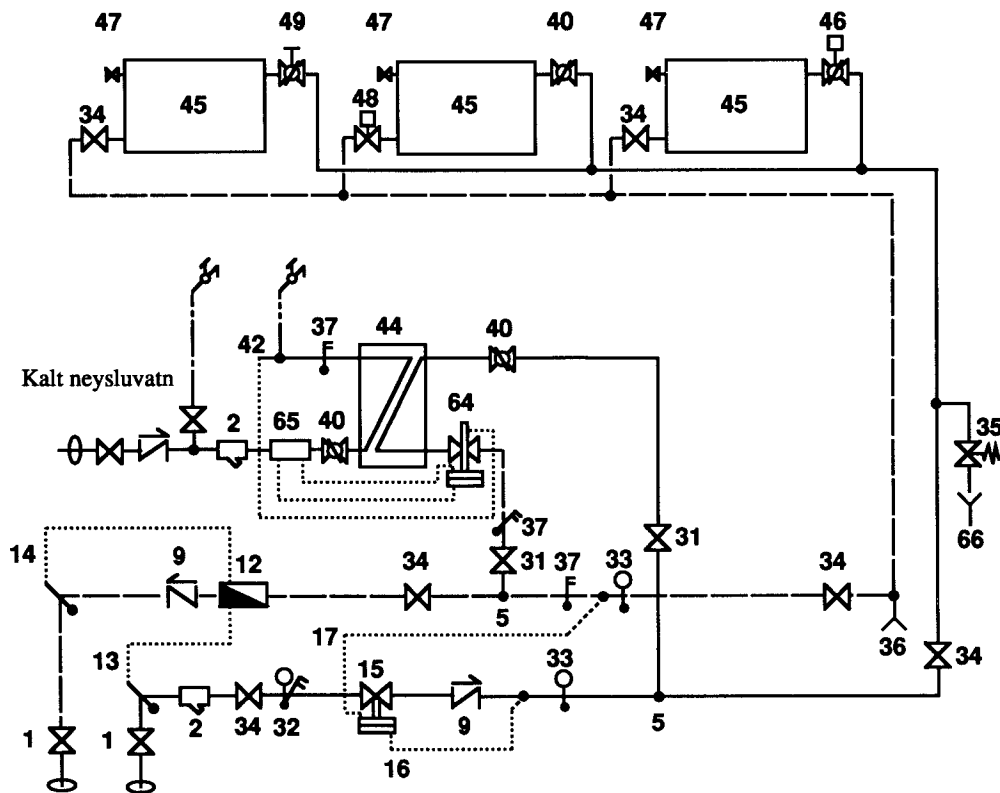


- | | |
|---|---------------------------------|
| 1 Inntaksloki | 34 Þjónustuloki |
| 2 Sía | 35 Öryggisloki |
| 3 Hemill fyrir neyslu- og hitakerfi | 36 Tæming (áfylling) |
| 4 Rennslismælir | 37 Hitamælir |
| 5 Neysluvatnstenging | 40 Tvístilliloki |
| 6 Hemill fyrir hitakerfi | 42 Hitanemi í vatnsrás |
| 8 Höfuðloki hitakerfis | 53 Dæla |
| 9 Einstreymisloki | 57 Móturloki |
| 15 Þrýstijafnari [ÞJ] | 58 Stjórnstöð |
| 16 Þreififarör ÞJ (+) | 59 Hitanemi í umhverfi |
| 17 Þreififarör ÞJ (-) | 60 Gólfhitalögn |
| 31 Höfuðloki - Heitt neysluvatn (renniloki) | 63 Segullloki |
| 32 Hita og þrýstimælir | 66 Frárennsli |
| 33 Þrýstimælir | 69 Tvístilliloki með mælistátum |

8.3.3. Tvöfalt kerfi, gólfhitalögn, bein upphitun og neysluvatn

8.3.4 Tvöfalt kerfi, bein upphitun og varmaskiptir á neysluvatni

Tvöfalt dreifikerfi þ.e. bakrásarvatn fer til hitaveitunnar aftur. Gegnumstreymiskerfi, bein hitun þ.e. ekki er notaður varmaskiptir fyrir ofnakerfið. Varmaskiptir er á neysluvatni þ.e. vegna tæknilegra rekstrarskilyrða er ekki leyft að nýta vatnið beint. Eftir áhleypingu hitaveitumanns (sjá frágang tengigrindar) og jafnvægisstillingu þpulgningarmanns (sjá jafnvægisstillingu hitakerfa) fer framrásarvatnið inn á ofna sem stjórnast ýmist af : Herbergishita, hita bakrásarvatns eða handstillingu. Ofnarnir gefa frá sér varma, við það kólnar vatnið og fer í bakrásarlögn. Nýting varmans ræðst af stærð ofna og jafnvægisstillingu kerfis. Að síðustu fer vatnið í gegnum orkumælir í bakrás veitunnar.

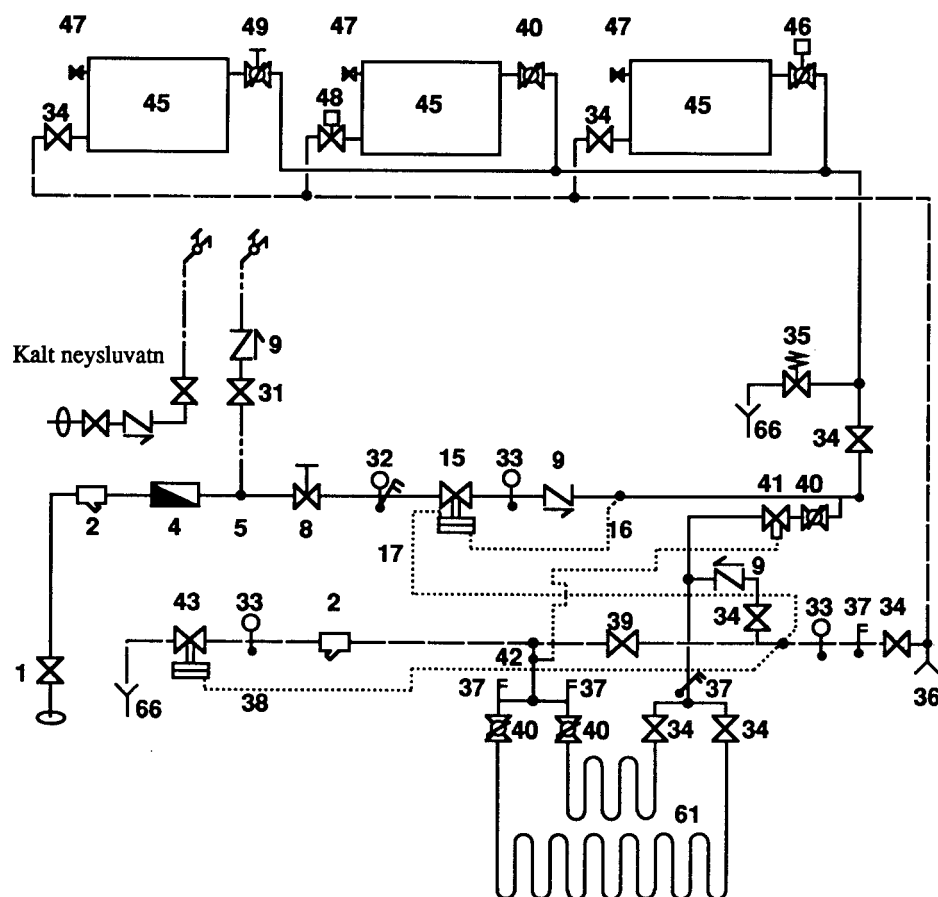


- | | | | |
|----|--|----|---|
| 1 | Inntaksloki | 36 | Tæming (áfylling) |
| 2 | Sía | 37 | Hitamælir |
| 5 | Neysluvatnstenging | 40 | Tvístilliloki |
| 9 | Einstreymisloki | 42 | Hitanemi í vatnsrás |
| 12 | Orkumælir | 44 | Neysluvatns varmaskiptir |
| 13 | Hitanemi, framrás orkumælis | 45 | Ofnar |
| 14 | Hitanemi, bakrás orkumælis | 46 | Hitastýrður framrásarloki m/ tvístillingu |
| 15 | Prýstijafnari [PJ] | 47 | Loftskrúfa |
| 16 | Preifararör PJ (+) | 48 | Hitastýrður bakrásarloki |
| 17 | Preifararör PJ (-) | 49 | Handstýrður ofnloki m/ tvístillingu |
| 31 | Höfuðloki - Heitt neysluvatn (renniloki) | 64 | Hita og rennslisstýrður stjórnloki. |
| 32 | Hita og þrýstimælir | 65 | Rennslismemi fyrir stjórnloka nr. 64 |
| 33 | Þrýstimælir | 66 | Frárennsli |
| 34 | Þjónustuloki | | |
| 35 | Öryggislloki | | |

8.3.4. Tvöfalt kerfi, bein upphitun og varmaskiptir á neysluvatni

8.3.5 Einfalt kerfi, bein upphitun og neysluvatn með skerpingu á snjóbræðslu

Einfalt dreifikerfi þ.e. bakrásarvatn fer ekki til hitaveitunnar aftur. Gegnumstreymiskerfi, bein upphitun þ.e. ekki er notaður varmaskiptir. Ennfremur er bein notkun á neysluvatni. Eftir áhleypingu hitaveitumanns (sjá frágang tengigrindar) og jafnvægisstillingu þáslagningarmanns (sjá jafnvægisstillingu hitakerfa) fer framrásarvatnið inn á ofna og stjórnast ýmist af herbergishita, hita bakrásarvatns eða með handstillingu. Ofnarnir gefa frá sér varma, við það kólnar vatnið og fer í bakrásarlögn. Nýting varmans ræðst af stærðum ofna og jafnvægisstillingu kerfis. Áður en bakrásarvatnið fer í gegnum slaufuloka út í fráveitu er það leitt í gegnum snjóbræðslu. Í mestu kuldum þarf að skerpa á þessu kerfi með sjálfvirkum loka.

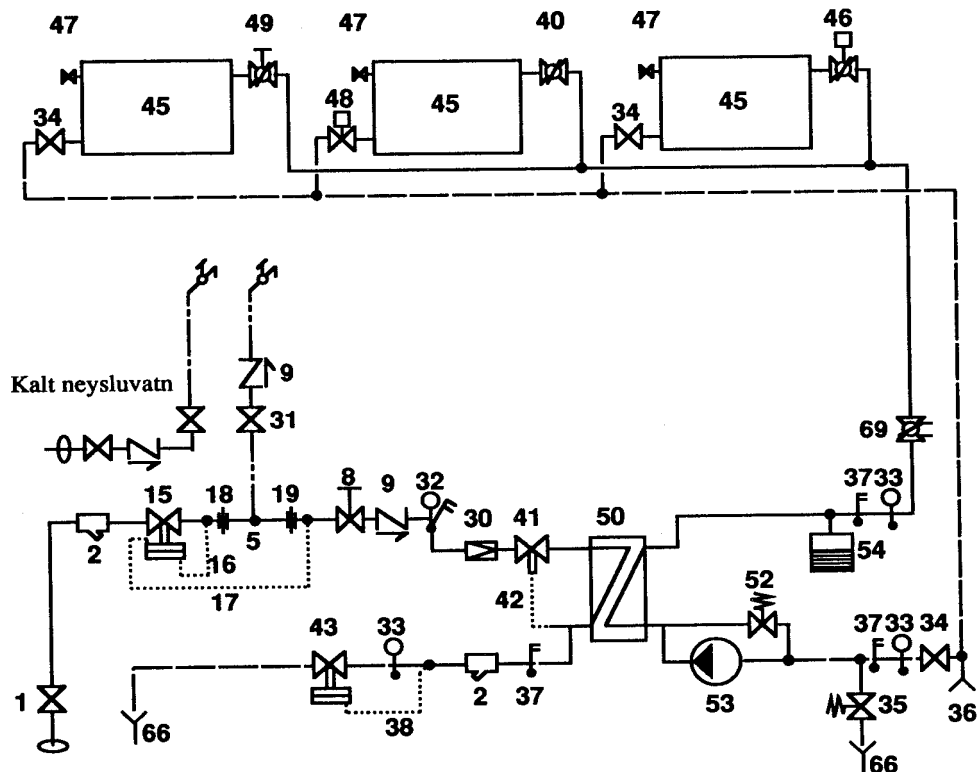


- | | |
|---|---|
| 1 Inntaksloki | 37 Hitamælir |
| 2 Sía | 38 Þreifararör slaufuloka |
| 4 Rennslismælir | 39 Framhjáhlaupsloki |
| 5 Neysluvatnstengi | 40 Tvístilliloki |
| 8 Höfuðloki hitakerfis | 41 Hitastýrður loki m. hitanema. í vatnsrás |
| 9 Einstreymisloki | 42 Hitamælir í vatnsrás |
| 15 Þrýstijafnari [PJ] | 43 Slaufuloki |
| 16 Þreifararör PJ (+) | 45 Ofnar |
| 17 Þreifararör PJ (-) | 46 Hitastýrður framrásarloki |
| 31 Höfuðloki - Heitt neysluvatn (renniloki) | 47 Loftskrífa |
| 32 Hita og þrýstimælir | 48 Hitastýrður bakrásarloki |
| 33 Þrýstimælir | 49 Handstýrður ofnloki |
| 34 Þjónustuloki | 61 Snjóbræðsla |
| 35 Öryggisloki | 66 Frárennsli |
| 36 Tæming (áfyllig) | |

8.3.5. Einfalt kerfi, bein upphitun og neysluvatn með skerpingu á snjóbræðslu

8.3.6 Einfalt kerfi, óbein upphitun með varmaskipti á ofnakerfi

Einfalt dreifikerfi þ.e. bakrásarvatn fer ekki til hitaveitunnar aftur. Hringrásarkerfi, óbein hitun þ.e. varmaskiptir er notaður fyrir ofnakerfið. Bein notkun á neysluvatni. Eftir áhleypingu hitaveitumanns (sjá frágang tengigrindar) og jafnvægisstillingu pípuþagningarmanns (sjá jafnvægisstillingu hitakerfa) fer framrásarvatnið inn á varmaskiptir hitar upp bakrásarvatnið frá ofnakerfi. Dæla sér um að koma því upphituðu inn á framrás ofnakerfis og inn á ofna sem stjórnast ýmist af herbergishita, hita bakrásarvatns eða með handstillingu. Ofnarnir gefa frá sér varma, við það kólnar vatnið og fer í bakrásarlögn. Nýting varmans ræðst af stærð ofna, varmaskiptis og jafnvægisstillingu kerfis. Bakrennsli hitaveitu kemur frá varmaskiptinum og fer síðan í gegnum slaufuloka og út í fráveitu.



- | | |
|---|---|
| 1 Inntaksloki | 37 Hitamælir |
| 2 Sía | 38 Preifararör slaufuloka |
| 5 Neysluvatnstenging | 40 Tvístilliloki |
| 8 Höfuðloki hitakerfis | 41 Hitastýrður loki með hitanema í vatnsrás |
| 9 Einstreymisloki | 42 Hitanemi í vatnsrás |
| 15 Þrýstijafnari [PJ] | 43 Slaufuloki |
| 16 Preifararör PJ (+) | 45 Ofnar |
| 17 Preifararör PJ (-) | 46 Hitastýrður framrásarloki |
| 18 Blendi fyrir neyslu- og hitakerfi | 47 Loftskrúfa |
| 19 Blendi fyrir hitakerfi | 48 Hitastýrður bakrásarloki |
| 30 Þrýstiminnkari | 49 Handstýrður ofnloki |
| 31 Höfuðloki - Heitt neysluvatn (renniloki) | 50 Varmaskiptir fyrir hitakerfi |
| 32 Hita og þrýstimælir | 52 Sjálfvirkur framhjáhlaupsloki |
| 33 Þrýstimælir | 53 Dæla |
| 34 Þjónustuloki | 54 Þensluker (lokað) |
| 35 Öryggisloki | 66 Frárennsli |
| 36 Tæming (áfylling) | 69 Tvístilliloki með mælistútum |

8.3.6. Einfalt kerfi, óbein upphitun með varmaskipti á ofnakerfi

8.4. NÚMERASKRÁ Á TENGIHLUTUM

8.4.1. Númeraskrá á búnaði hitaveitna

1. Inntaksloki (Frammrennsli/bakrennsli)

Lokinn er á enda heimæðar staðsettur sem næst inntaksstað. Oftast notaður kúluloki, en þeir geta valdið þrýstihöggi við hraðlokun. Hægt er að velja mismunandi þrengingu í lokhúsi.

2. Sía

Inntakssíu er ætlað að tryggja að óhreinindi sem stöðugt berast frá dreifikerfi fari ekki í búnað notenda. Reynt er að sjá til þess, að sem minnst mótstaða sé í síuhúsi, og að rúmfang síuhólks sé sem mest og þoli vel hnjask við umhirðu. Val er um síuhólk úr málmneti eða málmhólk, möskva 0,3 - 0,5 mm.

3. Hemill

Handvirkur stillibúnaður sem takmarkar hámarksrennsli. Almennt er valinn keiluloki. Stærð lokans þarf að meta út frá rennismagni og stillimöguleikum.

4. Rennismæli (rúmmálmæli), sjá kafla 8.5.1.

5. Neysluvatnstenging.

Tengistútur fyrir heitt neysluvatn út af tengigrind.

6. Sama og 3.

7. Tengistútur fyrir rennislíprófun/þrýstimælir

Notaður þegar sannreyna þarf nákvæmni mælibúnaðar hitaveitu (hemlasölukerfi) eða þegar mæla þarf þrýstitap heimæðar og tengibúnað viðkomandi hitaveitu.

8. Höfuðloki

Notaður ef lagfæra þarf tengigrind. Höfuðloki er einnig ætlaður sem handstýring fyrir hitakerfi ef sjálfvirkur stjórnubúnaður þess bilar

9. Einstreymisloki

Lokinn á að tryggja að vatn frá hitakerfi flæði ekki til baka um framrás að tengigrind, verði rekstrartruflun í veitukerfi hitaveitunnar. Á neysluvatnslögn er einstreymislokanum einnig ætlað að tryggja að ekki geti myndast rennsli frá neysluvatninu að hitakerfi. Sérstaka aðgát þarf þar sem ætla má að þrýstingur á köldu vatni sé hærri en á því heita. Algengastar eru tvær gerðir ef lokum, spjald- og keilulokar, með eða án gormspennu. Einnig með eða án pakkn- ingar í sæti. Tengja má einstreymisloka ýmist lárétt eða lóðrétt. Við val og uppsetningu á einstreymisloka þarf að hafa í huga að þá þarf að hreinsa.

10. Tengigreining framrás

11. Tengigreining bakrás

12. Orkumælir

Rafknúinn 220V eða 9V (rafhlöður). Orkumælir samanstendur af rennslismæli, tveimur hitanemum og reikniverki. Hitanemarnir mæla hitastig vatnsins í framrás og bakrás og rennslismælirinn rúmmetra vatns. Reikniverkið reiknar síðan út orkunotkunina og sýnir hana í MWh og vatnsnotkun í m³. Stundum er auk þessa sýndur gangtími frá uppsetningu, hitastig á bakrás og framrás, ásamt stundarrennsli. (sjá nánar um orkumæla kafla 8.5.2)

13. Hitanemi orkumælis, tengdur framrás

14. Hitanemi orkumælis, tengdur bakrás

15. Þrýstijafnari (þj.)

Þrýstijafnara er ætlað að viðhalda ákveðnum mismunaprýstingi yfir tiltekna mótstöðu, blendi eða hitakerfi. Lokinn samanstendur af gormhúsi, lokahúsi og membru (blöðku). Þrýstiskynjun frá hærra þrýstigildi (framrás) er tengt neðri hluta membru (+) með grönnu koparröri og á sama hátt frá lægra þrýstigildi (bakrás) í efri hluta membru. (-) þrýstiskynjun á ávallt að tengja úr hlið pípu. Notað sem hemill, sjá 8.5.3.

16. Þreifararör þj. framrás (+)

Þarf að tengja úr hlið pípu til að tryggja að loft eða óhreinindi setjist ekki í þreifararör.

17. Þreifararör þj. bakrás (-). Sama og 16.

18. Blendi fyrir neysluvatns- og hitakerfi

Blendið er mótstaða sem takmarkar tilgreint hámarksrennsli. Blendið er almennt kopar-tengistykki með þrýstiskynjurum sitt hvorum megin við þrengingu, sem ákvarðar rennslismagn með hliðsjón af innstilltu þrýstifalli yfir blendið sjá 15.

19. Blendi fyrir hitakerfi, sama og 18

20. Blendi fyrir neysluvatn, sama og 18, en án tenginippla.

21. Þjónustuloki

Þessi loki er til að loka af bilunarstað. Valin er mismunandi gerð eftir aðstæðum.

8.4.2. Númeraskrá á búnaði hita- og neysluvatnskerfa

30. Þrýstiminnkari

Leitast við að viðhalda ákveðnum hámarks þrýstingi á lægra óskgildi. Lokinn samanstendur ef gormspennuhúsi og sambyggðri membru og lokahúsi. Í lokahúsinu eru oftast síuhólkar sem í mörgum tilfellum er æskilegt að fjarlægja. Þrýstiminnkara er almennt ekki hægt að nota í stað þrýstijafnara.

31. Höfuðloki

Þjónustutæki fyrir heitt neysluvatn.

32. Hita- og þrýstimælir

Álagsmælir sem sýnir þrýsting og hitastig frá viðkomandi veitu að húsveitugrind. Áriðandi er að hitanemi mælisins sé allur í vatnsstraumi pípunnar. Nauðsynlegt er að sannprófa alla mæla, en almennt er ekki hægt að endurstilla sambyggða mæla nema með því að losa mælavísi af ás. Velja þarf mælisvið álagsmælis með tilliti til rekstrarskilyrða heitaveitu.

33. Þrýstimælir

Þrýstimæli þarf að velja út frá rekstrarförsendum hitakerfis. Almennt eru tvær gerðir þrýstimæla notaðir, þurrir þrýstimælar og vökvafylltir. Mælisvið þeirra er mjög fjölbreytt. Vökvafylltir mælar þola betur þrýstisveiflur og hnask, einnig er tæringarþolnari málmur í mælalúsi. Vökvar í vökvafylltum þrýstimælum eru mismunandi hitaþolnir.

34. Þjónustuloki

Þessi loki er til að loka af bilunarstað. Valin er mismunandi gerð eftir aðstæðum.

35. Öryggisloki

Lokinn tryggir að ekki myndist hærra þrýstingur í hitakerfi en tilgreindur er, þótt sjálfvirkur stjórnþúnaður þess bili. Almennt eru notaðir gormspennulokar í dag, stillanlegir eða faststilltir. Faststilltir gormspennulokar eru mun algengari og eru framleiddir með margbreytilegum opunarþrýstingi. Áriðandi er að öryggislokinn sé búinn prófunarfjöldur eða snerli og að flæði frá lokanum valdi ekki vatnstjóni.

36. Tæming

Lokinn er oftast valinn með áföstum slöngustút og án handfangs (ratts). Einnig hægt að nota lokann til áfyllingar.

37. Hitamælir

Mælisvið hitamælisins þarf að velja með tilliti til hita vatnsins. Almennt eru notaðir vökvamælar og tvímálsmælar. Vökvamælar eru almennt nákvæmari. Tvímálsmæla þarf að stilla á þar til gerðri stilliskrúfu. Tvímálsmælar verða fljótverkari og nákvæmari ef borin er leiðnifeiti í mælivasa.

38. Þreifaraör

Rörið á að tengja úr hlið pípu til að tryggja að loft eða óhreinindi setjist ekki í þreifaraörrið.

39. Framhjáhlaupsloki t.d. snjóbræðslu

Almennt er valinn kúluloki. Æskilegt getur verið að fjarlægja handfang til að tryggja að lokinn sé ekki opnaður í ógáti.

40. Tvístilliloki

Loki þar sem hægt er að faststilla hámarksrennsli og breytist ekki þótt lokinn sé í notkun.

41. Hitastýrður loki, með hitanema í vatnsrás.**42. Vasi fyrir hitanema**

Notaður þar sem hætta er á að hitanemi tærist í vatnsstraumi. Æskilegt er að bera leiðniveiti í vasa.

43. Slaufuloki

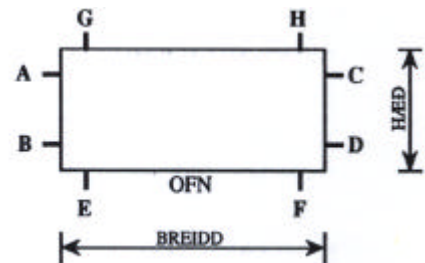
Þetta er sjálfvirkur mótstöðuloki, stillanlegur frá 0 – 1.2 bar eða 0 – 1.8 bar. Lokanum er ætlað að viðhalda ákveðnum þrýstingi í hitakerfinu við mismunandi álag og varna því að loft myndist í hitakerfinu. Lýsing á loka, sjá 15, nema að þreifararör frá bakrás er tengt í neðri hluta membru. Athuga þarf að fjarlægja plasthettu af nippli á efri hluta membru.

44. Varmaskiptir fyrir neysluvatn

Notaður þar sem hitaveituvatn er talið óhæft til beinnar neyslu, eða þar sem rekstur veitu leyfir ekki bein neysluvatnsnot. Kalt vatn fer inn í varmaskiptin til upphitunar, í aðskildu hólfi, á móti streymir heitt vatn frá hitaveitu, sem kólnar þá hlutfallslega á móti upphitun kalda vatnsins. Stilla þarf hámarksrennsli beggja þátta með tilliti til afkastagetu. Stærð varmaskiptis ákvarðast af fjölda töppunarstaða neysluvatns og er mesta samtímarennsli (afltoppur) reiknað út samkv. ÍST67. Oftast eru notaðir plötuvarmaskiptar, samsöðnir eða með pakkningum í milli platna. Einnig eru notaðir rörvarmaskiptar.

45. Ofnar

Við val á ofnum er vísað í ÍST69. B-D,E-F og G-H tengingar ofna eru almennt taldar óhagkvæmar í hitaveitu vegna uppblöndunaráhrifa, nema þar sem ofnar eru með þvinguðu streymi. Aðgæta þarf að byrgja ekki ofna eða takmarka loftstreymi um þá. Allt að 50% varma frá ofni flytst með geislun. (sjá jafnvægisstillingu).

**46. Sjálfvirkur ofnlöki – framrásarloki**

Stjórnast af lofthita við nema með innbyggðum stillimöguleika á hámarksrennsli. Hægt er að velja milli loka með áföstum hitanema eða fjarnema, hitanema fylltum gasi, vökva eða massa. Nýjar gerðir ofnlöka eru rafstýrðar

47. Loftskrúfur

Valkostir: Handvirkar eða sjálfvirkar.

48. Sjálfvirkur ofnlöki – bakrásarloki

Stjórnast af hitastigi á bakrásarvatni. Áfastur hitanemi, lokahús án stillimöguleika á hámarksrennsli.

49. Ofnloki – handvirkur.

Valkostir; með og án tvístillibúnaðar.

50. Varmaskiptir fyrir hitakerfi, sjá 44.**51. Varmaskiptir** fyrir snjóbræðslu, sjá 44.**52. Sjálfvirkur framhjáhlaupsloki**

Lokinn viðheldur ákveðnum hámarks þrýstingi og er ýmist stillanlegur gormspennuloki (35) eða byggður upp eins og þrýstijafnari (15).

53. Dæla

Dæla er búnaður sem byggir upp rennslishraða og þrýsting fyrir framan dæluhjólíð. Afköst dælu þarf oftast að stilla miðað við vatnspörf.

54. Þensluker

Þensluker er lokað. Það tekur við aukningu á rúmmáli vatnsins (þenslu) sem verður við upphitun þess. Þensluker er notað í lokuðu hringrásarkerfi. Stærð þess ákvarðast af hitastigi og magni vatns í hitakerfinu.

57. Mótorloki – rafknúinn stjórnloki. Virkni, af og á, þrepastýring, sívirk stýring.**58. Stjórnstöð**

Rafknúinn stjórnubúnaður, sem á sjálfvirkan hátt stjórnar rekstri hitakerfis út frá innstilltu óskgildi.

59. Hitanemi (í umhverfi)

Nemur lofthita í nærliggjandi umhverfi. Neminn er viðkvæmur fyrir allri loftræstingu.

60. Gólfhitalögn

Gólfhitun er almennt ekki notuð ein sér sem hitagjafi, nema með góðri stýringu. Í gólfleti voru áður notaðar stálpípur. Í dag eru nær eingöngu notaðar hitapolnar plastpípur. Pípurarnar eru lagðar með 150-450 mm bili, sem markast af pípuúvídd og afkastagetu hitaflatar. Fjarlægð frá gólfyfirborði að pípu er minnst 40 mm.

61. Snjóbræðslukerfi

Hitakerfi, sem lagt er í varmaflöt til að bræða snjó og varna ísmyndun. Helstu notkunarstaðir eru, heimkeyrslur, gangbrautir, götur, íþróttavellir, einnig hafnarbakkar, flugvellir og eða á þeim stöðum sem snjór og hálka torveldar umferð eða skapar slyshættu. Sjá nánar í kafla 8.6.

62. Hitablásari

Fyrirferðalitlir kassar með hraðabreytanlegri (ekki skilyrði) hljóðlátri viftu. Hitaflétir úr koparrörum og álþynnnum. Almennt eru dreifiristar með láréttum og lóðréttum stillanlegum blöðum til að dreifa loftstraumi frá blásara. Við uppsetningu þarf að taka tillit til aðstreymis lofts að blásara. Draga má úr mishita frá gólfi til lofts með tengingu stokks við blásara, sem auðveldar viftu að soga kalt loft frá gólfi til upphitunar. Nauðsynlegt er að hreinsa hitaflöt (álþynnur) reglulega.

63. Segulloki

Rafknúinn, hraðvirkur af og á stjórnloki. Lokinn getur myndað þrýstihögg.

64. Hita- og rennslisstýrður stjórnloki

Þrívirkur stjórnloki sem tengdur er rennslisnema (65). Lokinn á að viðhalda innstilltu gildi á hitanemanum þegar rennsli er í gegnum rennslisnemann. Einnig viðheldur lokinn ákveðnu hitastýrðu rennsli í gegnum lokahúsið.

65. Rennslisnemi fyrir stjórnloka 64

Neminn er mótstaða með þrýstiskynjun sitt hvorum megin við gormspennta einstreymis-loku, sem tengd er membru lokans (64) með grönnum eirrörum.

66. Frárennsli oftast sérlögn út í fráveitu.

67. Hitastýrður loki með hitanema í loftrás.

68. Hitanemi í loftrás.

69. Tvístilliloki með mælistútum.

Hægt að mæla rennsli og mismunaprýsting yfir lokann.

8.5. MÆLIBÚNAÐUR – VAL

8.5.1. Rúmmálsmælar

8.5.1.1. Rúmmálsmælar - almennt

Þegar velja á gjaldtökumæla vakna ýmsar spurningar. Sem dæmi má nefna: Hversu stór á mælirinn að vera? o.s.frv. Til að geta svarað spurningum sem slíkum þarf að líta á nokkrar skilgreiningar og staðreyndir sem tengjast mælum. Margar tegundir rúmmálsmæla eru til og hægt er að skipta þeim niður í ótal flokka. Hér á eftir kemur útlísta á nokkrum þeim atriðum sem aðgreina mælana.

Flangs/ „union”

Fyrst ber að nefna þá flokkun sem á sér stað eftir því hvort mælar eru með flangsa eða „union”- tengi. Flangsamæla má þá frá minnstu stærðum upp í þá stærstu. Stærri flangsamæla er hægt að kaupa eftir þrýstiflokkum t.d. PN 16, PN 25 og PN 40. Gæta verður samræmis í vali á þrýstiflokkum, því flangsamæla eru mismunandi eftir þeim, og mælaskipti gætu því leitt af sér töluverðar breytingar á mælagrind. Flangsamælar geta verið marggeisla (sjá neðar) eða af Woltman gerð. Mælar af Woltman gerð hafa nokkurs konar skrúfu í straumstefnu sem straumurinn knýr. Alla minni mæla má fá með „union”-tengjum upp að QN 15 (DN 50). „Union”-mælar eru mun ódýrari og auðveldari í meðförum en flangsamælar.

Snúningsás

Gerður er greinarmunur á því hvort spaðahjól mælisins snúist á láréttum eða lóðréttum öxli. Í flestum „union”-mælum snúast þau á lóðréttum öxli en í flangsamælum getur hvoru tveggja verið.

Marggeisla/eingeisla

„Union”-mælar eru til marggeisla eða eingeisla (e. Multi-jet/single-jet). Í marggeisla mælum er vatninu dreift jafnt allan hringinn á spaðahjólið en í eingeisla mælum kemur vatnið einum geisla beint á spaðahjólið án þess að dreifast nokkuð. Ending marggeisla mæla er meiri en eingeisla, auk þess sem eingeisla mælar eru ekki leyfðir til beinnar gjaldtöku t.d. í Þýskalandi, því reynslan sýnir að þeir eru ekki nógu nákvæmir, heldur eru þeir notaðir sem frádráttarmælar. Aftur á móti eru eingeisla mælar ódýrari og fyrirferðaminni en marggeisla mælarnir.

Hitastigssvið

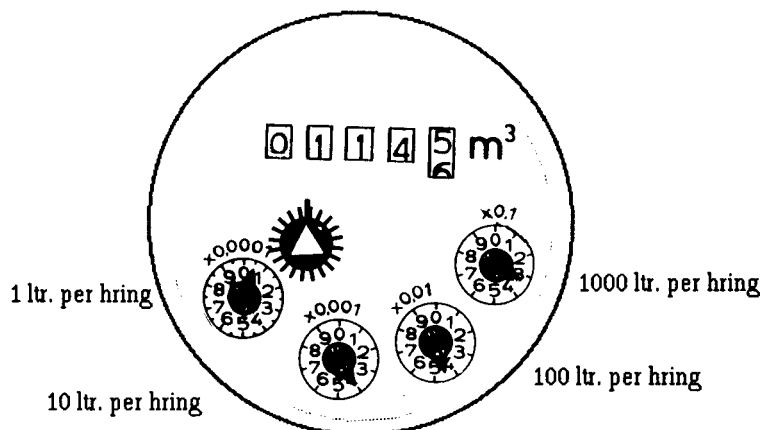
Mæla má fá með mismunandi hitastigssviði. Í staðli sem nefnist OIML 72 („Hot water meters”) eru þessi hitastigssvið skilgreind.

1a	30 – 70°C
1b	30 – 90°C
1c	30 – 130°C
1d	30 – 180°C

Í staðlinum stendur jafnframt að allir hlutar mælisins skuli þola 20°C hitastigsaukningu frá efri mörkum í stuttan tíma.

8.5.1.2. Hugtök

1. Rúmmál (V): Magn þess vatns sem streymir í gegnum mæli.
2. Rennsli (Q): Magn af vatni sem streymir í gegnum mæli á ákveðnum tíma, þ.e. rúmmál vatnsins deilt með lengd þess tímabils sem það streymir.
3. Kjörsvið mælis: Það svið sem viðkomandi mælir hentar best til mælinga á. Innan þessa svið verða skekkjur í mælingum að vera innan fyrirfram ákveðinna marka.
4. Hámarksrennsli: Rennsli þegar þrýstifall yfir mælirinn er 1 bar (kg). Hámarksrennsli skorðar efri mörk kjörsviðs og er jafnframt það rennsli sem mælir á að þola í stuttan tíma.
5. Nafnrennsli (QN): Er skilgreint sem helmingurinn af Q_{max} . Mælir á að þola þetta rennsli til langs tíma.
6. Skiptirennisli (Q_t): Rennsli sem skiptir kjörsviði mæla í efra mælisvið og neðra mælisvið. Í neðra mælisviði eru leyfð meiri frávik en í því efra.
7. Lágmarksrennsli: Rennsli sem skorðar neðri mörk kjörsviðs. Ef rennsli fer niður fyrir það geta frávikin í mælingunni orðið mikil.
8. Mælaskífa: Það má mæla rennsli með snúningsskífunum sem sýna hluta af rúmmetrum sbr. mynd hér að neðan. Þá eru lítrarnir taldir og tíminn mældur með skeiðklukku.



Mynd 8.5.1 Mælaskífa

8.5.1.3. Stærð mæla

Hingað til hefur meginreglan verið sú að skilgreina mælastærð eftir stærð stúta, t.d. talað um 20 mm mæli ef stútar hans eru 20 mm í þvermál. Þessi skilgreining á stærð mæla er ekki nægjanlega lýsandi fyrir eiginleika mælisins. Það sem mestu máli skiptir er kjörsvið mælisins þ.e. á hvaða rennslisviði mælir hann nákvæmast. Sem dæmi má taka að 15 mm mæli má kaupa með tvenns konar kjörsviði.

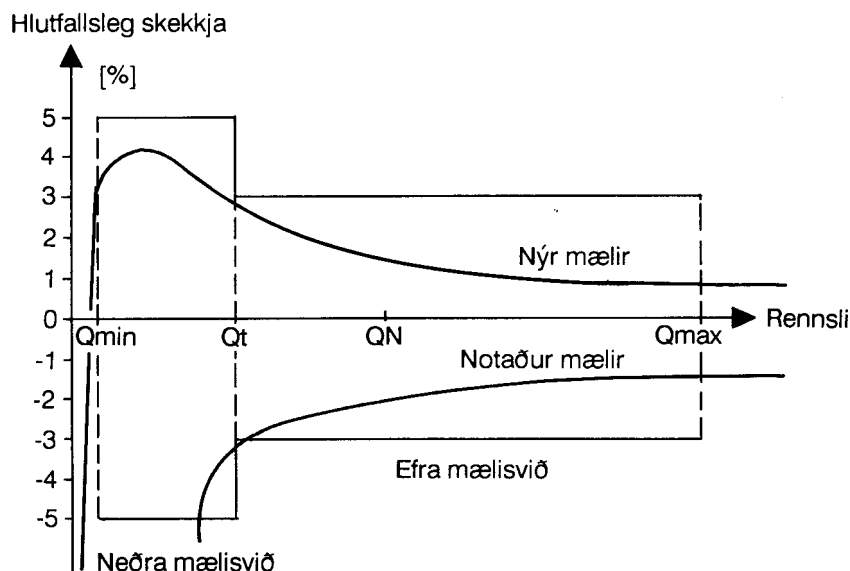
Qn m ³ /h?	1	1,5	2,5	3,5	6	10	15	25	40	60	150
Stútar	12	15	20	25	25	40	50	65	80	100	150
mm?	15	20		32	32						

TAFLA 8.5.1 Nafnrennsli miðað við stútaskærðir mæla
(heimild:Gögn frá framleiðendum í Þýskalandi)

Kjörsvið mæla:

Kjörsviði mæla er lýst með stærðinni QN, sem kölluð er nafnrennsli mælis. Nafnrennsli mælis er skilgreint sem helmingur af hámarksrennsli, Qmax. Út frá QN eru síðan skilgreindar aðrar stærðir Qt og Qmin, sem ákvarða kjörsvið mælisins. Qt skiptir kjörsviðinu í tvennt, efra og neðra mælisvið.

Hver mælastærð (QN) inniheldur síðan a.m.k. þrjá flokka kjörsviða, en það sem er breytilegt á milli þessarra flokka eru skilgreiningar á milli Qmin og Qt.



Mynd 8.5.2 Frávíksferlar mæla

Mælur með rennsli minna en 15 m ³ /klst			
Rennsli/Flokkur	Flokkur A	Flokkur B	Flokkur C
Q _{min}	4% af Q _N	2% af Q _N	1% af Q _N
Q _t	10% af Q _N	8% af Q _N	1.5% af Q _N
Mælur með rennsli meira en eða jafnt og 15 m ³ /klst			
Rennsli/Flokkur	Flokkur A	Flokkur B	Flokkur C
Q _{min}	8% af Q _N	3% af Q _N	0.6% af Q _N
Q _t	30% af Q _N	20% af Q _N	1.5% af Q _N

TAFLA 8.5.2 Flokkun á kjörsviði mæla

Frávíksferill

Hver mælir hefur sinn frávíksferil (sjá mynd 8.5.2) og eru þeir mismunandi eftir því hvort um er að ræða nýjan eða notaðan mæli. Á bilinu frá Q_{min} til Q_t eru leyfð 5% frávik frá réttu, en á bilinu frá Q_t og til Q_{max} eru leyfð 3% frávik. Til að mælur standist kröfur um nákvæmni þarf ferill hvers mælis að liggja innan leyfðra frávíkmarka.

Við minna rennsli en Q_{min} aukast frávíkin í mælingunni verulega og við afar lítið rennsli stöðvast mælirinn alveg og frávíkið verður óendanlega stórt. Ef rennslið fer umfram Q_{max} þá eykst þrýstifallið yfir mælinn og hann getur skemmst.

Þegar mælur eldast minnkar hæfni þeirra til að mæla. Oftast hægja þeir á sér (verða stíðari) með tímanum og fara jafnvel ekki af stað fyrr en rennslið í gegnum þá er komið yfir Q_t.

8.5.1.4. Val á mælum

Við val á mælum þarf að hafa það í huga að stærð mælisins henti sem best þeirri notkun sem von er á í hverju tilfalli. T.d. er ljóst að þvottahús hefur nokkuð stöðuga notkun en aftur á móti heimili hefur mjög stórt notkunar svið. Athuga þarf að notkunar sviðið falli sem best að frávíksferli mælisins. Litlar rannsóknir hafa farið fram á notkunarmynstri svo vitað sé. Hér á eftir er tafla um mælastærðir sem danskt fyrirtæki ráðleggur.

Ársnotkun að [m ³ /ári]	2000	3000	5000	7000	10000	20000	30000
Q _N [m ³ /klst]	1	1,5	2,5	3,5	6	10	15

TAFLA 8.5.3 Val á mælum

Dæmi um val á mælum:**Einbýlishús:** Stærð 550 m³, húsgerð – ein hæð (sjá 8.7.1)

Vatnspörf til hitunar:

Hámarksvatnspörf 3,6 l/min

Neysluvatn:

Hámarks samtímarennisli 19,0 l/min (sbr. ÍST 67 og 69).

Heildarhámarksrennsli:

$$3,6 + 19,0 = 22,6 \text{ l/min} = 1,35 \text{ m}^3/\text{klst}$$

Valinn er mælir $Q_N = 1 \text{ m}^3$, en hámarksrennsli er þá minna en $Q_{max} = 2,0 \text{ m}^3$ **Fjölbýlishús:** Stærð 2400 m³, húsgerð – þrjár hæðir, sex íbúðir.

Vatnspörf til hitunar:

Hámarks vatnsnotkun (sjá 8.7.1) 9,61 l/min

Neysluvatn:

Hámarksrennsli á íbúð 15,0 l/min, samtímatuðull 0,7 (sbr. ÍST 67 og 69). Hámarksrennsli til neyslu 63 l/min.

Heildarhámarksrennsli:

$$9,6 + 63,0 = 72,6 \text{ l/min} = 4,35 \text{ m}^3/\text{klst}$$

Valinn er mælir $Q_N = 2,5 \text{ m}^3$ en hámarksrennsli er þá minna en $Q_{max} = 5,0 \text{ m}^3$

8.5.1.5. Uppsetning og umgengni við mæla

Ekki þarf að huga sérstaklega að beinum pípum fyrir framan og/eða aftan mæli ef um „union“-mæli er að ræða og marggeisla flangsamæla (að sögn framleiðenda). Ef um flangsamæla af Woltman gerð er að ræða breytast kröfurnar. Fyrir framan mælinn þarf að vera bein pípa með sama þvermál og mælirinn að lengd sem er þrisvar sinnum lengri en þvermál mælisins. Nota skal kóna ef setja á mæli á pípu og ekki er um sama þvermál að ræða.

Rennslismælar eru viðkvæm mælitæki og því er mikilvægt að þeir verði ekki fyrir neins konar hnjaski. Sérstaklega eru þeir viðkvæmir fyrir höggum. Mælarnir eru mikil nákvæmnissmíð og þá ber að umgangast sem slíka, t.d. er mjög mikilvægt að mælaskífan vísi upp.

Rennslismælingar eru erfiðar mælingar tæknilega séð og lítið má út ef bera til að þær skekkist. Það er því nauðsynlegt að viðhafa einhvers konar eftirlit með virkni þeirra t.d. í gegnum innheimtugerfi, en þar má sjá af álestrarsögu ef mælar hægja á sér eða auka við.

Allar veitur glíma við útfellingar, þó mismiklar eftir veitum. Úrfellingar geta haft tvönn konar áhrif á mæla. Annars vegar stíðna þeir og hægja á sér, vegna aukinnar núningsmótstöðu í slitflötum. Og hins vegar geta þeir aukið við snúning mælisins. Ef útfellingar þrengja vatnsinngang í mælinn þá eykst hraði vatnsins og knýr spaðahjól mælisins hraðar en áður.

Erlendis eru gerðar kröfur um aldur mæla. Um heitavatnsmæla gildir að þeir skuli ekki vera lengur úti en fimm ár í einu. Þá skal kalla inn að loknum fimm árum. Í sumum tilfellum er mælirinn sendur út aftur. Þá er hann yfirfarinn og skipt um það sem þarf og síðan endurstilltur.

8.5.2. Orkumælar

Orkumælir er til þess, eins og orðið gefur til kynna, að mæla orkunotkun notandans. Orkumælirinn samanstendur ef reikniverki, hitaskynjurum og rúmmálsmæli, þ.e. rennslismæli.

8.5.2.1. Reikniverk

Reikniverkið skynjar rennsli í m^3/h frá rúmmálsmæli og hitastig $^{\circ}C$ frá hitanemum. Með þessum upplýsingum ásamt varmastuðli vatns fæst útreiknuð orkunotkun notandans, oftast í MWh.

Orkumælar eru til af hinum ýmsu gerðum bæði vélrænir með venjulegu teljaraverki fyrir MWh og m^3 , eða stafrænir (tölvumælir) með mun fleiri möguleikum. Stafrænu mælarnir hafa mikla tæknilega möguleika fram yfir þá vélrænu og ógjörningur er að nefna þá alla hér, því tækniframfarir í reikniverki eru örur og framleiðendur margir. Nýjungar bætast nánast við með hverri árgerð.

En helstu möguleikar stafrænu mælanna eru eftirfarandi:

1. Hitastig: Framrás, bakrás og mismunahitastig
2. Augnabliksrennsli (l/s)
3. Tímafjöldi frá rafhlöðuskiptum
4. Bilanaskráning (fejlkode). Þá kemur fram hvaða eining er biluð, t.d. rennslismælir, hitanemar eða rafhlaða orðin léleg.
5. Tenging fyrir aflestraeyningu, þannig að aflestrar fari fram á tölvutæku formi. Tengingin getur verið við reikniverkið, eða verið framlengd á annan hentugri stað, t.d. milli hæða eða utaná húsvegg,
6. Aukaminni (EEPROM): Þá er innbyggt að geyma aflestur MWh og m^3 á 30 daga fresti og er þá alltaf aðgengilegt að sjá mánaðarleg gildi fyrir orkunotkun síðustu 12 mánuði. Ef lesið er af mælinum einu sinni á ári og bilun hefur átt sér stað í mælinum á tímabilinu, þá er hægt að sjá hvenær á tímabilinu bilunin átti sér stað.

Hægt er að fá reikniverk sem passa á mismunandi gerðir og stærðir rennslismæla frá ólíkum framleiðendum. Einnig er hægt að fá orkumæla sambyggða í einni einingu sem eitt mælitæki.

8.5.2.2. Rúmmálsmælir

Helstu aðferðir sem notaðar eru í dag við rúmmálsmælingu í tengslum við orkumæla eru eftirfarandi:

1. Rennslismælir (mekaniskur), eingeisla eða marggeisla.
2. Hljóðbylgjumælir
3. Segulsviðsmælir

Reikniverk rennslismæla og hljóðbylgjumæla er, í flestum tilvikum, með rafhlöðu sem straumgjafa. Einnig er hægt að fá reikniverk fyrir 220 V straum frá húsveitu. Líftími rafhlöðu

er allt að fimm ár. Oftast er reikniverkið sjálfstæð eining, sem er kostur gagnvart viðhaldi. Reyndar er hægt að fá sumar gerðir sambyggða.

Segulsviðsmælirinn byggist á riðstraumi og er því ekki hægt að nota jafnstraum frá rafhlöðu.

Reikniverk mæla með 220 V straum frá húsveitu og enga rafhlöðu er með tímateljara. Hann er nauðsynlegur því rafmagnslaust getur orðið í húsinu og er orkumælingin óvirk á meðan, þótt vatnsnotkun haldi áfram. Orkusalan við straumleysi er síðan áætluð miðað við fyrri notkun og fjölda straumleysistíma.

Hljóðbylgju- og segulsviðamælar hafa það fram yfir venjulega rennismæla að engir hreyfanlegir hlutir eru í vatnshlutanum. Ætti því viðhald að vera hverfandi. Hæfileikar þessarra mæla eru líka meiri til að nema lágrennsli. ($Q_{min}=0,015 \text{ m}^3/\text{h}$ við $Q_n=1,5 \text{ m}^3/\text{h}$)

Val á stærð á magnmælum er gert á sama hátt og fram kemur í kafla 8.5.1.4., þ.e.a.s. notkun er áætluð eins og kostur er og mælirinn valinn samkvæmt því. Ef setja þarf nýjan magnmæli, sem hefur önnur afköst en sá sem fyrir var, en sama reikniverk er notað áfram, þá verður að athuga hvort samræmi sé í púlsafjölda nýja magnmælisins og þeim gamla. Hægt er að aðlaga reikniverkið að mismunandi púlsafjölda (imp/m^3), en það getur kostað einhverja fyrirhöfn.

8.5.2.3. Hitanemar

Nemarnir eru tengdir beint við reikniverkið og algengt er að vera með svokallaða Pt 500 nema. Þetta eru viðnámsnemar þar sem mótstaðan er 500 ohm við 0°C og 692,5 ohm við 100°C. Kostirnir við að nota nema með hátt viðnám frekar en lágt (100 ohm) eru eftirfarandi:

1. Hugsanleg mótstaða í tengibretti reikniverks hefur minni áhrif.
2. Hærra viðnám fyrir sama hitastig gefur meiri nákvæmni í myndrænan/stafrænan breytir (analog digital konverter) fyrir reikniverk.
3. Betri möguleikar á nákvæmari þörun á nemum.

Pörun

Samkvæmt alþjóðlegum staðli (IEC 751) yfir þessa nema kemur fram að leyfilegt frávik við 0°C er ? 0,3°C og við 100°C ? 0,8°C. Þó allir nemar frá einhverjum framleiðanda uppfylli ofangreindar kröfur, þá getur ónákvæmni samt orðið of mikil ef nemarnir eru ekki flokkaðir af mælaframleiðanda og sérmerktir sem par.

Dæmi:

Framrásarhitastig 100°C og bakrás 40°C.

Leyfilegt frávik við 100°C er ? 0,5°C
40°C er ? 0,5°C

Hámarks frávik sem getur átt sér stað er því:

$$\frac{100+0,8=100,8}{60} \quad \frac{40-0,5 = 39,5}{61,3} \quad (61,3-60) \times 100 = 2,17\% \quad 60$$

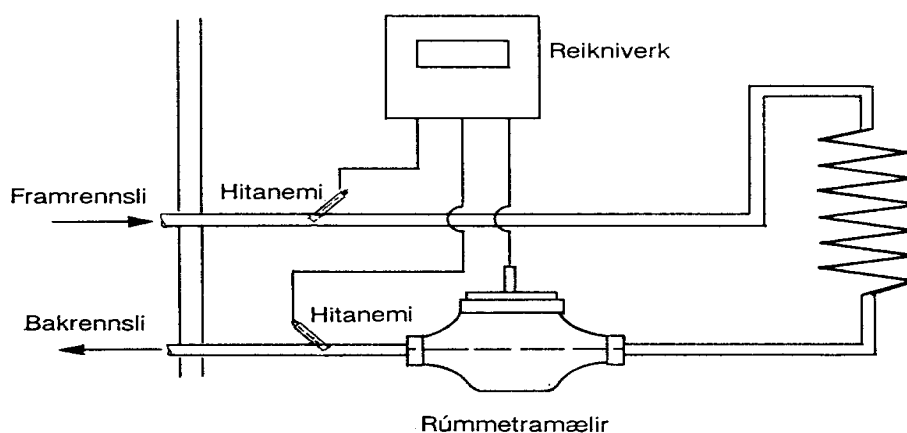
Til að forðast svona mikla skekkju eru nemarnir prófaðir og flokkaðir í hópa eftir því hvaða viðnám þeir sýna. Nemarnir eru merktir saman, annar fyrir framrás og hinn fyrir bakrás og ef annar bílar, þá verður að henda hinum. Reynt er að halda nákvæmninni innan við $0,05^{\circ}\text{C}$? $0,5\%$. Algengt gildi er $0,025$? $0,25\%$.

Tekið skal fram að ónákvæmni (frávik) reikniverks og hitanema er oft á bilinu $0,6-0,8\%$. Til viðbótar þessu er ónákvæmni í mægmælum t.d. um 1% í hljóðbylgju- og segulsviðsmælum og $3-5\%$ í venjulegum rennismælum (sjá kafla 8.5.1.3).

Kaplar nemanna eru oftast $1,5$ m eða 3 m langir. Hver metri af Pt 500 kapli eykur mælt hitastig um $0,03^{\circ}\text{C}$. Sem dæmi gefur 2 metra mismunur í lengd kapla fyrir nema á framrás og bakrás skekkju í mismunahitastigi um $0,06^{\circ}\text{C}$. Samkvæmt þessu er nauðsynlegt að hafa kapla nemanna alltaf jafnlanga. Kapla Pt 500 nema er ekki hægt með góðu móti að hafa lengri en 10 m. Það er því takmarkað hvað staðsetning reikniverks orkumælanna getur verið langt frá tengigrindunum þar sem nemarnir eru staðsettir. Vasar, sem fylgja með nemum, skulu alltaf staðsettir þannig í tengigrind að þeir vísi á móti straumnum.

8.5.2.4. Mæliaðferð

Þegar um tvöfalt, lokað dreifikerfi hitaveitu er að ræða, þá er bæði hitastig á framrás og bakrás mælt. Sjá mynd hér að neðan. Þegar rúmmálmælir er á bakrás er forhitari á neysluvatninu, að öðrum kosti væri ekki allt vatnið mælt.

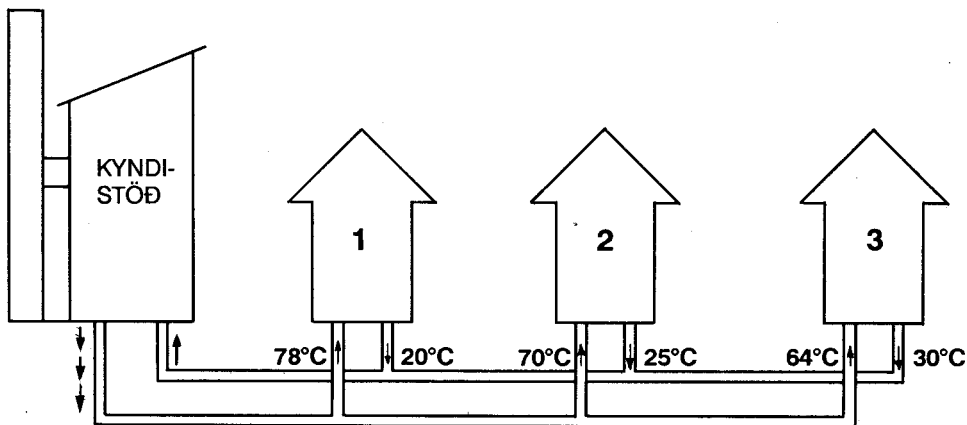


Mynd 8.5.3 Orkumælir

Í kafla 8.2. um „Tengigrindur“ kemur fram staðsetning orkumælis í tengigrindinni ásamt öðrum búnaði sem nauðsynlegur er fyrir hverja húsveitu.

Rúmmálmælir getur verið staðsettur bæði í framrás og bakrás, allt eftir óskum veitnanna hverju sinni. Líftími mægmælanna er í flestum tilvikum lengri þegar mælirinn er staðsettur í bakrásinni (lægra hitastig). Ókostur við þessa staðsetningu er að möguleikar eru á orkustuldi eða leka á húskerfi án þess að það uppgötvist.

Orkumæling hentar vel hjá þeim hitaveitum sem hafa mikið hitafall í dreifikerfi og mjög mismunandi heitt vatn til notenda. Ef við gefum okkur þær forsendur að notandi nr.1, 2 og 3 á myndinni hér að neðan, hafi allir sömu orkuþörf, jafnstórt ofnakerfi, en hafi aðgang að mismunandi heitu vatni. Eftir því sem framrásrhitastig er lægra, þá þarf aukið rennsli til að halda sömu orkuþörf. Þ.e.a.s. nýtingin verður minni og bakrásrhitastig verður hærra.



Mynd 8.5.4 Hitaveita með tvöfalt dreifikerfi

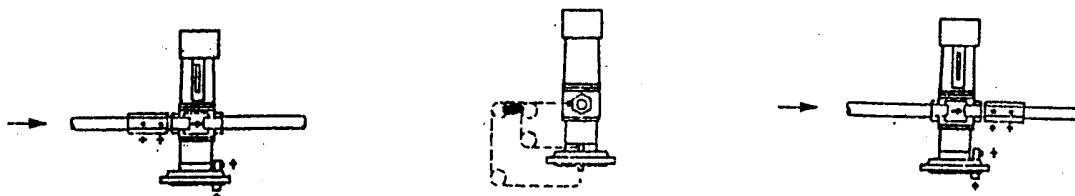
Dæmi:

Ef notandi nr. 1 notar $1 \text{ m}^3/\text{h}$, hitafall er 58°C og orkunotkunin er sú sama hjá öllum, en hitafall hjá nr. 2 og 3 er 45°C og 34°C , þá þurfa þeir $1,25$ og $1,63 \text{ m}^3/\text{h}$.

Reyndar er ekki algengt að hitakerfi hafi svona mikla nýtingu eins og fram kemur í þessu dæmi. Þetta er frekar til að sýna hver mismunurinn geti orðið við vissar aðstæður. Ef um hreina orkusölu (kr/kWh) er að ræða til notenda, þá myndu þessir þrír greiða sömu krónutölu til veitunnar. Hinsvegar ef orkusalan byggist að hluta á sölu rúmmetra vatns, eða að öllu leyti eins og algengast er hjá jarðhitaveitum, þá myndi orkuverðið á ársgrundvelli vera hæst hjá notanda nr. 3.

8.5.3. Hemlar - val

Hemlabúnaður er til að stjórna hámarksrennsli með ákveðinni nákvæmni, þrátt fyrir breytilegan þrýsting á vatni að og frá búnaðinum. Hemlabúnaður samanstendur af þrýstijafnara (15) og blendni (18).



Heppilegustu skilyrði fyrir hemlabúnað, til að stjórna sem nákvæmast tilteknu hámarksrennsli, er þegar þrýstifall yfir þrýstijafnara (15) er nær það sama og yfir blendni (18). Þessum skilyrðum verður ekki komið við hjá hitaveitum. Engu aðsíður er hægt að ná viðunandi nákvæmni ef tekið er tillit til fráviks frá forsendum þessum. Ef frávik á vatnsrennsli frá hemlabúnaði reynist óviðunandi, er hægt að auka nákvæmni t.d. með því að setja þrengra blendi, þ.e. að hafa hærra þrýstifall yfir blendið.

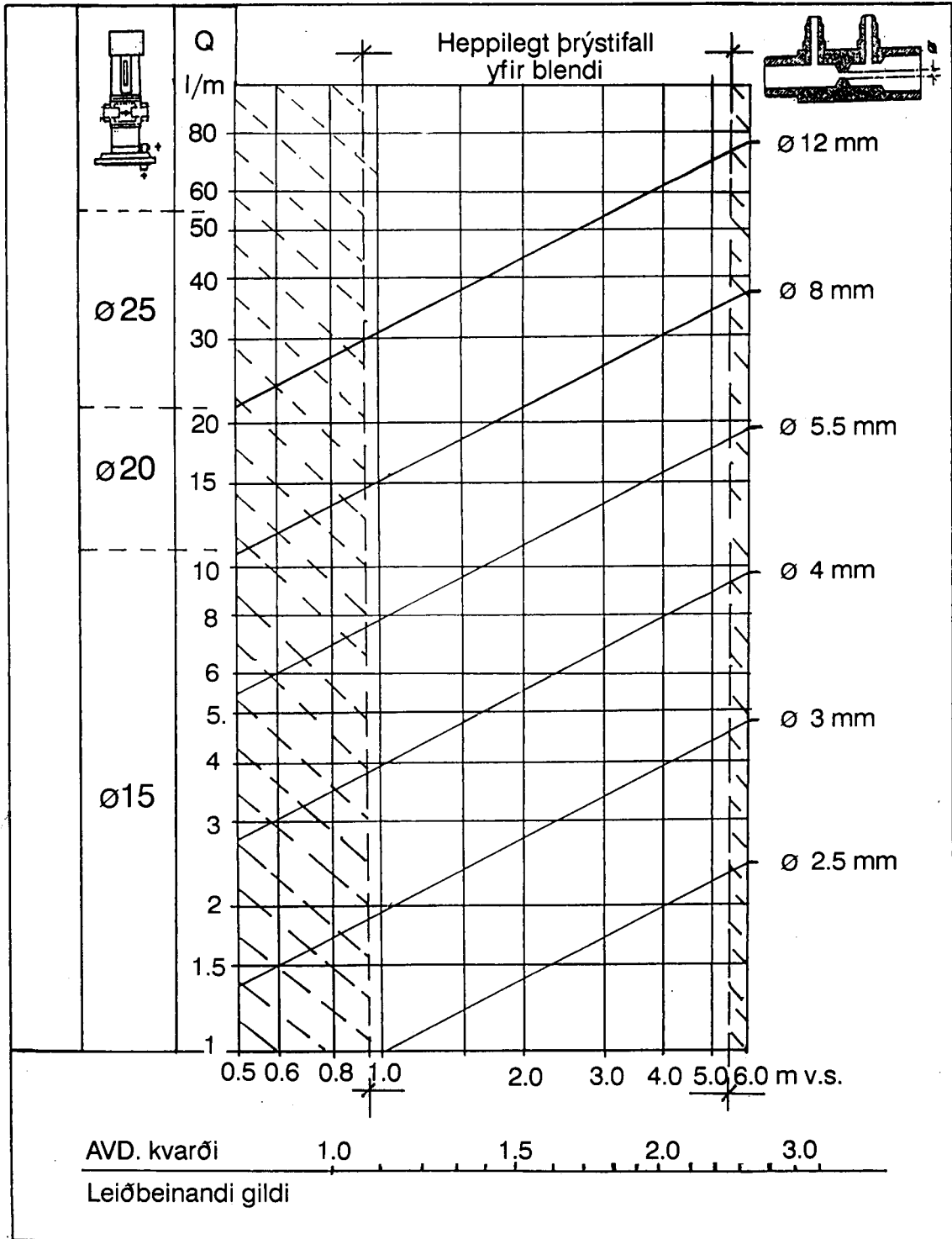
Minnka má rennslisljóð frá blendi með því að hafa þrengingu blendisins ávala. Hemlabúnað þarf að stilla með hliðsjón af þeim skilyrðum sem eru til staðar við hámarksálag.

Leiðbeiningar um hreinsun á þrýstijafnara og slaufuloka

1. Lokinn er tekinn sundur eins og hægt er. Öllum gúmmíhlutum hent keilu, membrugúmmí og 0-hringjum).
2. Lokahús ásamt innvolsi baðað í saltsýru, blandaðri til helminga með vatni, síðan skolað vel í köldu vatni, ekki hitaveituvatni. Lengd meðferðar skiptir ekki máli.
3. Membra tæmd af vatni og fyllt með hreinsiefninu „Taski R20+“. Látin standa í ca. 10% „Taski“ upplausn yfir nótt og skolið síðan vel í heitu vatni. Ný pakkdós sett í.
4. Lokahús sett saman með nýjum gúmmíhlutum. Allt smurt vel með litlum bursta meðan á samsetningu stendur. Ath. eftir sýrubaðið að þússa allt með stálull og vírbursta. Gott er að nota borvél til þessa.
5. Loki settur saman og merktur með V (viðgerðum) og ártali.

Ath. Aðgát skal höfð við meðhöndlun á saltsýru

Mynd 8.5.5 Val á hemlabúnaði



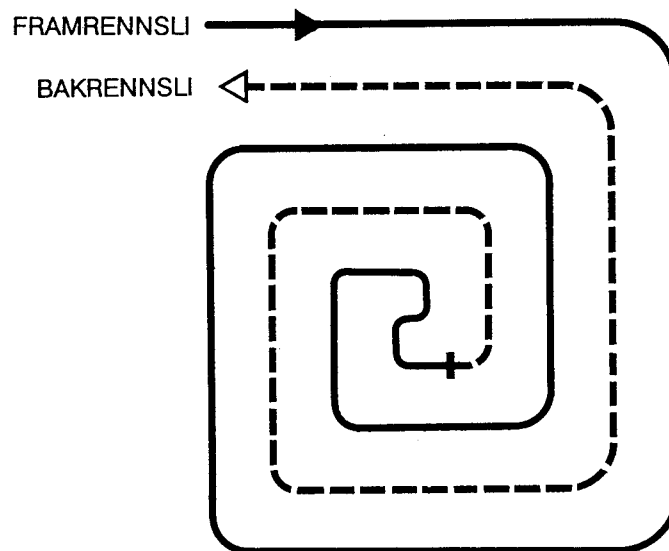
8.6. Snjóbræðsla

Efni í þessum kafla er að mestu tekið úr bæklingi Hitaveitu Reykjavíkur um snjóbræðslukerfi, með leyfi hitaveitunnar.

Rétt er að leggja áherslu á að hönnun og lögn snjóbræðslukerfis krefst sérþekkingar. Því er nauðsynlegt að fá fagmenn til að framkvæma verkið. Staður, stærð og afkastageta snjóbræðslukerfisins er ákveðin í samráði við hönnuð, sem síðan gerir teikningu af snjóbræðslukerfinu. Á teikningunni þarf að koma fram hvernig snjóbræðlurörin eiga að liggja og hvernig snjóbræðslukerfið á að tengjast húskerfinu ásamt nauðsynlegum stjórnbúnaði. Snjóbræðslukerfi eru einnig háð ákvæðum byggingareglugerðar og því þarf að skila teikningum til byggingarfulltrúa til samþykktar. Tilkynna ber tengingu snjóbræðslukerfis til viðkomandi hitaveitu.

8.6.1. Snjóbræðslulögn

Lagning snjóbræðslu er fagvinna sem eingöngu ætti að framkvæma af kunnáttufólki. Til að hafa hitann yfir snjóbræðsluflötinn sem jafnastan er algengast að flétta saman framrás og bakrás líkt og myndin hér að neðan sýnir. Hver einstök pípa, sem lögð er á þennan hátt, er kölluð slaufa. Algeng lengd á slaufu er 150-200 m eða 35-50 m². Ef skipta þarf snjóbræðslulögn upp í fleiri en eina slaufu er mikilvægt að slaufurnar séu jafn langar. Algengt er hér á landi að leggja pípur 80-100 mm undir efsta yfirborðið og með 250 mm millibili. Þá er miðað við 25 mm (1") rör. Sé pípum fækkað á flatareiningu og eða dýpi aukið minnkar varmagjöfin til yfirborðs, sem þýðir minnkuð afköst



Mynd 8.6.1 Snjóbræðslulögn – dæmi

Tenging og stýring snjóbræðslukerfis

Tenging snjóbræðslunnar verður að vera þannig að auðvelt sé að hita húsið þó vatnið sé ekki nýtt í snjóbræðsluna. Setja verður hita- og þrýstimæla á lagnir til og frá snjóbræðslunni, þannig að hægt sé að fylgjast með kerfinu og stilla það.

Bakrásarkerfi (sjá mynd 8.3.1)

Í kerfi sem byggir eingöngu á bakrásarvatni og hefur nægan varmaforða til að mæta óhjákvæmilegum sveiflum eru allar stýringar óþarfar. Eindregið er ráðlagt að miða stærð og gerð snjóbræðslunnar við notkun hússins, þar sem slíkt kerfi er einfalt og ódýrt í uppsetningu og rekstri, og engin hætta á óþarfa orkueyðslu vegna snjóbræðslunnar.

Bakrásarkerfi með skerpingu (sjá mynd 8.3.5)

Nokkuð algengt er að sett sé svokölluð skerping eða bein innspýting til viðbótar bakrásarvatninu, þ.e. að gert er ráð fyrir að hægt sé að hleypa framrásarvatninu til hússins beint á snjóbræðsluna. Slík kerfi eru dýrari í uppsetningu og rekstri en kerfi þar sem notast er eingöngu við bakrásarvatn, og auk þess skapa þau vissa hættu á ofnotkun. Því skal bent á að setja ekki skerpingu á kerfið nema full þörf sé á og þá alltaf með sjálfvirkum búnaði til stýringar og með stilliloka sem takmarkar hámarksflæði framrásarvatnins.

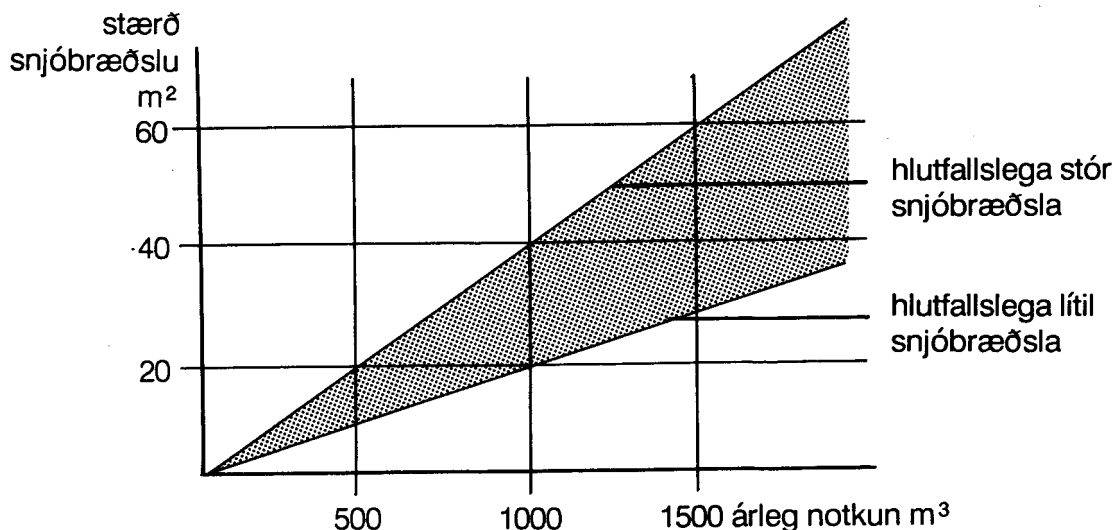
Ástæða er til að vara við að hafa handstýrðan loka til að skerpa á snjóbræðslunni, slíkt fyrirkomuleg hefur í mörgum tilfellum leitt til ofnotkunar þegar gleymst hefur að skrúfa fyrir.

Framrásarkerfi

Öll snjóbræðslukerfi, sem byggja að verulegu leyti á framrásarvatni, ætti að hanna af kostgæfni og þeim er nauðsynlegt að stýra í samræmi við þörf. Bent er á að miklu dýrara er að hreinsa snjó með framrásarvatni eingöngu, en að kosta mokstur í venjulegu árferði.

8.6.2. Hæfileg stærð bakrásar – snjóbræðslu

Þar sem eingöngu er notað bakrásarvatn er hámarksflötur snjóbræðslunnar háður hússtærð ásamt þeim kröfum sem gerðar eru til afkasta hennar. Ef setja á snjóbræðslu við eldra hús er best að miða stærð kerfisins við meðalnotkun síðustu ára. Á mynd 8.7.2 í kafla 8.7.1 er sýnt hversu mikillar ársnotkunar má vænta eftir stærð húss, ef miðað er við meðalnotkun í Reykjavík. Í nýjum húsum er hæfilegt að hafa eins fermetra snjóbræðslu á hverja 15 – 30 rúmmetra húss (5-10 fermetra)



Mynd 8.6.2 Hæfileg stærð snjóbræðslu miðað við árlega notkun

Dæmi: Vatnsnotkun í $750 m^3$ húsi er $1000 m^3$ á ári. Hæfilegt flatarmál snjóbræðslu væri þá $20 - 40 m^2$.

8.6.3. Afkastageta snjóbræðslu

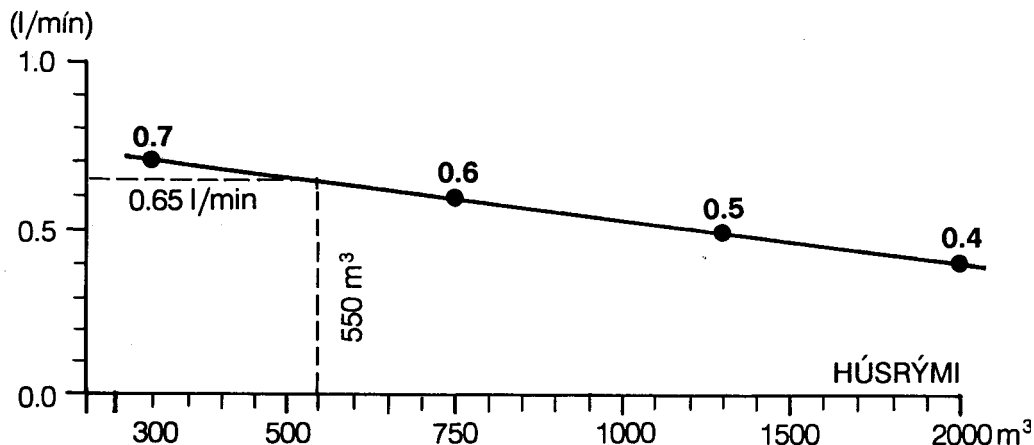
Afköstum snjóbræðslu má skipta niður í þrjá flokka eftir því hvaða kröfur eru gerðar til þæginda.

1. Bakrásavatn frá húskerfi er leitt í snjóbræðslulögn með hæfilega stórum varmaflieti, sem flýtir fyrir snjóbráð og tryggir að ísmyndun liggja laus á yfirborðinu. Enginn sérstakur stjórnbúnaður, viðhaldsfrítt og nýtir varma sem annars væri hent.
2. Sama og 1, nema þjónar minni varmaflieti. Bræðir snjódrífu stöðugt og viðheldur að mestu auðu yfirborði og sjaldan þarf að moka. Hver viðbótarfermetri varmaflatar umfram bræðslugetu bakrásar hússins notar allt að $0,055 l/mín$ skerpingu frá framrásarlögn. Áætluð vatnsnotkun á hvern viðbótarfermetra er $4 m^3$ á ári.
3. Snjóbræðslukerfi, sem búið er varmaskiptum og dælu, sem hringrásar frostþolnum vökva um snjóbræðslulögn. Flókinn stjórnbúnaður þarf til að uppfylla kröfur um að yfirborð varmaflatar verði autt að vetri til sem að sumarlagi. Áætlaður afltoppur á hverjum fermetra varmaflatar er allt að $0,085 l/mín$. Áætluð vatnsnotkun frá framrás er $10 m^3$ á ári fyrir hvern fermetra.

8.7. Hagnýtar töflur og leiðbeiningar

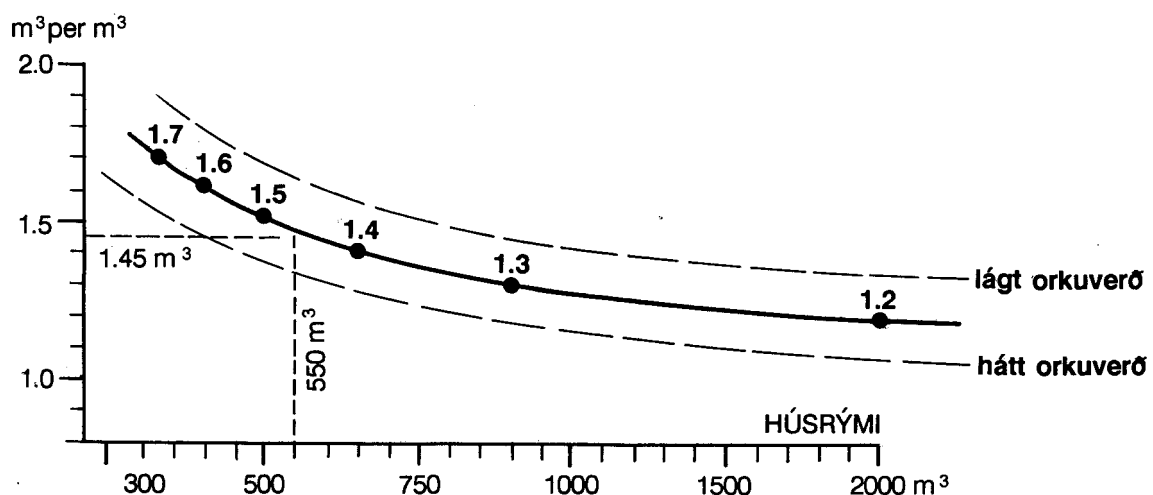
8.7.1. Hagnýtar upplýsingar um vatnsnotkun

Á myndunum hér að neðan er verið að gefa vísbendingu um áætlaða vatnsnotkun húsa miðað við heildarrúmmál þeirra. Að sjálfsögðu segir rúmmál húsa eitt sér ekki alla söguna, þar hefur áhrif m.a. aldur húsa, ástand, staðsetning, orkuverð, fjöldi íbúa og hitastýring. En þessar myndir má nota sem grófa viðmiðun.



Mynd 8.7.1 Hámarksvatnsnotkun í l/mín per.100 m³ húsrými

Dæmi: 550 m³ einbýlishús. $550/100 \times 0,65 = 3,6$ l/mín



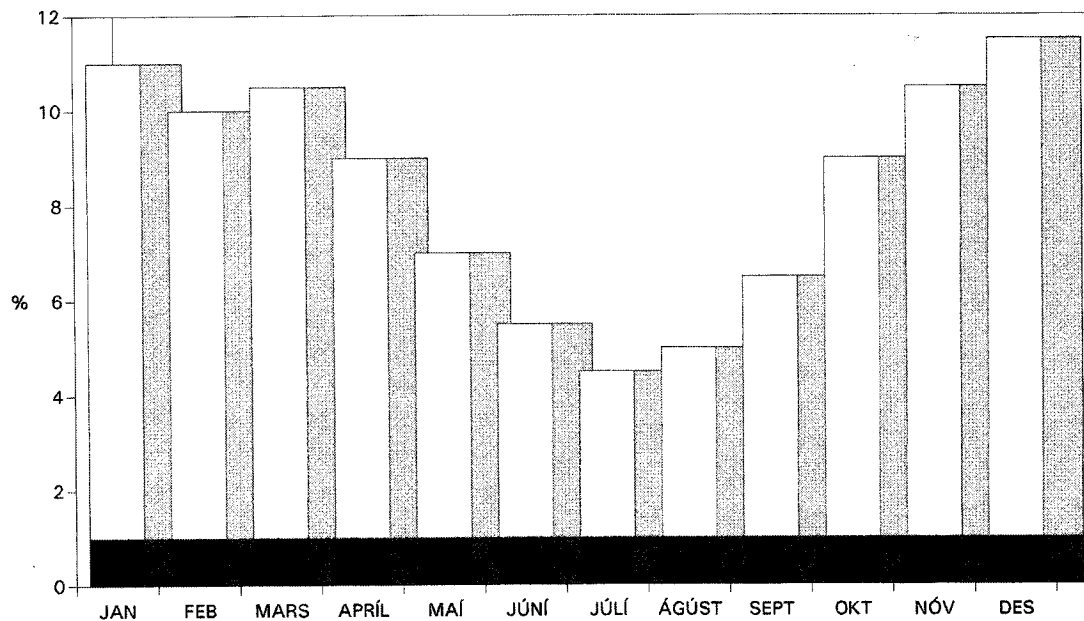
Mynd 8.7.2 Heildarvatnsnotkun á ári í m³ vatns per. m³ hitaðs húsrýmis

Dæmi: 550 m³ einbýlishús. $550 \times 1,45 \text{ m}^3 = 800 \text{ m}^3$ vatnsnotkun á ári

8.7.2. Hlutfallsleg vatnsnotkun – dæmi

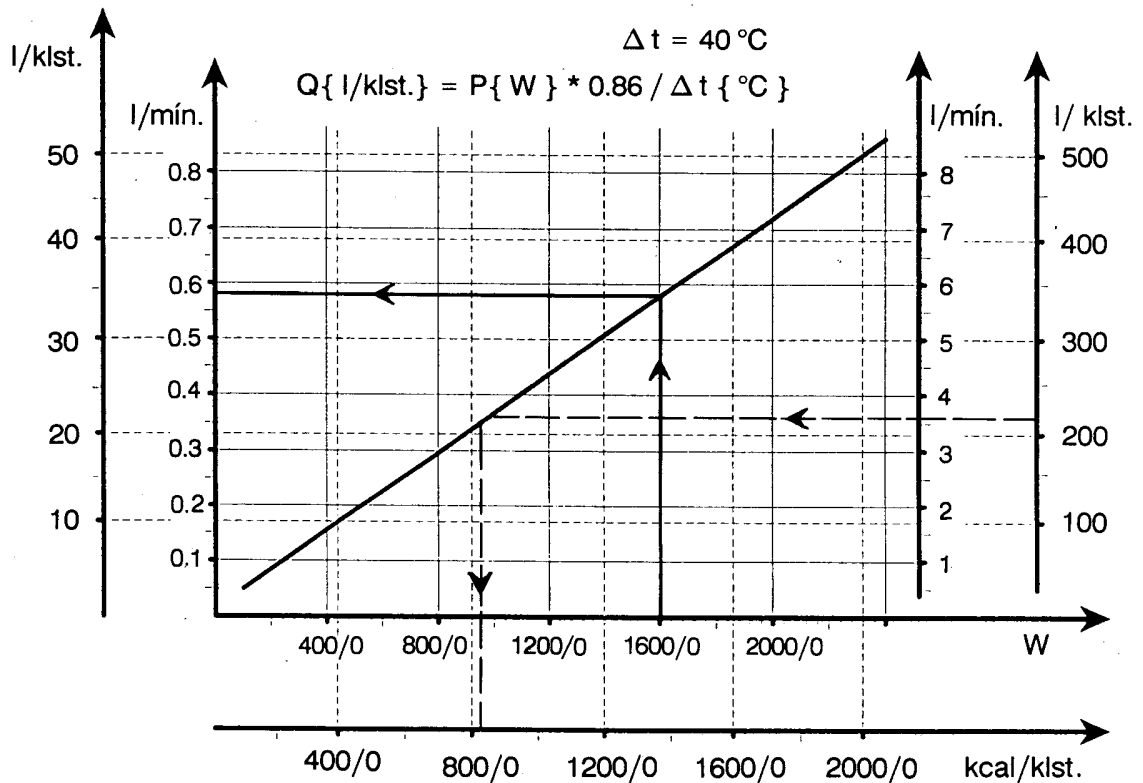
Dæmi: 550 m³ hús með áætlaða vatnsnotkun á ári 800 m³. Gera má ráð fyrir mánaðarlegri notkun eins og kemur fram í eftirfarandi töflu síðan má færa inn raunverulega notkun við aflestur á mæli.

Mánuður	%	Áætlun tonn	Notkun tonn
Janúar	11.0	88	
Febrúar	10.0	80	
Mars	10.5	84	
Apríl	9.0	72	
Maí	7.0	56	
Júní	5.5	44	
Júlí	4.5	36	
Ágúst	5.0	40	
September	6.5	52	
Október	9.0	72	
Nóvember	10.5	84	
Desember	11.5	92	
Á ári	100.0	800	



Mynd 8.7.3 Hlutfall hvers mánaðar í ársnotkun

8.7.3. Orkuinnihald vatns

Mynd 8.7.4 Samband rennslis og afls miðað við 40°C kælingu á vatni

Dæmi:

- 1) Ofn sem á að afkasta 1600 W, þarf tæpa 0,6 l/mín eða 35 l/klst í afltopp.
- 2) Hitakerfi sem 3.6 l/mín við mesta álag, hefur tæp 10 þúsund wött eða 10 kW í afltopp.

8.7.4. Jafnvægisstilling hitakerfa – markdeiling

Skilgreining

Með jafnvægisstillingu er leitast við að stilla hámarksrennsli (afltopp) að ofnum með tilliti til afkastagetu þeirra. Öll sjálfvirk hitakerfi þarf að jafnvægisstillast. Markmið stillingar er að tryggja sjálfvirkum lokum rétt rekstrarskilyrði, þannig að komið verði í veg fyrir sveiflukenna hitun og að kröfum um stöðugt kjörhitastig sé fullnægt um leið og hámarksnýting ofna er tryggð.

Að stilla réttan mismunaþrýsting

Mismunaþrýstingur er stilltur þannig að tilgreint hámarksrennsli (l/mín) sé stöðugt í gegnum hitakerfið. Ef hönnuður tilgreinir ákveðinn mismunaþrýsting á teikningu, í stað hámarksrennslis, er þrýstingurinn stilltur eftir þrýstimælum með hliðsjón af stillitölu viðkomandi þrýstijafnara. Ef afltoppur fyrir hitakerfið er gefinn upp í wöttum (W) eða kílókaloríum á klukkustund (kcal/h), er hámarksrennsli fundið út frá línuriti í kafla 8.7.3 um orkuinnihald vatns. Á mynd 8.7.1 í kafla 8.7.1 er sýnt hvernig hægt er að áætla hámarksrennsli út frá stærð húsnæðis.

Að stilla rétt hámarksrennsli

Hámarksrennsli að ofnum miðast við hámarksafköst viðkomandi ofns. Á teikningu gefur hönnuður upp ákveðna innri stillitölu með tilvísun til ákveðinnar gerðar sjálfvirkis ofnloka. Ef sjálfvirkur ofnloki er ekki búinn innri stillingu er þar til gerðum stilliloka komið fyrir við lokann. Í stærri hitakerfum getur reynst nauðsynlegt að deila hámarksrennsli hlutfallslega rétt á milli stofngreina hitakerfisins með mótstöðustillilokum (strenglokum). Framkvæmd þeirrar stillingar er tilgreind sérstaklega á lagnateikningum.

Sannreyna þarf hvort innri stillitölur sjálfvirku lokanna séu réttar og að hámarksrennslið deilist hlutfallslega rétt á milli ofna, þannig að bakrásarhiti allra ofna hitakerfisins sé hinn sami. Á þeim ofnum, sem verður frávik á, er innri stillitölu viðkomandi loka breytt þar til viðunandi jafnvægi í bakrásarhita allra ofna næst. Endanlegar stillitölur eru skráðar á viðkomandi teikningu.

Ef stillitölur eru ekki fyrir hendi, er stærð ofna borin saman við ofnatölur fyrir viðkomandi ofnagerð. Í ofnatöflunni er afkastageta ofna gefin upp í wöttum og eða kcal/h, sem hægt er að umreikna í l/klst með hjálp línuritsins í kafla 8.7.3.

Sjálfvirkur stjórnbúnaður gerður virkur

Að lokinni jafnvægisstillingu er sá hluti sjálfvirkra loka sem stýrir sjálfvirkni þeirra tengdur. Að lokum eru ofnlokar stilltir á ákveðinn kjörhita og hitakerfið prófað. Innstillt gildi eru færð á teikningu ásamt nafni og símanúmeri þjónustuaðila. Þessi gögn ætti að geyma við húsveitugrind í þar til gerðum umbúðum.

Það sem þarf að vera til staðar:

1. **Þrýstijafnari**, sem stjórnar mismunaprýstingi
2. **Mótstöðustillir** (stillité, innri stillibúnaður í sjálfvirkum ofnlokum, sem takmarkar hámarksrennsli að og frá öllum ofnum.
3. **Hámarksafþörf** allra ofna þarf að vera þekkt, en samanlögð þörf þeirra er afltoppur hitakerfisins.
4. **Rennslismælir**

Framkvæmd jafnvægisstillingar

Strax og búið er að skola út og hleypa á hitakerfið er það jafnvægisstillt. Þetta er gert áður en sjálfvirkur búnaður er tengdur eða gerður virkur,

1. Tryggja þarf að allir sjálfvirkir ofnlokar séu **full opnir** meðan á jafnvægisstillingu stendur (fjarlægja plathettur o.þ.h. hlífar).
2. Mismunaprýstingur er stilltur á þrýstijafnara á **lága tölu t.d. 1**.
3. Innri stilling sjálfvirkra ofnloka og eða mótstöðuloka (stillité) er stillt samkvæmt tilgreindri forstillitölu. Þrýstijafnari er stilltur þannig að tilgreint hámarksrennsli rennur í gegnum ofnakerfið.
4. Eftir að hitakerfið hefur verið prófað og rennslið fínstillt til allra ofna m.t.t. bakrásarhita, er endanleg stilling þrýstijafnara rétt, þegar hámarksrennsli rennur “stöðugt” í gegnum ofnakerfið og bakrásarhiti allra ofna er sá sami.
5. Áður en sjálfvirkur stjórnubúnaður er gerður virkur þarf hitakerfið að vera komið í jafnvægi (bakrásarhiti allra ofna á að vera sá sami). Að lokinni jafnvægisstillingu eru hitanemar og annar sjálfvirkur búnaður sjálfvirkra ofnloka festur á lokahaus og sjálfvirkni komið á.

8.8. Heimildir:

1. Guðmundur Halldórsson og Jón Sigurjónsson: *HITUN HÚSA*, Rannsóknarstofnun byggingariðnaðarins rit nr. 55, 1987
2. *Total balancing*, Tour B Andersson 1988
3. *Danfoss VVS*, 1985-90
4. *Samson AG*, 1987
5. Námskeiðsgögn SÍH: *Námskeið um mæls og hemla*, 1986
6. Ragnar Gunnarsson Svavar R. Óskarsson, Námskeiðsgögn SÍH: *Námskeið um stjórnæki og tengingar- pípulagningarnám*, 1989
7. *Snjóbræðslukerfi*, bæklingur Hitaveitu Reykjavíkur 1991.
8. Ragnar Gunnarsson, Námskeiðsgögn ITÍ: *Námskeið fyrir húsverði* 1990

Hitaveituhandbók Samorku

Ásbjörn Einarsson
Einar Gunnlaugsson

9. Kafli

Efnisval - Tæringarvarnir

Apríl 1994

EFNISYFIRLIT:

9.1.	Inngangur.....	4
9.2.	Efni sem notuð eru í hitaveitum og eiginleikar þeirra.....	5
9.2.1.	Inngangur.....	5
9.2.2.	Smíðastál.....	5
9.2.3.	Galvanhúðað stál.....	6
9.2.4.	Öxulstál.....	6
9.2.5.	Járnsteypa.....	7
9.2.6.	Ryðfrítt stál.....	7
9.2.7.	Eir og eirmelmi.....	8
9.2.8.	Ál og álmelmi.....	10
9.2.9.	Títan.....	10
9.2.10.	Plastefni.....	10
9.2.11.	Asbest.....	11
9.2.12.	Gúmmí.....	12
9.3.	Málmtæring – grundvallaratriði.....	13
9.3.1.	Inngangur.....	13
9.3.2.	Elektrókemísk málmtæring.....	13
9.3.3.	Galvanísk tæring.....	14
9.3.4.	Jöfn tæring – pyttatæring.....	15
9.3.5.	Rifutæring.....	15
9.3.6.	Álagstæring.....	16
9.3.7.	Valtæring.....	16
9.3.8.	Preytutæring.....	17
9.3.9.	Kornmarkatæring.....	17
9.3.10.	Ólgutæring.....	17
9.3.11.	Slittæring.....	17
9.3.12.	Útleiðsla.....	18
9.4.	Málmtæring í hitaveituvatni.....	19
9.4.1.	Hitaveituvatn á Íslandi.....	19
9.4.1.1.	Hitaveitur sem dreifa jarðhitavatni af lághitasvæðum.....	19
9.4.1.2.	Hitaveitur sem nota upphitað kalt vatn í opnum kerfum.....	22
9.4.1.3.	Hitaveitur sem nota upphitað kalt vatn í lokuðum hringrásarkerfum.....	22
9.4.1.4.	Hitaveitur sem dreifa gufu.....	23
9.4.2.	Helstu áhrifaþættir tæringar.....	23
9.4.2.1.	Uppleyst súrefni.....	23
9.4.2.2.	Brennisteinsvetni (súlfíð) í vatni.....	25
9.4.2.3.	pH-gildi (sýrustig).....	25
9.4.2.4.	Klóríð.....	26
9.4.2.5.	Koldíoxíð, karbonat.....	26
9.4.2.6.	Súlfat.....	27
9.4.2.7.	Hiti.....	27
9.4.2.8.	Rennslisraði.....	27
9.4.2.9.	Blöndun á heitu og köldu vatni.....	27

9.5.	Tæring og efnisval í hitaveitum.....	29
9.5.1.	Inngangur.....	29
9.5.2.	Borholur.....	29
9.5.3.	Stofnæðar.....	29
9.5.4.	Miðlunargeymar	31
9.5.4.1.	Vatnslás eða trekkspjald á öndunarop	32
9.5.4.2.	Flotábreiða.....	32
9.5.4.3.	Gufuteppi.....	32
9.5.5.	Dreifikerfi	33
9.5.6.	Varmaskiptar	34
9.5.7.	Lagnir í húsum.....	35
9.5.8.	Ofnar.....	36
9.5.9.	Mælar og hemlar	36
9.5.10.	Blöndunartæki	36
9.5.11.	Tæringareftirlit	37
9.6.	Útfellingar	39
9.6.1.	Inngangur.....	39
9.6.2.	Kísill	39
9.6.3.	Kalk	40
9.6.4.	Magnesium-sílikat.....	42
9.6.5.	Aðrar útfellingar og tæringarmyndanir	43

9.1. Inngangur

Rekstur hitaveitna í nágrennalöndum okkar byggist á því, að orka er notuð til þes að hita upp vatn, sem síðan er leitt til notenda í lokuðum hringrásakerfum. Vatnið í hringrásarkerfinu er yfirleitt hreinsað af öllum óæskilegum efnum, áður en það er sett inn á kerfið. Síðan er bætt í það tæringarvarnarefnum og súrefniseyðandi efnum eftir þörfum. Þannig má að mestu ráða tæringareiginleikum vatnsins. Einungis fjórar hitaveitur á Íslandi tilheyra þessum flokki.

Flestar hitaveitur á Íslandi dreifa hins vegar jarðhitavatni eða upphituðu köldu vatni með beinu gegnumstreymi bæði til hitunar og sem heitt neysluvatn. Endurnýting vatnsins er aðeins þar sem þörf er á kælingu framrásarvatnsins. Efnablöndun eins og notuð er erlendis kemur því ekki til greina bæði vegna kostnaðar- og heilbrigðissjónarmiða nema í einstaka undantekningartilfellum. Af þessum sökum er erfitt að nýta erlenda reynslu af tæringu innan frá í hitaveitum beint við íslenskar aðstæður. Tæring utan frá er hins vegar sambærileg.

Skipulegar athugarnir á tæringu í hitaveitum á Íslandi hófust fyrir um hálfri öld. Á þeim tíma, sem síðan er liðinn, hefur safnast upp töluverð reynsla af tæringu og útfellingum í hitaveituvatni. Þeirri reynslu er reynt að miðla hér. Það er þó langur vegur frá því, að allt sé vitað um eðli hitaveituvatns og sífellt koma fram ný vandamál með fjölbreyttari notkun vatnsins, fleiri vatnsgerðum og nýjungum í tækjum og búnaði.

Umfjöllun um tæringu og útfellingar í hitaveitum hefst í kafla 9.4. Á undan í kafla 9.2 er stutt yfirlit um eiginleika helstu efna, sem notuð eru í hitaveitum, og í kafla 9.3 er kynning á helstu afbrigðum málm-tæringar. Efni sem notuð eru í hitaveitum og eiginleikar þeirra.



Mynd 9.1.1 Tæringarpyttur undir blautri steinullareinangrun

9.2. Efni sem notuð eru í hitaveitum og eiginleikar þeirra

9.2.1. Inngangur

Í þessum kafla verður fjallað um eftirtalin efni: *Smíðastál* sem skilgreint er sem stál með minna en 0,25% kolefni, *galvanhúðað stál* sem er smíðastál sem húðað hefur verið með zínki, *öxulstál* en það inniheldur meira magn kolefnis en smíðastál og oft er blandað í það efnum til að auka styrk og hersluhæfni, *járnsteypu* sem er járnkolefnisblanda með meira en 2% kolefni, *ryðfrítt stál* sem skv. skilgreiningu inniheldur minnst 12% króm, *eir og eirmelmi*, *ál og álmelmi*, *títan*, *plastefni*, *asbest* og *gúmmí*.

9.2.2. Smíðastál

Smíðastál er skilgreint sem járn-kolefnisblanda með minna en 0,25% kolefni. Smíðastál er vel suðuhæft með rafsuðu og logsuðu án hitameðferðar.

Smíðastál er flokkað með tilliti til annarra íblöndunarefna en kolefnis. Tveir flokkar eru algengastir í hitaveitum.

Lágkolstál (svart stál). Þetta er langalgengasti flokkur smíðastáls. Kol-mangan stál.

Íslenskur staðall ÍST-EN-10025 fjallar um smíðastál. Ódýrasta efnið er stálið Fe-310-0 sem er nánast án allra upplýsinga um gæði.

Það efni sem flestir kannast við sem Stál 37 heitir nú Fe-360. Það er lágkolstál með kolefni minna en 0,25%. Einnig er gefið upp hámark óhreininda eins og brennisteins (S), fosfórs (P) og köfnunarefnis (N). Flotmörk eru um 235 N/mm² og togþol um 360 N/mm². Síðan má fá ýmsar gerðir, B, C og D, eftir kröfum um höggþol efnisins, þ.e. hvenær efnið verður stökkt í kulda.

Það stál sem venjulega gengur undir nafninu Stál 52 heitir nú Fe-510. Það efni er kol-magnan stál og inniheldur um 1,4-1,7% magnan (Mn) sem íblöndunarefni. Eykur það styrk stálsins miðað við stál Fe-360 án þess að rýra suðuhæfni þess. Flotmörk þess eru um 345 N/mm² og togþol um 510 N/mm².

Á síðari árum hafa komið fram stáltegundir, sem hafa mun meiri styrk en hinar hefðbundnu tegundir án þess að suðuhæfni minnki umtalsvert. Er þar um að ræða flokkana fínkornótt smíðastál og hástyrksstál. Í fyrnefnda flokknum má ná flotstyrk upp í 600-700 N/mm² og í þeim síðari upp undir 2000 N/mm². Þessar stáltegundir eru t.d. notaðar í bifreiðir, flugvélar og önnur flutningatæki.

Almennt má segja, að smíðastál tærast í snertingu við súrefni og vatn. Því þarf oftast að verja það gegn tæringu með málningu eða öðrum húðunaraðferðum. Þar sem ekkert súrefni er í umhverfi stálsins getur það enst mjög vel óvarið.

9.2.3. Galvanhúðað stál

Ein algengasta aðferð til þess að verja smíðastál gegn tæringu er að húða það með zínki (Zn). Zínkið myndar varnarhúð úr zínkoxíði eða zínkkarbónati á yfirborði sínu í tærandi umhverfi og ver hún málminn gegn frekari tæringu.

Algengasta aðferð til að zínkhúða stál er að dýfa því niður í bráðið zínk, þ.e. heithúðun. Með þessu fæst mjög góð viðloðun á zínkhúðinni við stálið og þykkt húðarinnar verður tiltölulega mikil. Algeng þykkt er á bilinu 0,05-0,15 mm.

Aðrar aðferðir eru rafhúðun og sprautuzínkun. Rafhúðun gefur áferðarfallega en mjög þunna húð. Hún er því ekki ætluð sem vörn í mjög tærandi umhverfi. Sprautuzínkun, þar sem bráðnu zínki er sprautað á stálið, er notuð á hluti, sem ekki er hægt að heithúða vegna stærðar eða lögunar. Hægt er að ná góðri þykkt (0,05-0,12 mm) og ágætri viðloðun. Sprautuzínkun er mjög góður grunnur undir málningu.

Á síðari árum er einnig farið að húða smíðastál með áli (Al) eða ál/zínk blöndun. Aluzínk er algeng blanda á plötustál, þar sem ál er 55%, zínk 44,3% og kísill (Si) 1,6%. Mikil þróun er í húðunaraðferðum og efnum og eru ný húðunarefni stöðugt að koma á markað.

Galvanhúðað stál, sem notað er í rör og fittings hitaveituvatn er heithúðað með zínki.

9.2.4. Öxulstál

Öxulstál inniheldur yfirleitt meira kolefni en smíðastál eða um 0,22-0,6%. Einnig innihalda þessar stáltegundir oft ýmis önnur íblöndunarefni svo sem króm (Cr), molybden (Mo) og vanadíum (V). Þessi efni auka hersluhæfni með hitameðferð, styrk og þreytuþol.

Öxulstál eru oftast ekki suðuhæf nema með hitameðferð, svo sem forhitun og eftirhitun.

Svonefnt „komprimerað öxulstál sem töluvert er notað hér á landi er ekki eiginlegt öxulstál, heldur er um að ræða smíðastál Fe-360 eða Fe-510, sem hefur verið kalddregið til þess að fá fram góða yfirborðsáferð. Þetta efni er að sjálfsögðu suðuhæft.

Algengustu tegundir öxulstáls bera hins vegar heitin C22, C35, C45 og C60. Kolefnismagnið er 0,22% fyrir C22, 0,6 fyrir C60 og samsvarandi fyrir hinar tegundirnar. Þessi efni eru yfirleytt notuð í hertu ástandi erlendis en algengt er, að þau séu notuð óhert hér.

Silfurstál er kalddregið og fínslípað stál með glansandi yfirborðsáferð. Ýmsar gerðir eru til og eru íblöndunarefni oft króm, wolfram (W) og vanadíum. Togþol er um 700-800 N/mm² í óhertu ástandi en hægt er að ná fram mun meiri styrk og mikilli hörku með hitameðferð.

Ryðfrítt stál er nú töluvert notað í öxulstál í jarðvarmavirkjunum hér á landi í stað krómhúðaðs öxulstáls (sbr. 9.2.6).

9.2.5. Járnsteypa

Járnsteypa (pottur) er járn-kolefnisblanda með meira en 2% kolefni. Algengt er að kolefnismagníð sé um 3%. Kolefnið (C) er á tvennu formi í járninu, þ.e. annað hvort sem grafit (C) eða járnkarbíð (Fe_3C). Járnsteypa er í eðli sínu stökkur málmur með lítinn styrk en hefur gott tæringarþol. Stafar það af því að grafitíð hindrar myndun tæringarpytta þannig að tæring efnisins verður jöfn. Þar sem efnisþykkt steyptra hluta er oftast mikil verður endingin góð.

Algengasti flokkur járnsteypu er grájárn. Fær það nafn sitt af því, að brotsár þess er gráleitt. Kolefnið er að mestu sem grafitflögur í steypunni. Hún er því stökk, en hefur gott tæringarþol, steypuhæfni og dempunarhæfni á titring. Pottofnar eru úr grájárni.

Með efnaþblöndun er hægt að láta grafitflögurnar í grásteypunni mynda kúlur í efninu. Nefnist steypa þá kúlusteypa (ductile iron). Með þessu fást mun betri styrkeiginleikar, þ.e. nær stáli, og einnig má rafsjóða kúlusteypu með hitameðferð. Tæringarþol er hins vegar minna en í grásteypunni. Kúlusteypa er notuð í sveifarás, hásingar og vélablokkir. Einnig er hún notuð í frárennslis- og kaldvatnslagnir (“duktil”-pípur) og jafnvel í fittings.

Hnoðrasteypa er svipuð kúlusteypu að eiginleikum. Kolefnið myndar hnoðra í steypunni í stað kúlna. Einnig má hita hluti í hnoðrasteypu í oxandi umhverfi þannig að meginhluti kolefnisins hverfi við hitameðferðina. Þannig má t.d. framleiða suðufittings með sömu suðuhæfni og eiginleikum og smíðastál (minna en 0,2% kolefni).

Ástæða þess, að yfirleitt er notuð járnsteypa en ekki stálsteypa við framleiðslu steyptra hluta og síðan reynt að ná fram eiginleikum stáls með hitameðferð eða efnaþblöndun er sú, að stálsteypa er mun erfiðari í framkvæmd. Rýrnun við storknun er meiri og storknunarmark hærra.

9.2.6. Ryðfrítt stál

Samkvæmt skilgreiningu þarf ryðfrítt stál að innihalda minnst 12% króm sem íblöndunarefni. Tæringarþol ryðfría stálsins er komið til vegna þess, að súrefni gengur í efnasamband við krómið og myndar mjög sterka krómoxíðhúð á yfirborði stálsins. Kemur hún í veg fyrir frekari tæringu með því að loka yfirborðinu. Ef húðin verður fyrir skemmdum endurnýjast hún, ef súrefni er til staðar.

Krónoxíðhúðin þolir illa seltu (klóríð) við stályfirborðið. Við þau skilyrði geta myndast krómklóríðsambönd í stað krómoxíðs. Eru þau gagnslaus til tæringarvarna. Yfirleitt gerist þetta á smáblettum á yfirborðinu og myndast þar hröð pyttatæring. Því þarf mikillar varúðar við, þegar ryðfrítt stál er valið við aðstæður, þar sem selta er fyrir hendi. Sem dæmi má nefna, að ryðfrí útiklæðning ryðgar oft hratt við íslensk veðurskilyrði þar sem selta er í lofti vegna nálægðar við sjó.

Ryðfríu stáli má skipta í nokkra flokka eftir kornabyggingu efnisins. Þeir helstu eru:

- ?? Austenítískt ryðfrítt stál
- ?? Ferrítískt ryðfrítt stál
- ?? Martensískt ryðfrítt stál
- ?? Ferrítískt-austenítískt ryðfrítt stál

Austenítískt ryðfrítt stál er lang algengasta ryðfría stálið. Helstu tegundir er 18/8 stál (einnig nefnt 304), sem inniheldur um 18% króm og 8% nikkell og 18/8/2 stál (einnig nefnt 316), sem inniheldur auk króms og nikkels um 2% af molybden. Síðarnefnda tegundin er oft nefnd sýruhelt ryðfrítt stál. Austenítískt ryðfrítt stál þekkist á því, að það tekur ekki segul, nema í kaldhertu ástandi. Það hefur gott tæringarþol nema þar sem selta (klóríð) er til staðar. Getur það þá bæði ryðgað og pyttatærst. Einnig getur það sprungið vegna álagstæringar (sjá 9.3.6), ef það er notað við hitastig yfir 60°C í söltu umhverfi. Val á ryðfríu stáli krefst því mikillar þekkingar á umhverfi því, sem stálið er notað í. Sérstaklega er rétt að benda á, að utanaðkomandi raki er oft mun alvarlegri tæringarvaldur á ryðfríum hlutum fyrir heitt vatn en heita vatnið sjálft. Þar gufar vatnið upp og söltin í því valda tæringunni.

Ferrítískt ryðfrítt stál inniheldur oftast 12-27% króm en lítið af öðrum íblöndunarefnum. Það tekur segul. Það er ódýrara en austenítískt ryðfrítt stál og algengt í ýmsum tækjum og búnaði t.d. dælum og lokum. Það hefur minna almennt tæringarþol en austenítískt stál en springur hins vegar ekki vegna álagstæringar í heitu og söltu umhverfi.

Martensískt ryðfrítt stál inniheldur oftast um 12-17% af krómi og meira kolefni en ferrítískt ryðfrítt stál eða allt upp í 1%. Það er því harðara efni og með meiri slitstyrk. Almennt tæringarþol er svipað eða minna en á ferrítísku ryðfríu stáli. Þetta efni er algengt í gufuhverflum í jarðvarmavirkjunum og ýmsum búnaði, þar sem slitstyrks er krafist auk sæmilegs tæringarþols.

Ferrítískt –austenítískt ryðfrítt stál eða Duplex stál er nú stöðugt að ryðja sér meira til rúms. Margar tegundir eru til í þessum flokki og innihalda þær oft um 23-28% króm, 2,5-5% nikkell og 1-2% molybden. Þær sameina kosti austenítísku og ferrítísku stáls hvað tæringu varðar, þ.e. þær hafa svipað almennt tæringarþol og austenítískt stál en springa mun síður eða ekki vegna álagstæringar í heitu og söltu umhverfi. Styrkur þessara efna er einnig mjög góður. Flotmörk eru um 400 N/mm², sem er tvöfalt hærra en hjá 18/8 stáli. Duplex-stálið SAF 2205 hefur verið notað með góðum árangri í öxla í jarðvarmavirkjunum. Ýmsar sérhæfðar ryðfríar stáltegundir hafa einnig verið prófaðar hér einkum í sambandi við gufuvirkjanir. Má þar nefna 254 SMO sem inniheldur 20% Cr, 18% Ni og 6% Mo. Þetta stál er mjög dýrt vegna mikillar efnaíblöndunnar, en hefur ákaflega gott tæringarþol jafnvel í söltu umhverfi.

9.2.7. Eir og eirmelmi

Nafnið eir er hér notað yfir frumefnið Cu, en ekki nafnið kopar, þar sem orðið kopar hefur verið notað á mjög mismunandi hátt. Sumir nota orðið kopar yfir blöndur eirs og annarra málma, en hér verður talað um eirmelmi, t.d. brons, látún o.s.frv.

Eirör eru framleidd úr hreinum eir (Cu), sem blandaður er örlitlum fosfór (P) (0,03%) til þess að koma í veg fyrir að þau stökkni við hitun t.d. við lóðun.

Eir er veikur málmur, sem herða má með kaldálagsherslu. Eirör eru framleidd með kalldrætti sem herðir þau. Þau eru síðan annað hvort seld sem hörð, hálfhörð eða afglóðuð. Togþol er frá 300 N/mm² niður í 220 N/mm² eftir herslugráðu. Á eirinn myndast varnarhúð úr eiroxíði ef raki og súrefni kemst að. Oxíðhúðin ver málminn gegn frekari tæringu. Húðin er hins vegar tiltölulega veik gegn álagi t.d. miklum straumhraða eða hvirflum í vatnsrörum. Því þarf að setja mörk á rennslisraða í eirörum. Þetta hámark lækkar með aukinni seltu í vatninu, (sbr. 9.3.10).

Í hitaveituvatni með súlfíði myndast eirsúlfíð varnarhúð í stað eiroxíðhúðar. Eirsúlfíðhúðin er mun veikari gegn álagi en eiroxíðið, þannig að þar verður hámarksrennslisraði að vera mun minni en í venjulegu neysluvatni.

Fjölmarginar gerðir af eirmelmum eru notaðar í hitaveitum, t.d. í lokum, húsum rennslismæla, dælum, legum og öðrum steiptum smáhlutum og hafa þær reynst misjafnlega í einstökum hitaveitum. Koma þar til bæði áhrif af súlfíði í hitaveituvatni og einnig valtæring á eir/zínk melmum (sbr. 9.3.7), þar sem zínkið leysist upp úr blöndunni.

Skipta má eirmelmum í tvo meginhluta:

?? Látún = messing = brass. Í þessum flokki er zínk aðalblöndunarefnið.

?? Brons. Upphaflega var tin aðalblöndunarefnið, en nú er nafnið notað um öll eirmelmi önnur en látún.

Helstu flokkar af látúni eru:

Rauðlátún inniheldur um 85% eir og 15% zínk. Afbrigði af því er notað í steipta hluti og inniheldur 85% eir, 5% zínk, 5% blý og 5% tin. Þessi efni tærast ekki valtæringu, (sbr. 9.3.7), en hins vegar getur súlfíð tært þau.

Gult látún 70/30 inniheldur 72% eir, 24% zínk, 3% blý og 1% tin. Þessi blanda getur tærst í valtæringu.

60/40 látún inniheldur 58% eir, 40% zínk og 2% blý. Þessi blanda getur tærst í valtæringu.

Þessir flokkar skiptast síðan í fjölmarga undirflokkar og afbrigði. Ýmsar sérhæfðar tegundir af látúni eru nú að ryðja sér til rúms í lagnahlutum. Má þar nefna Enkotal, Esmatur A og Esmatur B. Þessar tegundir eru sérstaklega framleiddar með tilliti til almenns tæringarþols og þá einkum þols gegn valtæringu.

Af bronsi eru einnig til margir flokkar. Nefna má sem dæmi manganbrons, kísilbrons, tinbrons, álbrons og eir/nikkel. Í hverjum flokki eru margir undirflokkar. Þessi efni eru yfirleitt sterkari, tæringarþolnari og dýrari en látún.

Lóðmálmur fyrir eir og ryðfrítt stál eru oftast úr eirmelmum. Margar gerðir þeirra þola mjög illa súlfíð í vatni, sbr. 9.5.6.

9.2.8. Ál og álmelmi

Ál hefur í mörgum tilfellum betra tæringarþol en stál vegna mjög sterkar oxíðhúðar sem á því myndast (Al_2O_3). Húðin ver álið mjög vel gegn áhrifum margra tærandi þátta. Hægt er að auka þykkt hennar á álhlutum með svonefndri anóðiseringu, sem fram fer í rafbaði.

Súrefni í vatni hefur ekki áhrif á tæringu áls. Sá galli er hins vegar á notkun þess í hitaveitum, að áloxíðhúðin leysist upp við pH-gildi vatns um og yfir 8,5. Því er hitaveituvatn hérlendis, sem hefur pH gildi frá 8,8 til 9,6 á mörkum hins viðráðanlega fyrir álhloti.

Hreint ál er mjög veikur málmur með togþol um 70-100 N/mm². Því oft eru notuð ýmis íblöndunarefni til þess að styrkja það. Þau helstu eru mangan, magnesíum og kísill. Álmagnesíum melmi með um 3% magnesíum eru kölluð seltufrítt ál. Tæringarþol þessara efna er svipað og hreináls. Eir er einnig algengt íblöndunarefni í ál, þar sem ná á fram miklum styrk, t.d. í flutningatækjum. Tæringarþol og suðuhæfni áleirmelma er hins vegar lítil.

9.2.9. Títan

Títan (Ti) er sá málmur sem hefur hvað hæstan styrk miðað við þyngd. Títan hefur einnig mjög gott tæringarþol vegna myndunar sterkar oxíðhúðar á yfirborði málsins. Það er að þessu leyti svipað ryðfríu stáli utan þess að selta hefur engin áhrif á oxíðhúðina. Títan er því algengur málmur t.d. í varmaskiptaplötum í jarðvarmavirkjunum, þar sem venjulegt ryðfrítt stál hefur ekki þolað aðstæður. Er það svipað í kostnaði og dýrustu gerðir af ryðfríu stáli, t.d. 254 SMO.

9.2.10. Plastefni

Notkun hitapolinna plaströra fer stöðugt vaxandi í hitaveitum. Er þar einkum um þrjár gerðir að ræða:

- ?? Krossbundin polyetylen rör (PEX,XPE).
- ?? Plypropylen rör (PP).
- ?? Polybutylen rör (PB)

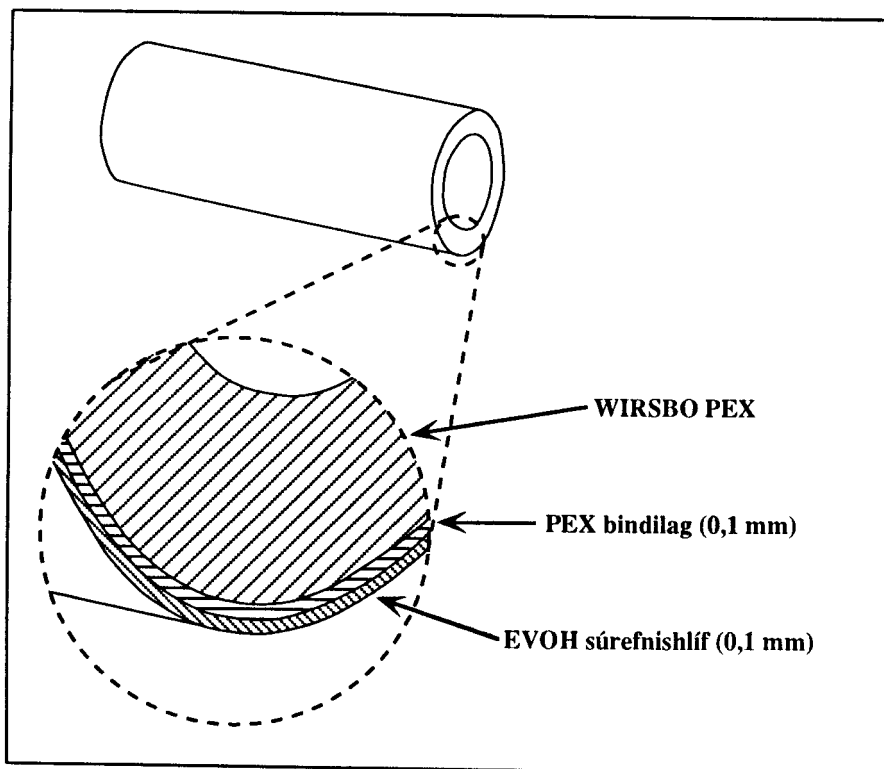
Fjallað hefur verið um styrkeiginleika plaströra í kafla 7.3.

Plaströr eru þeim eiginleikum gædd að þau eru ekki þétt. Lofttegundir svo sem, súrefni andrúmsloftsins fara inn um veggri röranna og í heita vatnið og á móti streymir vatnsgufa út. Súrefnisupptaka vatns í plaströrum hefur víða verið mæld í hitaveitum hér á landi.

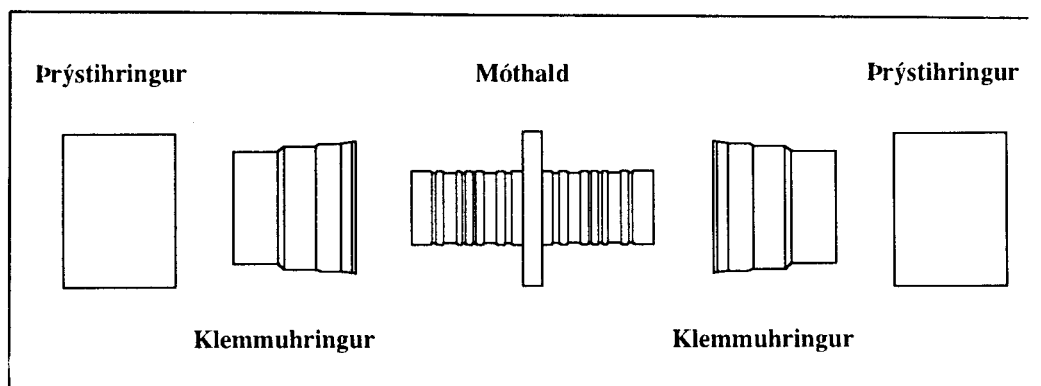
Hin síðari ár hefur orðið ör þróun í gerð foreinangraðra plaströra til hitaveitulagna, einkum þó PEX og PB-rör í heimaæðar. Þróaðar hafa verið nýjar gerðir súrefnishlífa til þess að þetta rörveggina (mynd 9.2.1). Benda nýjustu erlendar mælingar til þess, að súrefnisupptaka í rörum með bestu gerðir súrefnishlífa sé allt að 1000 sinnum minni en í óvörðu röri. Á þá súrefnið sem kemst í vatnið að vera svo lítið að hætta á tæringu í ofnakerfum sé óveruleg. Engin reynsla er komin á þennan frágang hér á landi, svo vitað sé.

Einnig hafa verið þróaðar nýjar samsetningar fyrir plaströr, svonefndar þrýstisamsetningar (mynd 9.2.2), en þær þykja mun betri en hefðbundnar skrúfaðar samsetningar.

Taka ber fram að notkun plaströra í innanhúslagnir er bönnuð í reglugerðum margra hitaveitna.



Mynd 9.2.1 Þversnið af Wirsbo PEX röri með súrefnishlíf



Mynd 9.2.2 Prýstisamsetning á plaströri

9.2.11. Asbest

Asbest rör eru framleidd úr sementi og um 11-19% af asbestrefjum. Asbest er náttúrulegar magnesíumsilikat trefjar, sem hafa gífurlegt þol gegn flestum tærandi efnum. Ryk þeirra er talið krabbameinsvaldandi, og því er notkun asbests nú bönnuð víða um lönd þar á meðal hér á Íslandi sbr. *Reglugerð um bann við innflutningi og notkun asbests frá 1983*. Við vinnu með asbest þarf því að gæta fyllstu varúðar til þess að ekki myndist asbestryk í andrúmsloftinu.

Asbeströr hafa töluvert verið notuð hjá hitaveitum hér á landi í aðveituæðar. Einnig er asbest notað í kaldavatnslagnir. Hitaveituvatnið leysir upp sementið innan úr rörinum. Gerist þetta mest þegar rörin eru ný. Upplýsingin hefur minnkað og nær stöðvast með tímanum nema í einni veitu svo vitað sé.

9.2.12. Gúmmí

Ýmsar gúmmítegundir eru notaðar í búnað fyrir heitt vatn, t.d. mæla, loka, hemla, blöndunartæki og pakkningar. Algengastar þeirra er EPDM en af því eru til ýmis afbrigði. Hitapól gúmmítegunda er takmarkað og harðna þær því fyrr þeim mun hærra sem hitastig vatnsins er. Samfara hörðuninni fer oftast sprungumyndun og rúmmálsbreyting. Einnig geta brennisteinssambönd (t.d. súlfíð) í vatninu aukið hraða skemmdanna.

Athuga ber sérstaklega, að blöndunartæki og ýmiss mælibúnaður eru oft notuð við mun lægra hitastig erlendis en hér á landi og því ekki hönnuð fyrir hitastig íslenskra hitaveitna.

9.3. Málmtæring – grundvallaratriði

9.3.1. Inngangur

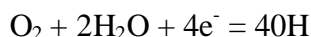
Flestir málmar, sem notaðir eru í hitaveitum, eru unnir úr efnasamböndum, sem finnast í náttúrunni. Þessi efnasambönd geta til dæmis verið sambönd máls og súrefnis (oxíð, hydroxíð), brennisteins (súlfíð, súlföt) eða annarra efna.

Eftir framleiðslu úr efnasamböndum hafa þessir málmar tilhneigingu til þess að mynda efnasambönd að nýju, þ.e. þeir hafa tilhneigingu til þess að tærast. Málmtæring er því eðlileg afleiðing hins náttúrulega eðlis máls til þess að mynda efnasambönd.

9.3.2. Elektrókemísk málmtæring

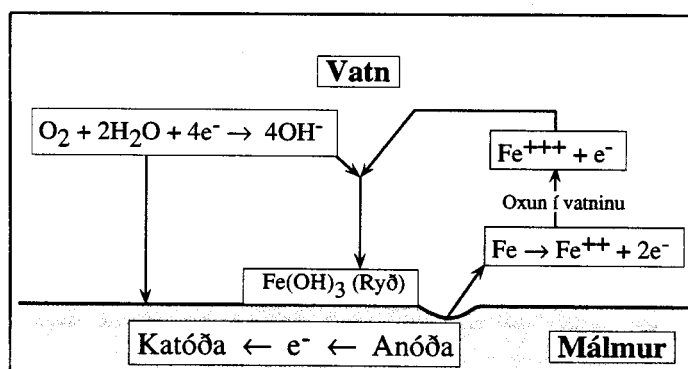
Öll tæring, sem fram kemur í hitaveitum, er í eðli sínu elektrókemísk. Til þess að tæringin myndist, þarf vökva á málmyfirborðinu. Þessi vökvi þarf ekki að vera sýnilegur, heldur getur rakafilma sem myndast í andrúmslofti dugað.

Tvær gerðir rafskauta myndast á röku málmyfirborðinu, anóða og katóða. Málmurinn leysist upp á anóðusvæðinu og myndar málmjónir í vökvanum en jafnframt verður eftir rafhleðsla í grunnefninu. Grunnefnið þarf síðan að losna við rafhleðsluna til þess að upplausnin (tæringin) geti haldið áfram. Það gerist með efnabreytingum við katóðuna. Helsta efnahvarf, sem þar getur komið fram er eyðing súrefnis:



Uppleyst súrefni + vatn + rafhleðsla = hydroxíð.

Mynd 9.3.1 skýrir þetta fyrir stál. Járnjónirnar sem myndast við anóðuna og hydroxíðjónirnar, sem myndast við katóðuna ganga í efnasamband og falla út sem ryð. Ryðið sest yfirleitt mun nær katóðunni en anóðunni



Mynd 9.3.1 Elektrókemísk málmtæring á stáli

Þar sem tæringin felur í sér flutning á rafhleðslu, skiptir rafleiðni í vökvanum við málmyfirborðið milli anóðu og katóðu miklu máli um tæringarhraðann. Því betri leiðni þeim mun hraðari tæring.

Með því að skoða mynd 9.3.1 má ljóslega sjá helstu grundvallaratriði tæringarvarna:

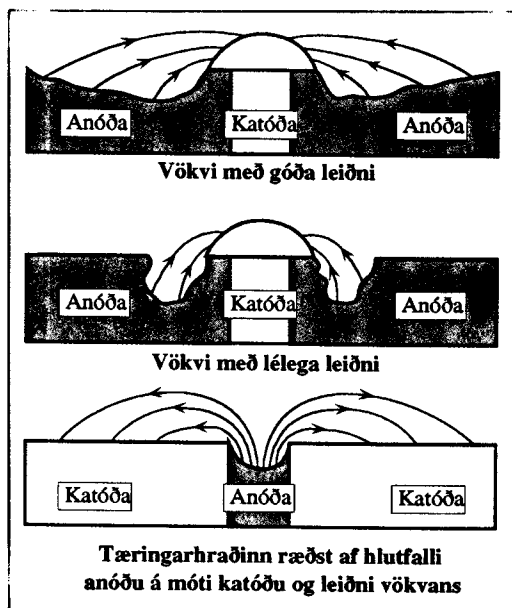
- | | |
|--|--------------------------------|
| ?? Að losna við rakann af málmyfirborðinu. | Dæmi: Málun. |
| ?? Að losna við katóðuefnabreytinguna | Dæmi: Súrefniseyðing úr vatni. |
| ?? Að skipta um málm í snertingu við rakann. | Dæmi: Málmhúðun. |
| ?? Að eyðileggja anóðurnar og/eða katóðurnar | Dæmi: Tæringarvarnarefni. |

9.3.3. Galvanísk tæring

Hver málmur hefur ákveðna rafspennu í vökva. Þessi rafspenna er mismunandi hjá málmunum. Tafla 9.3.1 sýnir spennuröð helstu málma.

Þegar tveir málmar eru tengdir saman í leiðandi vökva eykur spennumismunur milli þeirra tæringu þess málms, sem ofar er í töflu 9.1 en dregur úr tæringu hins næst tengistaðnum. Með þessu móti getur komið fram hröð staðbundin tæring einkum ef málmarinn liggja langt hvor frá öðrum í spennuröðinni (mynd 9.3.2).

Um galvaníska tæringu gilda sömu lögmál og um aðra elektrókemíska tæringu, þ.e. að aukin leiðni vökvans eykur tæringarhraðann og að einhverja efnabreytingu þarf við katóðuna til þess að losa málminn við rafhleðslu, t.d. eyðingu súrefnis. Galvanísk tæring er því algengust í söltu vatni, þar sem súrefni er til staðar.



Mynd 9.3.2 Galvanísk tæring

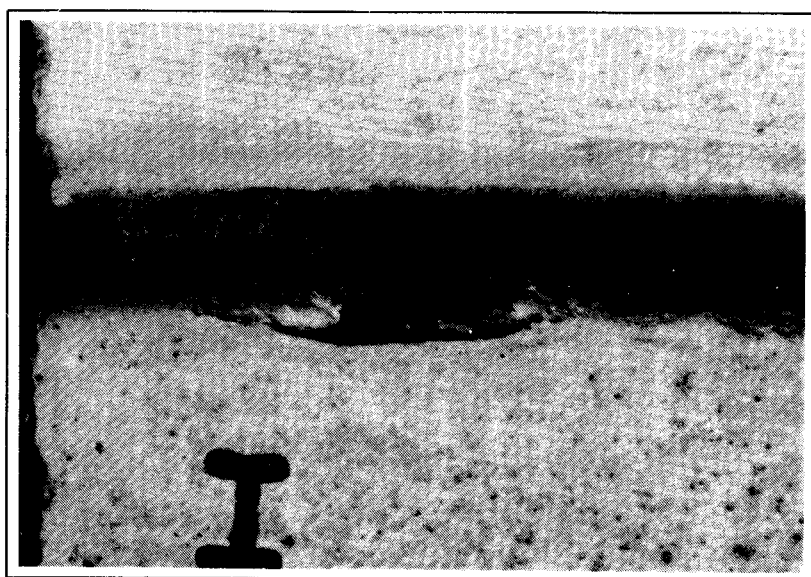
Spennuröð málma í sjó	Anóðiskir fórnarmálmar
Magnesíum (Mg)	↑ ↓
Zínk (Zn)	
Ál (Al) 99,5% Al	
Álmelmi 2024	
Zínkhúðað stál (galvanhúðað)	
Stál (Fe)	
Járnsteypa (pottur)	
Ryðfritt stál 18/8 (aktíft)	
Ryðfritt stál 18/8/3 (aktíft)	
Blý-tín lóð	
Blý (Pb)	
Tín (Sn)	
Látúnsblöndur (Cu-Zn)	
Eldhúð á stáli	
Eir (Cu)	
Brons (Cu-Sn)	
Eir-Nikkel blöndur	
Silfurlóð	
Ryðfritt stál 18/8 (passíft)	
Ryðfritt stál 18/8/3 (passíft)	
Silfur (Ag)	
Títan (Ti)	
Grafít (C)	
Gull (Au)	
Platína (Pt)	
Aktíft ryðfritt stál er án oxíðhúðar	↓ ↑
Passíft ryðfritt stál er með oxíðhúð	
	Katóðiskir eðalmálmar

Tafla 9.3.1 Spennuröð málma í sjó

9.3.4. Jöfn tæring – pyttatæring

Þegar anóður og katóður myndast á málmni og tæring hefst, er um tvo möguleika að ræða um framhaldið. Annar er sá að anóðurnar og katóðurnar skipti stöðugt um staði eftir því sem tæringarmyndanirnar hlaðast upp og/eða óhreinindi koma fram í málmyfirborðinu. Myndast þá tiltölulega jöfn tæring, sem veldur ekki verulegum vandamálum.

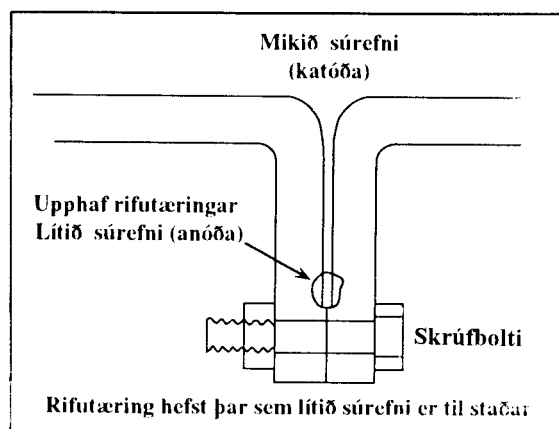
Hinn möguleikinn er, að anóðurnar setjist fastar á ákveðna staði, þannig að málmurinn eyðist þar stöðugt og djúpar holur myndist. Nefnist það pyttatæring og holurnar kallast tæringarpyttir (mynd 9.3.3). Algengasta orsök pyttatæringarinnar er að ófullkomin varnarhúð hefur myndast á málminum, þannig að aðeins eru einstakir blettir opnir fyrir anóðumyndun. Þessi varnarhúð getur til dæmis verið oxíðhúð, sem myndast þegar málmurinn byrjar að tærast í vatninu



Mynd 9.3.3 Pyttatæring í stálrofni. Dökka rákin er botninn á vatnsganginum.

9.3.5. Rifutæring

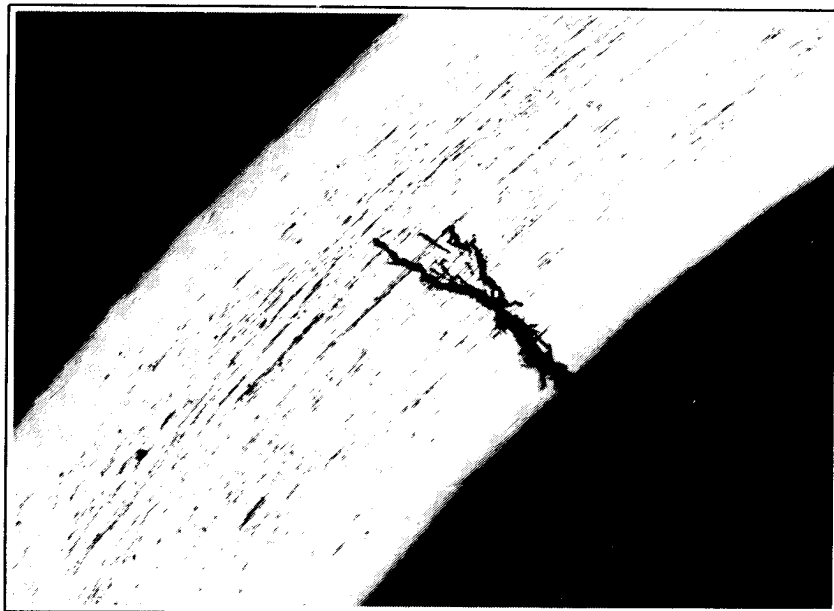
Í þröngum vökvafylltum rifum er tilhneiging til þess að staðbundin tæring myndist ef súrefni er í vatninu. Þetta er kallað rifutæring (mynd 9.3.4). Málmurinn leysist upp inni í rifunni þar sem súrefnið eyðist fljótt úr vökvunum en katóðan verður utan við rifuna. Svipuð tæring getur myndast undir óhreinindum, málningarhúð og pakkningum.



Mynd 9.3.4 Rifutæring

9.3.6. Álagstæring

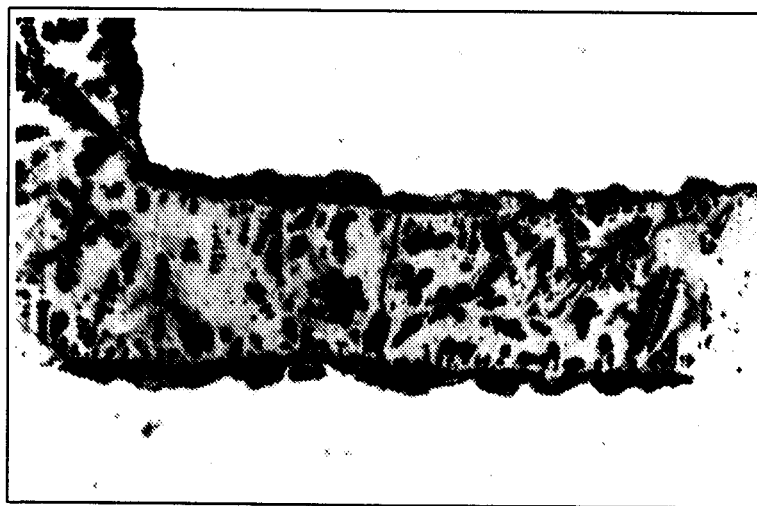
Álagstæring (stress corrosion cracking) hefur einnig verið nefnd spennnutæring. Hún myndast af samverkandi þáttum álagsspennu í málminum og málmtæringar. Í stað þess að pyttir myndist, koma fram sprungur í málminum (mynd 9.3.5). Þessi tæring er mjög algeng í ryðfríu stáli í heitu og söltu vatni, en getur einnig myndast í fleiri málum.



Mynd 9.3.5 Álagstæring í ryðfrírri varmaskiptaplötu. Þverskurður af sprungu.

9.3.7. Valtæring

Í ýmsum málmblöndum, sem byggðar eru upp úr fleiri en einni gerð af kornum, getur einn málmurinn í blöndunni tærst burtu og aðeins stendur eftir frauðkenndur massi (mynd 9.3.6). Þannig velur tæringin einn þátt efnisins til eyðingar. Algengustu efni, sem tærast valtæringu eru járnsteypa og ýmis eirzínk melmi. Heldur hluturinn oft lögun sinni þrátt fyrir tæringuna, en styrkurinn verður lítill sem enginn á tærða hlutanum.



Mynd 9.3.6 Valtæring á lóðmálmi. Á dökkusvæðunum er málmurinn að tærast. Ljósu svæðin eru ótærður málmur.

9.3.8. Preytutæring

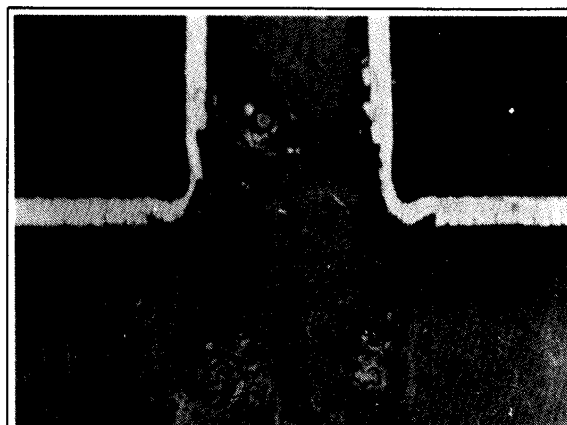
Preytutæring (corrosion fatigue) stafar af samverkandi áhrifum tæringar og málmþreytu. Getur tæringin bæði valdið myndun þreytusprungna t.d. út frá tæringarpyttum og flýtt fyrir framgangi sprungnanna eftir að þær hafa myndast.

9.3.9. Kornmarkatæring

Í sumum stáltegundum verður samruni króms og kolefnis í kornamörkum efnisins, ef það er hitað t.d. við rafsuðu. Getur krómið þá ekki lengur sinnt hlutverki sínu til tæringarvarnar. Við tærandi aðstæður leitar tæringin þá með miklum hraða eftir kornamörkum efnisins og kornin losna burtu. Af þessari ástæðu eru ryðfríar stáltegundir með mjög lágu kolefnisinnihaldi oftast valdar í rafsoðna hluti við tærandi aðstæður.

9.3.10. Ólgutæring

Ólgutæring stafar af því, að straumhvirlar í vatni, t.d. í beygjum á rörum, rífa með sér þá tæringarvarnarhúð, sem málmurinn hefur myndað. Ólgutæring lýsir sér yfirleitt sem skeifulaga pyttir með skarpar brúnir og eru þeir undirgrafnir í straumstefnuna. Þetta tæringar-afbrigði sést mest í eirrörum, þar sem rennslis-hraði er mikill og hvirflar rífa stöðugt burtu þá oxíð- eða súlfíðhúð, sem eirinn myndar sér til varnar (mynd 9.3.7).



Mynd 9.3.7 Ólgutæring í eirröri

9.3.11. Slittæring

Sandur og önnur óhreinindi geta rifið burtu tæringarvarnarhimnur svipað og straumhvirlar þeir sem rætt var um í ólgutæringunni hér að ofan.

Afbrigði af slittæringu er svonefnd „kavitation“. Hún kemur stundum fyrir í kælikerfum véla og í dælum. Stafar hún af stöðugum þrýstingsbreytingum við málmyfirborðið, t.d. vegna titrings. Við lágan þrýsting myndast loftbólur við yfirborðið. Þegar þrýstingurinn hækkar þrýstast bóllurnar saman og springa. Rífa þær þá burtu tæringarvarnarhúðina á málmyfirborðinu og jafnvel agnir úr málminum. Tæringin ræðst síðan á óvörðu svæðin jafnóðum og þau myndast, og djúpir pyttir koma í málminn.

9.3.12. Útleiðsla

Lekastraumur (Stray-current) veldur stundum tæringu, sérstaklega þar sem hann fer aðra leið til jarðar en honum er ætlað. Lekastraumur, sem veldur tæringu, getur orðið til í dælum eða öðrum rafmagnstækjum. Dæmi er um að ójarðtengd vatnsdæla hafi valdið miklu tjóni vegna tæringar. Við tæringu vegna útleiðslu myndast tæringarskemmdin þar sem straumurinn fer út úr málminum til jarðar, eða þar sem hann fer á milli málmhluta, sem einangraðir eru hvor frá öðrum á leið til jarðtengingar. Nær útilokað er að útbreiðsla valdi tæringu innan í vatnskerfum í húsum.

9.4. Málmtæring í hitaveituvatni

9.4.1. Hitaveituvatn á Íslandi

Hitaveitum hér á landi má skipta í fjóra megin flokka, eftir uppruna þess vatns sem notað er, þ.e.

- ?? Hitaveitur sem dreifa jarðhitavatni af lágghitasvæðum
- ?? Hitaveitur sem dreifa upphituðu og afloftuðu köldu vatni í opnu kerfi, þ.e. vatnið sem notað er beint.
- ?? Hitaveitur sem nota upphitað og afloftað kalt vatn í lokaðri hringrás.
- ?? Hitaveitur sem dreifa gufu.

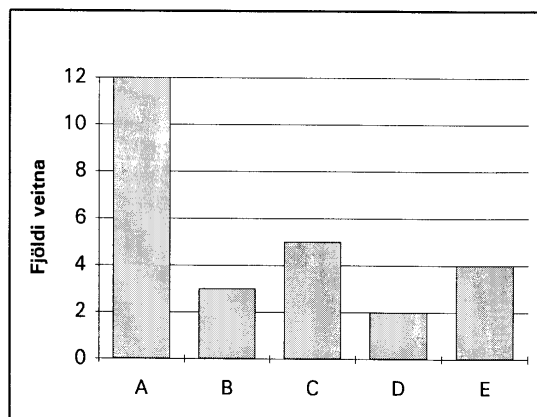
9.4.1.1. Hitaveitur sem dreifa jarðhitavatni af lágghitasvæðum

Það sem hér um ræðir er hin dæmigerða hitaveita á Íslandi. Jarðhitavatni úr hverum, laugum og borholum er dælt til neytenda og vatnið notað beint til upphitunar og sem heitt neysluvatn. Málmtæring í þessu vatni ræðst í höfuðdráttum af því hvort uppleyst súrefni eða brennisteinsvetni (H_2S) er til staðar í vatninu þegar því er dreift til notenda. Þessi tvö efni geta ekki verið saman í vatni nema örskamma stund þar sem þau ganga í efnasamband og eyða hvort öðru, þangað til aðeins annað er eftir. Uppleyst súrefni er höfuðorsök tæringar í íslensku jarðhitavatni. Þess vegna má skipta þessum flokki frekar upp eftir því hvort uppleyst súrefni er til staðar í vatninu eða brennisteinsvetni.

Af 31 hitaveitu í SÍH eru 24 sem dreifa jarðhitavatni af lágghitasvæðum. Í töflu 9.4.1a er gefin upp efnasamsetning jarðhitavatns hjá þessum veitum. Í þremur tilfellum eru gefin upp fleiri en ein efnagreining þar sem munur getur verið á efnainnihaldi eftir jarðghitasvæðum sem veiturnar nota. Á mynd 9.4.1 hefur efnagreiningunum verið skipt upp í flokka eftir því hvort brennisteinsvetni (H_2S) eða súrefni er til staðar.

Mynd 9.4.1 Hitaveitur í SÍH sem dreifa jarðhitavatni af lágghitasvæðum skipt eftir brennisteinsvetni og uppleystu súrefni.

- A.** Veitur með brennisteinsvetni og ekkert uppleyst súrefni.
- B.** Veitur með brennisteinsvetni meira en 0,2 ppm og jafnframt uppleyst súrefni.
- C.** Veitur með lítið brennisteinsvetni, en uppleyst súrefni.
- D.** Veitur með ekkert brennisteinsvetni en uppleyst súrefni
- E.** Veitur sem hvorki eru með brennisteinsvetni né uppleyst súrefni.



Tafla 9.4.1a Efnainnihald vatns hjá hitaveitum í SIH. Veitur sem dreifa jarðhitavatni af lágheatavæðum Styrkur efna í mg/kg

Hitaveita	Númer sýnis	Hiti °C	pH	pH-mælt við °C	SiO ₂	Na	K	Ca	Mg	CO ₂	SO ₄	H ₂ S	Cl	F	Uppl. O ₂	Uppl. efni	Heimild
Hitav. Akranes og Borg.	79-3025	97,0	9,20	20,0	127,6	71,7	2,5	3,1	0,060	22,8	56,2	0,53	36,0	2,59	0,000	390 SA o.fl. 83	
Hitav. Akureyrar Laugaland	88-0178	76,6	10,10	21,0	85,3	53,0	0,9	3,5	0,002	15,5	43,1	0,02	11,6	0,50	0,020	248 OS-90042	
Hitav. Akureyrar Laugal. Pelam.	88-0179	89,0	9,70	21,0	127,7	56,1	1,6	2,3	0,000	18,0	32,0	0,19	13,2	0,88	0,020	2290 OS-90042	
Hitav. Blönduóss	87-0150	74,5	9,70	20,0	108,3	67,1	1,9	3,2	0,017	29,1	59,6	1,40	9,6	5,45	0,000	291 OS-90042	
Hitav. Dalvíkur	85-0268	64,3	10,30	20,0	88,9	46,5	0,7	2,0	0,001	14,2	13,4	0,00	9,5	0,52	0,030	203 OS-90042	
Hitav. Egilsstaða og Fella	88-0153	76,0	9,80	23,0	66,2	68,6	1,2	7,1	0,002	13,4	55,2	0,11	45,0	0,69	0,015	250 OS-90042	
Hitav. Flúða	89-0047	100,0	9,20	26,0	153,2	76,1	2,5	1,0	0,000	40,6	54,4	1,80	23,5	1,35	0,000	334 OS-90042	
Hitav. Hríseyjar	88-0020	79,0	9,60	22,0	69,2	224,0	4,4	56,9	0,000	6,0	47,8	0,00	388,8	0,28	0,005	804 OS-90042	
Hitav. Hvammstanga	88-0199	97,5	9,20	23,0	98,5	146,0	4,3	23,3	0,008	10,7	142,1	0,25	141,2	3,81	0,005	599 OS-90042	
Hitav. Húsvíkur	88-0144	75,5	9,50	14,0	182,5	59,6	2,8	4,0	0,006	19,2	33,3	0,67	12,2	0,94	0,000	327 OS-90042	
Hitav. Laugaráss	87-0239	97,5	9,70	21,0	109,2	79,3	1,9	3,8	0,002	16,8	52,7	0,64	47,2	1,88	0,000	345 OS-90042	
Hitav. Laugarvatns	85-0237	97,5	9,50	22,0	144,9	76,2	3,8	3,1	0,040	27,3	33,7	13,00	35,1	2,94	0,000	345 OS-90042	
Hitav. Mosfellsbæjar	89-5245	93,6	9,80	22,0	96,9	50,3	1,4	1,8	0,003	24,6	19,0	0,90	12,9	0,92	0,000	183 OS-90042	HR gögn
Hitav. Ólafsfjarðar	88-0183	60,3	10,10	20,0	71,7	35,1	0,5	2,4	0,007	13,4	5,4	0,02	7,9	0,15	0,200	169 OS-90042	
Hitav. Ólafsfjarðar Norðurl.hóla	88-0182	54,0	10,10	19,0	64,9	32,4	0,4	2,2	0,002	13,5	4,5	0,02	7,4	0,12	0,500	404 SA o.fl. 83	
Hitav. Rangæinga		61,0	9,63	20,0	79,7	93,7	1,8	4,6	0,026	20,6	90,0	0,04	57,5	0,89		303 SA o.fl. 83	
Hitav. Reykhóla		100,0	9,37	11,0	100,5	58,6	2,1	2,8	0,060	35,9	33,0	0,39	32,5	0,56	0,000	331 OS-90042	
Hitav. Reykjavíkur Laug	82-0070	130,0	9,30	23,0	146,2	62,2	2,9	3,1	0,007	19,6	28,6	0,22	46,3	1,13	0,000		HR gögn
Hitav. Reykjavíkur Mosf	89-5245	93,6	9,80	22,0	96,9	50,3	1,4	1,8	0,003	24,6	19,0	0,90	12,9	0,92	0,000	161 HR gögn	
Hitav. Reykjavíkur Elliðaár	90-5004	91,5	9,60	22,0	88,1	48,1	1,2	2,3	0,040	22,0	15,2	0,00	22,8	0,36	0,000	229 OS-90042	
Hitav. Sauðárkróks	87-0153	70,6	10,00	18,0	70,6	55,8	0,9	3,2	0,002	16,1	41,7	0,39	20,7	1,49	0,025	551 OS-90042	
Hitav. Selfoss	89-0006	78,0	8,70	22,0	62,7	154,0	4,6	28,5	0,060	20,1	52,5	0,00	232,5	0,23	0,000	3484 OS-90042	
Hitav. Seltjarnarness	88-0004	117,0	8,40	22,0	122,9	597,0	14,0	522,9	0,380	9,8	304,4	0,10	1616,8	0,67	0,000	204 OS-90042	
Hitav. Siglufjarðar	96-0015	74,3	10,00	22,0	93,2	43,0	0,9	1,5	0,013	18,5	9,3	0,00	8,4	0,38	0,080	805 OS-90042	
Hitav. Suðureyjar	87-0087		9,20	23,0	50,0	187,0	1,9	77,2	6,370	10,1	106,4	0,00	336,8	0,32	0,120	204 OS-90042	
Hitav. Svalbarðeyrar	88-0177	55,2	10,10	17,0	70,2	45,2	0,5	3,1	0,004	16,0	17,4	0,09	15,2	0,55	0,025	338 OS-90042	
Hitav. Varmahlíðar	86-0161	88,2	9,50	18,0	123,5	77,3	2,0	1,7	0,004	34,9	44,0	1,50	30,6	2,16	0,000		
Hitav. Þorlákshafnar	85-0006	116,0	8,70	22,0	132,6	385,0	19,2	74,4	0,015	7,7	121,2	0,29	633,8	0,50		1470 OS-90042	

Tafla 9.4.1b Efnainnihald vatns hjá hitaveitum í SÍH. Veitur sem dreifa upphituðu köldu vatni í opnum kerfum Styrkur efna í mg/kg

Hitaveita	Númer sýnis	Hiti °C	pH	pH-mælt við °C	SiO ₂	Na	K	Ca	Mg	CO ₂	SO ₄	H ₂ S	Cl	F	Uppl. O ₂	Uppl. efni	Heimild
Hitav. Hveragerðis	82-0185	85	7,60	20,0	118,5	72,7	6,0	6,9	1,920	62,4	46,8	4,00	60,2	0,75	0,100	356,0	OS-90042
Hitav. Hveragerðis	80-0010	84	8,62	23,0	162,0	83,5	6,9	6,3	1,520	57,8	49,9	7,80	62,7	0,92		435,0	HK 1983
Hitav. Reykjahlíðar	87-0217	96	8,80	18,0	25,9	8,6	1,2	9,0	4,880	44,8	5,6	1,00	3,3	0,12	0,020	86,0	OS-90042
Hitav. Reykjavíkur Nes	91-5136	82	8,59	22,6	21,8	9,8	0,8	8,7	5,180	31,4	8,3	0,44	8,5	0,08	0,000		HR-gögn
Hitav. Suðurnesja	87-0241	100	9,10	21,0	12,5	30,4	1,7	7,1	6,320	9,6	9,7	0,00	63,6	0,06	0,000	153,0	OS-90042

Tafla 9.4.1c Efnainnihald vatns hjá hitaveitum í SÍH. Veitur sem dreifa upphituðu köldu vatni í lokuðum hringráskerfum Styrkur efna í mg/kg

Hitaveita	Númer sýnis	Hiti °C	pH	pH-mælt við °C	SiO ₂	Na	K	Ca	Mg	CO ₂	SO ₄	H ₂ S	Cl	F	Uppl. O ₂	Uppl. efni	Heimild
Fjarhitun Vestmannaeyja	1984	90	12,30	20,0	7,8	6,9	1,2	4,0	0,001	9,7			6,7		0,000		BV-gögn
Hitav. Hafnarhrepps		100	9,09	22,0	12,5	30,0	1,7	7,1	0,006	9,6	9,7	0,03	64,0	0,06	0,000	154,0	AB 1989?
Hitav. Hafnarhrepps	1993					2,1					0,1		1,6			19,0	33,0
Hitav. Seyðisfjarðar		110	9,40										4,3				ÁE 1983
Hitav. Seyðisfjarðar	1993					4,8					0,3		4,5			23,4	42,0
Orkubú Vestfjarða		90	8,00						0,000				11,0				ÁE 1983

Skýringar við töflu:

SiO₂ = kísill
Na = natríum
K = kalíum

Ca = kalsíum
Mg = magnesíum
Cl = klóríð

CO₂ = heildarkarbónat reiknað sem koldíoxíð
H₂S = brennisteinsvetni
SO₄ = sulfat

Uppl. O₂ = uppleyst súrefni
Uppl. efni = heildar uppleyst efni.

Af þeim 28 jarðhitasvæðum sem tilheyra þessum 24 veitum eru 12 þar sem brennisteinsvetni er til staðar og ekkert uppleyst súrefni. Þrjár veitur eru skráðar með þó nokkuð brennisteinsvetni (um 0,2 mg/l eða meira) og jafnframt uppleyst súrefni á bilinu 5-25 ppb (ppm = 1000 ppb = mg/l). Það brennisteinsvetni sem er til staðar í þessum sýnum duga vel til að eyða því uppleysta súrefni sem upp er gefið og gerist það á tiltölulega stuttum tíma. Ástæður fyrir því uppleysta súrefni sem hér er skráð geta verið nokkrar. Um lágan styrk uppleysts súrefnis er að ræða og getur það stafað af ónákvæmni í mælingum. Auk þess getur verið að kalt vatn blandist jarðhitavatninu í uppstreyminu eða borholunni

Á fimm jarðhitasvæðum er brennisteinsvetni í lágum styrk og jafnframt eitthvað uppleyst súrefni til staðar.

Á fjórum jarðhitasvæðum inniheldur vatnið ekki brennisteinsvetni en uppleyst súrefni er til staðar og í tveimur tilfellum er hvorki brennisteinsvetni né uppleyst súrefni.

9.4.1.2. Hitaveitur sem nota upphitað kalt vatn í opnum kerfum

Í þennan flokk falla fjórar veitur, þ.e. Hitaveita Hveragerðis, Hitaveita Reykjahlíðar, Hitaveita Reykjavíkur (Nesjavellir) og Hitaveita Suðurnesja (tafla 9.4.1b).

Kalt vatn er að jafnaði efnasnaðara en jarðhitavatn. Þó getur styrkur einstakra efna verið meiri í köldu vatni en í jarðhitavatni t.d. styrkur magnesíum. Skýring þess er sú að þegar kalt vatn hitnar upp neðanjarðar leitar vatn og berg í efnajafnvægi, sem háð eru hitastigi. Til þess að jafnvægi haldist milli vatns og bergs, þá skolast í sumum tilfellum út efni úr berginu og styrkur þeirra efna eykst í vatninu. Í öðrum tilfellum falla efni út úr vatninu. Kalt vatn er mettað af uppleystu súrefni og án brennisteinsvetnis og verður því mjög tærandi þegar það er hitað upp.

Hitaveita Reykjahlíðar, Hitaveita Reykjavíkur og Hitaveita Suðurnesja nota að mestu óbeina upphitun á köldu vatni með jarðgufu í varmaskiptum. Vatnið er síðan afloftað þannig að það fer án uppleysts súrefnis til neytenda. Á Nesjavöllum og hjá Hitaveitu Reykjahlíðar er jafnframt bætt í vatnið örlítilli gufu til að fá í vatnið dálítið brennisteinsvetni. Það eyðir síðan uppleystu súrefni sem kemst í vatnið t.d. í miðlunargeymum.

Í Hveragerði er um að ræða beina upphitun eins og sést á efnainnihaldi vatnsins. Varmaskiptar eru fyrir hita- og neysluvatnskerfi í hverju húsi.

Í töflu 9.4.1b er gefið upp að bæði brennisteinsvetni og uppleyst súrefni séu til staðar í Hveragerði og Reykjahlíð. Styrkur brennisteinsvetnis er það hár að uppleysta súrefnið ætti að hverfa á mjög stuttum tíma.

9.4.1.3. Hitaveitur sem nota upphitað kalt vatn í lokuðum hringrásarkerfum

Í þennan flokk falla 4 veitur í SÍH, þ.e. Bæjarveitur Vestmannaeyja, Hitaveita Hafnarhrepps, Hitaveita Seyðisfjarðar og Orkubú Vestfjarða (tafla 9.4.1c). Þar sem um er að ræða lokuð

hringrásarkerfi þá er hægt að meðhöndla vatnið á ýmsan hátt til að komast hjá tæringu og útfellingum. Sem dæmi má nefna að vatnið sem bætt er á kerfin á Seyðisfirði og Höfn er nú afjónað. Hringrásarvatnið er notað beint í hitakerfi húsa, en varmaskiptar eru fyrir heitt neysluvatn. Taflan gefur takmarkaðar upplýsingar, en styrkur uppleystra efna er mjög lágur þar sem um kalt upphitað vatn er að ræða. Tvær greiningar eru sýndar frá Hitaveitu Hafnarhrepps og Hitaveitu Seyðisfjarðar frá mismunandi tíma. Á fyrri greiningunni frá Hitaveitu Hafnarhrepps má sjá að bætt hefur verið í vatnið natríumsúlfíti (Na_2SO_3) til að eyða uppleystu súrefni, en því hefur nú verið hætt. Sýrustig (pH) vatnsins sem gefið er upp er í mörgum tilfellum varhugavert þar sem það hefur verið mælt á rannsóknastofu eftir geymslu og getur því hafa breyst. Þessum veitum svipar til hitaveitna í nágrannalöndunum.

9.4.1.4. Hitaveitur sem dreifa gufu

Hluti Hitaveitu Hveragerðis er gufuveita. Gufu og vatni er veitt beint inn á dreifikerfið. Varmaskiptar eru síðan í hverju húsi fyrir hita og neysluvatnskerfi.

9.4.2. Helstu áhrifaþættir tæringar

Jarðhitavatn inniheldur ýmis efni sem geta haft áhrif á tæringu. Þau helstu eru:

- ?? Uppleyst súrefni
- ?? Brennisteinsvetni
- ?? pH gildi vatnsins (styrkur vetnis)
- ?? klóríð
- ?? koldíoxíð
- ?? súlfat

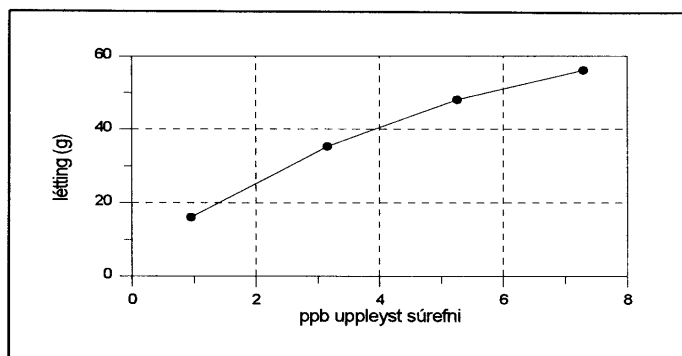
Auk þess eru aðrir þættir sem hafa áhrif á tæringu eins og

- ?? hiti
- ?? vatnshraði
- ?? blöndun á heitu og köldu vatni.

Hér á eftir verður fjallað um þessi atriði.

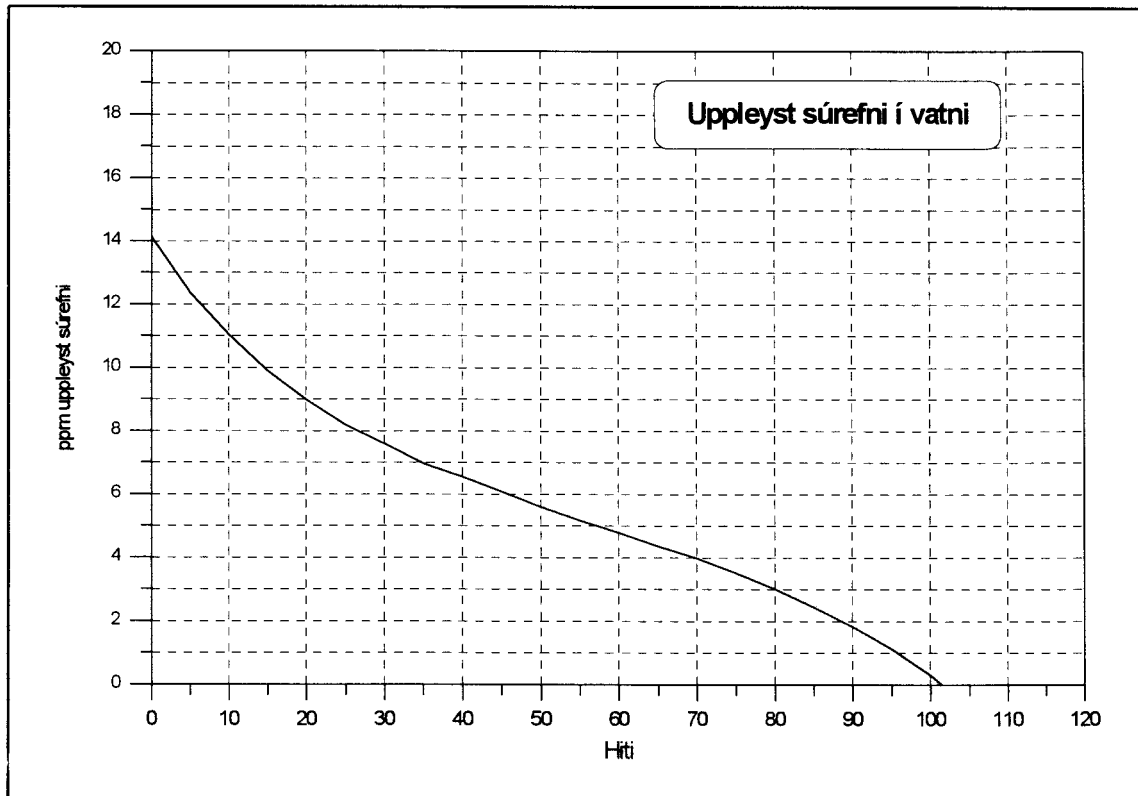
9.4.2.1. Uppleyst súrefni

Tæring á stáli í jarðhitavatni ræðst að mestu af því hvort uppleyst súrefni er til staðar eða ekki. Tæringarhraði er síðan í beinu hlutfalli af styrk uppleysts súrefnis í vatninu (mynd 9.4.2). Uppleysanleiki súrefnis í vatni er háður hitastigi. Kalt vatn er mettað af uppleystu súrefni.



Mynd 9.4.2 Tæringarhraði í hlutfalli af styrk uppleysts súrefnis

Við 10°C og 1 atm þrýsting eru 11 ppm (11.000 ppb) af uppleystu súrefni í vatni. Við aukid hitastig lækkar styrkur uppleysts surefnis. Við fyrstu suðu rýkur súrefnið mjög auðveldlega úr vatninu. Því er sjóðandi jarðhitavatn án uppleysts súrefnis. Mynd 9.4.3 sýnir uppleysanleika súrefnis í vatni við mismunandi hita.



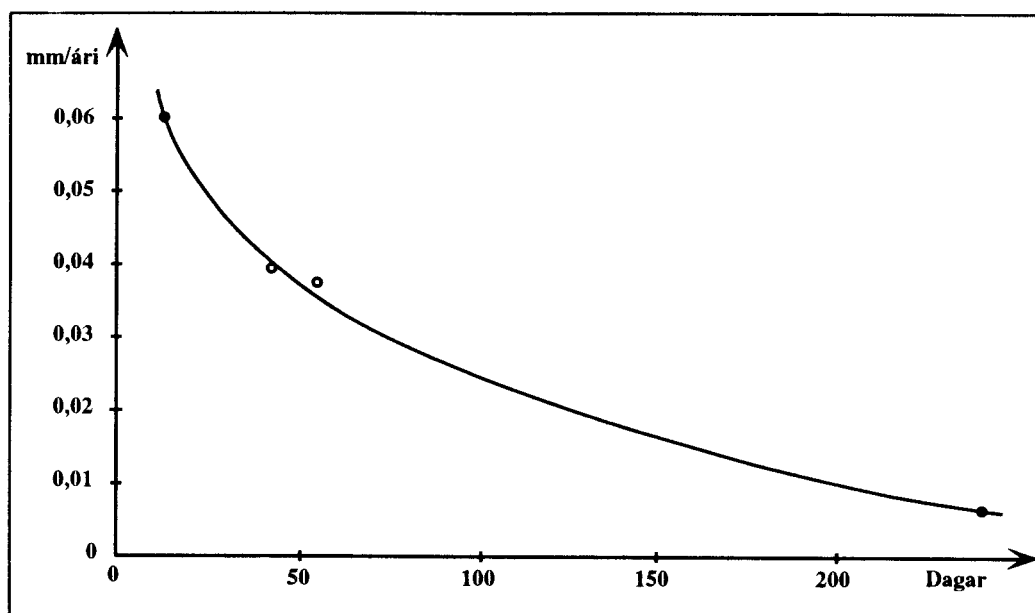
Mynd 9.4.3 Uppleysanleiki súrefnis í vatni

Uppruni uppleysts súrefnis í hitaveituvatni getur verið af ýmsum toga. Það getur verið til staðar í jarðhitageyminum, sérstaklega ef hiti er ekki hár og vatnið er snautt af brennisteinsvetni. Uppleyst súrefni getur aukist í jarðhitavatni ef kalt grunnvatn nær að renna inn í borholur eða jarðhitageymi. Algengt er að með aukinni notkun og auknum niðurdrætti á jarðhitasvæðum aukist aðrennsli kalds grunnvatns, sem getur orðið til þess að jarðhitavatn sem var súrefnissnautt í upphafi vinnslu, innihaldi súrefni eftir nokkurra ára nýtingu. Ef heitt vatn kemst í snertingu við andrúmsloft dregur það auðveldlega í sig uppleyst súrefni. Upptaka súrefnis í miðlungargeymum er vel þekkt hér á landi. Ef vatn inniheldur brennisteinsvetni dugur það oft til að eyða því súrefni sem kemst í vatnið í miðlungargeymum. Ef vatn er aftur á móti snautt af brennisteinsvetni þá þarf að gera ráðstafarnir til að eyða því uppleysta súrefni sem kemst í vatnið í geymunum. Algengast er að bætt sé í vatnið natríum-súlfíti í þessu skyni. Fá þarf leyfi heilbrigðisyfirvalda fyrir allri íblöndun efna í hitaveituvatn. Styrkur uppleysts súrefnis, þó ekki sé nema 10-20 ppb getur haft mikil áhrif á endingartíma þunnveggjaðra stálofna.

9.4.2.2. Brennisteinsvetni (súlfíð) í vatni

Í flestum tilfellum er brennisteinsvetni í lághita jarðhitavatni einungis til góða. Það eyðir uppleystu súrefni sem kann að komast í vatnið í miðlunargeymum og þannig dregur það verulega úr tæringu stáls af völdum súrefnis. Brennisteinsvetnið gengur í samband við járn í röraveggjum og myndast þá hörð húð af brennisteinssúlfíði (FeS) sem er tæringarvörn innan á pípuveggjunum.

Brennisteinsvetni tærir aftur á móti auðveldlega ýmis efnasambönd eirs, nikkels og silfurs. Flestir þekkja það að silfur verður svart ef það er þvegið úr hitaveituvatni sem inniheldur brennisteinsvetni. Þá myndast svört húð af silfursúlfíði. Sama á sér stað um eir og eirmelmi. Þá myndast svört húð af eirsúlfíði. Mynd 9.11 sýnir málmþæringu eirs í hitaveituvatni. Tæringin er mest í upphafi en minnkar síðan með tímanum. Þetta stafar af því, að í byrjun myndast eirsúlfíðhúð innan á rörunum en síðan minnkar tæringin þegar rörin eru þakin svartri húð. Þessi húð er ekki fastbundin málminum og losnar auðveldlega þegar breytingar verða á straumhraða. Þegar húðin losnar tærist málmurinn áfram á þeim stað þar sem efnið sat. Algengt er þar sem neysluvatn hefur verið lagt í eirrör að notendur kvarti undan dökkum lit á vatni eða að þvottur verði ekki almennilega hvítur. Þetta stafar af eirsúlfíði sem losnar helst þegar skúfað er frá vatni og straumhraði eykst. Talið er að 0,03 ppm af brennisteinsvetni sé nóg til að hafa tærandi áhrif á eir og eirmelmi.



Mynd 9.4.4 Málmþæring á eir í hitaveituvatni

9.4.2.3. pH-gildi (sýrustig)

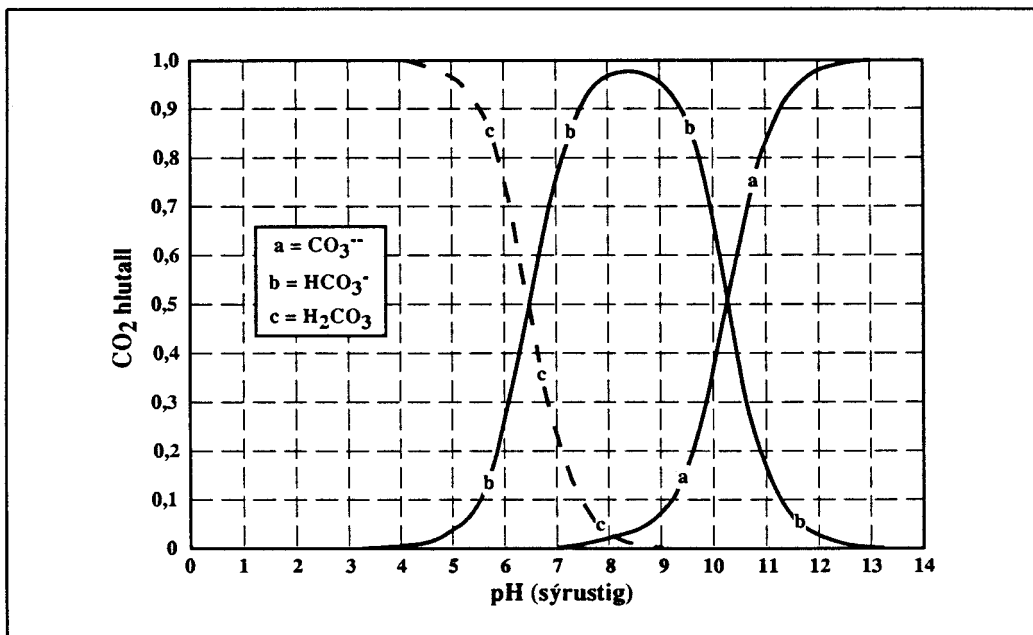
Sýrustig eða pH-gildi er mælieining fyrir styrk vetnis (H^+) í vatni. Þegar sýrustig eða pH-gildi vatns er lágt er styrkur vetnis hár. Tæring á smíðastáli minnkar með lækkandi styrk vetnis (auknu pH gildi). Vatn er minnst tærandi ef pH-gildi þess er yfir 9-10. Flest jarðhitavatn er með pH-gildi á þessu sviði. Styrkur vetnis getur haft áhrif sem tæringarvaldur ef pH-gildi vatnsins fer niður undir 8-8,5 einkum ef mikið klóríð (Cl) er í vatninu. Ef vatnið er mjög súrt, eins og þéttvatn á háhitasvæðum getur það orðið mjög tærandi. Við pH-gildi 2-4 eykst tæring á stáli mjög mikið.

9.4.2.4. Klóríð

Hraði efnabreytinga eykst með auknum styrk uppleystra efna, þar með talin tæring. Styrkur klóríðs er oft notaður sem mælikvarði á styrk uppleystra efna. Auk þess hafa klóríðjónir áhrif á tæringarhraða. Reynsla hér á landi varðandi tæringu í hitaveituvatni bendir til að tæring af völdum klóríðs fari að hafa veruleg áhrif þegar styrkur þess fer yfir 100 ppm. Þess vegna þarf sérstaka varkárni við notkun hitaveituvatns með háum styrk klóríðs. Nefna má að Hitaveita Seltjarnarness og Hitaveita Potlákshafnar krefjast notkunar varmaskipta fyrir ofnkerfi. Klóríð getur orsakað aukna tæringu á ryðfríu stáli, sérstaklega ef uppleyst súrefni er til staðar. Klóríð á mjög auðvelt með að ferðast um vökvu. Þannig getur styrkur þess orðið mjög hár í rifum og sprungum þegar tæring á sér stað og gefur þá heildarklóríðstyrkur vökvans ekki rétta mynd af ástandinu.

9.4.2.5. Koldíoxíð, karbonat

Koldíoxíð (CO_2) í vatni er eitt þeirra efna sem hefur áhrif á tæringu smíðastáls. Karbónöt eru aðalefnasambönd sem stjórna pH-gildi vatnsins. Aukinn styrkur heildarkarbónats lækkar pH-gildi vatnsins. Karbonat er á mismunandi formi í upplausn. Hlutur hvers forms stjórnast af pH-gildi (sýrustigi) vatnsins. Mynd 9.4.5 sýnir hvert er form karbónats við mismunandi pH-gildi. Við pH-gildi 9-10, eins og algengt er fyrir íslenskt hitaveituvatn er nánast allt karbonat sem bikarbonat (HCO_3^-). Karbonat hefur lítil áhrif á tæringu stáls í íslensku hitaveituvatni, enda er styrkur þess yfirleitt lágur á bilinu 15-50 mg/l. Sú hugmynd hefur þó verið sett fram að aukin tæring í súlfíðríku vatni með tiltölulega hátt heildarkarbonat geti stafað af bikarbonati. Dæmi um þetta er jarðhitavatnið á Mógilsá, en þar er heildarkarbonat 132 mg/l, aðallega sem bikarbonat.



Mynd 9.4.5 Hlutfall mismunandi karbónats sem fall af sýrustigi

9.4.2.6. Súlfat

Styrkur súlfats í íslensku hitaveituvatni er tiltölulega lágur (2-200 ppm) og hefur lítil áhrif á tæringarhraða stáls. Súlfat getur þó verið aðaltæringarvaldur í súru (lágt pH-gildi) súlfatríku grunnvatni eins og finnst víða á háhitasvæðum.

9.4.2.7. Hiti

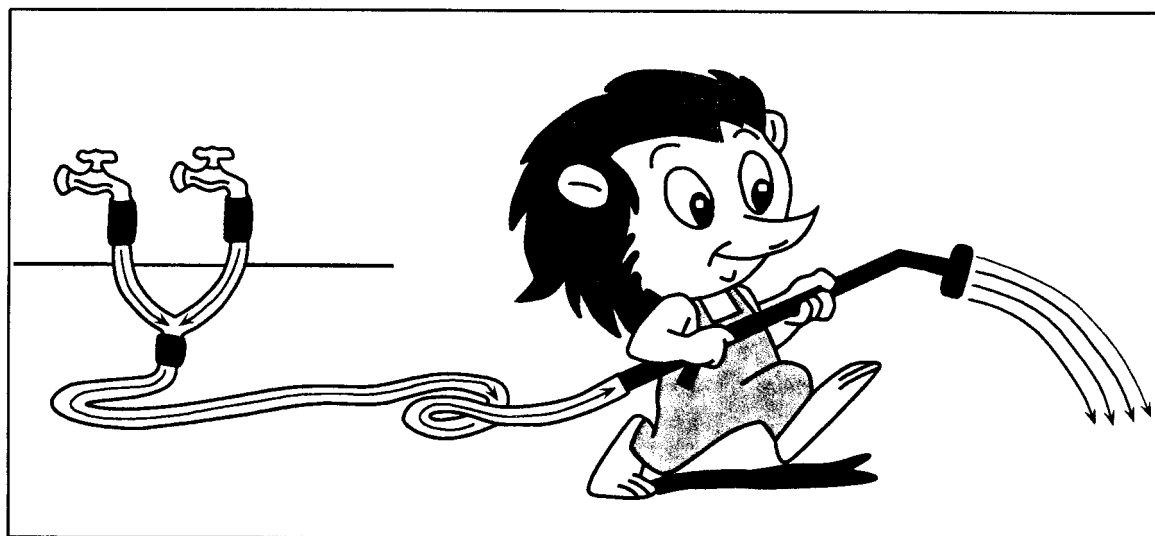
Almennt hefur hiti þau áhrif á efnabreytingar að hraði þeirra eykst. Á sama hátt hefur aukið hitastig í för með sér aukna tæringu. Þetta á við um tæringu af völdum súrefnis, en þó getur minni leysni uppleysts súrefnis í vatni við aukið hitastig haft áhrif í gagnstæða átt (sbr mynd 9.4.3).

9.4.2.8. Rennslishraði

Aukin rennslishraði eykur að jafnaði tæringarhraða smíðastáls. Aftur á móti eykst pyttatæring í öfugu hlutfalli við rennslishraða. Hjá Hitaveitu Akureyrar er dæmi um að pyttatæring í 19 mm pípu hafi minnkað úr 0,12 mm/ári í 0,04 mm/ári með því að tvöfalda rennslishraða úr 35 m/mín í 70 m/mín. Á sama tíma var pyttatæring í ofnum um 0,4 mm/ári.

9.4.2.9. Blöndun á heitu og köldu vatni

Eins og áður er vikið að í kafla 9.4.2.1 hefur blöndun á köldu vatni saman við heitt vatn áhrif á tæringu. Þetta stafar af því að kalt grunnvatn er mettað af uppleystu súrefni og minnsta blöndun á köldu vatni yfir í heitt vatn veldur aukinni tæringu. Ástæða þess að þetta er gert að sérstöku umtalsefni hér er að blöndun kalds vatns við heitt vatn hefur aukist í húskerfum. Alls staðar þar sem heitt og kalt vatn er tengt saman er hætt á millirennslu milli heitu og köldu kerfanna. Það fer einungis eftir því hvort kerfið er með hærri þrýsting í hvora áttina millirennslu er. Millirennslu af heitu vatni í kalt hefur minni áhrif en ef kalt vatn kemst í heitt. Ef kalt vatn kemst yfir í heitt veldur það ávallt auknu magni uppleysts súrefnis. Á undanförunum árum hafa orðið miklar breytingar á þeim búnaði sem notaður er í húskerfum. Má þar nefna hitastíllt blöndunartæki „einnarhandar blöndunartæki” auk alls kyns búnaðar í slöngum og slöngutengjum. Þessi nýttísku blöndunartæki henta ekki jafnvel við íslenskar aðstæður og annars staðar. Það er vegna sérstöðu okkar að nota hitaveituvatn beint sem neysluvatn, en ekki hita upp kalt vatn. Þegar hitað er upp kalt vatn er nánast sami þrýstingur á heita og kalda vatninu og mörg nýttísku tækin gera einmitt ráð fyrir að þrýstimunur heita og kalda vatnsins sé hverfandi. Þau henta því ekki alltaf við okkar aðstæður og hefur verið sýnt fram á millirennslu milli kalds og heits vatns um svona búnað. Algengt er að menn noti volgt vatn til bílaþvottar og vökvunar. Í þeim tilgangi er algengt að tengt er saman heita og kalda vatnið með slöngum og síðan hafður einn krani á enda slöngunnar (mynd 9.4.6). Þetta er ein öruggasta leiðin til að fá millirennslu og hefur það víða valdið tæringu í lögnum og skaða á ofnakerfum.



Mynd 9.4.6 Olli "ofnabani"

9.5. Tæring og efnisval í hitaveitum

9.5.1. Inngangur

Hér á eftir verður fjallað um tæringu í helstu hlutum hitaveitna og um efnisval í þá. Ekki er alltaf einfalt að flytja reynslu úr einni hitaveitu yfir á aðrar. Sama má segja um efnisval. Það sem vel reynist í einni veitu getur reynst ómögulegt í öðrum. Tæring utanfrá á hitaveituæðum og geymum hefur töluvert verið í sviðsljósinu á síðustu árum. Því verður einnig fjallað um þann hátt hér. Íslenskur staðall ÍST 67 fjallar einnig m.a. um efnisval í vatnslagnir bæði fyrir heitt og kalt vatn, sbr. kafla 10.

9.5.2. Borholur

Hefðbundið efnisval í fóðurrör og borholudælur er stál. Getur þar verið venjulegt smíðastál eða öxulstál. Fóðringar í dælurnar geta hins vegar verið úr Teflon eða jafnvel eirmelmum, ef ekki er súlfíð í vatninu.

Tæring á fóðurrörum veldur einstaka sinnum vandamálum í hitaveitum. Stafar hún þá af aðgangi á köldu jarðvatni að rörunum utanverðum. Þann aðgang verður að hindra sem frekast er kostur. Ef kalda vatnið kemst inn í borholuna getur myndast hröð tæring í borholudælunni og hitaveitunni allri. Einnig geta myndast hraðar útfellingar sbr. kafla 9.6. Nauðsynlegt er að hafa reglubundið eftirlit með vatni úr hverri borholu til þess að fylgjast með þessu.

Á síðasta ári hefur nokkuð verið rætt um hættu á sprungumyndun í fóðurrörum í háhitaholum vegna súlfíðs, og er Iðntæknistofnun byrjuð að rannsaka það mál.

Tæring á dælurörum ofan vatnsborðs hefur sums staðar verið vandamál. Reyndar tærist þá fóðurrörið einnig en það sést ekki. Þessi tæring stafar af aðgangi súrefnis andrúmsloftsins ofan í borholuna. Þessi loftskipti ber að hindra sem frekast er kostur. Dæmi eru um tæringu vegna útleiðslu rafmagns í borholudælum. Einnig eru dæmi um slittæringu (kavitation). Eftirlit með þessum þáttum er sjálfsagður þáttur í rekstri hitaveitna.

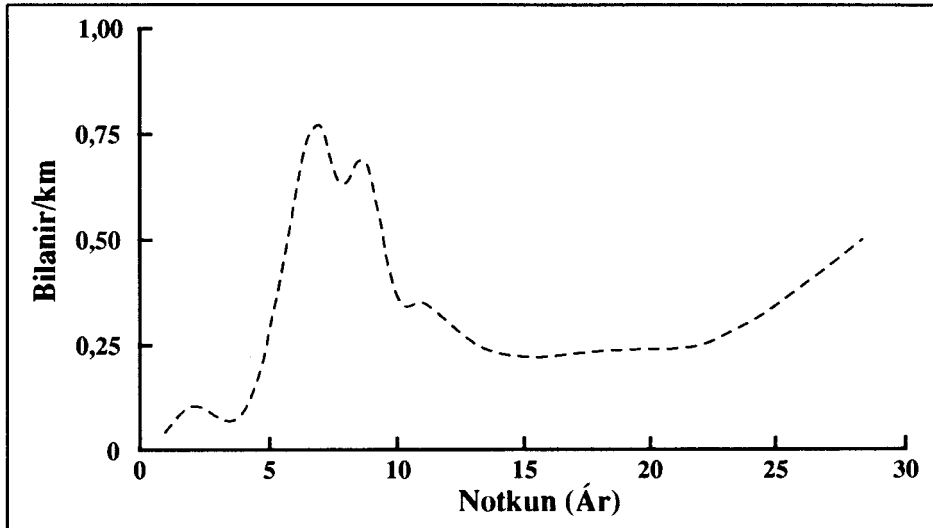
9.5.3. Stofnæðar

Efnisval í stofnæðar getur verið:

- ?? Lágkolstál
- ?? Asbest
- ?? Hitapolin plaströr

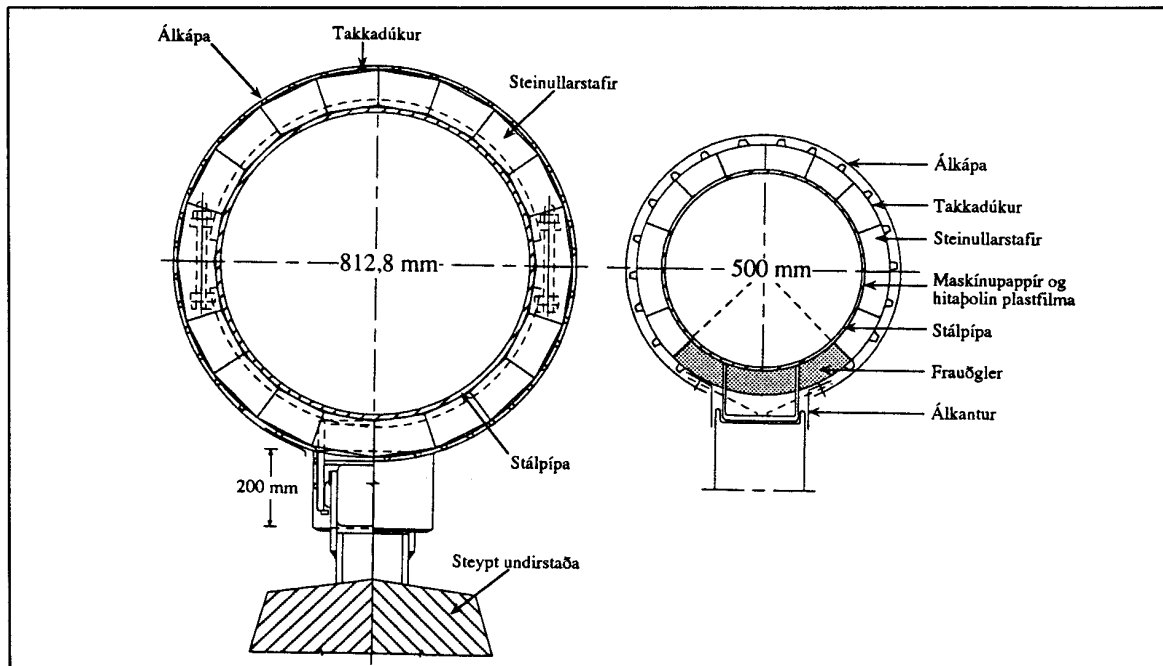
Stálrör hafa reynst mjög vel í stofnæðum með tilliti til tæringar innanfrá. Aðeins eru örfá dæmi um verulega tæringu þar sem vatn er mjög salt og uppleyst súrefni er til staðar t.d. frá fyrstu árum Hitaveitu Hríseyjar. Stálrör eru mjög viðkvæm fyrir utanaðkomandi raka, og þarf því að verja þau mjög vel. Notkun plastkápu og uretaneinangrunar hefur reynst vel, ef tryggilega er gengið frá samskeytum eins og nú er hægt, sbr. kafla 7. Þó er alltaf eitthvað um

bilanir. Í Svíþjóð hefur bilanatíðni lagna verið könnuð sérstaklega (sbr. mynd 9.5.1). Þar kom fram að aukin bilanatíðni kemur fram þegar pípa er 5-10 ára gömul, en minnkar síðan aftur næstu 15 árin. Þetta er skýrt með því að eftir 5-10 ár fara að koma fram bilanir sem rekja má til galla við lagningu sem orsaka tæring utan frá.



Mynd 9.5.1 Bilanatíðni lagna

Stálrör ofanjarðar eru oft varin með steinull og álkápu. Hefur það reynst mjög misjafnlega eftir frágangi og veðurfari á hverjum stað. Hafa bæði Hitaveita Suðurnesja og Hitaveita Reykjavíkur orðið fyrir skaða af þessum sökum, einkum þó sú fyrrnefnda. Aftur á móti hafa sambærilegar lagnir ekki tærst á Akureyri. Mynd 9.5.2 sýnir þann frágang sem fyrrnefndar tvær veitur nota í dag.



Mynd 9.5.2 Frágangur ofanjarðar stofnlagna, t.v Nesjavallahæð, t.h Njarðvíkurhæð

Stálrör eru einnig lögð í steinsteypa stokka. Áður fyrr reyndist þetta mjög vel. Virtist skipta mjög litlu máli hvort vatn kæmist öðru hvoru í stokkana. Þeir þornuðu og tæring var lítil. Eftir að stokkarnir urðu betri og þéttari komu upp einstaka vandamál þar sem rakinn hélst þá frekar inni í stokknum, ef hann komst þangað. Kom þá upp bæði tæring á rörum og einnig á þenslustykkjum úr ryðfríu stáli í stökkbrunnunum. Sprungu þau vegna álagstæringar. Síðan hefur verið lögð áhersla á að lofta stokka vel út auk þess að hindra að vatn komist inn í þá. Þarf einkum að gæta þess að vatn nái ekki að leka niður á ryðfría barka og þenslustykki þar sem þeim er mjög hætt við álagstæringu við þessar aðstæður.

Notkun asbeiströra er nú bönnuð í nýlagnir hitaveitna. Er talin krabbameinshætta af asbestryki, sem myndast getur við vinnu við rörin. Er því brýnt að varlega sé farið við vinnu með asbest.

Þegar hitaveituvatn er leitt um asbeiströr leysir það upp sementið í rörunum, eins og áður hefur verið fjallað um. Aðeins í einni veitu hefur þetta orðið til þess að rörin eyðilegðust svo vitað sé, þ.e. hjá Hitaveitu Flúða. Annars staðar hefur dregið úr tæringunni með tímanum þannig að hún hefur ekki minnkað verulega styrk röranna. Kalkútfellingar hafa myndast eftir streymi hitaveituvatns um asbeiströr, sbr. Kafla 9.6.

Hitapólin plaströr hafa víða verið notuð í stofnæðar á síðari árum, einkum í langar lagnir í smærri veitum. Frágangur er mismunandi hvað varðar einangrun. Rörin hleypa í gegnum sig raka, þannig að rakinn þarf að komast í burtu í gegnum einangrunina, ef ekki á að verða óeðlileg kólnun á vatninu sbr. Kafla 7.3. Plaströrin hleypa einnig í gegnum sig súrefni í hitaveituvatni eftir streymi um plaströr sem hafa sýnt verulegan mun eftir frágangi röranna í jörðu. Þar sem op er á einangruninni undir rörunum getur til dæmis myndast loftstraumur þar í gegn milli brunna. Eykur það innstreymi súrefnis í vatnið. Segja má að plaströrin sjálf endist vel í stofnæðum hitaveitna, en hins vegar geti þau valdið tæringu á stálhlutum, sem á eftir þeim koma í hitaveitukerfinu. Hve mikil sú tæring verður fer eftir eignleikum vatnsins, t.d. hitastigi, seltu og súlfíðmagni, frágangi röranna og rennslisraða í gegnum þau. Þetta þarf að meta í hverju tilfelli fyrir sig. Mikil þróun á sér einnig stað í framleiðslu plaströra með súrefnishlíf, þannig að hægt er að minnka verulega eða nær stöðva súrefnisupptöku með notkun þeirra, sbr. 9.2.10.

9.5.4. Miðlunargeymar

Venjulegir miðlunargeymar eru hannaðir með öndunaropi á þaki. Um opið á súrefni andrúmsloftsins greiðan aðgang að vatnsyfirborðinu. Svo virðist sem vatn er fer um miðlunargeymi taki yfirleitt upp um 200 ppb af súrefni að meðaltali í hitaveitum hér. Er það verulegt magn með tilliti til tæringar.

Ef súlfíð er í hitaveituvatni eyðir það súrefninu. Þarf tæplega tvöfalt magn af súlfíði til þess að eyða súrefninu, þ.e. um 350 ppb fyrir 200 ppb af súrefni. Eyðingin gerist tiltölulega fljótt og er venjulega lokið áður en vatnið kemst til notenda. Hitaveita Reykjavíkur setur gufu með súlfíði í vatn frá Nesjavöllum til þess að eyða súrefninu, sem kemst í vatnið í miðlunargeymum veitukerfisins

Fyrir nokkrum árum var mikið fjallað um leiðir til þess að hindra að hitaveituvatn tæki í sig súrefni í miðlunargeymum. Fékk SÍH m.a. styrk frá Norræna Iðnþróunarsjóðnum til þess að rannsaka þetta. Hér á eftir er sagt frá þremur aðferðum sem notaðar hafa verið.

9.5.4.1. Vatnslás eða trekkspjald á öndunarop

Þessi aðferð hefur verið notuð af nokkrum veitum. Hún dregur verulega úr innstreymi súrefnis í vatnið, en árangurinn fer nokkuð eftir vatnsborðssveiflum í geymunum. Miðað er við að lokun haldist við minni háttar sveiflur. Þessi búnaður ætti að vera á öllum miðlunargeymum.

9.5.4.2. Flotábreiða

Tvær hitaveitur hafa smíðað flot, sem fljóta ofan á vatninu í geymum og loka þannig fyrir aðgang súrefnis að því.

Árið 1985 setti Hitaveita Dalvíkur flot úr álplötum og plaströrum í geyma hjá sér. Síðar var ryðfrítt stál sett í stað álsins vegna tæringar þess. Engin aukning súrefnis mældist í vatninu á meðan flotin voru notuð og tæring mældist ekki í veitukerfinu, en hún var veruleg áður. Hins vegar sukku flotin eftir nokkur ár, sennilega af því að plaströrin fylltust af vatni. Í stað þeirra var farið að nota vatnslása á öndunarop geymanna. Eftir það hefur engin aukning súrefnis mælt í vatni, sem fer um geymana og tæring mælist ekki í veitukerfinu.

Hitaveita Reykjavíkur setti flot úr ryðfríu stáli í geymi á Háhrygg. Ekkert súrefni kemst í vatnið í geyminum, svo mælanlegt sé. Hins vegar hafa komið upp vandamál með tæringu á ryðfríu stálinu vegna álagstæringar. Fer sprungumyndun stöðugt vaxandi í því.

9.5.4.3. Gufuteppi

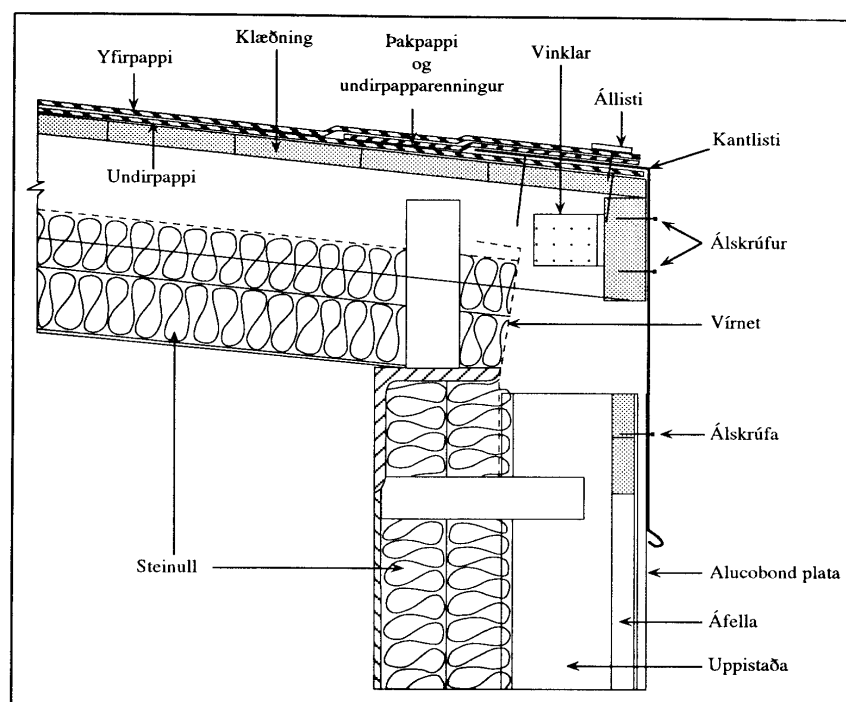
Hitaveita Suðurnesja hefur blásið gufu inn á geyma á Fitjum ofan vatnsborðs til þess að halda þar örlitlum yfirþrýstingi. Einnig er notaður vatnslás á öndunarop. Hindrar þetta nær alveg innstreymi súrefnis í geymana.

Tæring miðlunargeymanna sjálfra er oft töluvert vandamál. Tæring innan frá hefur yfirleitt ekki verið vandamál neðan vatnsborðs. Hins vegar er ástandið oft verra ofan vatnsborðs þar sem saman fara heit gufa, þéttivatn hennar og súrefni andrúmsloftsins. Hefur Hitaveita Reykjavíkur orðið að gera við þakplötur og bita af þessum sökum. Ýmsar hitaveitur sementskústa nú geyma til þess að verja þá gegn tæringu. Ending sementshúðarinnar er misjöfn og fara nú fram prófanir bæði hjá Hitaveitu Reykjavíkur og Hitaveitu Suðurnesja á sementskústum og öðrum varnaraðferðum. Hindrun aðgangs súrefnis í geymana hefur án efa einnig veruleg áhrif til góðs, t.d. með vatnslás á öndunaropum.

Tæring utanfrá hefur oft valdið verulegum skemmdum á miðlunargeymum. Þarf að gæta þess að vatn komist ekki í einangrunina og sitji þar undir hlífðarkápunni. Sérstaklega er hættu á þessu á geymaþökum. Mynd 9.5.3 sýnir nýja útfærslu á frágangi á geymaþaki, sem nú er farið að nota.

9.5.5. Dreifikerfi

Dreifikerfi hitaveita er venjulega lagt úr stálrörum með uretaneinangrun og plastkápu. Notkun plaströra hefur þó farið vaxandi bæði í langar dreifilagnir og heimaæðar. Um þessar lagnir var rætt í kafla 9.5.3. Rétt er að ítreka hér að því nær notendum sem farið er með plaströr í dreifikerfi, þeim mun meiri hættu er á að súrefnið, sem þar kemst inn, nái inn á stálofna. notenda. Því er spurning hvort ekki eigi að fyrirskipa varmaskipti á ofnakerfi, ef plaströr án súrefnishlífar eru í dreifikerfi að þeim.



Mynd 9.5.3 Frágangur á geymaþaki

Lokar í dreifikerfum valda oft vandamálum og segja má að hver hitaveita hafi sína skoðun á vali á þeim. Rétt er að benda á tvo þætti. Gúmmí endist yfirleitt takmarkað í heitu vatni, og því styttra þeim mun heitara sem vatnið er. Á þetta einnig við um EPDM sem sumir framleiðendur búnaðar segja ódrepanði. Einnig er oft lítið hugsað um hvaða eirmelmi eru í lokum. Hugsanlegt er að valtareng á sínski úr lokum geti valdið útfellingu í þeim eins og rennslismælum sbr.9.5.9. Að lokum er rétt að ítreka aftur að ryðfrír stállokur þola mjög illa utanaðkomandi raka í heitu umhverfi.

Brunnar eru viðvarandi vandamál í mörgum hitaveitum. Vatn getur lekið niður í þá um brunnlokin eða komið fram steypuskemmdir. Hittist þá oft svo á að vatnið drýpur niður á ryðfrían búnað í brunnum, svo sem þenslubarka, þenslustykki eða loka. Vatnið inniheldur salt úr umhverfinu, svo kjörskilyrði myndast fyrir álagstæringu með sprungumyndun. Allt vatn sem kemst inn í brunna veldur einnig gufumyndun og tæringu á öllu stáli í brunnum svipað og gerist með geymaþök eins og áður var um rætt. Hægt er að berjast gegn þessari tæringu með því að mála stálið reglulega, en engin málning þolir aðstæður í blautum brunnum til langframa.

Frágangur heimaæða við húsvegg hefur oft verið til vandræða ef plastkápan nær ekki inn um húsvegginn sbr. kafla 7.2.8 (mynd 9.5.4). Steypuklossinn sem verja á rörið springur frá með tímanum og rörið tærist sundur við vegginn.



Mynd 9.5.4 Skemmd á röri sem fer í gegnum steinvegg

9.5.6. Varmskiptar

Algengustu gerðir varmskipta í hitaveitum eru plötuvarmskiptar og spíralkútar. Notkun þeirra hefur aukist mikið á seinni árum bæði fyrir ofnakerfi og neysluvatnskerfi húsa.

Plötuvarmskiptar eru yfirleitt úr ryðfríu stáli 316 og annað hvort með gúmmíþéttingum eða lóðaðir saman. Einstaka sinnum er notað ryðfrítt stál 254 SMO og í jarðgufuvirkjunum er notað títan. Skipta þarf reglubundið um gúmmíþéttingar, ef þær eru notaðar, og fer tíðnin eftir hitastigi hitaveituvatnsins. Á sama tíma má hreinsa plöturnar. Lóðaðir varmskiptar eru yfirleitt ódýrari. Ekki hafa komið fram vandamál vegna tæringar lóðmálmsins svo vitað sé þótt súlfíð sé í vatninu. Þá þarf að hreinsa með kemískum aðferðum ef óhreinindi safnast í þá.

Einu þekktu dæmin um tæringu ryðfrírra plötuvarmskipta stafa af álagstæringu með sprungumyndun utan vatnsgangsins. Algengast er að örlítill leki myndist á gúmmíþéttingum og vatnið sem kemst út veldur tæringunni. Líkurnar á þessu aukast með auknu vatnshitastigi, þar sem þá minnkar ending þéttigúmmísins. Langflest dæmi um þessa tæringu eru við vatnshitastig um 100°C eða við notkun gufu.

Spíralkútar eru yfirleitt með eir- eða ryðfríum spíral. Geymirinn getur verið úr smíðastáli, eirhúðuðu stáli, galvanhúðuðu stáli eða ryðfrír eftir því hvort hitaveituvatnið er í spíralnum eða kútnum. Ef upphitaða vatnið er í spíralnum má kúturinn vera úr smíðastáli. Ef upphitaða vatnið er hins vegar í kútnum, er ryðfrítt stál yfirleitt besti kosturinn.

Varast ber að leggja galvanhúðuð stálrör fyrir upphitað kalt neysluvatn heldur skal nota eir, ryðfrítt stál eða hitaþolið plast, þar sem það er leyft.

9.5.7. Lagnir í húsum

Lagnir í húsum geta verið úr svörtu stáli (smíðastáli), galvanhúðuðu stáli, eir, ryðfríu stáli eða hitaþolnu plasti, þar sem það er leyft. Eftirfarandi ber að hafa í huga:

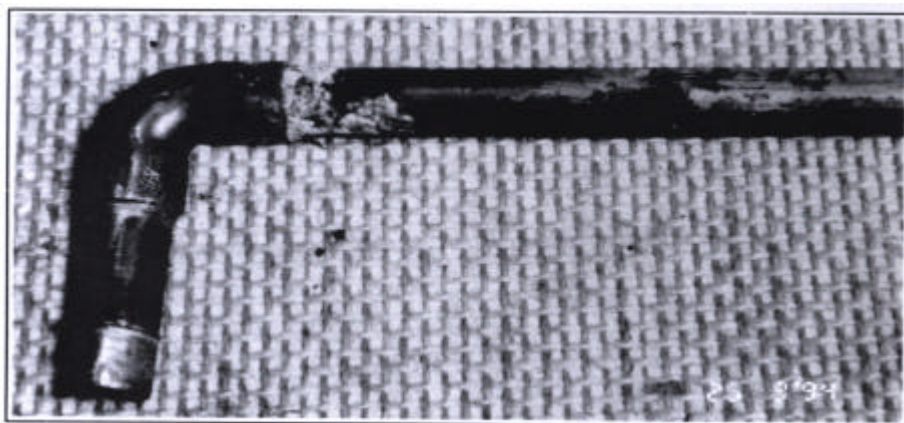
Svart stál endist alltaf vel við eðlilegar aðstæður, nema ef vatnið er mjög salt og með upp-leystu súrefni. Gæta þarf tæringar utanfrá.

Galvanhúðað stál er svipað og svart stál, en minni hættu er á ryðlitun á vatni í neysluvatns-lögnum.

Eir er mjög viðkvæmur fyrir áhrifum súlfíðs. Myndast svart lag af eirsúlfíði í rörunum. Aukin selta vatns eykur tæringarhraðann. Oftast stöðvast tæringin þegar eirsúlfíðhimnan hefur lokað rörveggnum. Það gerist þó ekki alltaf og annað hvort stúflast þá rörið eða gat kemur á það. Mikill rennslisraði í rörum rífur oft í burtu eirsúlfíðhimmuna á blettum, og heldur tæringin þá áfram þangað til gat myndast. Einnig eru veruleg óþægindi af því, þegar eirsúlfíðið berst með vatninu úr kranalögnum, þar sem það er mjög öflugt litarefni. Best er því að forðast notkun eirröra fyrir hitaveituvatn með súlfíði. Ef ekkert súlfíð er í vatninu reynist eir yfirleitt ágætlega enda þolir hann vel súrefni í vatni. Tæring utan frá er ekki vandamál. Ryðfrí stálrör reynast vel, en gæta þarf að tæringu utanfrá eins og áður hefur verið sagt.

Hitapolið plast tærist hvorki innanfrá né utanfrá. Eina vandamálið er að vatn úr plaströrum án súrefnishlifar má ekki fara inn á stálofna vegna súrefnis sem í það kemst. Engin reynsla er fyrir því hvort nýjustu rörin, sem eiga að vera með þéttari súrefnisvörn, duga að þessu leyti.

Lóðmálmur eru notaðir við samsetningar eirröra og ryðfrírra stálröra. Sumar gerðir þeirra eru mjög viðkvæmar fyrir áhrifum súlfíðs í vatni. Má þar nefna eir-silfur-fosfór tegundirnar L-Ag2P, L-Ag5P og L-Ag15P, DIN 8513 Tærast þær þannig, að samskeytin losna í sundur næstum eins og þau hafi aldrei verið lóðuð saman. Tæring lóðmálma hefur lítið verið rannsökuð hér, en í Danmörku er mælt með lóðmálmunum L-Ag34Sn og L-Ag55Sn, ef súlfíð er í vatni.



Mynd 9.5.5 Tæring vegna sílfíðs á lóðuðum samskeytum á eirlögn

9.5.8. Ofnar

Þrjár höfuðgerðir ofna hafa verið hér á markaði. Þær eru stálofnar, pottofnar og álofnar.

Stálofnar eru mjög viðkvæmir fyrir áhrifum súrefnis. Þeir tærast sundur ef minnsta súrefni er í vatninu. Einnig hafa þeir tærst í söltu hitaveituvatni með lágu pH-gildi þó svo ekkert súrefni mælist í vatninu. Langflest tæringarmál í hitaveitum tengjast stálofnum. Því er alltaf rétt að hafa notkun varmaskipta í huga ef minnsti vafi leikur á um vatnsgæði. Hitaveita Seltjarnarness og Hitaveita Þorlákshafnar fyrirskipa notkun á varmaskiptum fyrir ofnakerfi vegna seltu vatnsins

Pottofnar endast vel jafnvel í súrefnisríku vatni. Þeir eru hins vegar dýrir og oft erfitt að fá þá.

Álofnar eru umdeildir fyrir hitaveituvatn. Álið þolir vel súrefni í vatni. Ofnarnir eru hins vegar flestir samsettir með skrúfubútum úr smíðastáli, og því verður tæring á mótum áls og stáls ef mikið súrefni er í vatninu. Einnig er ál viðkvæmt fyrir háu pH-gildi vatns, þ.e. pH-gildi yfir 8,5 en þannig er allt jarðhitavatn hér á landi. Álofnar hafa víða verið prófaðir og stundum reynst vel en stundum illa.

Ef notaðir eru varmaskiptar á ofnakerfi í húsum, þarf að fylgjast vel með vatnsgæðum í hringrásarkerfinu. Áfylling verður að vera sem minnst, og gott er að nota tæringarvarnarefni til þess að hindra vetnismyndun í kerfinu.

9.5.9. Mælar og hemlar

Rennslis- og orkumælar eru yfirleitt með hús úr eirmelmum eða járnsteypu. Einnig getur verið í þeim búnaður úr ryðfríu stáli, hitaþolnu plasti, gúmmí (EPDM) og öðrum efnum.

Hitaveita Reykjavíkur hefur notað rennslismæla með húsum úr eirmelmi með um 40% af zínki. Zínkið tærðist burtu úr blöndunni vegna valtæringar. Tæringin hafði lítil sem engin áhrif á endingu húsanna. Hinsvegar féll zínkið út aftur sem zínksilikat sínkkarboronat í mælunum og stöðvaði mæilverkið með tímanum. Því ber að nota eirmelmi, sem ekki tærast valtæringu í mælahús.

Plasthlutir og gúmmí í rennslismælum hafa oft valdið vandamálum. Svo virðist sem framleiðendur geri sér ekki alltaf grein fyrir því hitastigi, sem þessi búnaður er notaður við hérlendis. Erlendis er mun algengara að hafa þennan búnað á bakrennslinu.

Skynjararör úr eir á hemlum hafa oft stíflast, þar sem súlfíð er í vatni. Einnig eru dæmi um að vatnshúsin hafi tærst í sundur. Ennfremur hafa gúmmímembrunar þar inni harðnað, teygst og jafnvel sprungið.

9.5.10. Blöndunartæki

Notkun sjálfvirkra blöndunartækja, einnar-handar loka, loka með hreyfiskynjun og alls kyns búnaður af því tagi hefur vaxið mjög á seinni árum. Þessi búnaður er í reynd hannaður fyrir

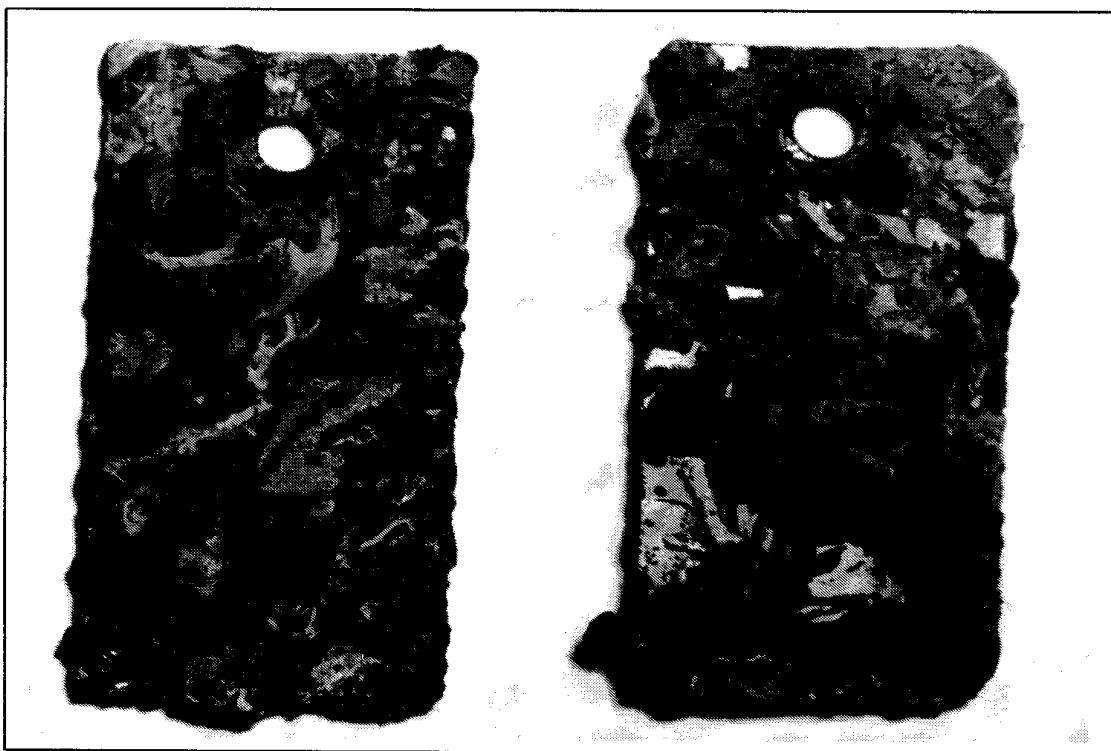
aðstæður þar sem notað er kalt vatn og upphitað kalt vatn með sama þrýstingi. Einnig eru lög og reglugerðir í flestum nágrannalöndunum, sem banna heitara kranavatn en 55°C.

Millirennisli í blöndunartækjum er stöðugt vaxandi vandamál. Einstreymislokar í tækjunum bila með tímanum enda oftast gerðir fyrir allt aðrar aðstæður. Einnig bila einstreymislokar á hitakerfinu sjálfu. Þá á kalda kranavatnið með öllu sínu súrefni greiða leið inn á hitakerfi hússins ef þrýstingur þessi er hærri en heita vatnsins. Stórfelld vandamál hafa komið upp af þessum sökum og er þekktasta dæmið tæring ofna í Seljahverfi í Breiðholti fyrir fáum árum. Sú tæring var stöðvuð með því að auka þrýsting hitaveitunnar á svæðinu.

Rétt er einnig að benda á þá slyshættu, sem skapast getur af þessu millirennisli, ef heita vatnið er með hærri þrýsting en það kalda. Fyllist þá kalda rörakerfið af heitu vatni. Síðan þegar skrúfað er frá, hefur blöndunartækið ekkert kalt vatn til þess að stýra hitastiginu og kranavatnið verður sjóðandi heitt.

9.5.11. Tæringareftirlit

Eftirlit með tæringu í hitaveitum þarf að vera þrjúþætt. Í fyrsta lagi þarf að fylgjast reglulega með vatnsgæðum. Í öðru lagi er rétt að hafa einhverjar tæringarprófarnir stöðugt í gangi. Í þriðja lagi þarf að fylgjast reglulega með ástandi búnaðar utan frá, t.d. álkápu á miðlunargeymum og ofanjarðarlögnum.



Mynd 9.5.6 Tæringarflötur eftir 22 mánuði í vatni við 60°C og með 100 ppb af uppleystu súrefni

Eftirlit með vatnsgæðum innifelur í fyrsta lagi reglubundnar mælingar á súrefni í vatninu. Á að mæla það bæði við borholur og þá staði þar sem innstreymi súrefnis er hugsanlegt t.d.

miðlunargeyma. Stöku sinnum ætti einnig að mæla úti í dreifikerfinu til frekara öryggis. Mælingar á súrefni eru einfaldar og eiga hitaveiturnar að geta annast þær sjálfar.

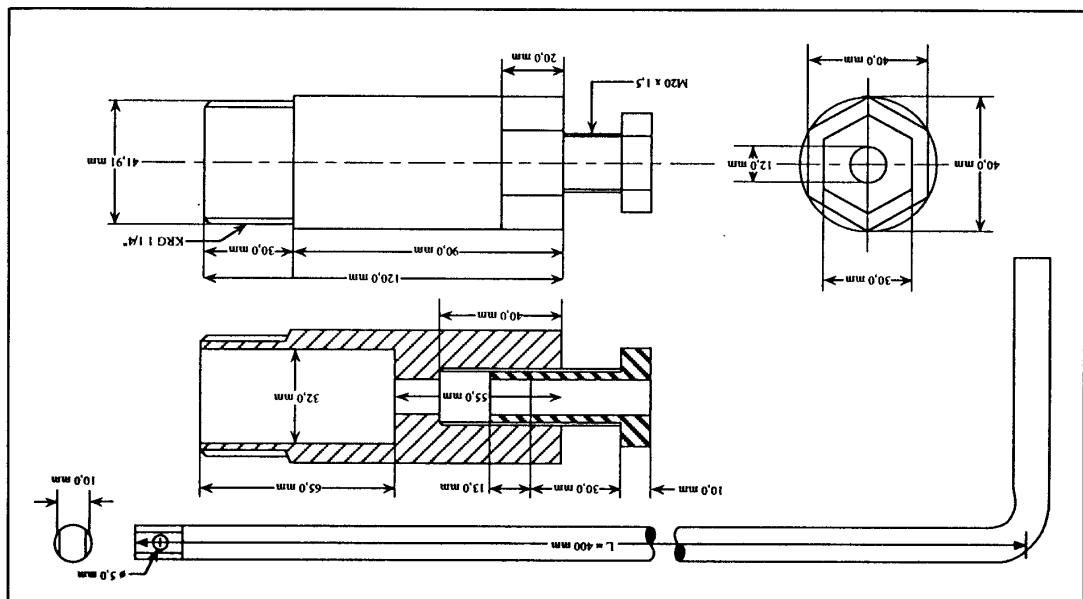
Ef súlfíð er í vatninu þarf að fylgjast með magni þess. Þær mælingar eru erfiðari, en þó ættu flestir hitaveitumenn að geta gert þær ef þeir fá réttan búnað til þess. Til eru tumpur til súlfíðmælinga eins og fyrir súrefni, en þær hafa ekki reynst nógu áreiðanlegar.

Að lokum þarf að láta efnagreina vatnið að minnsta kosti einhver efni á hverju ári til þess að fylgjast með hugsanlegum breytingum, t.d. innstreymi á köldu vatni í borholu.

Mjög einfalt er að fylgjast almennt með ástandi vatnsins með tilliti til tæringar með tæringarplötum sbr. mynd 9.5.6. Kemur þar fram hvort tæringareiginleikar vatnsins breytast með tímanum. Einnig má oft sjá árangur aðgerða til tæringarvarna. Hægt er að nota plötuholdara, sem draga má út þótt fullur þrýstingur sé á kerfinu (mynd 9.5.7) og útlitsskoða plöturnar á nokkurra mánaða fresti. Ýmsar hitaveitur nota þennan búnað til almenns eftirlits með tæringu og útfellingu í veitukerfinu.

Ýmiss sérhæfð mælitæki eru framleidd til prófana á tæringu í vatni. Nokkrar gerðir hafa verið prófaðar hjá Hitaveitu Suðurnesja. Niðurstöðum var lýst á vetrarfundi SÍH árið 1986.

Ekki er hægt að gefa neinar sérstakar leiðbeiningar um eftirlit með tæringu utanfrá. Þó má nefna að erlendis eru oft notaðar hitamyndavélar til slíks eftirlits. Búnaður af því tagi verður stöðugt einfaldari og ódýrari.



Mynd 9.5.7 Plötuholdari fyrir tæringarplötur.

9.6. Útfellingar

9.6.1. Inngangur

Jafnvægi ríkir yfirleitt milli jarðhitavats og ýmissa steintegunda í bergi. Við vinnslu geta breytingar átt sér stað sem raska þessu jafnvægi. Má þar nefna kælingu, upphitun, aflöftun eða suðu, útskolun efnis úr pípum og blöndun vatns með mismunandi hita og efnasamsetningu. Í sumum tilfellum verður vatnið yfirmettað með tilliti til vissra steintegunda. Í þeim tilfellum leitar vatnið á ný í jafnvægi með því að mynda útfellingar úr vatninu. Með efnagreiningum á vatni og samanburði við uppleysanleika steintegunda má kanna hvort hætta sé á útfellingum eða ekki. Efnagreiningarnar segja aftur á móti ekki til um hraða útfellinganna. Í þessum samanburði má ekki nota beint styrk efnanna í vatni, heldur verður að nota virkni uppleysta efnasambandsins. Útreikningar af þessu tagi eru umfangsmiklir þar sem reikna þarf efnabætti vatnsins, virknistuðla og efnajafnvægi steintegundanna við mismunandi hitastig. Til þess að einfalda þessa reikninga hafa verið skrifuð ýmis tölvuforrit.

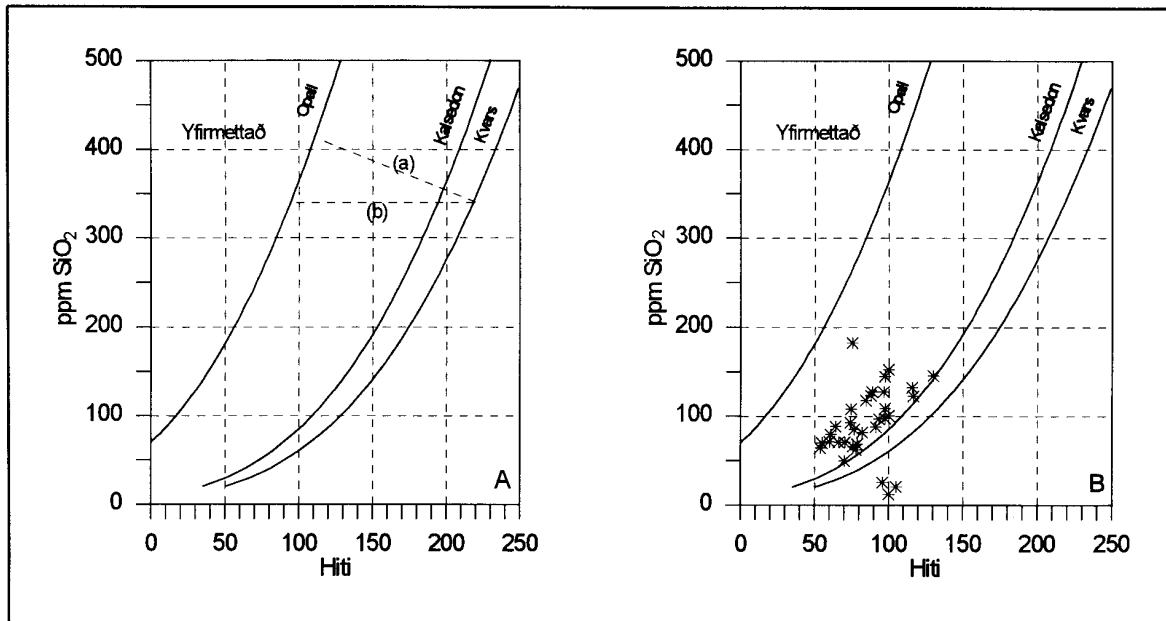
Það eru einkum þrjár gerðir útfellinga sem koma fram í hitaveitum hérlendis, þ.e. útfellingar kísils, kalsíts og magnesíum-silikats,

9.6.2. Kísill

Allt vatn inniheldur kísil enda er það eitt algengasta efni í náttúrunni. Í köldu vatni er algengt að styrkur þess sé nálægt 20 mg/l. Styrkur kísils eykst síðan með auknum hita. Fer hann eftir uppleysanleika steintegundarinnar kalsedons upp að um 180°C, en við hærri hitastig fylgir hann uppleysanleika kvars, sjá mynd 9.6.1. Styrkur kísils í lághitavatni stjórnast því af uppleysanleika kalsedons en styrkur kísils í háhitavatni af uppleysanleika kvarz. Jafnvægi við þessar steintegundir er oft notað til að meta hitastig í jarðhitakerfinu (kísilhiti). Við kælingu helst kísillinn í lausn þar til náð er uppleysanleika ópals. Ef vatn kólnar niður fyrir ópalmettun, þ.e. það verður yfirmettað með tilliti til þess efnis má búast við útfellingum. Í fyrstu tengjast kísilsameindir saman og mynda langar keðjur (fjölliðun) sem síðan mynda ópal útfellingar, sem er ókristallað efni. Eins og sést af mynd 9.6.1 er engin hætta á að kísill falli út úr jarðhitavatni sem er upphaflega í jafnvægi við berg við allt að 130 °C hita, þó svo vatnið kólni niður í 30 °C í hitakerfum. Þetta er ástæða þess að kísilútfellingar myndast yfirleitt ekki í lághitavatni. Vatn sem náð hefur jafnvægi við berg við um 220 °C (háhitavatn) nær ópalmettun þegar það er kælt niður í 90-100 °C. Þar má búast við útfellingum ef vatnið kólnar í hitakerfum.

Við suðu eykst styrkur kísils í því vatni sem eftir er vegna gufutaps. Dæmi um þetta er sýnt á mynd 9.6.1. Þar er gert ráð fyrir að vatn sem upphaflega var í jafnvægi við kvars við 200 °C sjóði niður í 100 °C. Þá hefur styrkur kísilsins aukist skv. Punktalína (a) á myndinni. Við leiðnikælingu (punktalína b) mundi þetta vatn ná ópalmettun við um 80 °C, en við suðu við rúmlega 100°C.

Ef hiti jarðhitavats er 100 °C og í jafnvægi við kísilsteintegundir er styrkur kísils í vatninu 110-130 mg/l. Ef vatnið er kælt nær það ópalmettun við um 20°C. Þegar sýni af vatni, sem er heitara en 100 °C, eru tekin til efnagreininga má búast við einhverri útfellingu eða fjölliðun kísils við geymslu við stofuhita. Þessi sýni þarf að meðhöndla sérstaklega við söfnun, því annars er hætta á að kísilgildi geti verið of lág í greiningu.

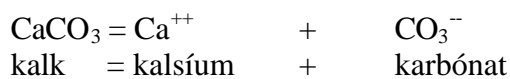


Mynd 9.6.1 Upplýsanleiki kísilsteinda með hita. Hægra megin hafa verið sett inn tákni fyrir efnasýni í töflu 9.4.1

Á mynd 9.6.1b hefur efnasamsetning vatns í hitaveitum í SÍH (sbr. tafla 9.4.1 í kafla 9.4) verið færð inn. Eins og við er að búast er allt vatnið undirmettað með tilliti til ópals og lítil hætta á útfellingum kísils þegar vatnið kólnar niður í 30-40°C eins og almennt gerist í hitakerfum.

9.6.3. Kalk

Kalkútfellingar eru algengustu útfellingar við nýtingu jarðhitavatns vegna þess að allt jarðhitavatn á Íslandi er kalkmettað við náttúrulegar aðstæður. Mynd 9.6.2 sýnir upplýsanleika kalks með hitastigi. Upplýsanleikinn hækkar með lækkuðu hitastigi. Þess vegna veldur kæling vatnsins ekki útfellingu. Blöndun mismunandi vatnsgerða svo og suðu leiða hinsvegar oft til yfirmettunar og útfellinga. Leysni kalks má lýsa með eftirfarandi efnajöfnu:



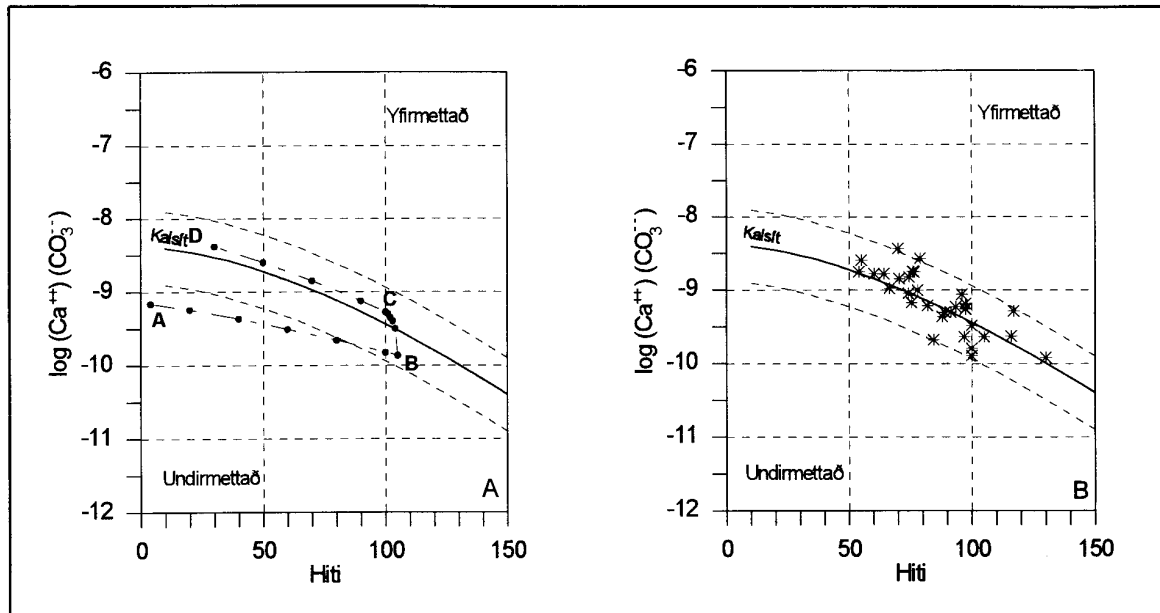
með leysnifastann við jafnvægi:

$$K = [\text{Ca}^{++}] [\text{CO}_3^{-}]$$

Út frá efnagreiningu vatns má reikna jónamargfeldi (Q) fyrir kalsít

$$Q = [\text{Ca}^{++}] [\text{CO}_3^{-}]$$

Ef jónamargfeldið (Q) er hærra en leysnifastinn (K) þá er vatnið yfirmettað og kalk getur fallið út. Reynsla hér á landi sýnir að nokkra yfirmettun þarf til að kalkútfellingar myndist. Svarar sú yfirmettun nokkurn veginn til skekkjumarka jafnvægisfastans sem sýnd eru sem brotalína á myndinni.



Mynd 9.6.2 Uppleisanleiki kalsíts með hita. Hægra megin hafa verið sett inn tákni fyrir efnasýni í töflu 9.4.1

Jafnvægisfastinn er háður virkni kalsíums (Ca^{++}) og karbónats (CO_3^{--}). Virkni karbónats er aftur háð pH-gildi (sýrustigi). Suða vatns veldur breytingum á pH-gildi (það hækkar) og karbónati. Þannig getur suða eða afloftun valdið yfirmettun kalks. Á mynd 9.6.2a er sýnt dæmi um upphitun á köldu vatni og afloftun þess. Punkturinn A sýnir samsetningu kalda vatnsins. Ferillinn frá A til B sýnir jónamargfeldi vatnsins við upphitun upp í 105°C og er síðan gert ráð fyrir að vatnið sé afloftað, þ.e. soðið niður í 100°C (punktur C). Við afloftunina breytist jónamargfeldi svo vatnið sem var undirmettað með tilliti til kalks verður lítið eitt yfirmettað. Ferillinn C til D sýnir síðan kælingu þessa vatns niður í 30°C .

Blöndun á misheitu vatni eða vatni með mismunandi efnasamsetningu leiðir oft til röskunar á kalkjafnvægi og yfirmettunar. Vatn leitar mjög fljótt í nýtt kalkjafnvægi með því að fella út kalk. Þannig verða stundum kalkútfellingar í djúpmælum í borholum, sem hafa misheitar æðar eða ef blöndun á sér stað við saltara vatn. Reikningar út frá efnasamsetningu vatns og samanburður við leysniferla getur því hjálpað til við að meta hættu á kalkútfellingum. Ef vatn rennur um asbestlagnir getur það skolað út kalsíum úr pípunum. Þetta leiðir í öllum tilfellum til herra jónamargfeldis kalsíums og karbónats og því meiri hættu á útfellingum. Kalkútfellingar hafa komið fram í hitaveitum sem nota langar asbestlagnir. Á fyrstu árum Hitaveitu Akraness og Borgarfjarðar og Hitaveitu Húsavíkur urðu útfellingar í hemlabúnaði í húsum. Þetta vandamál hvarf síðan þar sem útskolun kalsíums minnkar með tímanum.

Á mynd 9.6.2b hefur verið sett inn jónamargfeldi fyrir kalsít fyrir efnasamsetningu vatns frá hitaveitum í SÍH (sbr. töflu 9.4.1 í kafla 9.4). Öll falla sýnin innan skekkjumarka fyrir jafnvægi við kalsít. Við kælingu er lítil hætta á útfellingum.

9.6.4. Magnesíum-silikat

Útfellingar magnesíum-silikats eru algengt vandamál í íslenskum hitaveitum, sem nýta upphitað ferskvatn til þess að flytja varma. Þar að auki getur þessi gerð útfellinga myndast ef kalt vatn blandast hitaveituvatni.

Leysni magnesíum-silikat útfellinga má lýsa með eftirfarandi heildarjafnvægi:



Magnesíum silikat + vatn = magnesíum + kísil + hydroxíð

með leysnifastann:

$$K = [\text{Mg}^{++}] [\text{H}_3\text{SiO}_4^-] [\text{OH}^-]$$

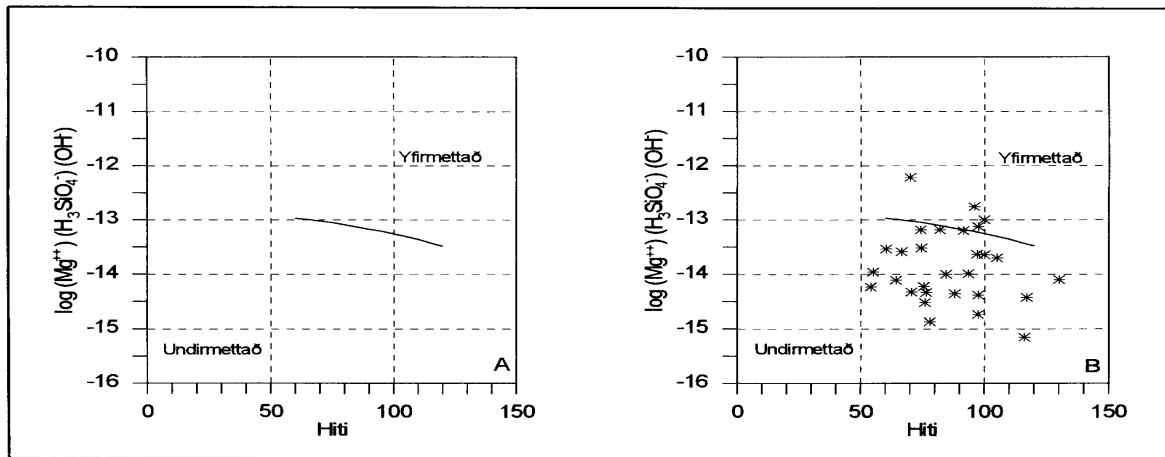
Mynd 9.6.3 sýnir jafnvægisferil magnesíum-silikats á hitastigsbilinu 60-120°C. Þessi jafnvægisfasti hefur ekki verið ákvarðaður við önnur hitastig. Efnajafnan sýnir að það er virkni magnesíums (Mg), kísils (í þessu tilfelli H_3SiO_4^-) og hydroxíðs (OH^-) sem hafa áhrif á myndun útfellinganna auk hitastigs. Virkni hydroxíðs sýnir að efnajafnvægið er háð pH-gildi vatnsins.

Út frá efnagreiningu vatnssýnis er hægt að reikna jónamargfeldi magnesíum-silikats í vatninu.

$$Q = ?\text{Mg}^{++}? ?\text{H}_3\text{SiO}_4^-? ?\text{OH}^-?$$

Ef jónamargfeldið (Q) er hærra en leysnifastinn (K) þá er vatnið yfirmettað og útfellingar geta myndast.

Kalt vatn inniheldur ávallt nokkurt magn magnesíums og styrkur kísils í því vatni getur verið nægur til að útfellingar myndist ef vatnið er hitað. Við suðu og afloftun hækkar pH-gildið og eykur það enn á hættuna á útfellingum. Hægt er að hafa einhver áhrif á það hvort útfellingar myndast eða ekki. Er þar helst um að ræða sýrustig (pH-gildi). Með lækkandi pH-gildi minnkar yfirmettun magnesíum-silikats. Þessar útfellingar hafa myndast við suðu og afloftun á köldu vatni hjá Hitaveitu Suðurnesja og Hitaveitu Reykjahlíðar.



Mynd 9.6.3 Uppleysanleiki magnesíum-silikats með hita. Hægra megin hafa verið sett inn tákn fyrir efnasýni í töflu 9.4.1

Þessar útfellingar myndast ekki að öllu jöfnu úr jarðhitavatni. Ástæða þess er sú að jarðhitavatn er mjög snautt af magnesíum og reiknast vatnið því yfirleitt undirmettað með tilliti til magnesíum-silikata. Magnesíum hefur þegar horfið úr vatninu við upphitun vegna efnahvarfa við bergið.

Ef blöndun á sér stað á jarðhitavatni og köldu vatni geta þessar útfellingar myndast. Ástæðan er sú að kalda vatnið inniheldur magnesíum og jarðhitavatnið inniheldur meiri kísil en kalt vatn. Auk þess er pH-gildi heitavatsins hærra. Blandan hefur því hærra pH-gildi en kalda vatnið. Allt þetta hækkar jónamargfeldið (Q). Besta leiðin til að koma í veg fyrir myndun þeirra er að útiloka innrennsli á köldu vatni í jarðhitavatnið. Útfelling af þessu tagi myndaðist þegar upphitað og afloftað kalt vatn frá Nesjavöllum blandaðist jarðhitavatni í dreifikerfi Hitaveitu Reykjavíkur þegar Nesjavallavirkjun var tekin í notkun.

Á mynd 9.6.3b hefur verið teiknað inn jónamargfeldi fyrir magnesíum silikat fyrir efnasamsetningu vatns frá hitaveitum í SÍH (sbr. Töflu 9.4.1 í kafla 9.4). Upphitað kalt vatn fellur nærri jafnvægisferli eða rétt ofan við hann. Vatn frá Hitaveitu Suðureyrar fellur einnig ofan jafnvægisferlisins og er með tiltölulega mesta yfirmettun.

9.6.5. Aðrar útfellingar og tæringarmyndanir

Járnsúlfíð.

Brennisteinn í jarðhitavatni gengur oft í samband við járn í pípum og öðrum búnaði í hitaveitum og myndar járnúlfíð. Húðin er yfirleitt þunn og veldur ekki vandræðum. Þvert á móti er húðin vörn gegn tæringu. Rör þar sem járnúlfíð hefur myndast glitra oft að innan en eru að öðru leyti eins og ný eftir áratuga notkun.

Eirsúlfíð.

Þar sem eirlagnir eru notaðar og brennisteinsvetni er í vatni myndast svört húð af eirsúlfíði. Þessi húð er tiltölulega lausbundin og losnar oft úr rörum. Það veldur því að neysluvatn verður litað, og oft kemur það fyrir að kvartað er undan því að hvítur þvottur verði aldrei almennilega hvítur.

Zinksilikat og zinkkarbónat

Galvaníseruð járnör eru húðuð með zinkhúð. Eirmelmi sem notuð eru í ýmsum búnaði, svo sem mælahúsum, lokum og stjórnúnaði, innihalda einnig zink. Zinkið getur komist í upplausn vegna tæringar og síðan bundist kísli eða karbónati og þannig myndað zinksilikat eða zinkkarbónat útfellingar. Ekki er mikið um þessa gerð útfellinga í hitaveitum, en þær geta þó orðið til vandræða. Þekkt er að í sumum gerðum mælahúsa hafa myndast útfellingar sem áhrif hafa haft á mælana. Á sama hátt geta þessar útfellingar, þó svo magnið sé ekki mikið, haft áhrif á stjórnúnað, t.d. ofnoka

Blýsúlfíð

Að lokum skal hér aðeins minnst á blýsúlfíð útfellingar. Þó svo blý sé ekki í jarðhitavatni svo vitað sé, þá hafa komið fram kvartanir sem rekja má til blýsúlfíðs. Blý er í sumum málningategundum svo og í sumum gerða leirflísa. Þegar jarðhitavatn sem inniheldur súlfíð kemst í snertingu við hluti sem innihalda blý geta myndast blýsúlfíð útfellingar. Brúnleitir taumar í baðherbergjum hafa verið raktir til blýsúlfíðs, þar sem súlfíði kemur úr vatninu en blýið úr málningu eða flísum.

Hitaveituhandbók Samorku

Innra eftirlit hitaveitna - starfsleyfi

10. Kafli

Loftur Gissurarson, Orkuveitu Reykjavíkur

María J. Gunnarsdóttir, Samorku

Október 2003

Efnisyfirlit

Inngangur.....	3
1. Markmið innra eftirlits	4
2. Atriði / kröfur innra eftirlits hitaveitu.....	4
2.1. Lýsing á atvinnurekstrinum	4
2.2. Staðfest deiliskipulag, svæðismyndir.....	4
2.3. Lýsing á staðháttum við vinnustað.....	4
2.4. Upptalning á hráefnum og hjálparefnum	5
2.5. Fyrirsjáanleg losun og áhrif á umhverfið.....	5
2.6. Lýsing á mengunarvörnum, áætlaðar aðgerðir til að draga úr losun	5
2.7. Lýsing á aðferðum til að fylgjast með losun.....	5
2.8. Lýsing á tilhögun innra eftirlits.....	6
2.9. Lýsing á umbótum til að hindra myndun úrgangs	6
2.10. Lýsing á tegund og söfnun úrgangs.....	6
3. Tilvísanir	6
Dæmi frá Orkuveitu Reykjavíkur	7

Inngangur

Reglugerð nr. 785/1999 um atvinnurekstur sem getur haft í för með sér mengun tók gildi í október 1999. Markmið reglugerðarinnar er að koma í veg fyrir og draga úr mengun af völdum atvinnurekstrar og koma á samþættum mengunarvörnum. Þar segir m.a. að virkjanir og orkuveitur frá 2 MW skuli sækja um starfsleyfi til viðkomandi heilbrigðisnefnda og þetta á því við um allar hitaveitur innan Samorku. Uppsett afl hitaveitna inn á dreifikerfin var árið 2000 frá 2,2 MW í Hrísey og upp í 830 MW í Reykjavík. Heildarafl uppsett afl hitaveitna inn á dreifikerfin var það ár 1620 MW. Samkvæmt reglugerðinni áttu fyrirtækin að hafa sótt um starfsleyfi fyrir ársbyrjun 2001.

Vegna reynslu af því að setja upp innra eftirlit skv. GÁMES kerfinu þ.e. greining áhættuþátta og mikilvægra eftirlitsstaða, hjá vatnsveitum var farið í að þróa innra eftirlitskerfi utan um starfsleyfið með því sniði. Þar er tekið tillit til þeirra krafna sem koma fram í reglugerðinni um eftirlit og við umsókn um starfsleyfi. GÁMES, á ensku HACCP (hazard analyses critical control point), er þróað fyrir matvælaíðnaðinn til að tryggja gæði matvæla. Það gengur út á að leita að veikum punktum í kerfinu, gera endurbætur og fylgjast þar með á skipulegan hátt. Hér er áherslan á að skoða hættu á mengun og koma í veg fyrir hana.

Í fyrsta kafla eru markmiðin tilgreind. Í kafla tvö eru kröfurnar í samræmi við 10. grein reglugerðarinnar tilgreindar og hvernig þeim er mætt og þær settar í samhengi við kröfur í GÁMES. Og í þriðja kaflanum er tilvísanir í reglugerðir og aðra þætti. Aftast er síðan dæmi frá Orkuveitu Reykjavíkur. Þar eru fyrst kröfurnar í kafla tvö tilgreindar og hvernig þær eru uppfylltar og síðan er áhættugreiningin í samræmi við kafla 2.5 tekin sérstaklega. Þar er gerð grein fyrir hvernig líkur á hættu og alvarleiki er metinn og síðan er gerð áhættugreining fyrir háhitasvæði, lághitasvæði, flutningsæðar, geyma og gasskiljur, dreifistöðvar, stofn og dreifiæðar, lokahús og brunna, heimæðar og tengigrindur og að lokum í kyndistöð. Í lokin á þeim kafla er samantekt á vægi og líkum á áhættuatriðinum og þar sem það samanlagt fær gildið sex eða hærra. Í töflunum er tilgreint hvaða fyrirbyggjandi ráðstafanir verða gerða þar sem gildið er sex eða hærra. Flestir áhættuþættir með gildi yfir sex lenda í flokkunum heimæðum, dreifikerfi og brunnum og lokahúsum. Hæsta gildi af samlögðum líkum og alvarleika er 9 sem er við áhættuatriðinu vatnsflæði á heimæð og þar er tilgreint að gera eigi nýjar verklagsreglur við tengigrindur.

1. Markmið innra eftirlits

Innra eftirlit hitaveitu tekur mið af reglugerð um starfsleyfi fyrir atvinnurekstur sem getur haft í för með sér mengun nr. 785/1999 og innra eftirlitskerfi vatnsveitu (GÁMES kerfi) sbr. reglugerð nr.522/1994.

Markmið innra eftirlits hitaveitu er að hafa stjórn á óæskilegum þáttum sem geta valdið mengun, hættu eða rýrt gæði framleiðslunnar. Með gæðum getur verið átt við súrefnismagn í vatninu, hitastig þess og/eða þrýsting kerfisins.

2. Atriði / kröfur innra eftirlits hitaveitu

2.1. Lýsing á atvinnurekstrinum

Lýsing á fyrirtæki, framleiðslu og þjónustusvæði, auk laga og reglugerða sem þarf að uppfylla. Hitaveita er veita sem vinnur heitt vatn og dreifir því til notenda í gegnum dreifikerfi og heimæðar að tengigrind. Vatninu kann að vera dælt í miðlunartanka til að jafna álag. Hér á landi fá hitaveitur oftast heitt vatn frá jarðhitasvæði en sumstaðar er vatnið hitað upp í rafskautakatli og til að mæta straumleysi eru olíukatlar.

Til hliðsjónar í GÁMES: Lýsing á vöru og fyrirtæki.

2.2. Staðfest deiliskipulag, svæðismyndir

Svæðismyndir, staðsetningar virkjunarsvæða og mannvirkja, t.d. tanka og dælustöðva. Ekki þarf að sýna hitaveiturör á deiliskipulagi.

Til hliðsjónar í GÁMES: Engin sambærileg krafa.

2.3. Lýsing á staðháttum við vinnustað

Kerfismynd af hitaveitu, flæðirit og einlínumyndir af framleiðsluferli. Jarðhitasvæðið þar sem vinnsla á orkunni fer fram (oftast utan þéttbýlis), aðveituæð þar sem vatninu er leitt að þéttbýlinu, dælustöðvar, miðlunartankar, dreifikerfið þar sem því er dreift innan svæðisins og tengistaðir inn í húsum þar sem vatnið er afhent notendum.

Til hliðsjónar í GÁMES: Flæðirit – framleiðsluferli.

2.4. Upptalning á hráefnum og hjálparefnum

Listun á framleiðslu/vöru og umbúðum/efni, ásamt eftirlit og skoðun t.d. móttökuskoðun og lokaskoðun. Um er að ræða röraefni s.s. plaströr, stálrör og asbeströr, olíur, freyðiefni, kælimiðlar, málning og mak, íblöndunarefni o.s.frv. Tilgreina stefnu í (grænum) innkaupum þar sem hún er til staðar.

Til hliðsjónar í GÁMES: Listun á vöru og eftirlit með vörumóttöku.

2.5. Fyrirsjáanleg losun og áhrif á umhverfið

Áhættuþættir skilgreindir, greining/mat á hættu vegna (i) breytinga á þrýstingi og (ii) hitastigs vatnsins, sem getur valdið mengun/skemmdum vegna yfirflæðis og/eða slysi við notkun þess. Skilgreina lykilstaðir þar sem losun á sér stað og hvað er losað. Hitaveitur losa vatn út í frárennsliskerfið og yfirfallsvatni út í jarðveg, ár, vötn eða sjó. Á háhitasvæðum er losun á gufum út í andrúmsloftið við vinnslu. Magn og efnainnihald gufu og vatns er þekkt og þarf að vera tilgreint.

Til hliðsjónar í GÁMES: Áhættuþættir skilgreindir.

2.6. Lýsing á mengunarvörnum, áætlaðar aðgerðir til að draga úr losun

Fyrirbyggjandi aðgerðir og lýsing á forvörnum, sem geta falist í hönnun mannvirkja, stýringu kerfis, aðgangsstýringu og kröfum um kunnáttu. Hávaðavarnir frá dælustöðvum, yfirföll í tönkum, þrær til að kæla vatn, afgösun á vatni, niðurdæling, tvöfalt kerfi.

Til hliðsjónar í GÁMES: Fyrirbyggjandi aðgerðir.
Þjálfun starfsfólks.

2.7. Lýsing á aðferðum til að fylgjast með losun

Lýsing á eftirliti, aðferðum við vöktun, t.d. gæðaskipulag. Með tilgreindum viðmiðunarmörkum fyrir mikilvæga eftirlitsstaði sem taka mið af áhættuþáttum skilgreindum í nr. 2.5. Öll gögn skráð og skjalfest. Viðbrögð og úrbætur tilgreindar fari mælingar yfir viðmiðunarmörk.

Til hliðsjónar í GÁMES: Mikilvægir eftirlitsstaðir.
Viðmiðunarmörk.
Hitastigseftirlit.
Skráning / skjalfesting.
Viðbrögð og úrbætur.

2.8. Lýsing á tilhögun innra eftirlits

Lýsing á innra eftirlitskerfi. Skilgreind ábyrgðarskipting, innri úttektir og endurheimt. Skjalfesting eftirlits í verklagsreglum, þ.m.t. rýni stjórnenda fyrir stórar veitur.

Til hliðsjónar í GÁMES: Ábyrgð skilgreind.
Innri úttektir.
Endurmat.
Skipulagt eftirlit.
Skjalfesting.

2.9. Lýsing á umbótum til að hindra myndun úrgangs

Lýsing umbótaferla, hvernig tekið er á því sem betur má fara og litið á upplýsingar um frávik sem verðmæti. Bilanaskráning, truflanaskráning og kvartanir. Gera grein fyrir áætlun um minnkun mengandi úrgangs (spilliefna) þar sem hún er til staðar.

Til hliðsjónar í GÁMES: Viðbrögð við frávikum.

2.10. Lýsing á tegund og söfnun úrgangs

Lýsing á söfnun og förgun sorps, umbúða og spilliefna, þ.e.a.s. úrganga (hér er ekki átt við vöruna).

Til hliðsjónar í GÁMES: Hreinlæti – hreinlætisáætlun.

3. Tilvísanir

Forskriftir:

Reglugerð um starfsleyfi fyrir atvinnurekstur sem getur haft í för með sér mengun nr. 785/1999.

Dæmi frá Orkuveitu Reykjavíkur

Atriði/kröfur til innra eftirlits
Áhrifa og áhættugreining – Heitt vatn

2. Atriði / kröfur innra eftirlits hitaveitu

2.1 Lýsing á atvinnurekstrinum

Hitaveita Orkuveitu Reykjavíkur dreifir heitu vatni frá virkjunarsvæðum í Reykjavík, Mosfellsbæ og frá Nesjavöllum til notenda á höfuðborgarsvæðinu. Einnig dreifir OR heitu vatni frá virkjunarsvæði HAB í Borgarfirði þ.e. Deildartunguhver, Laugarholti og í landi Bæjar til notenda á Akranesi og Borgarnesi. Fyrirtækið rekur miðlunartanka við Öskjuhlíð, Grafarholti, Grjóteyri og við Akranes. Dælustöðvar er að finna víða í dreifikerfinu. Varaaflstöð sem brennir olíu er staðsett í Árbæ. Á einu svæði er dreifikerfið hringrásarkerfi þar sem vatnið er tekið til baka og notað til upp blöndunar á vatni sem er of heitt til notkunar. Vatni frá Nesjavöllum er haldið aðgreindu frá öðrum virkjunarsvæðum. Það er upphitað kalt vatn sem leiðir til útfellinga ef því er blandað við annað vatn.

2.2 Staðfest deiliskipulag, svæðismyndir

Í Rekstrarhandbók Orkuveitu Reykjavíkur er að finna svæðismyndir og staðsetningar virkjunarsvæða og mannvirkja. Ekki er gerð grein fyrir lagnaleiðum.

2.3 Lýsing á staðháttum við vinnustað

Í Rekstrarhandbók Orkuveitu Reykjavíkur er að finna kerfismyndir af kerfi hitaveitunnar. Þar er gerð grein fyrir virkjunarsvæðum og tilheyrandi jöfnunartönkum, aðveituæðum, miðlunartönkum, dælustöðvum og dreifikerfi að tengistað inn í hús.

2.4 Upptalning á hráefnum og hjálparefnum

Við rekstur hitaveitu eru notuð fjölbreytt aðföng sem haldið er utan um í innkaupakerfi Orkuveitunnar. Þar er og skilgreind víðeigandi móttökuskoðun. Yfirlit yfir þessi aðföng er að finna í greiningum vegna starfsleyfisumsókna. Varan eða framleiðslan hefur verið efnagreind og fer fram lokaskoðun á heita vatninu.

2.5 Fyrirsjáanleg losun og áhrif á umhverfið

Óæskileg áhrif eða hættu sem stafað getur af hitaveitunni er þekkt. Um er að ræða áhrif eða hættu á virkjunarsvæðum t.d. þar sem gufa er undir þrýstingi, áhrif eða hættu frá miðlunartönkum, vatnsflóð af heitu vatni, áhrif eða hættu gagnvart notendum, að of heitt vatn berist til notenda. Gerð hefur verið áhrifagreining til að greina áhættuþætti (sjá bls.11).

Vatni frá veitunni á virkjunarsvæðum er beint til samþykktra viðtakenda. Notað vatn fer í fráveitukerfi. Yfirfall er skipulagt þannig að áhrif af því eru þekkt.

2.6 Lýsing á mengunarvörnum, áætlaðar aðgerðir til að draga úr losun

Orkuveita Reykjavíkur beitir fyrirbyggjandi aðgerðum til að verjast áhrifum eða hættu sem stafað getur af veitunni. Áhersla er lögð á hönnun mannvirkja þar sem dregið er úr áhrifum með skipulegum hætti. Stýring veitunnar hefur verið skilgreind og skipulögð með þeim hætti að viðmið eru haldin sem tryggja rekstur veitunnar og draga úr líkum á hættu eða óæskilegum

atvikum. Í mannvirkjum hitaveitu er beitt aðgangsstýringu til að tryggja öryggi þeirra sem þar ferðast um og að óviðkomandi geti ekki sett af stað skaða. Starfsmenn hitaveitunnar fá þjálfun og eru kunnáttumenn gagnvart veitunni.

2.7 Lýsing á aðferðum til að fylgjast með losun

Gæðaskipulag hitaveitu Orkuveitu Reykjavíkur er lýst í skjali LBI-007 sem lýsir mikilvægum eftirlitsstöðum. Skjalinu er viðhaldið af gæðastjóra. Þar hefur verið ákveðin sú vöktun sem nauðsynleg er gagnvart gæðum, umhverfisáhrifum og öðrum óæskilegum áhrifum eða hættu sem stafað geta af veitunni.

2.8 Lýsing á tilhögun innra eftirlits

Orkuveita Reykjavíkur starfrækir skjalfest stjórnunarkerfi sem innifelur innra eftirlitskerfi. Kerfið er skipulagt í samræmi við þarfir fyrirtækisins fyrir stjórnun og hentar stærð þess og skipulagi. Í stjórnunarkerfi Orkuveitunnar er ábyrgð skilgreind og gerð grein fyrir skipulagi innra eftirlitsins. Samkvæmt því fara fram innri úttektir til að fylgjast með virkni þess og eftir er til rýni stjórnenda til að fá endurmat.

Hitaveitueftirlitsráð (HVER) og gæðastjóri endurmeta kröfur um aðföng fyrir innra eftirlit hitaveitu og viðhalda kerfinu jafnóðum og breytingar verða á starfseminni s.s. breytingar á aðferðum og tækni.

2.8.1 Hitaveitueftirlitsráð (HVER)

Ábyrgðarmaður Hitaveitueftirlitsráðs er aðstoðarforstjóri. HVER hefur yfirumsjón með innra eftirliti hitaveitu Orkuveitu Reykjavíkur.

Hlutverk HVERs er að:

- ?? Yfirfara samstarfsverkefni Framleiðslu, Dreifingar, Sölu, Kerfisstjórnar, Framkvæmda og Tæknimála (Hönnunar og Rannsókna)
- ?? Fylgjast með að innra eftirlit hitaveitu OR sé virkt, yfirfara úttektir og ákveða aðgerðir vegna athugasemda. Fylgjast með gæðum hitaveituveituvatns.
- ?? Fylgjast með nýtingu jarðhitasvæða.
- ?? Samræma áætlanagerð og forvarnaraðgerðir.

Hitaveitueftirlitsráð skipa: ábyrgðarmaður (aðstoðarforstjóri OR), framkvæmdastjórnar Framleiðslu, Kerfisstjórnar, Dreifingar, Sölu og Framkvæmda, gæðastjóri og deildarstjórnar frá Heitu vatni (Dreifingar), Rekstrardeild (Framleiðslu), Nesjavöllum (Framleiðslu), Rannsóknum (Tæknimála) og ábyrgðarmaður Hönnunar fyrir heitt vatn.

2.9 Lýsing á umbótum til að hindra myndun úrgangs

Orkuveita Reykjavíkur hefur skiplagt umbótaferli. Í því felst m.a. meðhöndlun og skráning bilana, rekstrartruflana og kvartana, úrbætur og forvarnir í framhaldi af því.

2.10 Lýsing á tegund úrgangs

Fyrirtækið flokkar sorp og spilliefni kerfisbundið skv. verklagsreglu. Einnig er gerð grein fyrir úrgangi í greiningum vegna starfsleyfis.

3. Tilvísanir

Skipulagsskjöl:

SKI-070; Innra eftirlit hitaveitu.

Leiðbeiningar:

LBI-007; Mikilvægir eftirlitsstaðir.

LBI-012; Áhrifa og áhættugreining, heitt vatn.

ÁHRIFA OG ÁHÆTTUGREINING, HEITT VATN

Skjalið er leiðbeinandi um hvar áhættu er að finna í heitavatnshluta Orkuveitu Reykjavíkur.

1. Mat á líkum og alvarleika

Áhættuatriði eru flokkuð niður á áhrifaþætti skv. eftirfarandi:

Teg.

U	Áhrif á umhverfi
B	Áhrif á búnað
F	Áhrif á fólk
V	Áhrif á vöru

Líkur á áhættuatriði er mat starfsmanna innra eftirlitshópsins á tíðni þess að áhættuatriðið sé til staðar, innan þess kerfishluta sem um er að ræða, með eftirfarandi skilgreiningu á vægi:

Líkur	1 Mjög litlar	Sjaldnar enn 1/100 ár
	2 Litlar	1/10 - 1/100 ár
	3 Meðal	1/1 - 1/10 ár
	4 Miklar	1/1 viku - 1/1 ár
	5 Mjög miklar	Oftar en 1/1 viku

Alvarleiki áhættuþáttar er mat starfsmanna innra eftirlitshópsins á afleiðingum óhapps sem kynni að eiga sér stað ef áhættuþátturinn yrði að óhappi/slysi, með eftirfarandi skilgreiningu á vægi:

Vægi	1	Mjög lítill
	2	Lítill
	3	Meðal
	4	Mikill
	5	Mjög mikill

2. Áhættuþættir skilgreindir

I Háhitasvæði, jarðvarmavirkjun, borholur og pípur

Nr.	Áhættuatriði	Teg	Líkur	Vægi	Athugasemdir og fyrirbyggjandi ráðstafanir
1	Lokar geta sprungið	U,F	1	3	
2	Lekar	U	3	1	
3	Vatnsflæði	U,F	2	3	Varmabúnaður til staðar
4	Skemmdarverk	B	1	3	Vaktir, bakvaktir og aðgengi
5	Hætta fyrir ferðamenn	F	1	4	Hefta aðgengi ökutækja, merkja gönguleiðir, afgirða varasama staði
6	Rakaskemmdir, tæring	B	2	2	DMM á Nesjavöllum
7	Áverkar á einangrun	B	2	1	
8	Bílanir vegna verktaka, framkvæmda	B	3	2	
9	Hrömun, öldrun	B	1	1	
10	Borholur, þrýstilækkun	B	1	4	Stýring/eftirlit með dælingu/niðurdrætti. VLH-020
11	Borholur, geta skemmst	B	1	3	
12	Sprengihætta af gasi	F	1	4	
13	Gashætta	F	2	5	Kvarðaðir gasskynjarar, þjálfun, sbr. VLJ-060

II Lágðitasvæði, borholur og safnæðar

Nr.	Ahættuatriði	Teg	Líkur	Vægi	Athugasemdir og fyrirbyggjandi ráðstafanir
1	Lokar geta sprungið	U,F	1	5	
2	Lekar	U	3	3	Raka og hitaliðar í kerfiráði, VLB-006
3	Vatnsflæði	U,F	3	4	Unnið er að viðgerðum, sbr. VLE-010
4	Skemmdarverk	B	3	2	
5	Hætta fyrir ferðamenn	F	4	1	
6	Rakaskemmdir, tæring	B	3	3	Tæringarmælingar, viðgerðir
7	Áverkar á einangrun	B	3	1	
8	Bilanir vegna verktaka / framkvæmda	B	3	2	Skemmdir á stýristrengjum
9	Hrörnun, öldrun	B	1	1	
10	Borholur, þrýstilækkun	V	2	2	Svæðið hvílt, VLH-020
11	Borholur, geta skemmst	B,V	1	3	

III Flutningsæðar

Nr.	Ahættuatriði	Teg	Líkur	Vægi	Athugasemdir og fyrirbyggjandi ráðstafanir
1	Lokar geta sprungið	U,F	1	5	
2	Slæmur frágangur	U	1	1	
3	Lekar	U	3	1	
4	Vatnsflæði	U,F	2	5	Viðgerðir, VLC-040, VRF-510
5	Skemmdarverk	U	1	5	Viðgerðir, VLC-040, VRF-510
6	Hætta af umgengni	U	3	1	
7	Rakaskemmdir, tæring	B	3	2	
8	Áverkar á einangrun	B	3	1	
9	Bilanir vegna verktaka, framkvæmda	B	2	2	
10	Hrörnun, öldrun	B	1	1	
11	Útfellingar	B,V	2	5	Súperlokar notaðir, verklag þegar skipt er á milli kerfa

IV Geymar og gasskiljur

Nr.	Ahættuatriði	Teg	Líkur	Vægi	Athugasemdir og fyrirbyggjandi ráðstafanir
1	Lokar geta sprungið	U,F	1	5	Byggt yfirfall/þró
2	Slæmur frágangur	U	1	1	
3	Lekar	U	1	2	Þró
4	Vatnsflæði, yfirfall	U,F	2	3	Úrbætur þar sem ekki er þró
5	Fallhætta	F	1	5	
6	Skemmdarverk, virki	U,B	3	1	
7	Skemmdarverk, vatn	V,F	1	5	
8	Hætta af umgengni	U,F	4	1	Setja hespu eða lás á brunnop/brunnlok
9	Rakaskemmdir, tæring	B	3	2	
10	Áverkar á einangrun	B	1	1	
11	Hrörnun, öldrun	B	1	1	
12	Útfellingar	B,V	1	1	
13	Bilanir á stýribúnaði	B	2	3	Úrbætur þar sem við á

V Dreifistöðvar

Nr.	Ahættuatriði	Teg	Líkur	Vægi	Athugasemdir og fyrirbyggjandi ráðstafanir
1	Lokar geta sprungið	U,F	1	4	
2	Slæmur frágangur	U	2	1	
3	Lekar	U	3	1	
4	Vatnsflæði	U,F	2	4	
5	Skemmdarverk, virki	B	2	3	
6	Hætta af umgengni	U	1	3	
7	Hrörnun, öldrun	B	1	1	
8	Útfellingar	B,V	2	1	
9	Bilanir á stýribúnaði	B	3	4	

VI Stofnæðar og dreifiaðar

Nr.	Ahættuatriði	Teg	Líkur	Vægi	Athugasemdir og fyrirbyggjandi ráðstafanir
1	Lokar geta sprungið	U	4	2	Gert við, sbr. VLE-010
2	Slæmur frágangur	U	2	3	Gert við, sbr. VLE-010, áætlun sbr. VLC-040
3	Lekar	U	4	2	
4	Vatnsflæði	U,F	2	4	
5	Skemmdarverk, virki	U,B	1	1	
6	Hætta af umgengni	U	2	1	
7	Rakaskemmdir, tæring	B	4	2	Gert við, sbr. VLE-010
8	Bilanir vegna verktaka, framkvæmda	B	4	2	Gert við, sbr. VLE-010
9	Hrörnun, öldrun	B	2	2	
10	Útfellingar	B,V,F	2	4	

VII Lokahús og brunnar

Nr.	Ahættuatriði	Teg	Líkur	Vægi	Athugasemdir og fyrirbyggjandi ráðstafanir
1	Lokar geta sprungið	U,F	2	4	
2	Lekar	U	3	2	
3	Vatnsflæði	U,F	3	5	Unnið að flóðavörnum sbr. áætlun í VLA -010
4	Fallhætta	F	2	2	
5	Skemmdarverk, virki	U,B	1	1	
6	Hætta af umgengni	U,B	3	1	
7	Rakaskemmdir, tæring	B	4	2	Unnið samhliða að endurnýjun æða, VLA -005
8	Hrörnun, öldrun	B	4	2	Unnið samhliða að endurnýjun æða, VLA -005
9	Útfellingar	B	1	4	
10	Bilanir í stýribúnaði	B	3	1	

VIII Heimæðar og tengigrindur

Nr.	Ahættuatriði	Teg	Líkur	Vægi	Athugasemdir og fyrirbyggjandi ráðstafanir
1	Frostskemmdir	U,B	4	1	
2	Lokar geta sprungið	U	3-4	1	
3	Slæmur frágangur	U	2	1	
4	Lekar	U	4	3	Gert við, sbr. VLE-010 Gerð verður ný vklr. f. tengigrindahluta
5	Vatnsflæði	U	4	5	Gert við, skv. VLE-010 Gerð verður ný vklr. f. tengigrindahluta
6	Sía stíflast	B,F	4	2	Sía hreinsuð Gerð verður ný vklr. f. tengigrindahluta
7	Rakaskemmdir, tæring	B	4	2	Gerð verður ný vklr. f. tengigrindahluta
8	Hrörnun, öldrun	B	3	3	Gerð verður ný vklr. f. tengigrindahluta
9	Útfellingar	B,V,F	4	4	Gerð verður ný vklr. f. tengigrindahluta

IX Kyndistöð

Nr.	Ahættuatriði	Teg	Líkur	Vægi	Athugasemdir og fyrirbyggjandi ráðstafanir
1	Mengun	U	2	1	
2	Olúgeymir	U,F	1	5	
3	Gufukatlar	U,F	1	5	
4	Lokar geta sprungið	B,F	1	5	
5	Skemmdarverk, virki	B	1	5	

3 Áhættuatriði með þungt vægi

		LÍKUR				
		1	2	3	4	5
VÆGI	1					
	2				VI-1, VI-3, VI-7, VI-8 VII-7, VII-8, VIII-6, VIII-7	
	3			II-2, II-6 VIII-8	VIII-4	
	4			II-3 V-9	VIII-9	
	5		I-13 III-11	VII-3	VIII-5	