



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Áhrif niðurdælingar á jarðhitakerfi

Áfangaskýrsla

Samvinnuverk Orkustofnunar
og Hitaveitu Reykjavíkur

Ómar Sigurðsson

OS-96081/JHD-09

Desember 1995



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 720 107

Áhrif niðurdælingar á jarðhitakerfi

Áfangaskýrsla

Samvinnuverk Orkustofnunar
og Hitaveitu Reykjavíkur

Ómar Sigurðsson

OS-96081/JHD-09

Desember 1995

ISBN 9979-827-83-1

ÁGRIP

Á undanförunum árum hefur Orkustofnun í samvinnu við nokkur orkufyrirtæki unnið að fjölþættu verkefni er nefnt hefur verið *Rannsókn jarðhita til raforkuframleiðslu*. Innan þess verkefnis er verkþátturinn *Áhrif niðurdælingar á vinnslutilhöggun*, en markmið hans eru að kanna á fræðilegan hátt hagkvæmni niðurdælingar í jarðhitakerfi. Þar er einkum átt við atriði sem beinast að ástandi og afköstum jarðhitakerfisins ásamt áhrifum niðurdælingarinnar þar á. Aðallega er horft til jarðhitakerfa sem henta til raforkuvinnslu og beinist umfjöllunin í þessari áfangaskýrslu því að háhitakerfum. Kannað er hvernig niðurdæling hefur áhrif á niðurdrátt og hitadreifingu í þeim, ásamt því hvernig framleiðsla varma- og raforku breytist með tilkomu niðurdælingar.

Sett var upp reiknilíkan fyrir jarðhitakerfi. Prófuð voru opin, lokuð og óendanleg randskilyrði fyrir kerfið, en að lokum var ákveðið að hafa kerfið lokað svo áhrif niðurdælingar kæmu sem skýrast fram. Líkanið var stillt af, þannig að jarðhitakerfið gæti framleitt um 20 MW_e. Síðan voru gerðar fjöldi tölvukeysrlna til að kanna áhrif mismunandi niðurdælingarmynstra, hver orkuvinnslan væri fyrir þau og endingartími kerfisins. Niðurdælingarmynstur ræðst af afstöðu niðurdælingarholna til vinnsluholna. Prófað var að dreifa niðurdælingu milli vinnsluholna, víxla hlutverki niðurdælingar- og vinnsluholna, dæla niður við útjæðra jarðhitakerfisins, mynda tvíspól-verkun og dæla niður í þrýstingsstigul. Niðurdæling samsvaraði í fyrsta lagi framleiddu skiljuvatni og í öðru lagi heildarmassatöku úr jarðhitakerfinu. Fyrir sum mynstrin var prófað að dæla ýmist grunnt í jarðhitakerfið eða djúpt í það. Í þessum áfanga var áherslan á tveggja fasa jarðhitakerfi, en nokkur dæmi eru þó birt fyrir einfasa vatnskerfi og gufukerfi til frekari glöggvunar.

Niðurstöður þessa áfanga sýna að í flestum tilvikum bætir niðurdæling afkomu jarðhitakerfisins, en oft ekki fyrr en eftir 20-30 ára vinnslu þó niðurdælingin hafi byrjað um leið og vinnsla hófst. Niðurdælingin lengir endingartíma jarðhitakerfisins og heldur uppi hærra vinnslustigi úr því. Jarðhitakerfi með góða lekt og nægt náttúrulegt aðstreymi þurfa hins vegar ekki niðurdælingu til að halda uppi afköstum þess. Aftur á móti gæti niðurdæling reynst heppileg í þannig tilfellum til að stýra varmanámi úr kerfinu.

Fyrir jarðhitakerfi þar sem náttúrulegt aðstreymi er takmarkað, eða mun minna en vinnslan úr kerfinu, benda niðurstöður til að afköst kerfisins aukist og endingartími þess lengist þegar niðurdæling fer fram með tvíspól uppsetningu og við útjæðra kerfisins. Endingartíminn lengist með því rúmmáli sem niðurdælingarvökvinn nær að vinna varmann úr. Því ber við hönnun niðurdælingar að stuðla að sem bestu varmanámi úr jarðhitakerfinu. Þar á eftir kemur að draga úr niðurdrætti með því að viðhalda þrýstingi í kerfinu. Til að ná fram báðum þessum markmiðum þarf að dæla niður álfka miklu vatnsmagni og tekið er úr kerfinu.

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	5
2. GERÐ OG UPPSETNING REIKNILÍKANS	6
3. GRUNNKEYRSLUR	11
3.1 Afstemming reiknilíkans	11
3.2 Endanlegt val á reiknilíkani	12
4. NIÐURSTÖÐUR LÍKANREIKNINGA	16
4.1 Fyrstu keyrslur	16
4.2 Tveggja fasa opið kerfi	16
4.3 Tveggja fasa lokað kerfi	19
4.4 Einfasa vatnskerfi	22
4.5 Einfasa gufukerfi	23
5. NIÐURSTÖÐUR FYRIR 30 ÁRA VINNSLUTÍMA	34
6. LÍFTÍMI LOKAÐRA KERFA	35
7. UMRÆÐA UM STAÐSETNINGU NIÐURDÆLINGARHOLNA	36
8. SAMANDREGNAR NIÐURSTÖÐUR ÞESSA ÁFANGA	37
9. HEIMILDIR	38
VIÐAUKAR: Samandregnar lýsingar á útkomu tölvukeyrslna	39
VIÐAUKI 1: Keyrslur fyrir tveggja fasa opið kerfi	41
VIÐAUKI 2: Keyrslur fyrir tveggja fasa lokað kerfi	49
VIÐAUKI 3: Keyrslur fyrir lokað einfasa vatnskerfi	62
VIÐAUKI 4: Keyrslur fyrir lokað einfasa gufukerfi	65

TÖFLUSKRÁ

1. Gildi fyrir helstu eðlisþætti í reiknilíkani	7
2. Lekt og grop fyrir mismunandi keyrslutilfelli	8
3. Kennistærðir grunnkeyrslna opins kerfis, 30 ára meðaltöl	12
4. Upphafsgildi hita og þrýstings fyrir tveggja fasa kerfi	16
5. Magn niðurdælingar	17
6. Skipting líkankeyrslna á niðurdælingarmynstur	17
7. Gróft yfirlit útkomu keyrslna fyrir 30 ára vinnslu og opið kerfi	19
8. Skipting líkankeyrslna á niðurdælingarmynstur	20
9. Gróft yfirlit útkomu keyrslna fyrir 60 ára vinnslu og lokað kerfi	20
10. Skipting líkankeyrslna á niðurdælingarmynstur	22
11. Upphafsgildi hita og þrýstings fyrir einfasa vatnskerfi	22
12. Gróft yfirlit útkomu keyrslna fyrir 30 ára vinnslu og lokað vatnskerfi	23
13. Skipting líkankeyrslna á niðurdælingarmynstur	23
14. Upphafsgildi hita og þrýstings fyrir gufukerfi	24
15. Gróft yfirlit útkomu keyrslna fyrir lokað gufukerfi	24

MYNDASKRÁ

1. Reikninet með 134 einingum	9
2. Helstu niðurdælingarmynstur ásamt búkuninni á vinnslusvæðinu	10
3. Rafafi frá grunnkeyrslum fyrir opið kerfi	13
4. Varmaafi frá grunnkeyrslum fyrir opið kerfi	13
5. Heildarrennsli í grunnkeyrslum fyrir opið kerfi	14
6. Framleiðsla skiljuvatns í grunnkeyrslum fyrir opið kerfi	14
7. Mismunur á framleiddu rafafi milli grunnkeyrsla fyrir opið og lokað kerfi	15
8. Mismunur á framleiddu varmaafi milli grunnkeyrsla fyrir opið og lokað kerfi	15
9. Framleitt rafafi í grunnkeyrslum fyrir lokað kerfi	25
10. Framleitt varmaafi í grunnkeyrslum fyrir lokað kerfi	25
11. Heildarrennsli í grunnkeyrslum fyrir lokað kerfi	26
12. Framleiðsla skiljuvatns í grunnkeyrslum fyrir lokað kerfi	26
13. Heildarrennsli og vermi án niðurdælingar og með 90 kg/s niðurdælingu fyrir uppsetningu I, tilfelli A og lokað kerfi	27
14. Uppsöfnuð raforkuvinnsla fyrir uppsetningu I, tilfelli A án niðurdælingar og með 90 kg/s niðurdælingu	27
15. Þrýstingur miðsvæðis og djúpt í jarðhitakerfinu (lagi 4) fyrir uppsetningu II, tilfelli D án og með niðurdælingu	28
16. Gufurensli fyrir uppsetningu II, tilfelli D án og með niðurdælingu	28
17. Framleitt rafafi fyrir uppsetningu II, tilfelli D án og með breytilegri niðurdælingu	29
18. Uppsöfnuð raforkuvinnsla fyrir uppsetningu II, tilfelli D án og með breytilegri niðurdælingu	29
19. Gufurensli fyrir uppsetningu III, tilfelli B án og með niðurdælingu	30
20. Uppsöfnuð raforkuvinnsla fyrir tvíspól-uppsetningu (uppsetning III, tilfelli B) án og með niðurdælingu og samanburður við dæmi með niðurdælingu við útjaðra	30
21. Framleitt rafafi úr einfasa vatnskerfi fyrir uppsetningu I, tilfelli A og uppsetningu II, tilfelli D án og með niðurdælingu	31
22. Framleitt varmaafi úr einfasa vatnskerfi fyrir uppsetningu I, tilfelli A og uppsetningu II, tilfelli D án og með niðurdælingu	31
23. Framleitt rafafi úr gufukerfi fyrir uppsetningar I og II, tilfelli A og B	36
24. Framleitt varmaafi úr gufukerfi fyrir uppsetningar I og II, tilfelli A og B	36
25. Samanburður á þrýstingi og hita miðsvæðis og djúpt í jarðhitakerfinu (lag 4) milli gufukerfis og tveggja fasa kerfis.	37

1. INNGANGUR

Verkþátturinn *Áhrif niðurdælingar á vinnslutillhögun* er hluti verkefnisins *Rannsókn jarðhita til raforkuvinnslu*, en það er samvinnuverkefni nokkurra orkufyrirtækja og Orkustofnunar. Þessi verkþáttur hefur verið unninn í samvinnu við Hitaveitu Reykjavíkur. Vinna við verkþáttinn hófst í lok árs 1993 og fyrirliggjandi vinna fór að mestu fram á fyrra helmingi ársins 1994. Markmið verkþáttarins var í upphafi að ákvarða hagkvæmstu staðsetningar niðurdælingarholna á háhitasvæðum með hjálp hermireikninga. Markmiðið er enn það sama, en hefur verið víkkað og beinist jafnframt almennt að hagkvæmni niðurdælingar í háhitakerfi. Fræðileg umsjón með verkþættinum hefur verið í höndum Valgarðs Stefánssonar. Forritunarvinna fyrir verkþáttinn hefur Þórður Arason séð um, en höfundur þessarar skýrslu um tölvukeyrslur og annað. Auk ofangreindra hafa margir sérfræðingar Forðafræðisviðs Orkustofnunar átt innlegg í umræður um verkþáttinn. Hluti af fyrirliggjandi niðurstöðum var kynntur á jarðhitaráðstefnu í Flórens, Ítalíu í maí 1995 (Ómar Sigurðsson o.fl., 1995).

Í yfirliti sem Valgarður Stefánsson (1992) tók saman um niðurdælingu í jarðhitakerfi víðsvegar um jörðina fann hann heimildir um niðurdælingartilraunir á 34 jarðhitasvæðum og að á 13 þeirra var niðurdæling hluti af vinnslustýringu svæðanna. Auk þess benti hann á að vitað væri um niðurdælingu á nokkrum öðrum svæðum þó ekki væru til opinber gögn um þau. Niðurdæling er því almennt notuð á um 20 jarðhitasvæðum á jörðinni um þessar mundir. Þetta sýnir að niðurdæling er enn lítið notuð til að hafa áhrif á vinnslueiginleika jarðhitakerfanna, þó niðurstöður fjölda fræðilegra athugana bendi til að hún sé til bóta fyrir jarðhitakerfin (sjá tilvitnunarlista í Valgarður Stefánsson, 1992). Ástæður geta verið svæðisbundnar, en áhrif niðurdælingar geta verið fjölbreytileg. Þannig þarf staðgóða þekkingu á gerð jarðhitakerfisins, efnasamsetningu jarðhitavökvans og á blöndun vökvans í vinnslurás og í jarðhitakerfinu. Það er því ekki hægt að yfirfæra alfarið niðurstöður fræðiathugana á ákveðið svæði án rannsókna á viðkomandi svæði. Aðrar ástæður geta verið af pólitískum eða efnahagslegum toga, þar sem meiri áhersla er lögð á skammtíma hagnað en langtíma markmið.

Hér á landi eins og víðast hvar annars staðar má búast við að háhita- jarðhitakerfi sem henti til raforkuframleiðslu séu í tveggja fasa ástandi eða verði það með aukinni vinnslu. Almennt er talið líklegra að þannig kerfi, sérstaklega ef lekt þeirra er lítil, geti orðið fyrir vatnspurrð frekar en að varmaforði þeirra takmarki nýtingu þeirra. Fyrirfram mætti því búast við að niðurdæling í tveggja fasa jarðhitakerfi sé til bóta fyrir nýtingu þeirra. Í fyrri áfanga þessa verkþáttar var því megináherslan lögð á að kanna áhrif niðurdælingar í tveggja fasa jarðhitakerfi. Til þess er notað reiknilíkan, þar sem hægt er að breyta ýmsum áhrifaþáttum og framkalla viðbrögð sem heimfæra má á náttúruleg jarðhitakerfi.

Í þessari áfangaskýrslu er forsendum fyrir gerð reiknilíkansins lýst. Þá eru dregnar saman helstu niðurstöður af yfir 160 líkankeyrslum, aðallega fyrir tveggja fasa jarðhitakerfi, en einnig fyrir einfasa vatns og gufu kerfi. Í lokaáfanga þessa verkþáttar, sem áætlað var að ljúka á árinu 1996, verður annars vegar leitast við að svara spurningum sem upp hafa komið í þessum áfanga og hins vegar að kanna betur áhrif niðurdælingar í einfasa jarðhitakerfi.

2. GERÐ OG UPPSETNING REIKNILÍKANS

Í fyrstu var ákvörðuð stærð jarðhitakerfisins sem skyldi athugað og lögun þess. Með samanburði við nokkra hermireikninga frá þekktum svæðum var ákveðið að lögun kerfisins yrði regluleg. Einnig að jarðhitakerfið skyldi vera í minni kantinum, þ.e. stæði undir vinnslu af stærðargráðunni 20-40 MW_e. Til að framkalla tveggja fasa ástand í jarðhitakerfinu varð hita- og þrýstingsástand í vinnsluhluta þess í upphafi að vera við suðumarksferil.

Til að hafa eðlileg stærðarhlutföll í reiknilíkaninu var ákveðið að skipta jarðhitakerfinu í fjögur (4) lög. Efstu tvö (2) lögin eru 300 m þykk hvort, en hin tvö (2) 400 m þykk hvort. Meginhluti jarðhitakerfisins er að flatarmáli 1,6 x 2,0 ferkílómetrar (3,2 km²) og er þessu svæði skipt niður í 66 einingar sem eru flestar af stærðinni 200 x 200 m². Skiptingin er höfð eins í öllum fjórum (4) lögnum. Við vinnsluholur var skiptingin gerð finni með því að bæta inn tveim hringlaga einingum með geisla (radíus) 20 m og 50 m. Í reiknilíkaninu eru því minnst 264 einingar eða kubbar

Til að afmarka jarðhitakerfið frekar varð að kanna áhrif mismunandi randskilyrða á væntanlegar niðurstöður. Algengustu randskilyrði eru:

- Lokað kerfi, þar sem ekkert aðstreymi er um jaðra þess.
- Opið kerfi, þar sem þrýstingi er haldið stöðugum við jaðrana og aðstreymið ræðst af þrýstingsmun milli vinnslusvæðis og jaðra.
- Óendanlega stórt kerfi, þar sem jaðrar þess eru fræðilega í óendanlegri fjarlægð frá vinnslusvæðinu.

Randskilyrði óendanlegs kerfis lenda á milli hinna tveggja, þar sem þrýstingsstigullinn til útmarka þess er væntanlega minni en fyrir opið kerfi og aðstreymi að vinnslusvæðinu því minna. Fyrir lokað og opin randskilyrði voru jaðrarnir látnir vera í 1,2 km fjarlægð frá meginkerfinu. Með þessum jaðarsvæðum verður flatarmál kerfisins 17,6 km². Þessi jaðarsvæði voru bútuð niður í 40 einingar, eins í öllum lögum. Til að nálgast randskilyrði fyrir óendanlega stórt kerfi voru notaðir opinir jaðrar sem hafðir voru í 6 km fjarlægð fyrir utan meginkerfið. Viðbót jaðarsvæðis fyrir óendanlega stórt kerfi var skipt niður í 28 einingar, eins í öllum lögum. Einingafjöldi í jaðarsvæðum gat því mestur orðið 68 í hverju lagi eða alls 272. Heildarfjöldi eininga í reiknilíkaninu gat því orðið yfir 536 einingar eða kubbar og fjöldi tenginga milli þeirra nærri þrefalt fleiri. Mynd 1 sýnir þessa skiptingu. Ljósá svæðið innst er meginhluti jarðhitakerfisins eða vinnslusvæðið, dökka svæðið um það er jaðarsvæðið fyrir lokað og opin randskilyrði, en ljósá svæðið þar fyrir utan er það sem bætist við jaðarsvæðið fyrir óendanlegt kerfi.

Gert var ráð fyrir að jarðhitakerfið væri gert úr gropnu bergi og gildi fyrir eðliseiginleika þess valin með hliðsjón af hermireikningum sem þegar hafa verið gerðir fyrir íslensku jarðhitakerfin í Kröflu og á Nesjavöllum (G. S. Bodvarsson o.fl., 1984b og G. S. Bodvarsson o.fl., 1990). Tafla 1 sýnir gildin fyrir helstu eðlisþætti sem notaðir eru í reiknilíkaninu. Forritið TOUGH (Transport Of Unsaturated Groundwater and Heat) frá Lawrence Berkeley Laboratory var notað til reikninganna (K. Pruess, 1986), en það reiknar flæði vatns í eins og/eða tveggja fasa ástandi ásamt flæði varma um gropið þrívítt berg.

Auk eðlisþáttanna í töflu 1 var kerfinu gefið ákveðið upphafsástand fyrir hita og þrýsting. Þannig var efsta lagið (lag 1) látið samsvara grunnvatnskerfi með nær fast hita- og þrýstingsástand, sem gleypir varmaústreymi frá jarðhitakerfinu. Lag 2 var gert að nokkurs konar þak-

Tafla 1. Gildi fyrir helstu eðlisþætti í reiknilíkani

Efniseiginleikar bergs	
Eðlisþyngd, kg/m ³	2650,0
Eðlisvarmi, J/(kg °C)	1000,0
Varmaleiðni, W/(m °C)	1,7
Grop, %	5-10
Lekt, m ²	(3,5-17,5) 10 ⁻¹⁵
Hlutfallsleg lekt vatns og gufu Línulegir ferlar með	
Vatnsleif (S _{lr})	0,30
Gufuleif (S _{vr})	0,05
Full hreyfanleg gufa (S _{pv})	0,70
Eiginleikar fyrir holur	
Rennslisstuðull, m ³	1,6 10 ⁻¹²
Holuprýstingur í efra vinnslulagi, bar-a	30,0
Vermi niðurdælingarvökva, kJ/kg (samsvarar hita, °C)	721,0 (170,4)
Skilyrði við gufuskilju	
Skiljuþrýstingur, bar-a	8,0
Hiti, °C	170,4

bergi með því að gefa því lága lekt. Það takmarkar þannig streymi upp úr jarðhitakerfinu ásamt því að viðhalda ákveðnum hita- og þrýstingsstigi til efsta lagsins. Neðstu tvö lög (lög 3 og 4) samsvara síðan jarðhitakerfinu. Upphafsstand þeirra var mismunandi eftir því hvort reiknað var með einfasa eða tveggja fasa jarðhitakerfi og verða því gerð betri skil síðar.

Upphaflegt markmið verkþáttarins var að ákvarða hagkvæmustu staðsetningu niðurdælingarholna í jarðhitakerfi. Til að nálgast þetta markmið voru valdar nokkrar uppsetningar þar sem staðsetningu niðurdælingarholna var breytt með tilliti til vinnsluholna. Þannig voru í fyrstu eftirtalin mynstur valin:

- Grunnkeyrslur, þ.e. keyrslur án niðurdælingar fyrir samanburð.
- Niðurdælingu dreift milli vinnsluholna með dælingu ýmist í efra eða neðra lag jarðhitakerfisins (lag 3 eða lag 4).
- Niðurdælingu víxlað milli holna þannig að niðurdælingarholur og vinnsluholur skipta um hlutverk með ákveðnu millibili.
- Niðurdæling við útjaðra jarðhitakerfisins (vinnslusvæðisins) með niðurdælingu til efra lags þess (lags 3).
- Niðurdæling samkvæmt tvíþól uppsetningu, þar sem vinnsluholur og niðurdælingarholur eru í sitt hvorum hluta jarðhitakerfisins.
- Niðurdæling í þrýstingsstigul, þar sem þrýstingsmismunur er yfir jarðhitakerfið í lárétta stefnu og dælt er ýmist ofan til eða neðan til í stigulinn. Notuð er tvíþól uppsetning og

dælt niður í efra lag kerfisins (lag 3).

Nokkur afbrigði af ofantöldum uppsetningum voru líka prófuð, en meginuppsetningarnar eru sýndar á mynd 2 ásamt bútuninni í vinnsluhluta kerfisins.

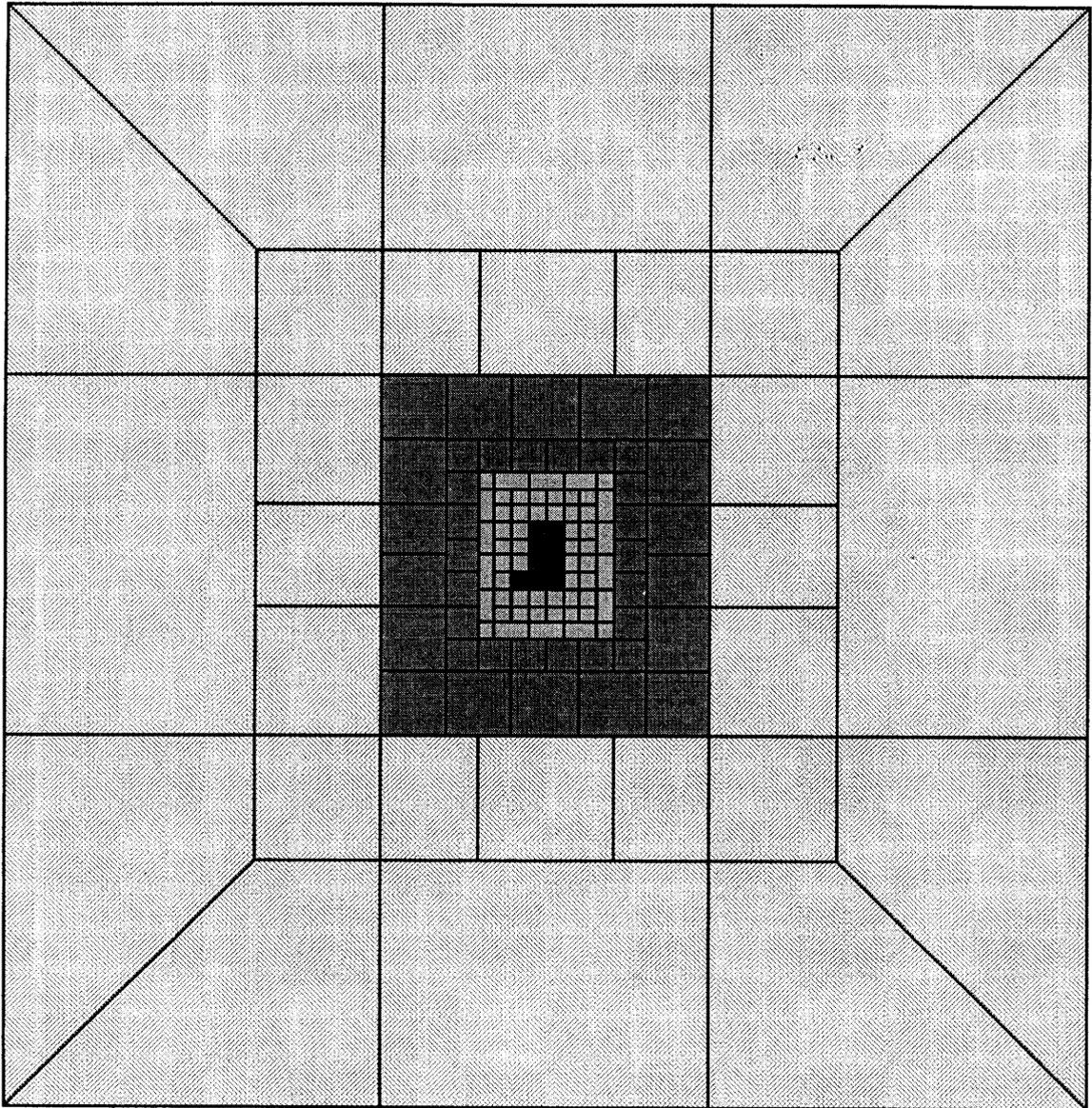
Næmni kerfisins fyrir breytingum í lekt og gropi var könnuð með því að breyta stærðum þessara eðlisþátta milli keyrslna. Þannig var lektin fimmfölduð og gropið tvöfaldað (tafla 1). Tafla 2 gefur þau fjögur keyrslutilfelli sem þannig urðu til. Auk þess var ákveðið að dæla niður magni sem svipaði annars vegar til skiljuvatns og hins vegar til heildar massatöku fyrir hvert tilfelli. Fyrir hverja uppsetningu (mynstur) vinnslu- og niðurdælingarholna þurfti því 8 keyrslur. Þar við geta bætst 4 grunnkeyrslur til viðmiðunar fyrir hverja uppsetningu.

Tafla 2. Lekt og grop fyrir mismunandi keyrslutilfelli

	Tilfelli A	Tilfelli B	Tilfelli C	Tilfelli D
Lekt, mD	3,5	17,5	3,5	17,5
Grop, %	5,0	5,0	10,0	10,0

Lægri gildin fyrir lekt og grop í töflu 2 samsvara gildum sem notuð hafa verið til að herma jarðhitakerfið í Kröflu (G. S. Bodvarsson o.fl., 1984a) og í Olkaria, Kenya (G. S. Bodvarsson o.fl., 1985b) og hærri gildin geta samsvarað gildum sem notuð voru við hermun jarðhitakerfisins á Nesjavöllum (G. S. Bodvarsson o.fl., 1990).

Yfirborð reikninetts fyrir allt kerfið



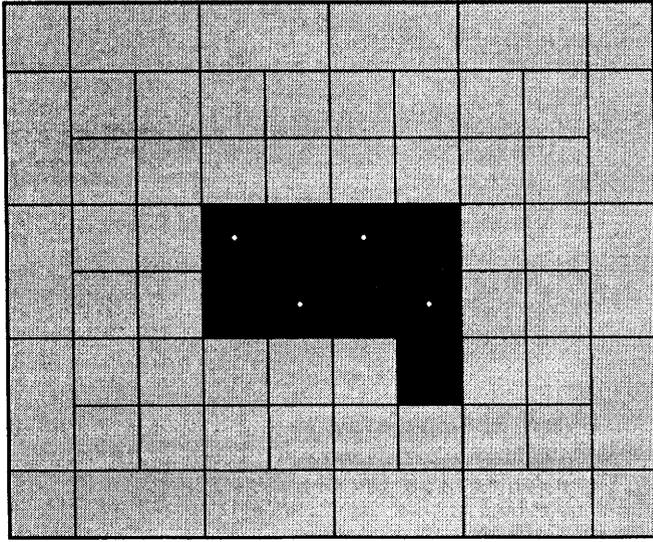
OS.96.12.0635 Ómar

0 1 2 km

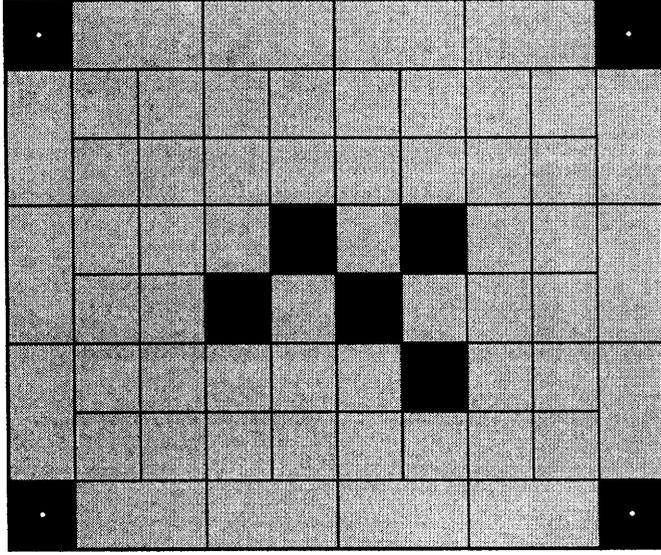
Mynd 1. Reikninet með 134 einingum. Innsta ljósa svæðið samsvarar vinnslusvæðinu eða svæði lokaðs kerfis, ytra dekkra svæðið bætist við fyrir opið kerfi og ysta ljósa svæðið er síðan viðbótin fyrir óendanlegt kerfi.

Niðurdælingarmynstur

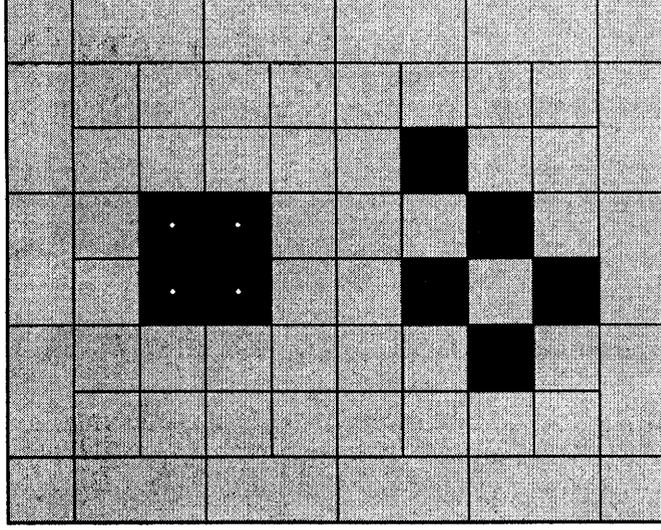
OS.96.12.0636 Ómar



I



II



III

Mynd 2. Helstu niðurdælingarmynstur ásamt bútnunni á vinnslusvæðinu. Niðurdælingarholur eru í dökku reitunum, en vinnsluholur í þeim skyggðu

3. GRUNNKEYRSLUR

3.1 Afstemming reiknilíkans

Fyrstu keyrslur reiknilíkansins fóru í að stilla lekt, grop og rennslisstuðla vinnsluholna (sjá töflu 1). Einnig til að sjá hver áhrif randskilyrðin hefðu á kerfið. Ákveðið var að fyrir litla lekt og lítið grop (tilfelli A) þá skyldi tveggja fasa jarðhitakerfi standa undir um það bil 20 MW_e vinnslu í um 30 ár. Skiljuþrýstingur var settu við 8 bar-a (170,4°C) og umbreytingarstuðull fyrir háþrýstigufu yfir í rafafli tekinn sem 2,2 kg/s af gufu fyrir hvert MW af rafafli. Fyrir þessi skilyrði þurfti að nota 5 vinnsluholur, sem dreift var um miðbik jarðhitakerfisins, og voru opnar til beggja laga þess (laga 3 og 4). Vinnsluholurnar voru láttnar blása á móti 30 bar þrýstingi við efra lagið (á 800 m dýpi). Skiljuþrýstingurinn og mótþrýstingurinn í vinnsluholunum kann að þykja í hærra lagi, en skiljuþrýstingurinn er um miðbik þess sem talað hefur verið um að nota hér á landi og mótþrýstingurinn í holunum er eðlilegur ef reiknað er með að keyra holur með allt að 15 bar holutoppþrýstingi. Val á þessum stærðum hefur í reynd lítil áhrif á þær niðurstöður sem leitað er eftir í þessum verkþætti.

Líkanið var keyrt fyrir þrenns konar randskilyrði; óendanlegt kerfi, opinð kerfi og lokað kerfi. Jaðarsvæðunum sem áður er lýst var gefin lekt sem var um 43% minni en lektin inni á vinnslusvæðinu (þ.e. 2-10 mD sbr. töflu 2). Flatarstærð kerfisins var því yfir 190 km² fyrir óendanlegu randskilyrðin og 17,6 km² fyrir hin. Í ljós kom að viðbrögð kerfisins voru nær þau sömu fyrir öll randskilyrðin yfir 30 ára vinnslusögu. Hita-, þrýstings- og ástands-breytingar héldust að mestu innan meginhluta jarðhitakerfisins í öllum tilfellum. Þetta stafaði aðallega af því að lekt var höfð minni í jaðarsvæðunum en inni á vinnslusvæðinu (3,2 km²) og að kerfið var í reynd mjög stórt miðað við vinnslu samsvarandi 20 MW_e. Kerfið nálgadist því viðbrögð lokaða kerfisins og miðað við ekki meiri vinnslu var vatnsmagnið í ytri einingum þess næginlegt til að takmarka þrýstifallið inni á miðsvæði kerfisins. Kerfið var þannig óháð randskilyrðunum á athugunartímanum. Þessi niðurstaða sýndi að hægt var að fækka einingum (kubbum) frá óendanlega kerfinu og nota opin randskilyrði án þess að þau hefðu teljandi áhrif á niðurstöður. Í byrjun var kerfið því keyrt þannig.

Fyrstu grunnkeyrslurnar ákvörðuðu einnig magn niðurdælingar fyrir seinni keyrslur, því ákveðið var að niðurdæling samsvaraði því skiljuvatni og heildarrennslis eins og þær gáfu. Til einföldunar í reiknilíkaninu var notuð föst niðurdæling sem samsvaraði um 30 ára meðaltali annars vegar skiljuvatns og hins vegar heildarrennslis. Niðurdælingunni var síðan í flestum tilvikum skipt jafnt á 4 niðurdælingarholur. Í reynd var vinnslan mest fyrstu árin í hverju tilfelli og fór dalandi með tíma. Tafla 3 sýnir 30 ára meðaltal skiljuvatns og heildarrennslis ásamt samsvarandi varmaafli og rafafli fyrir grunnkeyrslur opins kerfis.

Fyrir tilfelli B var hitafall og þrýstifall í efra laginu (lagi 3) samsvarandi og fyrir tilfelli A, en minna í neðra laginu (lagi 4) samanborið við tilfelli A. Í samanburði við tilfelli A var hitafall og þrýstifall aðeins minna í báðum lögnum í tilfelli C, en í tilfelli D munar mestu að mjög lítið hita- og þrýstifall verður í neðra laginu. Myndir 3-6 sýna niðurstöður grunnkeyrslna (án niðurdælingar) fyrir opið kerfi og með vinnsluholur dreifðar um mið-vinnslusvæðið (uppsetning I og II).

Fyrir ofangreint kerfi er greinilegt að aukin lekt hefur mun meiri áhrif á afköst (þol) kerfisins en aukið grop. Til lengri tíma litið eins og til 30 ára gerir meiri lekt rýmd frá stærri hluta kerfisins virka, en þó aukið grop auki rýmd kerfisins eykst virknin (hleðslan) mest næst vinnsluhol-

Tafla 3. Kennistærðir grunnkeyrslna opins kerfis, 30 ára meðaltöl

Tilfelli	Rennsli (kg/s)		Afl (MW)	
	Skiljuvatn	Heildar	Varma	Raf
A	40	90	150	20
B	130	215	320	35
C	60	110	180	23
D	145	230	335	39

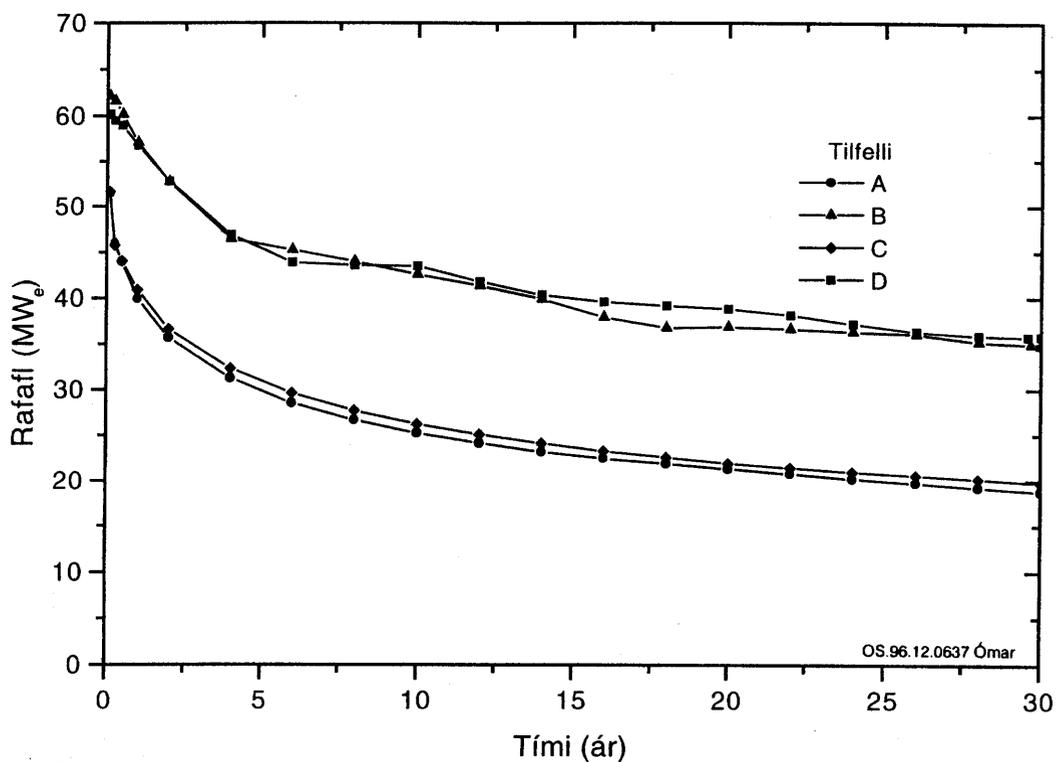
unum, en langtíma áhrif verða minni.

3.2 Endanlegt val á reiknilíkani

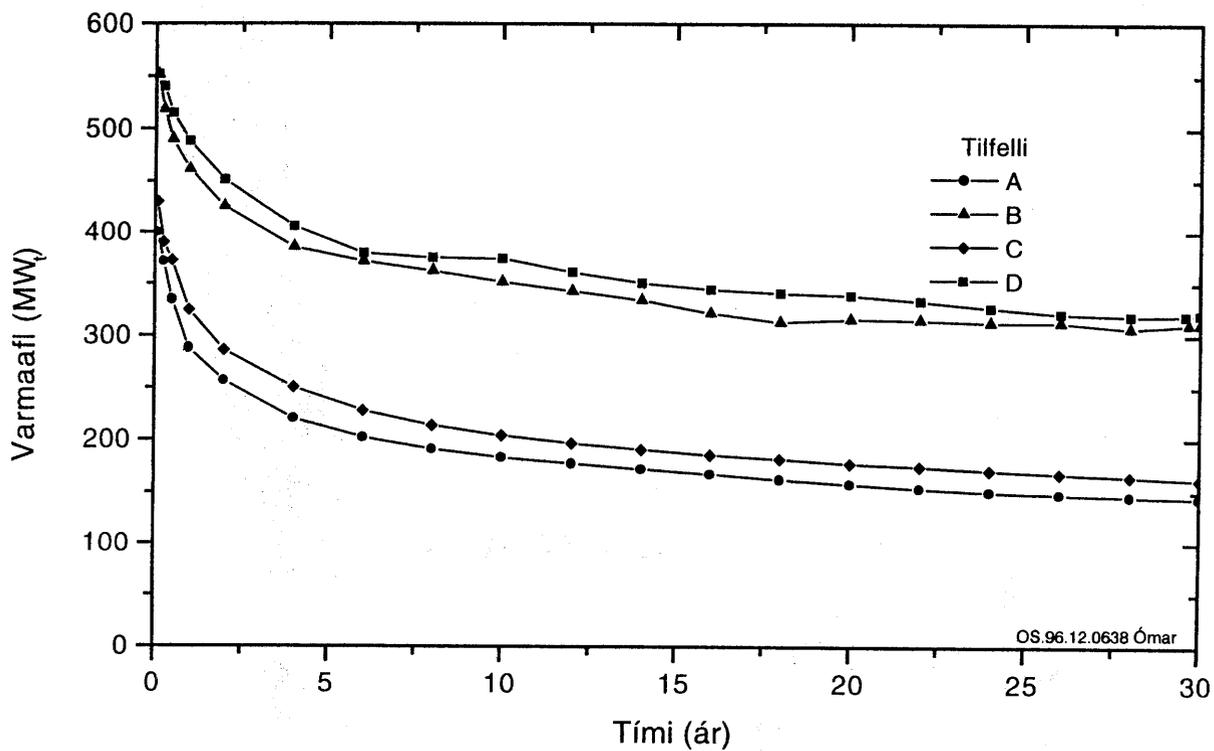
Töluvert margar keyrslur voru gerðar sem byggðu á ofangreindu reiknilíkani með jaðarsvæði og opin randskilyrði þannig að kerfið var að flatarmáli 17,6 km² og þykkt 800 m. Samandregnar niðurstöður úr þessum keyrslum, sem ná flestar yfir 30 ára vinnslusögu, eru birtar í viðauka 1. Þessar keyrslur sýndu hins vegar ekki eins afgerandi viðbrögð við niðurdælingu eins og búist var við. Við athugun kom þá í ljós að hleðsla inn á vinnslusvæðið frá jaðarsvæðunum gat numið verulegum hluta af heildarhleðslunni til innri hluta kerfisins. Í tilfelli A með 40 kg/s niðurdælingu við útjaðra vinnslusvæðis (3,2 km²) nam hleðslan frá jaðarsvæðunum 36% (22,7 kg/s) og fyrir sömu uppsetningu en tilfelli D með 140 kg/s niðurdælingu nam hleðslan frá jaðarsvæðunum 57% (185 kg/s). Hlutur jaðarsvæðanna í hleðslunni til innri hluta kerfisins óx þannig aðallega með meiri lekt. Greinilegt var að aðstreymið frá jaðarsvæðunum gat að magni til svipað til niðurdælingarinnar. Til að fá skýrar fram áhrif niðurdælingarinnar var vinnslusvæðinu lokað í síðari keyrslum. Jaðarsvæðin voru því tekin burt og einingum (kubbum) í reiknilíkaninu fækkað. Randskilyrði urðu eftir það lokað, þ.e. ekkert aðstreymi um jaðrana og vinnslusvæðið samsvaraði því flatarmáli jarðhitakerfisins.

Þó kerfið minnkaði í reynd við þessar aðgerðir og eitthvað drægi úr skiljuvatni og heildarrensli í grunnkeyrslunum, þá var magni niðurdælingar ekki breytt frá því sem áður var ákveðið. Myndir 7 og 8 sýna mismuninn milli þessara reiknilíkana fyrir vinnsluholur dreift miðsvæðis í kerfinu. Mesti mismunur í grunnkeyrslunum kemur fram eftir rúmlega 20 ára vinnslu fyrir tilfellið með mikla lekt, en í þeim tilfellum helst aðstreymi að vinnslusvæðinu í opna kerfinu meðan vatnspurrðar gætir í vinnslusvæðinu þegar það er lokað. Margar af fyrri keyrslum voru endurteknar fyrir þetta líkan, aðrar keyrslur bættust við auk þess sem vinnsludæmin voru nú almennt keyrð í 60 ár í stað 30 ára áður. Niðurstöðum þessara keyrslna verður lýst nánar hér á eftir, en samantekt þeirra má finna í viðaukum 2 til 4.

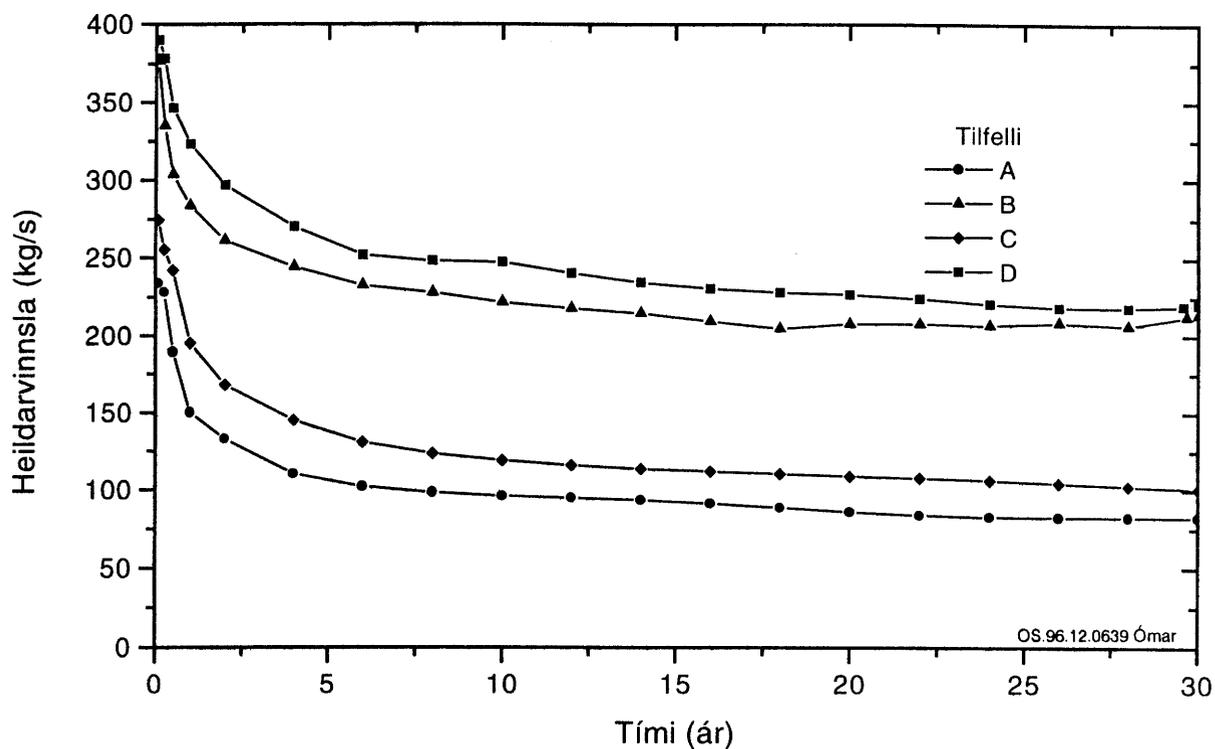
Mynd 2 sýnir aðalniðurdælingarmynstrin. Fjarlægð milli vinnslu- og niðurdælingarholna var 200-280 m í uppsetningu I þar sem niðurdælingarholum er dreift á milli vinnsluholna. Fjarlægðin er minnst 600 m í tvíþóluppsetningunni (uppsetning III), þar sem vinnslu- og niðurdælingarholur eru í sitt hvorum hluta kerfisins. Þegar niðurdælingin er við jaðrana á vinnslusvæðinu er fjarlægðin 720-850 m (uppsetning II).



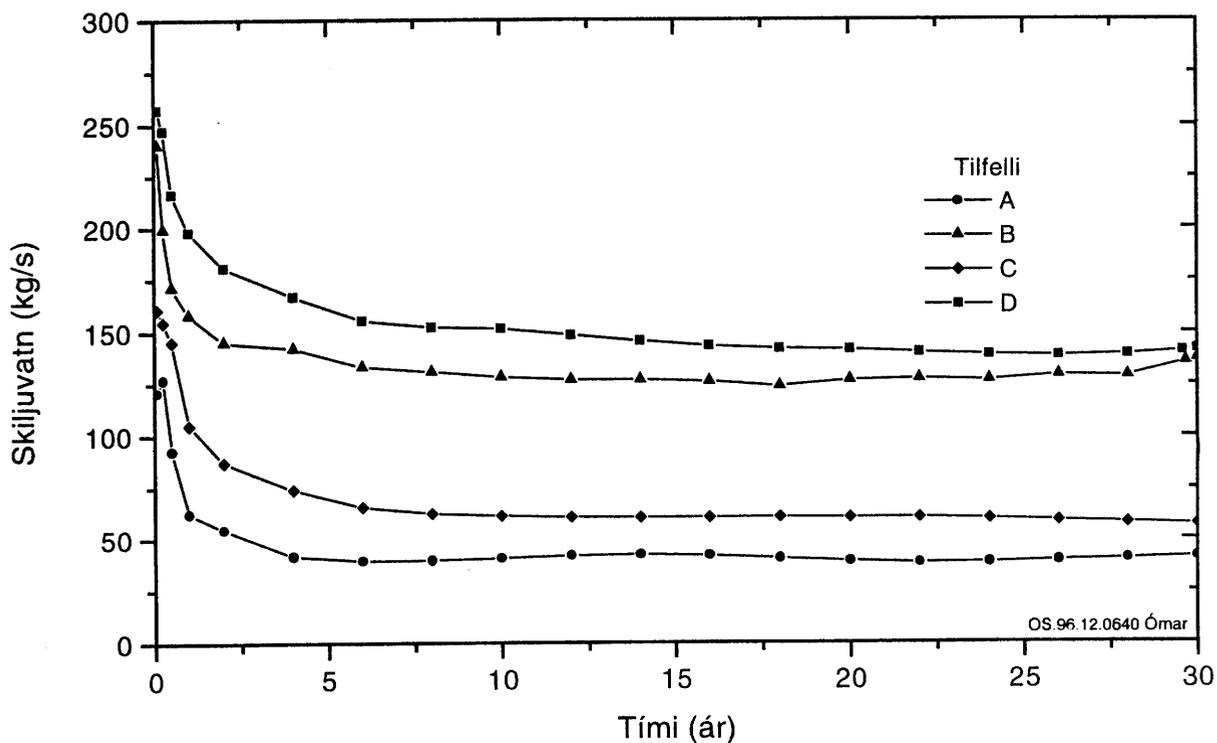
Mynd 3. Rafafi frá grunnkeyrslum fyrir opið kerfi.



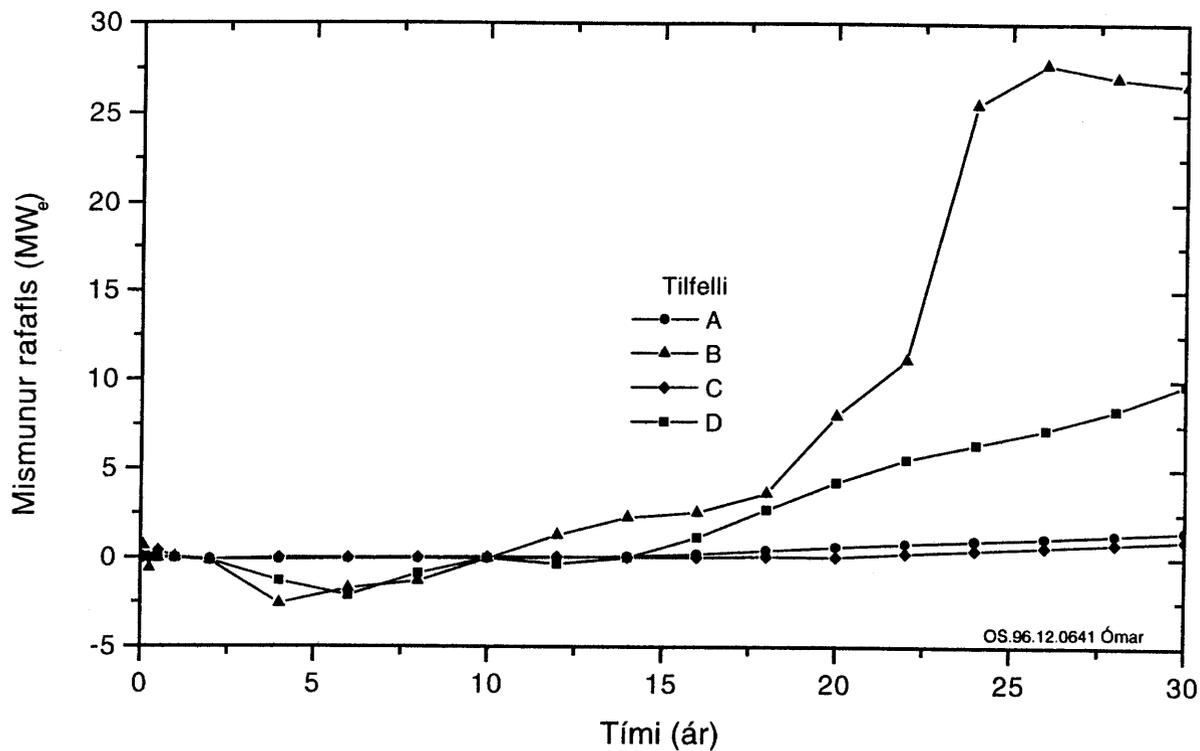
Mynd 4. Varmaafi frá grunnkeyrslum fyrir opið kerfi.



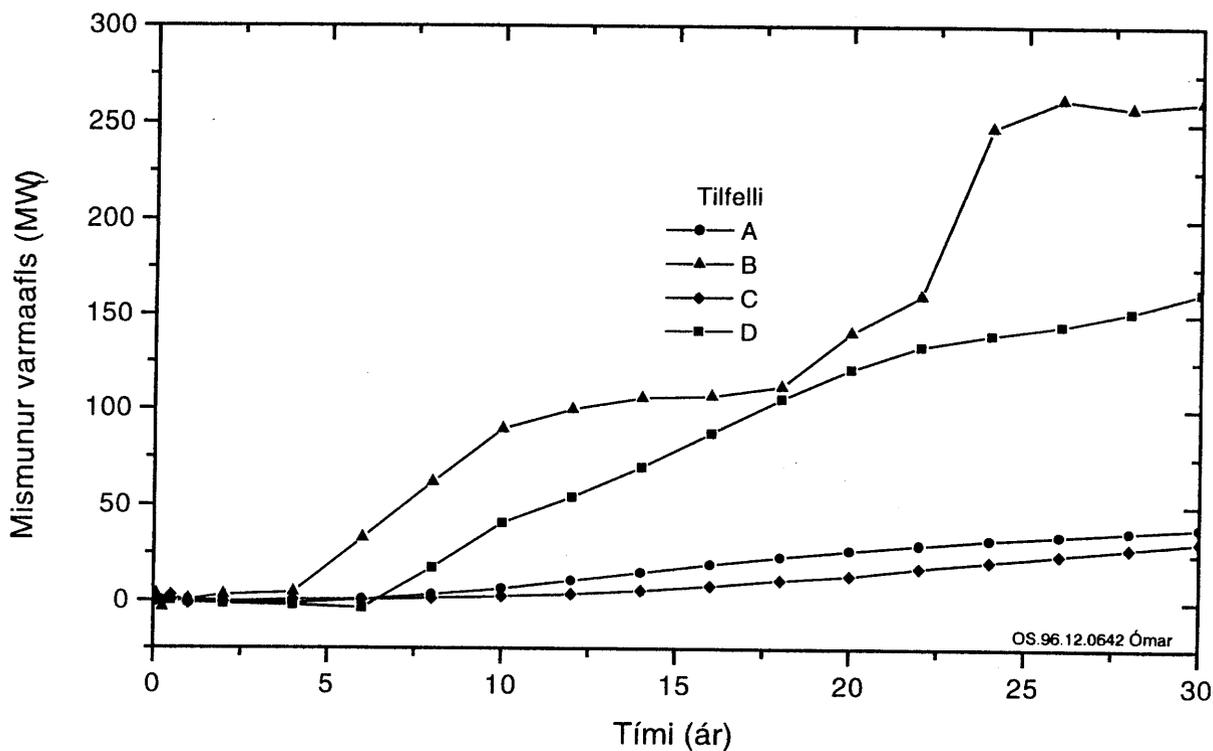
Mynd 5. Heildarvinnsla í grunnkeyrslum fyrir opið kerfi.



Mynd 6. Framleiðsla skiljuvatns í grunnkeyrslum fyrir opið kerfi.



Mynd 7. Mismunur á framleiddu rafafli milli grunnkeyrsla fyrir opið og lokað kerfi.



Mynd 8. Mismunur á framleiddu varmaafli milli grunnkeyrsla fyrir opið og lokað kerfi.

4. NIÐURSTÖÐUR LÍKANREIKNINGA

4.1 Fyrstu keyrslur

Vegna fjölda tölvukeyrslna sem þurfti að framkvæma fyrir þennan verkþátt var ljóst að nauðsynlegt var að leggja út í töluverða forritunarvinnu til að auðvelda yfirsýn yfir niðurstöður hverrar keyrslu. Forritið (TOUGH) sem notað var til reikninganna skilar niðurstöðum í töflu fyrir ákveðin tímaskref. Algengt var að útskrift úr einni keyrslu næmi þannig um 1,5-3,0 megabætum á tölvudiski. Vegna umfangs hverrar keyrslu var því nauðsynlegt að ákvarða hvað geymt yrði frá keyrslunni ásamt því að fá fljótlegri yfirsýn yfir niðurstöður keyrslunnar. Til þess varð að vera hægt að skoðað þær myndrænt. Útbúið voru nokkur hjálparforrit sem gátu tekið upplýsingar úr töfluúttaki keyrsluforrítsins og útbúið til dæmis jafnlínur fyrir hita, þrýsting og mettnun í jarðhitakerfinu. Þannig var ákveðið að geyma aðeins inntak hverrar keyrslu ásamt síuðu úttaki sem hjálparforritin þurftu til myndrænnar framsetningar.

Eins og áður sagði fóru fyrstu keyrslur í það að stilla af valin gildi fyrir hina ýmsu eðlisþætti í reiknilíkaninu. Einnig í könnun á randskilyrðum sem leiddi til þess að í byrjun var valið að hafa kerfið opið með útjaðrana í 1,2 km fjarlægð utan við vinnslusvæðið. Þannig var flatarmál kerfisins 17,6 km² og þykkt þess 800 m (14,08 km³). Fyrst verður fjallað lauslega um keyrslur gerðar fyrir þessi randskilyrði, en meginumræðan verður um keyrslur sem voru gerðar eftir að kerfinu var lokað við útmörk vinnslusvæðisins. Eftir það var flatarmál jarðhitakerfisins 3,2 km² og þykkt þess 800 m (2,56 km³). Þó stærðarmunurinn milli þessara tveggja uppsetninga sé rúmlega fimmfaldur, þá virkaði hann ekki þannig því lekt jaðarsvæðanna í opna kerfinu var 43% minni en inni á vinnslusvæðinu og jaðarsvæðin virkuðu þannig sem takmarkandi skil á kerfið.

4.2 Tveggja fasa opið kerfi

Í töflu 4 eru gefin upphafsgildi fyrir hita og þrýsting til að mynda tveggja fasa ástand í jarðhitakerfinu. Gildin í töflu 4 eiga við dýpi til miðju hvers lags. Gildin fyrir lög 1 og 2 mynda þannig hita- og þrýstingsstigla til yfirborðs, en í lögum 3 og 4 er hiti og þrýstingur við suðumarksferil vatns. Um leið og vinnsla hefst úr jarðhitakerfinu fellur þrýstingur í því og suða byrjar. Kerfið er þannig strax komið í tveggja fasa ástand.

Tafla 4. Upphafsgildi hita og þrýstings fyrir tveggja fasa kerfi.

Lag	Þrýstingur (bar-a)	Hiti (°C)
1. Grunnvatnskerfi	13,9	90,0
2. Þakberg	38,8	207,0
3. Efra lag hitakerfis	65,5	281,0
4. Neðra lag hitakerfis	93,8	306,2

Magn niðurdælingar var ákvarðað í grunnkeyrslum fyrir uppsetningu I, það er fimm vinnsluholur dreifðar miðsvæðis. Miðað var við 30 ára vinnslusögu og magnið þannig um það bil meðaltal framleiðslu skiljuvatns og heildarrennslis yfir þann tíma. Tafla 5 gefur magn niðurdælingar fyrir hvert tilfalli, en sama niðurdæling var notuð fyrir aðrar uppsetningar til að auðvelda samanburð. Þá var miðað við að hiti niðurdælingarvatnsins væri alltaf sá sami og hiti skiljuvatnsins. Í flestum tilvikum var magninu skipt á fjórar niðurdælingarholur.

Tafla 5. Magn niðurdælingar

Tilfelli	A (kg/s)	B (kg/s)	C (kg/s)	D (kg/s)
Skiljuvatn	40	130	60	145
Heildarvinnsla	90	220	110	230

Alls voru gerðar 106 keyrslur með randskilyrði opins kerfis og eru niðurstöður þeirra dregnar saman og birtar í viðauka 1. Tafla 6 sýnir hvernig keyrslurnar skiptust niður á niðurdælingarmynstrin. Nokkuð hefur verið minnst á þær í fyrri köflum þessarar skýrslu og ástæður þess að randskilyrðum var breytt. Það verður því ekki fjallað mikið meira um niðurstöður þessara keyrslna hér nema fyrir þau tilfelli þar sem keyrslur hafa ekki enn verið endurteknar fyrir lokuðu randskilyrðin. Niðurstöður keyrslna fyrir opnu randskilyrðin eru þó notaðar í síðari köflum til að draga ályktanir af niðurstöðum frá öðrum keyrslum. Í töflu 7 er tekið saman gróft yfirlit um útkomu þessara keyrslna.

Tafla 6. Skipting líkankeyrslna á niðurdælingarmynstur.

Uppsetning	Skýring	Skráarnafn	Skráarnúmer	Keyrslur
I	Grunnkeyrslur	ROTR	1 til 4	4
	Grunnkeyrslur	RCWR	1 til 4	4
	Grunnkeyrslur	RIWR	1	1
I	Dreift grunnt	ROWS	1 til 8	10
	Dreift djúpt	ROWM	1 til 8	11
	Dreift bæði	ROWT	1 og 8	2
I*	Víxlun	ROWA	1,4 og 8	31
II	Við útjaðra	ROWB	1 til 8	9
III	Grunnkeyrslur	ROWR	1 til 4	4
	Tvípóll	ROWD	1 til 8	8
III	Stigull	ROWP	0	1
	Grunnkeyrslur	ROWR	1 til 4	9
	Neðan til	ROWP	1 til 8	8
	Grunnkeyrslur	ROWR	1 og 8	2
	Ofan til	ROWH	1 og 8	2

* Niðurdælingarholur eru fimm

Nokkurn fjölda keyrslna þurfti til að líkja eftir því þegar vinnsluholur og niðurdælingarholur skipta um hlutverk með reglulegu millibili. Einnig var bætt við einni niðurdælingarholu, samborið við flest önnur dæmin, til að einfalda þessa víxlun. Mynstur vinnslu- og niðurdælingarholna varð því eins, en það er að grunni til eins og uppsetning I. Hlutverkum holnanna var víxlað á tveggja ára fresti og þurfti því 15 keyrslur fyrir 30 ára vinnslusögu. Dælt var niður í efra lag jarðhitakerfisins, lag 3. Aðeins voru keyrð tvö dæmi, það er tilfelli A og D fyrir niðurdælingu skiljuvatns. Byrjað var á tilfelli D fyrir niðurdælingu heildarrenslnis þegar ákveðið var að breyta randskilyrðum reiknilíkans. Í meginatriðum eru niðurstöður þessara tilfella svipaðar

Tafla 7. Gróft yfirlit útkomu keyrslna fyrir 30 ára vinnslu og opið kerfi

Uppsetning	Tilfelli	Dæling (kg/s)	Breyting rennslis (kg/s)			Breyting afls (MW)		Athugasemd
			Skiljuvatn	Gufa	Heildar	Varma	Raf	
I	A	40	+33	0	+33	+25	0	Niðurdæling í efra lag
	A	90	+76	0	+76	+50	0	
	B	130	+81	-7	+73	+25	-5	
	B	220	+124	-16	+108	+(60-0)	-(3-12)	
	C	60	+45	>0	+47	+35	-1	
	C	110	+77	dalar	+74	+45	-(1-2)	
	D	145	+79	minnkar	+70	+(35-0)	-(1-7)	
D	230	+111	minnkar	+95	eykst	-(5-13)		
I	A	40	+35	0	+35	+25	0	Niðurdæling í neðra lag
	A	90	+62	dalar	+62	+44	-(1-2)	
	B	130	+60	minnkar	+51	+(25-0)	-(5-10)	
	B	220	+111	minnkar	+92	+(30-0)	-(10-15)	
	C	60	+(40-31)	dalar	+(40-29)	+20	-1	
	C	110	+62	dalar	+62	+(45-30)	-(1-3)	
	D	145	+67	minnkar	+54	+	-(5-11)	
D	230	+102	minnkar	+83	+	-(10-15)		
I	A	40				-	-	Niðurdæling í bæði lög Svipar til niðurdælingar grunnt Svipar til niðurdælingar grunnt, rennslisaukning 5 kg/s minni
	D	230				+(15-0)	+(2-0)	
I	A	40	+28	+5	+30	+28	+(1,5-2)	Niðurdælingu víxlað, dæling í efra lag
	D	145	+87	-16	+70	+20	-8	
II	A	40	+19	0	+19	+18	0	Niðurdæling í efra lag
	A	90	+36	+2	+38	+(20-30)	+1	
	B	130	+63	dalar	+63	+42	-1	
	B	230	+83	0	+83	+65	0	
	C	60	+9	0	+9	+8	0	
	C	110	+(19-24)	0	+(19-24)	+(16-25)	0	
	D	145	+54	0	+54	+33	0	
D	230	+70	0	+70	+50	0		
III	A	40	+23	>0	+23	+19	>0	Niðurdæling í efra lag
	A	90	+(26-43)	+3	+(29-45)	+(25-40)	+(1-2)	
	B	130	+(19-57)	0	+(19-57)	+(12-42)	0	
	B	220	+(44-79)	0	+(44-79)	+(45-62)	0	
	C	60	+(12-17)	+2	+(14-19)	+(12-17)	+1	
	C	110	+(21-36)	+4	+(21-40)	+(18-37)	+(1-2)	
	D	145	+(22-51)	0	+(22-51)	+(16-37)	0	
D	230	+(28-67)	>0	+(28-67)	+(20-54)	>0		
III	A	40	+(12-20)	0	+(12-20)	+(12-16)	0	Dælt neðan til í þrýstistigul Vantar grunnkeyrslu
	A	90	+(29-39)	+(2-3)	+(31-42)	+(29-40)	+(1-2)	
	B	130						
	B	220						
	C	60	+(19-28)	+(1-2)	+(20-30)	+25	+(0,5-1)	
	C	110	+(37-46)	+(3-4)	+(40-50)	+35	+2	
	D	145	+50	>0	+50	+40	>0	
D	230	+70	+5	+75	+70	+3		
III	A	40	+15	0	+15	+14	0	Dælt ofan til í þrýstistigul
	D	230	+67	+6	+73	+60	+2,5	

og fyrir sambærileg tilfelli þar sem niðurdælingunni er dreift á fastar niðurdælingarholur á milli vinnsluholnanna, enda sambærileg uppsetning. Nýtanlegt gufurennslí virðist þó vera aðeins minna fyrir þessa uppsetningu og þar með minna rafafli. Kælingin í jarðhitakerfinu við holurnar virðist hins vegar vera töluvert minni þegar hlutverki holnana er víxlað, en niðurdráttur er svipaður. Nýtingartími jarðhitakerfisins gæti því verið lengri fyrir þessi tilfelli miðað við að hafa niðurdælingaholurnar fastar á ákveðnum stað. Ekki var hægt að skera úr um það í

Þessum dæmum því keyrslurnar ná aðeins yfir 30 ára vinnslusögu.

Tvívóluppsetningin var notuð í dæmum með þrýstingsstigli yfir jarðhitakerfið. Fyrst var keyrð ein grunnkeyrsla til að skapa þrýstingsstigul sem samsvaraði 1 bar/km yfir jarðhitakerfið. Síðan voru gerðar keyrslur þar sem dælt var niður ýmist neðan til í stigulinn eða ofan til í hann. Sambærilegar niðurstöður fengust úr þessum keyrslum og fyrir tvívóluppsetninguna án þrýstingsstigulsins. Niðurdæling ofan til í þrýstingsstigulinn gaf betri varmanýtingu, en viðhélt þrýstingi verr í jarðhitakerfinu samanborið við niðurdælingu neðan til í þrýstingsstigulinn. Upphaflegi þrýstingsstigullinn sem settur var yfir kerfið var hins vegar lítill í samanburði við rúmlega 10 bar/km þrýstingsstigul sem myndaðist milli niðurdælingar- og vinnslupólana. Hærri upphaflegur þrýstingsstigull yfir kerfið gæti því breytt þessum niðurstöðum eitthvað.

4.3 Tveggja fasa lokað kerfi

Þegar ljóst varð hve hátt hlutfall af heildarhleðslu til jarðhitakerfisins kom frá jaðarsvæðunum var kerfinu lokað við útmörk vinnslusvæðisins. Þannig varð stærð jarðhitakerfisins 2,56 km³ eftir það. Þær keyrslur sem þóttu áhugaverðar fyrir opna stóra kerfið voru endurteknar. Fyrir þessi randskilyrði er búið að gera rúmlega 42 keyrslur og yfirlit um skiptingu þeirra er birt í töflu 8. Enn er eftir að keyra nokkurn fjölda keyrsla fyrir þessi randskilyrði til að fá betri yfirsýn yfir fyrirliggjandi niðurstöður. Þó magn skiljuvatns og heildarrennslis breyttist (minnkaði) við breytt randskilyrði þá var sama magn og í fyrri dæmum notað til niðurdælingar (sjá töflu 5). Þetta var ákveðið til að auðvelda samanburð milli tilfella fyrir mismunandi randskilyrði. Sömu upphafsgildi og gefin eru fyrir hita og þrýsting í töflu 4 voru notuð áfram í þessum keyrslum. Þá voru þessar keyrslur almennt gerðar fyrir 60 ára vinnslusögu í stað 30 ára fyrir opna kerfið og sumar jafnvel lengri.

Tafla 8. Skipting líkankeyrsla á niðurdælingarmynstur

Uppsetning	Skýring	Skráarnafn	Skráarnúmer	Keyrslur
I	Grunnkeyrslur	RCTR	1 til 4	8
I	Dreift grunnt Dreift djúpt	RCTS	1 og 5	2
		RCTM	1,2,5,6	4
II	Við útjaðra	RCTB	1,4,5,8	21
III	Grunnkeyrslur Tvípóll	RCTDR	1 og 2	2
		RCTD	1,2,5,6	5

Grunnkeyrslurnar fyrir lokað kerfi sýna að randskilyrðanna gætir í hegðun þeirra. Áhrifa randskilyrðanna gætir fyrr með meiri lekt. Þannig hafa randskilyrðin ráðandi áhrif á vinnsluna eftir rúm 20 ár fyrir dæmin með meiri lektinni, en eftir um 30 ár fyrir dæmin með minni lektinni (sjá myndir 9 til 12). Þegar áhrifa randskilyrðanna fer að gæta þá eykst niðurdrátturinn í jarðhitakerfinu hraðar, hiti lækkar hraðar með lækkandi þrýstingi og suða jafnvel eykst. Fyrir tilfelli A minnkar heildarrennslis nokkuð ört fyrstu árin, en gufurennslis dalar rólega út vinnslusöguna. Skiljuvatn er því að minnka í fyrstu og hverfur það eftir um 30 ára vinnslu. Rafaflið fylgir gufurennslinu og fellur undir 20 MW_e eftir rúmlega 20 ára vinnslu. Varmaaflið endurspeglar hins vegar meira hegðun heildarrennslis. Fyrir meiri lekt (tilfelli B) verða breytingarnar

ar örari. Heildarrennslið dalar hratt fyrstu 10 árin vegna örrar minnkunar skiljuvatns. Gufurennslið dalar hins vegar rólega þar til áhrifa randskilyrðanna gætir eftir um 22 ára vinnslu, en þá fellur þrýstingur hratt í kerfinu og það nálgast vatnspurrð. Jarðhitakerfið fer í einfasa gufuástand og gufurennsli minnkar töluvert. Rafaflið minnkar þannig úr meir en 30 MW_e í um 8 MW_e og helst þannig út vinnslusöguna (mynd 9). Meira grip eykur rýmd kerfisins sem hefur þau áhrif að jafna út eða draga úr áður nefndir hegðun kerfisins. Aukin rýmd veldur því að vinnslan dalar hægar og jafnar samanborið við fyrri dæmin sem gerir það að verkum að líftími kerfanna lengist. Fyrir litla lekt en aukna rýmd (tilfelli C) fer rafaflið undir 20 MW_e eftir um 26 ára vinnslu eða um 6 árum seinna en í tilfelli A. Áhrif aukinnar rýmdar koma enn sterkar fram í tilfellinu fyrir mikla lekt (tilfelli D). Þar þornar gufan ekki fyrr en eftir 22 ára vinnslu og vatnspurrðar fer ekki að gæta fyrr en eftir 55 ára vinnslu. Í því tilfelli hefur líftími kerfisins því lengst um 19 ár.

Tafla 9 sýnir í grófum dráttum hvernig rennsli og afl kerfisins breytist við niðurdælingu miðað við grunnkeyrslurnar. Útkomu hvernar keyrslu fyrir þau tilfelli sem hafa verið keyrð er svo nánar lýst í viðauka 2. Þegar tilfelli í töflu 9 eru borin saman við sömu tilfelli í töflu 7 sést að áhrif niðurdælingarinnar koma sterkar fram þegar kerfið er lokað við jaðrana. Einnig virðist virkni niðurdælingarinnar vera meiri þegar kerfið er lokað og rúmmál þess minna. Þannig virðist rennsli og afl almennt aukast meira í lokaða kerfinu en því opna og á það sérstaklega við um tilfellið með mikla lekt. Ástæður þessa má rekja til eðlis hinna ólíku randskilyrða sem gjörbreytir útkomum grunnkeyrslunnar og því viðmiðunni milli tafla 7 og 9 (sjá myndir 7 og 8) samanber töflur í viðaukum 1 og 2.

Tafla 9. Gróft yfirlit útkomu keyrslna fyrir 60 ára vinnslu og lokað kerfi

Uppsetning	Tilfelli	Dæling (kg/s)	Breyting rennslis (kg/s)			Breyting afls (MW)		Athugasemd
			Skiljuvatn	Gufa	Heildar	Varma	Raf	
I	A	40	+33	0	+33	+26	0	Niðurdæling í efra lag
	A	90	+(75-59)	>0	+(75-59)	+43	0	
I	A	40	+(35-23)	0	+(35-23)	+26	0	Niðurdæling í neðra lag
	A	90	+(73-56)	-4 til +4	+(69-60)	+(39-48)	0	
	B	130	+(69-121)	+(24-6)	+(94-126)	+(115-104)	+(12-2,5)	
	B	220	+(170-164)	+(16-6)	+(186-170)	+(165-131)	+(7-2,5)	
II	A	40	+(14-12)	+(0-11)	+(14-23)	+(12-35)	+(0-4)	Niðurdæling í efra lag
	A	90	+(46-49)	+(3-14)	+(49-63)	+(43-71)	+(1-6)	
	D	145	+(83-87)	-6 til +11	+(75-94)	+(43-95)	-2,5 til +5	
	D	230	+(120-164)	+(4-22)	+(129-192)	+(117-2000)	+(4-12)	
II	D	190-74	+(69-47)	0	+(69-47)	+(43-35)	0	Breytileg dæling, 30 ár
	D	348-156	+(163-113)	+(20-22)	+(183-135)	+(173-145)	+(9-10)	Breytileg dæling, 60 ár
	D	348	+(242-252)	+(35-57)	+(277-309)	+(271-350)	+(16-27)	Einnig keyrt í 90 ár
III	A	40	+24	+3	+27	+25	+1	Niðurdæling í efra lag
	A	90	+81	+11	+92	+100	+6	
	A	130	+80	+10	+90	+88	+5	Meiri niðurdæling
	B	130	+87	+18	+105	+118	+9	
	B	220	+227	+53	+287	+318	+24	

Almennt verður mest rennsli aukning þegar niðurdælingu er dreift á hólur inni á milli vinnsluholnana (uppsetning I). Hins vegar minnkar vermi vökvans samhliða rennsli aukningunni mest fyrir þessa uppsetningu og því verður nýtileg gufa til rafmagnsframleiðslu minni fyrir þessa uppsetningu en fyrir hinar sem prófaðar voru (mynd 13). Rennslisaukningin skilar sér því aðallega sem skiljuvatn. Varmaframleiðslan eykst í takt við rennsli aukninguna, en rafafli breytist lítið. Fyrir þessi dæmi verður rafmagnsframleiðslan minni fyrri hluta vinnslusögunnar

(5-25 ár) í samanburði við grunnkeyrslurnar, en meiri síðari hluta hennar (mynd 14). Fyrir þessa uppsetningu virðist henta betur að niðurdælingin sé til neðra lagsins eða djúpt í jarðhitakerfið. Þá viðhelst suða lengur ofan til í kerfinu og gufuvinnslan verður meiri, en þegar dælt er grunnt í kerfið. Niðurdæling dýpra í kerfið viðheldur einnig betur þrýstingi í því þannig að niðrdráttur verður minni.

Þau dæmi sem hafa verið keyrð með niðurdælingu út við jaðrana (uppsetning II) benda til að best nýting náist þannig almennt út úr jarðhitakerfinu. Niðurdælingin dregur töluvert úr niðrdrætti við vinnsluholurnar, aðallega þó dýpra í kerfinu vegna eðlisþyngdarmunar milli vökvans sem dælt er niður og vökvans í kerfinu og einnig vegna áhrifa þyngdaraflsins (mynd 15). Þá helst svæðið umhverfis vinnsluholurnar heitt meðan kerfið fer kólnandi við jaðrana. Vegna hærri þrýstings í kerfinu verður suða minni en í viðmiðunarkeyrslunni án niðurdælingar. Gufurennslí verður því örlítið minna um miðbik vinnslusögunnar, en meira er á líður (mynd 16). Líftími kerfisins er miklu meiri en 60 ár og munurinn fyrst orðinn nokkur milli dæma með og án niðurdælingar þegar vel er liðið á vinnslusöguna.

Kostir niðurdælingar við útjaðrana koma betur í ljós þegar magn niðurdælingar er aukið og vinnslutíminn lengdur. Keyrð voru tvö dæmi fyrir þessa uppsetningu þar sem reynt var frekar á afköst kerfisins. Annað dæmið gekk út á það að dæla niður á hverjum tíma nokkurn veginn því vökvamagni sem framleitt var sem skiljuvatn eða heildarrennslí. Til að halda keyrslum innan hæfilegra marka var notað 5-6 ára meðaltal, en í fyrri dæmum sem höfðu verið keyrð hafði verið notað fast magn til niðurdælingar samkvæmt því sem grunnkeyrslur opins tveggja fasa kerfis gáfu. Hitt dæmið gekk út á að sjá hversu mikla niðurdælingu kerfið þoldi og hvað það entist lengi. Fyrir fyrra dæmið var keyrð niðurdæling skiljuvatns í 30 ár og síðan niðurdæling heildarrennslis í 60 ár. Miðað við viðmiðunarkeyrslu án niðurdælingar verður ekki mikil breyting yfir 30 ára tímabilið þegar skiljuvatni er dælt niður. Framleiðsla skiljuvatns eykst aðeins og varmaaflið því einnig, en rafafli er óbreytt. Sé samanburðurinn gerður við keyrslu fyrir niðurdælingu fasts magns skiljuvatns kemur breytilega niðurdælingin aðeins betur út. Þar sem það dregur úr niðurdælingunni með tíma þá verður viðhald þrýstings í kerfinu minna og því helst suða svipuð og án niðurdælingar, þegar það dregur aðeins úr henni á tímabilinu 20-40 ár fyrir fast magn skiljuvatns. Niðurdæling heildarrennslis kemur hins vegar mun betur út. Þar eykst framleiðsla varmaafls og rafafls þó nokkuð borið saman við grunnkeyrslu án niðurdælingar og í samanburði við dæmi með föstu niðurdælingarmagni er aukningin meiri um miðbik vinnslusögunar og uppsöfnuð framleiðsla yfir vinnslusöguna meiri (myndir 17 og 18). Þetta stafar af því að magn niðurdælingar er miklu meira í byrjun vinnslusögunar og áhrifa niðurdælingarinnar gætir því fyrr, en þar sem dregur úr niðurdælingunni með tíma nálgast útkoman fyrri dæmi.

Eitt tilfelli var keyrt fyrir niðurdælingu mikils magns af vatni. Það tilfelli var fyrst keyrt í 60 ár og síðan í 90 ár. Þetta dæmi gaf mestu aukningu í rennslí og framleiðslu varmaafls og rafafls fyrir þau dæmi sem hafa verið prófuð (myndir 17 og 18). Heildarrennslíð helst út 90 ára vinnslusögu 93-97% af niðurdælingunni. Aukning helstú kennistærða er nærri tvöföldun frá viðmiðunardæmum. Þrátt fyrir mikla niðurdælingu og langa vinnslusögu þá hefur kælifronturinn ekki náð að vinnsluholunum á tímabilinu og líftími kerfisins er því mun lengri. Sama dæmi var einnig keyrt þar sem hiti á niðurdælingarvatni var 80 °C í stað rúmlega 170 °C eins og almennt var notað í öðrum keyrslum (sjá töflu 1). Niðurstöður eru sambærilegar og í fyrra dæminu, en þó dregur aðeins hraðar af kerfinu er líður á vinnslusöguna, þar sem kæling er aðeins meiri í jarðhitakerfinu í þessu dæmi (mynd 17).

Nokkur dæmi hafa verið keyrð fyrir tvíþól uppsetningu (uppsetning III) með niðurdælingu og vinnslu í sitt hvorum hluta kerfisins. Þær keyrslur sem hafa verið gerðar benda til þó nokkurrar aukningar í rennsli ásamt aukinni varma- og rafafslsframleiðslu. Aukningin er sambærileg við það sem fæst með niðurdælingu við jaðrana og í sumum tilvikum gæti hún verið meiri yfir 60 ára vinnslusögu. Útkoma grunnkeyrslna fyrir tvíþól uppsetningu og með vinnsluholur miðsvæðis er svipuð. Helst er að gufurennslu og þar með heildarrennsli sé aðeins minna fyrri hluta vinnslusögunnar fyrir tvíþól uppsetninguna, en vatnspurrðar gætir í staðinn nokkrum árum seinna í kerfinu fyrir þá uppsetningu. Þetta eru viðbrögð sem búast mátti við fyrirfram og stafa af lögun kerfisins sem er notað við reikningana. Með það í huga má gera nær beinan samanburð milli þessara tveggja uppsetninga. Fyrir litla lekt benda niðurstöður til að rennslisaukningin sé meiri fyrir tvíþól uppsetninguna (tilfelli A), sem eykur varmaaflið, en aukning rafafsls er svipuð því rennslisaukningin skilar sér aðallega sem skiljuvatn. Að auka magn niðurdælingar umfram eitthvert ákveðið mark virðist ekki auka framleiðsluna. Meiri lekt eykur rennsli og framleitt afl mikið (mynd 19) og er það aðeins í dæmunum fyrir mjög mikla niðurdælingu við útjaðrana sem sambærileg vinnsluaukning næst (mynd 20). Hins vegar er áhrifa kælifrontsins farið að gæta við vinnsluþólinn eftir 60 ára vinnslu og óvíst hve líftími kerfisins er mikið lengri eftir það, því enn hefur það ekki verið prófað.

4.4 Einfasa vatnskerfi

Til lauslegs samanburðar við niðurstöður fyrir tveggja fasa keyrslur hafa verið gerðar 6 keyrslur fyrir einfasa vatnskerfi, þar af 4 fyrir lokuð randskilyrði og 2 fyrir opin. Tafla 10 gefur skiptingu þessara keyrslna á tilfelli. Í síðari hluta þessa verkþáttar er ráðgert að auka við þessar keyrslur.

Tafla 10. Skipting líkankeyrslna á niðurdælingarmynstur.

Uppsetning	Skýring	Skráarnafn	Skráarnúmer	Keyrslur
I og II	Grunnkeyrslur	RCCW	1 og 8	2
II	Við útjaðra	RCWB	1 og 8	2
	Við útjaðra	ROWB	1 og 8	2

Til að mynda einfasa vatnskerfi samsvarandi við tveggja fasa jarðhitakerfið varð annað hvort að hækka þrýstingsstigulinn þó nokkuð eða lækka hitann í kerfinu. Eðlilegra þótti að lækka hitann með hliðsjón af raunverulegum jarðhitakerfum. Ákveðið var að halda kerfinu sem háhitakerfi og fyrir þessar fyrstu keyrslur var hitinn í jarðhitageyminum settur 240-250 °C. Ekki er víst að það þurfi að lækka hitann í kerfinu þetta mikið til að halda því í vatnsfasa, en sem fyrstu prófun var horft til hita samsvarandi þeim sem finnst í jarðhitakerfinu við Svartsengi. Tafla 11 gefur svo upphafsgildin fyrir hita og þrýsting í hverju lagi kerfisins sem notuð voru til að mynda einfasa vatnskerfi.

Tafla 12 sýnir breytingar rennslis og afls við niðurdælingu fyrir þessi fáu dæmi sem enn hafa verið keyrð. Fyrir þau dæmi var vinnslusagan aðeins 30 ár. Þar sem kerfið er í vatnsfasa berst þrýstimerkið fljótt út að jöðrum þess svo þrýstingsstigull verður mjög svipaður alls staðar í kerfinu. Í grunnkeyrslunum fellur þrýstingur mikið á fyrsta ári vinnslunnar og nálgast svo að vera í jafnvægi út 30 ára vinnslusöguna. Án niðurdælingar myndast suða við vinnsluholurnar eftir um 10 ára vinnslu, en með niðurdælingu helst kerfið í einfasa vatnsástandi allan tímann. Niðurdæling í kerfið dregur úr niðurdrætti og eykur vinnsluna. Fyrir litla lekt og lítið grip verður ekki mikil breyting, en samt smá aukning á afli. Ástæðan er að þrátt fyrir litla lekt þá kemur virkni niðurdælingarinnar fram þar sem kerfið er í vatnsfasa. Ef kerfið væri í tveggja

Tafla 11. Upphafsgildi hita og þrýstings fyrir einfasa vatnskerfi.

Lag	Þrýstingur (bar-a)	Hiti (°C)
1. Grunnvatnskerfi	13,9	90,0
2. Þakberg	38,8	207,0
3. Efra lag hitakerfis	65,5	240,0
4. Neðra lag hitakerfis	93,8	250,0

fasa ástandi hefði það meiri dempun og virkni niðurdælingar kæmi seinna fram. Meiri lekt og meiri niðurdæling draga mun meira úr niðurdrætti í kerfinu og auka þó nokkuð framleiðslu varma- og rafafis (sjá myndir 21 og 22).

Tafla 12. Gróft yfirlit útkomu keyrslna fyrir 30 ára vinnslu og lokað vatnskerfi

Uppsetning	Tilfelli	Dæling (kg/s)	Breyting rennslis (kg/s)			Breyting afis (MW)		Athugasemd
			Skiljuvatn	Gufa	Heildar	Varma	Raf	
II	A	40	+18	+2	+20	+20	+1	Niðurdæling í efra lag
	D	230	+146	+28	+175	+185	+12	

4.5 Einfasa gufukerfi

Fyrir einfasa gufukerfi hafa verið gerðar 9 keyrslur og er skipting þeirra gefin í töflu 13. Í síðari hluta þessa verkþáttar er ráðgert að auka töluvert við þessar keyrslur, en ýmislegt áhuga-vert hefur komið í ljós í þeim.

Tafla 13. Skipting líkankeyrslna á niðurdælingarmynstur.

Uppsetning	Skýring	Skráarnafn	Skráarnúmer	Keyrslur
I	Dreift grunnt	RCSS	1	1
	Dreift djúpt	RCSM	1 og 2	2
II	Við útjaðra	RCSB	1,2 og 5	6

Til að mynda gufukerfi var valið að hafa sama hita í jarðhitakerfinu og fyrir tveggja fasa kerfin. Þrýstingur var settur að suðuprýstingi fyrir þann hita og gufuhluti látinn vera 60% í byrjun. Þessi upphafsgildi fyrir hita, þrýsting og gufuhluta fyrir hvert lag kerfisins eru sýnd í töflu 14. Í grunnvatnskerfinu og þakberginu er gufuhlutinn 0, þ.e. engin suða í þeim lögum. Þegar vinnsla hefst úr jarðhitakerfinu með þessi byrjunarskilyrði eykst suðan og gufuhlutinn hækkar á fyrstu mánuðunum í 66-100%, en vatnsfasinn verður óhreyfanlegur við 70% gufuhlutfall vegna hlutlektar hans. Ströngustu skilyrði einfasa gufukerfis eru því ekki uppfyllt í þeim dæmum sem hafa verið keyrð þar sem vatnsmassi er meiri í byrjun vegna rekjunar en ef kerfið væri einfasa gufa. Síðar verður prófað að byrja með hærri gufuhluta í kerfinu, en þetta var valið í fyrstu til að reikningar væru stöðugri og reiknilíkanið gæti þá keyrt fyrir lengri vinnslusögu. Í töflu 15 er tekið saman yfirlit um niðurstöður keyrsla fyrir gufukerfi. Þar sem grunnkeyrslur hafa ekki enn verið gerðar fyrir einfasa gufukerfi gefur tafla 15 rennslis og afl en ekki breytingu frá ástandi án niðurdælingar eins og gert hefur verið hér á undan. Vinnslusaga hvers tilfellis getur einnig verið mislög, þar sem mörg dæmanna fyrir gufukerfin þurftu fleiri reikniskref en dæmin fyrir vatns- og tveggja fasa kerfin. Fyrir uppsetningu I og niðurdælingu grunnt í kerfið blotnar gufan fljótlega eftir að niðurdæling hefst, niðurdráttur verður 7-18 bar minni en án niðurdælingar og kæling við vinnsluholur verður aðeins meiri. Heildarrennslis eykst og er aukningin aðallega skiljuvatn, en einnig verður smá aukning á gufurennslis. Varmaaf eykst því og rafafli eykst um rúm 2 MW_e miðað við sömu aðstæður án niðurdælingar. Hegðun kerfisins er svipuð þegar dælt er djúpt í það (sjá myndir 23 og 24). Þegar lektin er aukin verður kerfið

Tafla 14. Upphafsgildi hita og þrýstings fyrir gufukerfi

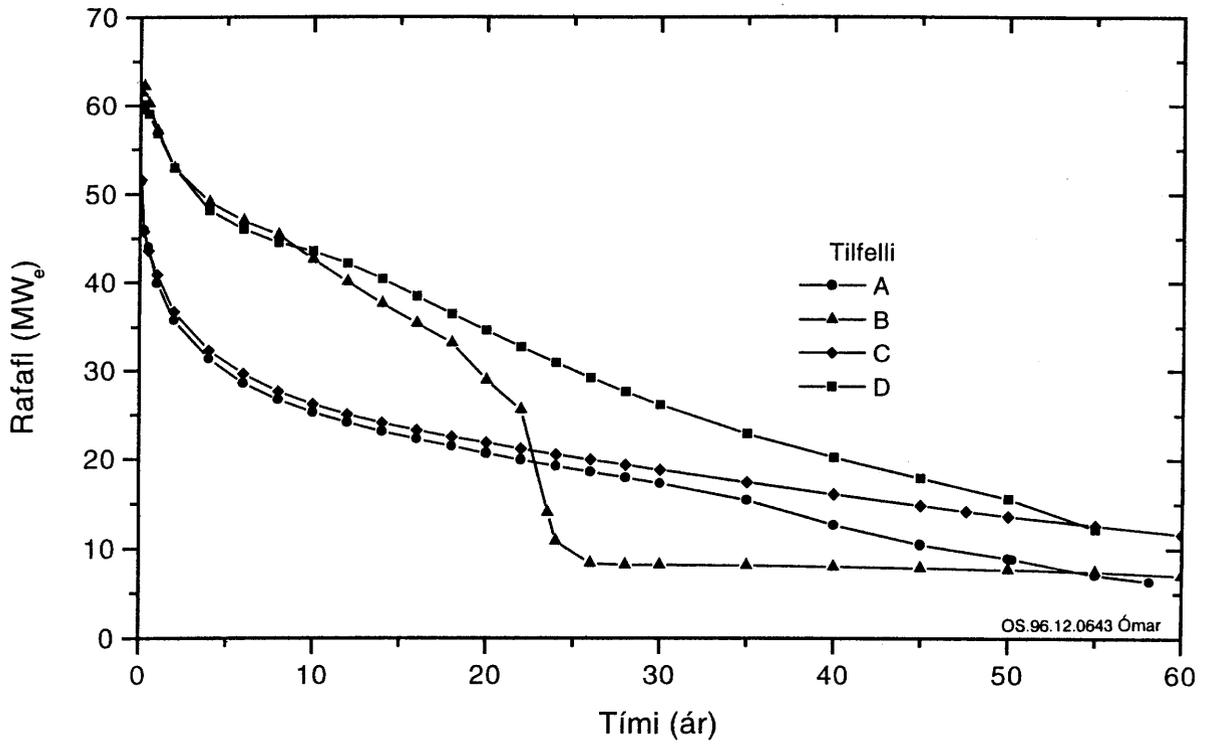
Lag	Þrýstingur (bar-a)	Hiti (°C)	Gufuhluti
1. Grunnvatnskerfi	13,9	90,0	
2. Þakberg	38,8	207,0	
3. Efra lag hitakerfis	65,15	281,0	0,6
4. Neðra lag hitakerfis	93,68	306,2	0,6

Tafla 15. Gróft yfirlit útkomu keyrslna fyrir lokað gufukerfi

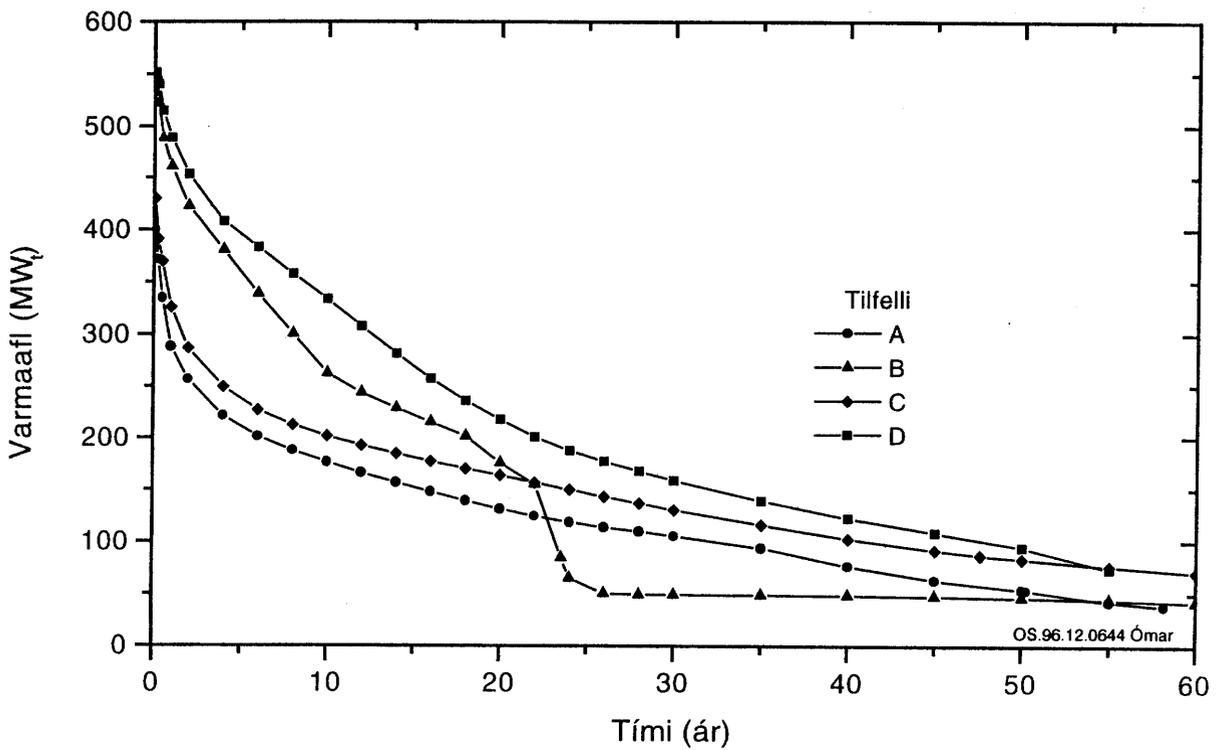
Uppsetning	Tilfelli	Dæling (kg/s)	Þróun rennslis (kg/s)			Þróun afls (MW)		Athugasemd
			Skiljuvatn	Gufa	Heildar	Varma	Raf	
I	A	90	73-66	73-179	125-84	240-96	33-8	Niðurdæling í efra lag
I	A	40	29-27	61-24	90-50	200-83	33-10	Niðurdæling í neðra lag
	B	130	100-76	120-57	215-133	394-212	54-26	16 ára saga
II	A	40	1-12	30-21	31-33	87-67	14-10	Niðurdæling í efra lag
	A	90	37-54	39-22	76	130-93	16-11	52 ára saga
	B	130	5-82	94-35	99-117	266-157	43-16	35 ára saga

reikningslega óstöðugt því gufuhluti er hár í efra lagi jarðhitakerfisins og í neðra laginu breytist ástandið frá einfasa vatni inni á vinnslusvæðinu í einfasa gufu við jaðrana. Þegar niðurdæling er við útjaðrana (uppsetning II) helst gufuhluti hár (blaut gufa) í efra lagi kerfisins við vinnsluholurnar. Í neðra lagi þess er gufuhlutinn hár fyrstu árin (þurr gufa), en síðan blotnar gufan og ræðst það af lekt og magni niðurdælingar hvenær það gerist.

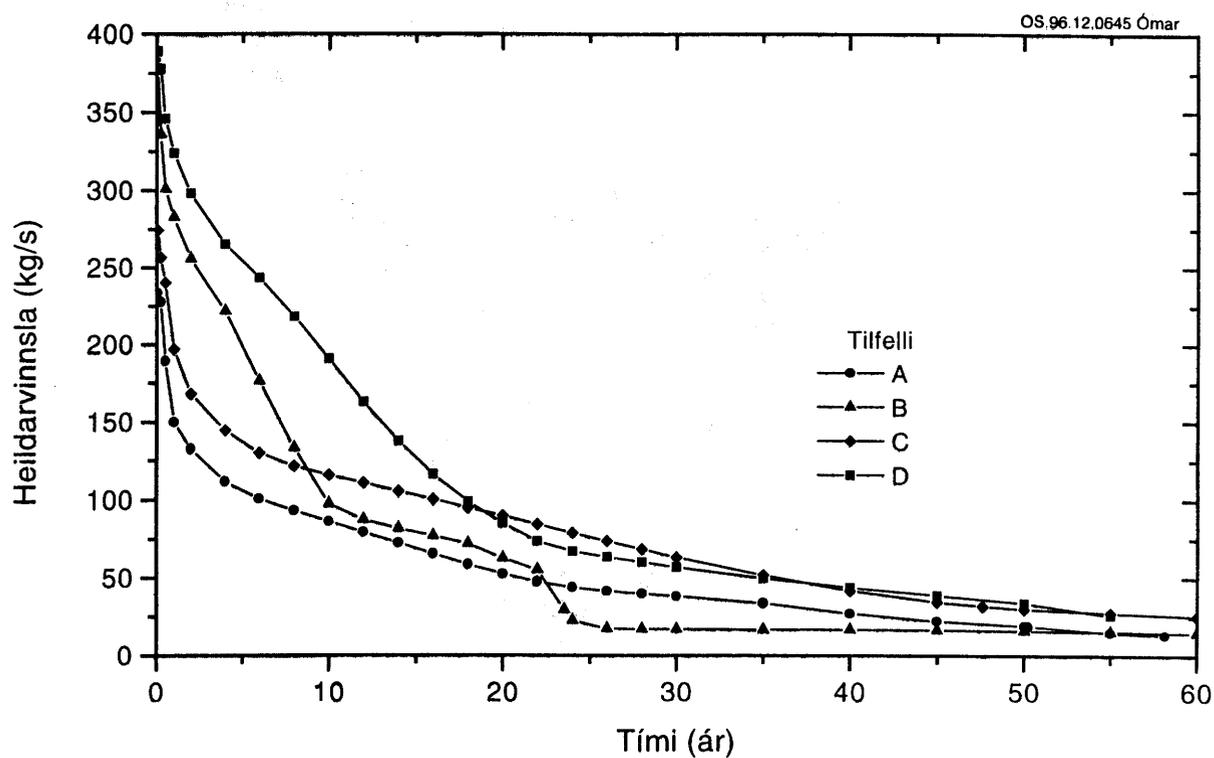
Almennt má álykta út frá þessum keyrslum fyrir gufukerfi að niðurdráttur sé meiri en í samskonar tveggja fasa kerfi, en hitafallið eitthvað minna (mynd 25). Varðveisla þrýstings eða viðhald hans er því minna en fyrir tveggja fasa kerfið og það tekur eitthvað lengi tíma að kæfa suðuna djúpt í kerfinu. Þá virðist sem suðufururinn nálgist vinnsluholurnar fyrr þegar kerfið byrjar sem gufukerfi. Hins vegar má segja að eftir að niðurdæling er hafin þá blotnar gufan og kerfið er því í raun orðið að tveggja fasa kerfi og hagar sér samkvæmt því, en vökvamassinn í því er miklu minni en í fyrri dæmum fyrir tveggja fasa kerfi. Fyrir tveggja fasa kerfin er vökvamassinn $(9,2-18,5) \times 10^{10}$ kg í byrjun, en í gufukerfunum er hann $(4,0-8,1) \times 10^{10}$ kg eða rúmlega tvöfalt minni.



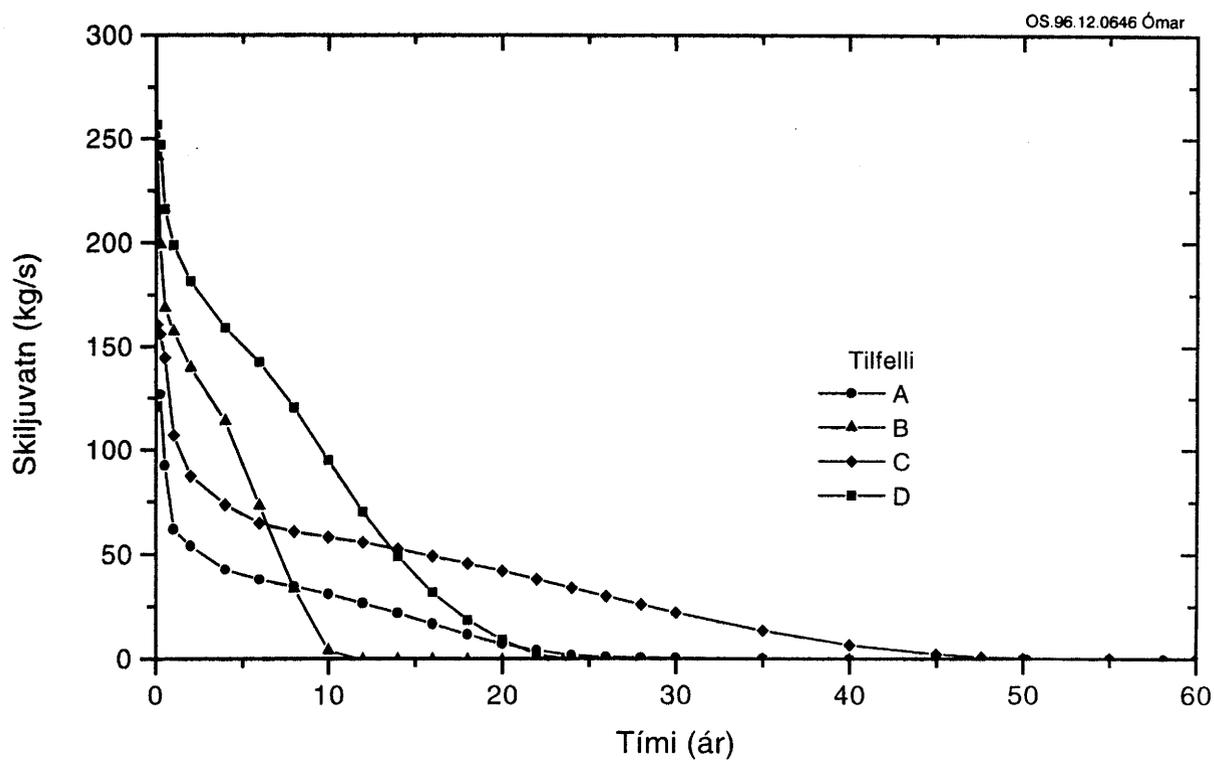
Mynd 9. Framleitt rafafi í grunnkeyrslum fyrir lokað kerfi.



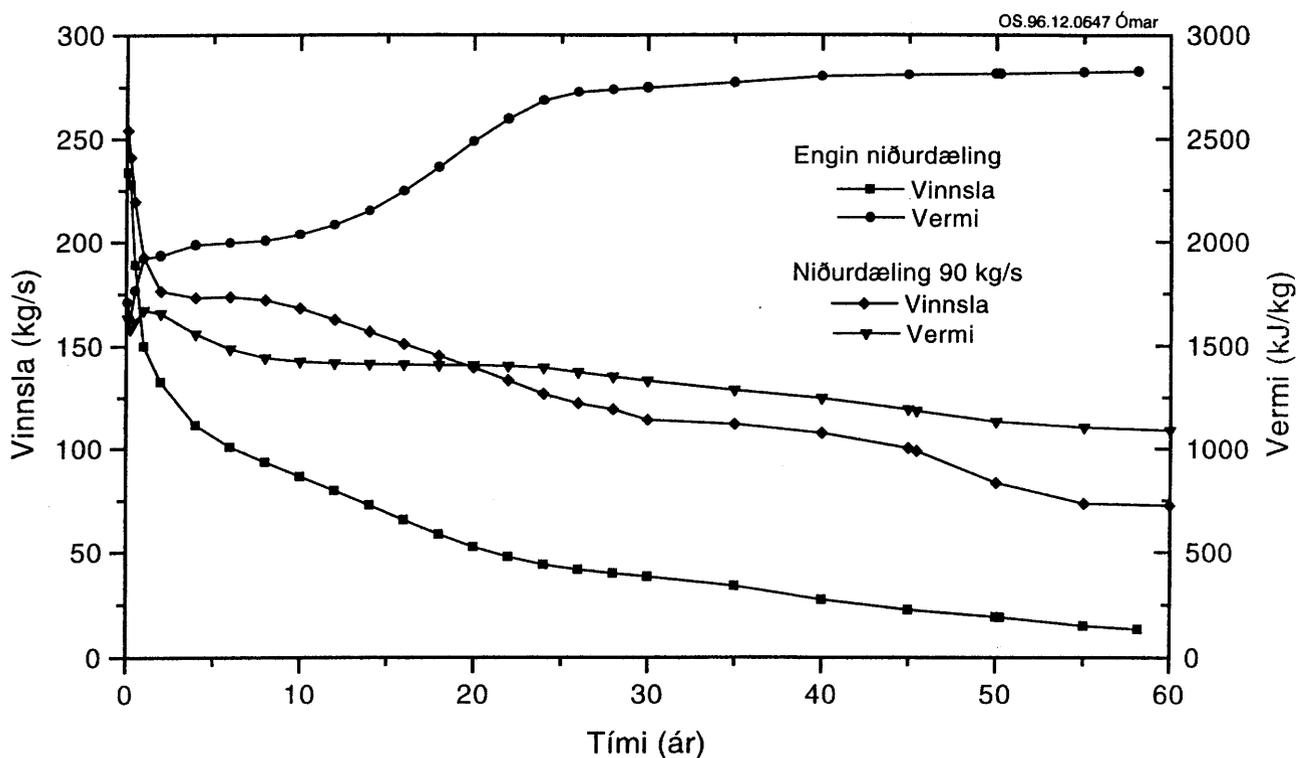
Mynd 10. Framleitt varmaafi í grunnkeyrslum fyrir lokað kerfi.



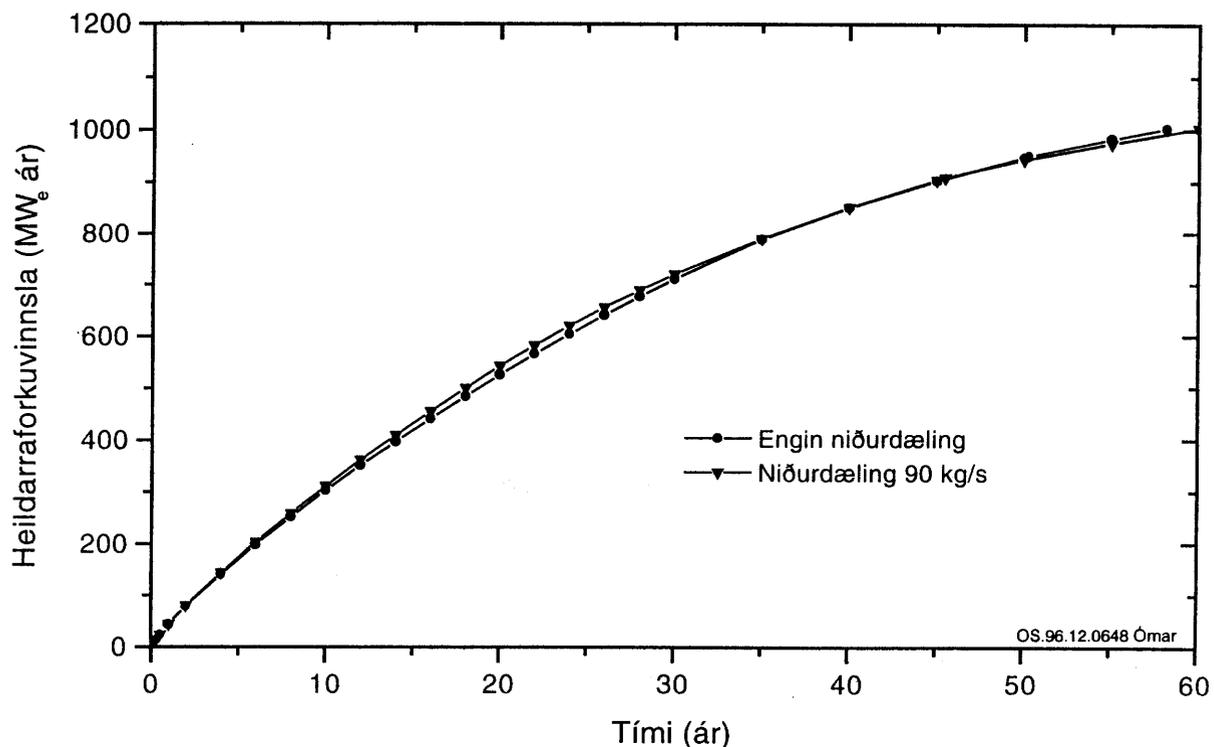
Mynd 11. Heildarvinnsla í grunnkeyrslum fyrir lokað kerfi.



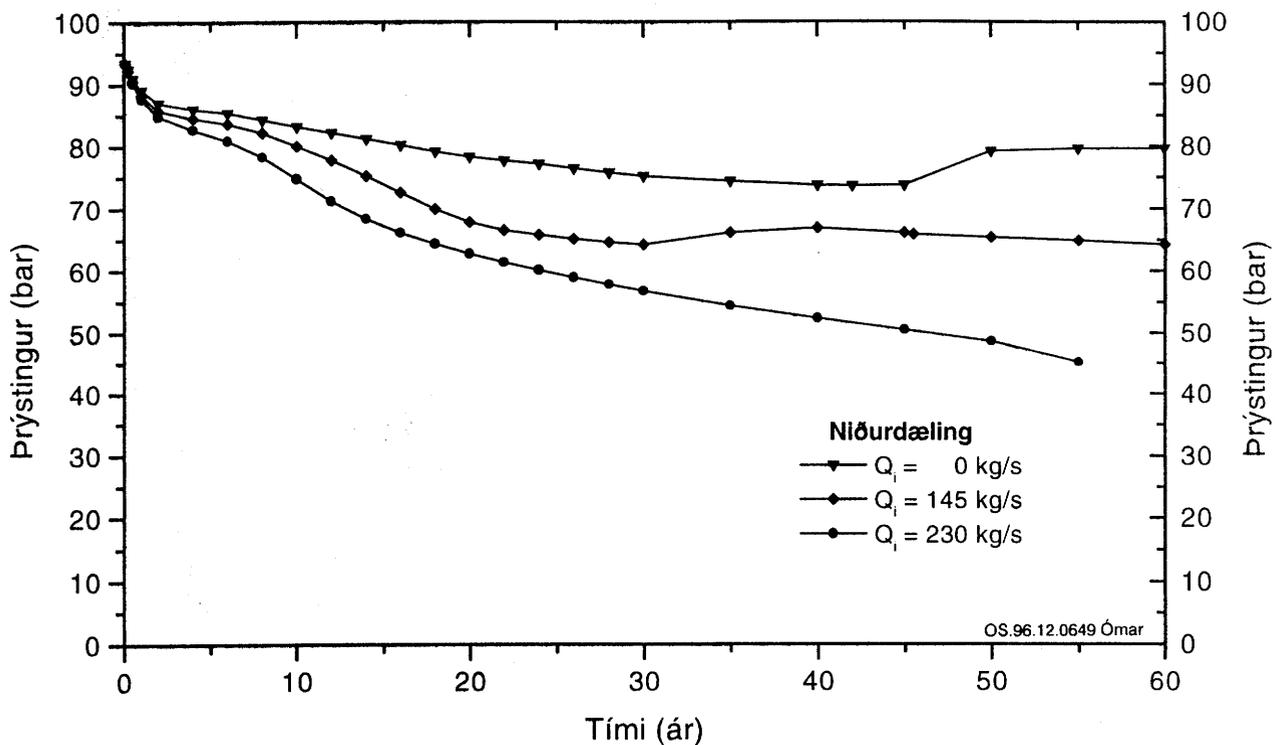
Mynd 12. Framleiðsla skiljuvatns í grunnkeyrslum fyrir lokað kerfi.



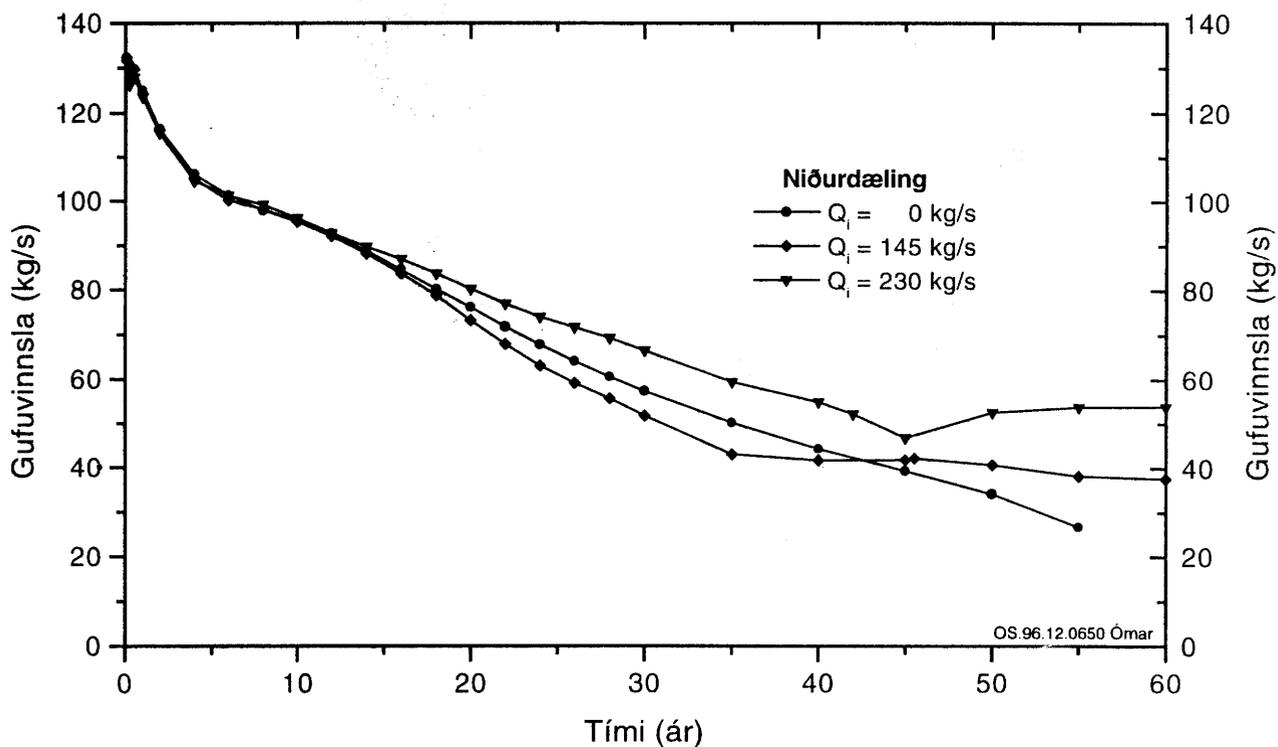
Mynd 13. Heildarrensli og vermi án niðurdælingar og með 90 kg/s niðurdælingu fyrir uppsetningu I, tilfalli A og lokað kerfi.



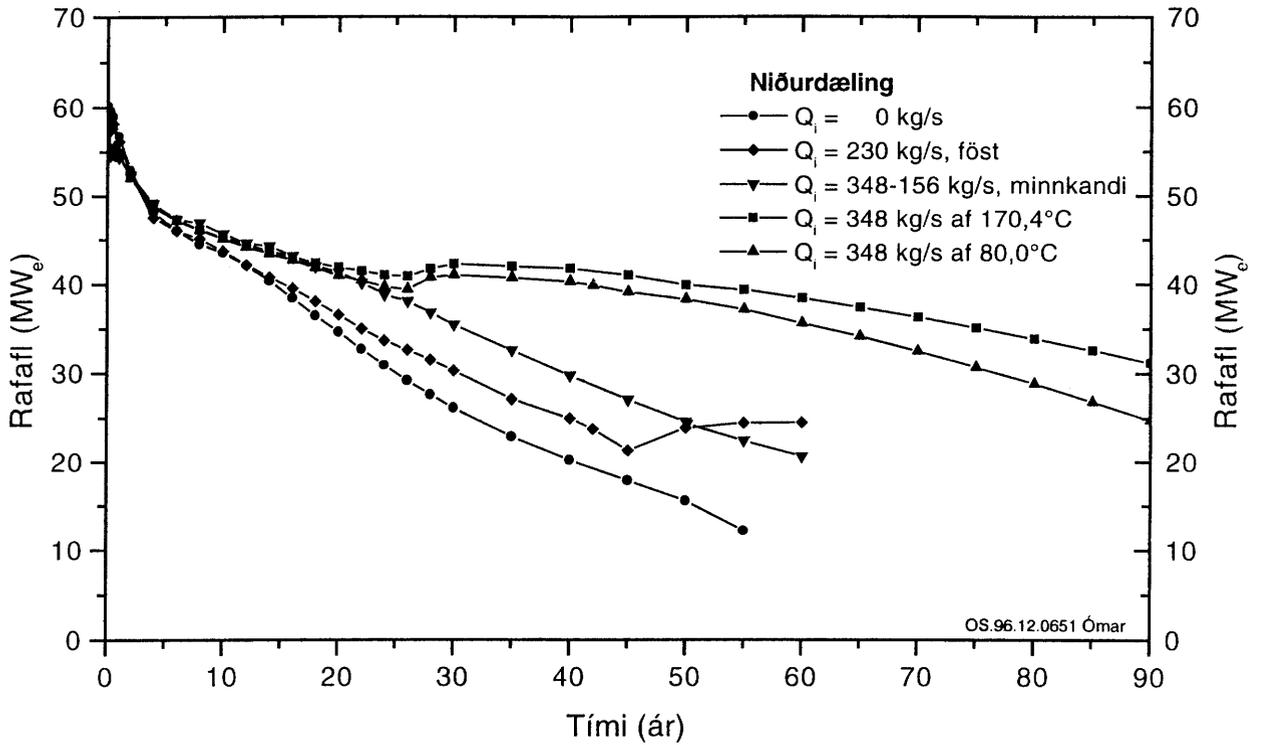
Mynd 14. Uppsöfnuð raforkvinnsla fyrir uppsetningu I, tilfalli A án niðurdælingar og með 90 kg/s niðurdælingu.



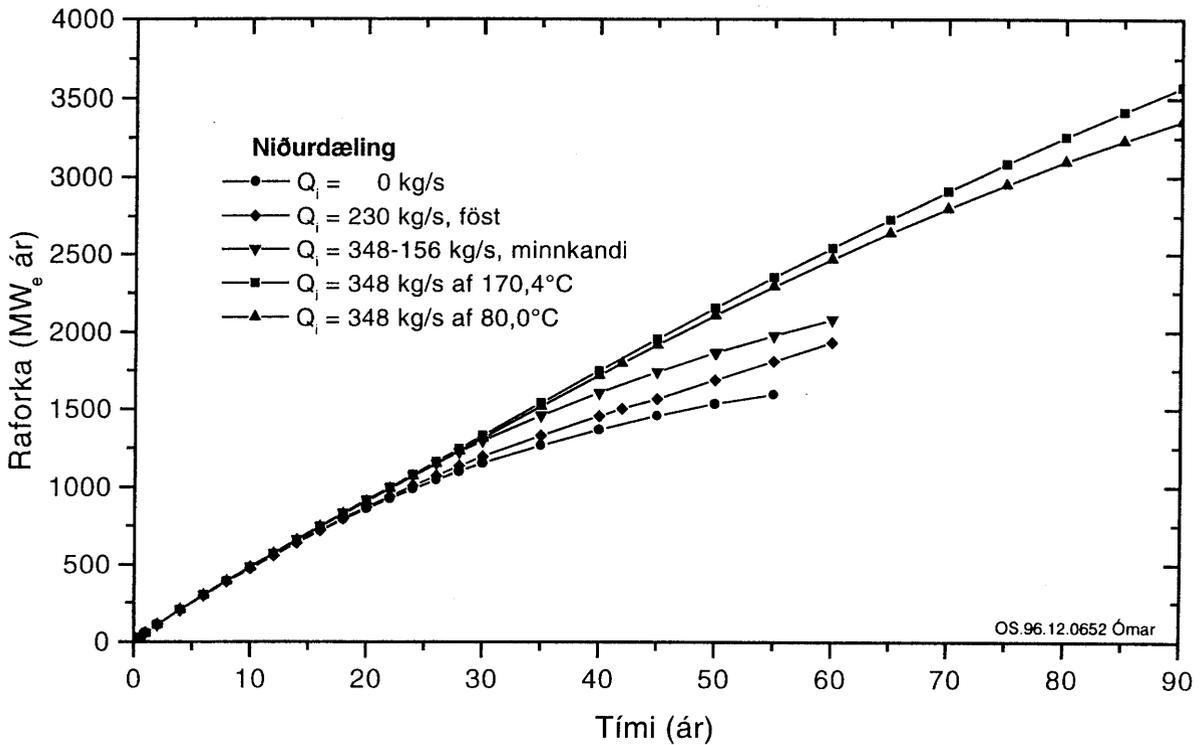
Mynd 15. Prýstingur miðsvæðis og djúpt í jarðhitakerfinu (lagi 4) fyrir uppsetningu II, tilfalli D án og með niðurdælingu.



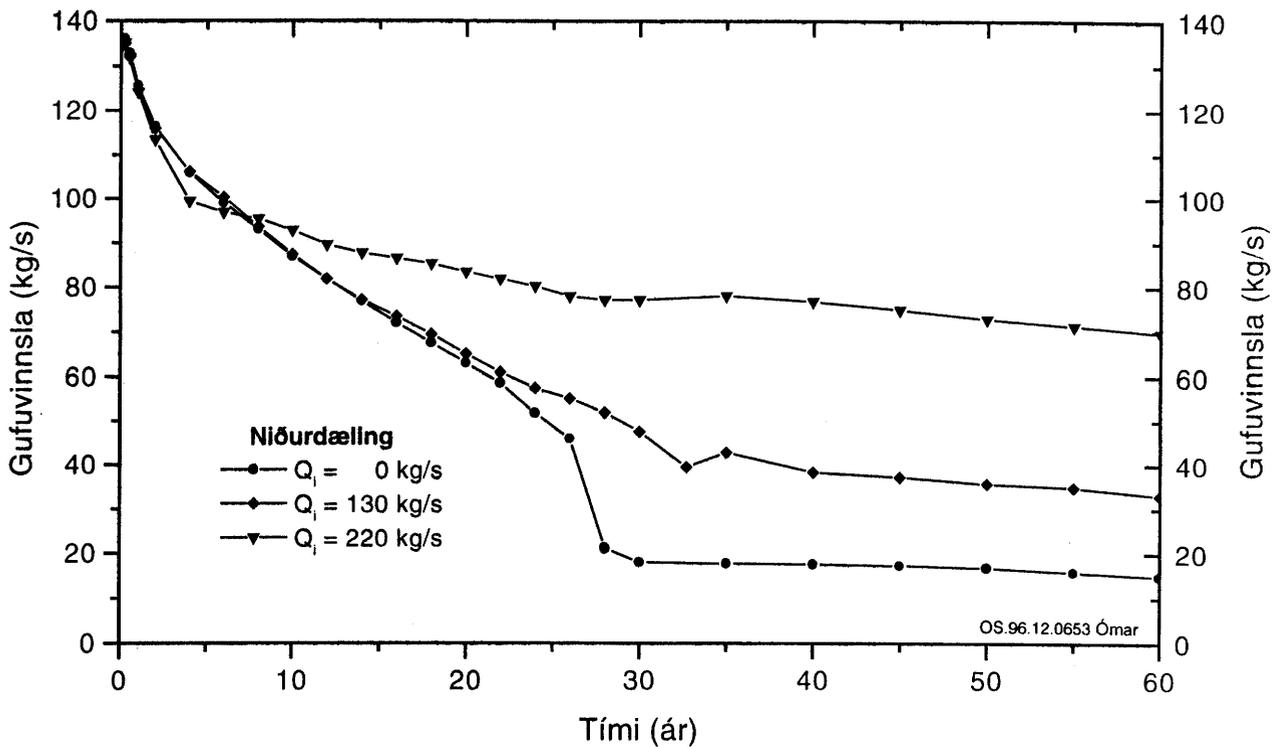
Mynd 16. Gufurennsla fyrir uppsetningu II, tilfalli D án og með niðurdælingu.



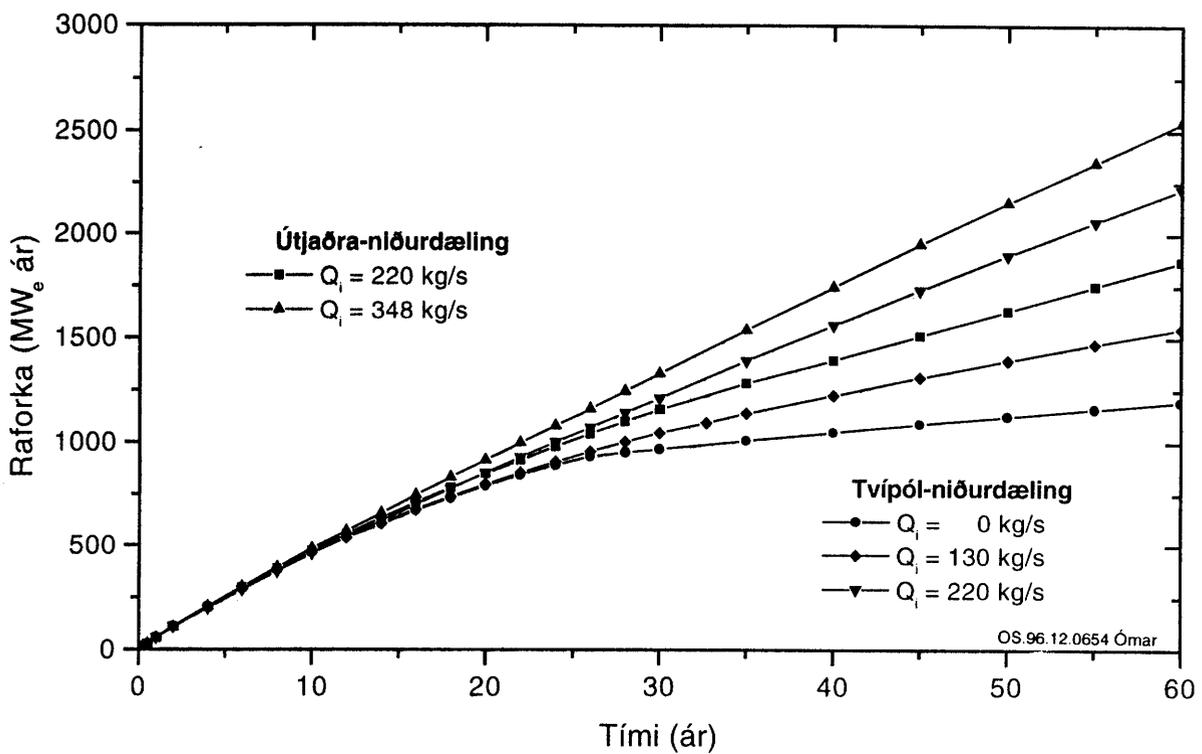
Mynd 17. Framleitt rafafi fyrir uppsetningu II, tilfelli D án og með breytilegri niðurdælingu.



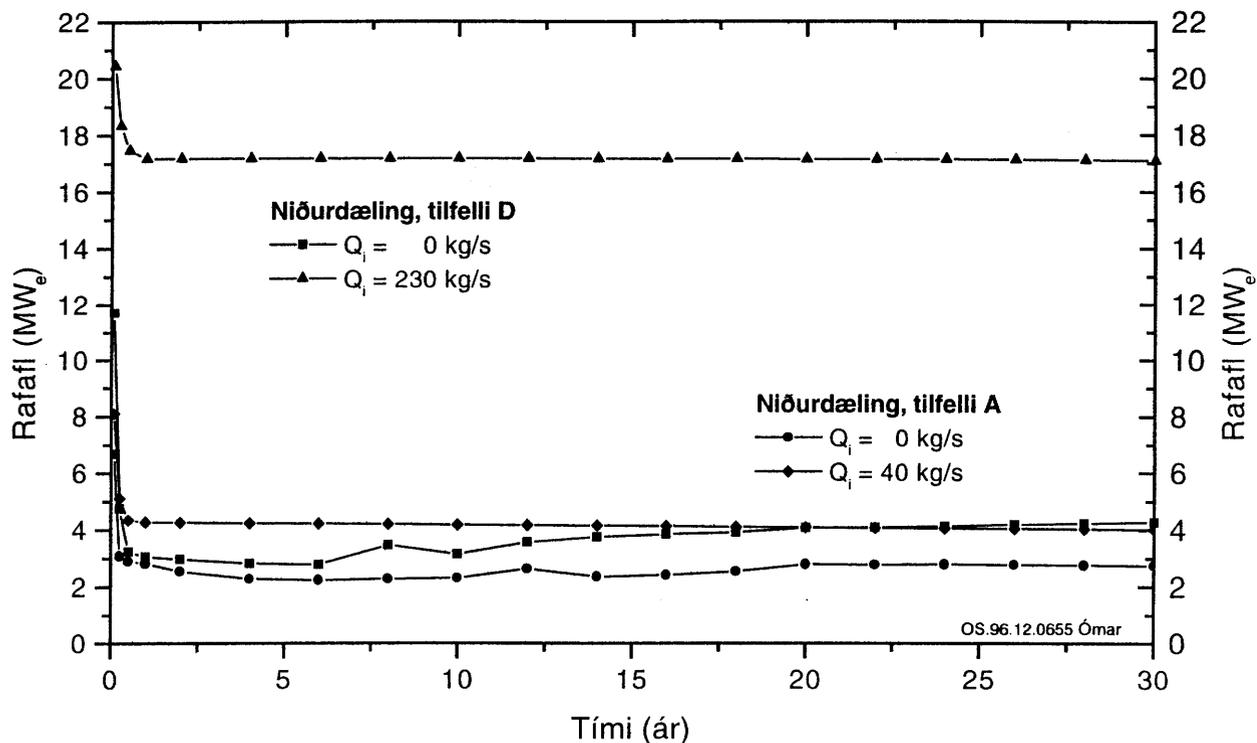
Mynd 18. Uppsöfnuð raforkuvinnsla fyrir uppsetningu II, tilfelli D án og með breytilegri niðurdælingu.



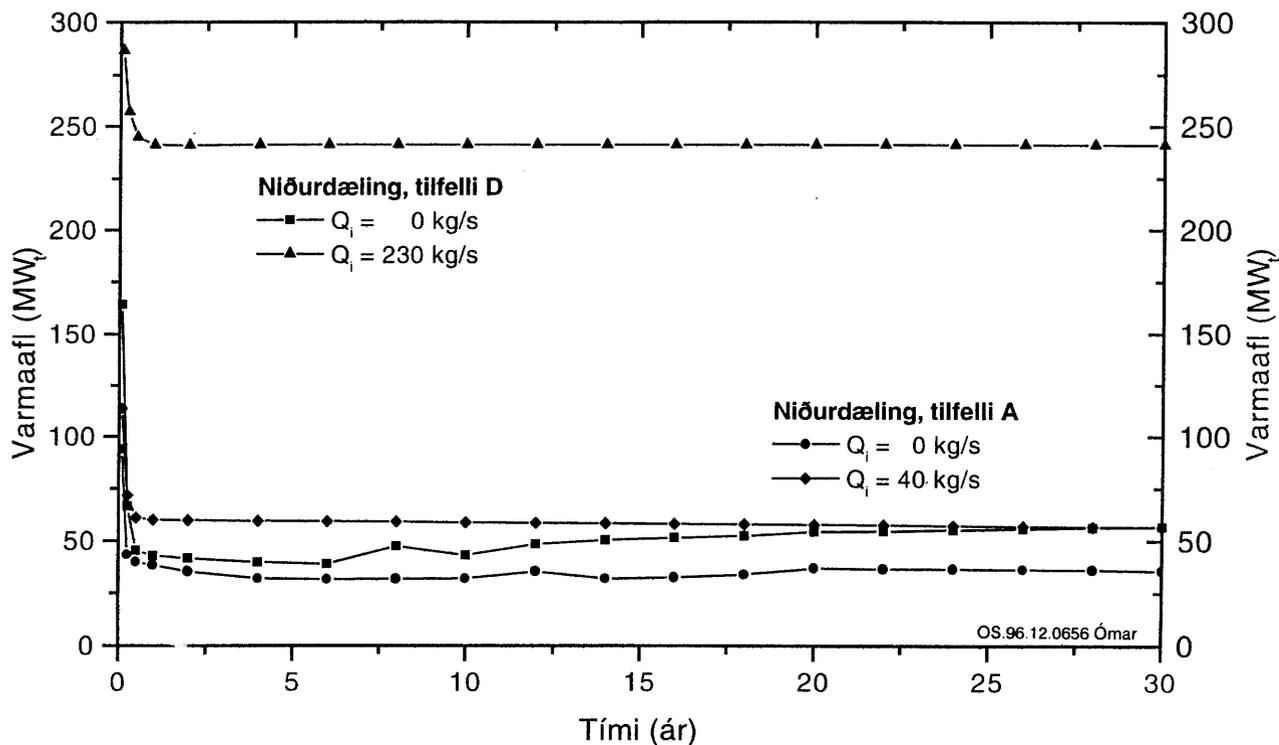
Mynd 19. Gufurennsla fyrir uppsetningu III, tilfelli B án og með niðurdælingu.



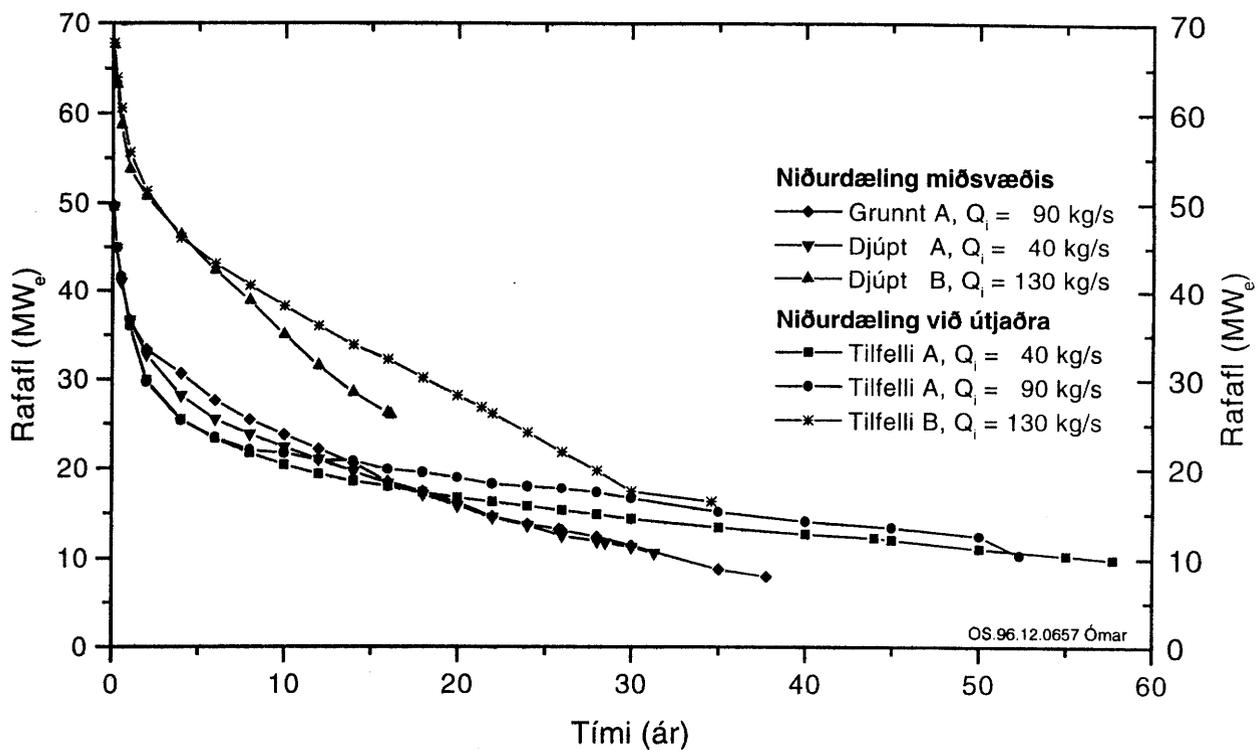
Mynd 20. Uppsöfnuð raforkuvinnsla fyrir tvíþól-uppsetningu (uppsetning III, tilfelli B) án og með niðurdælingu og samanburður við dæmi með niðurdælingu við útjaðra.



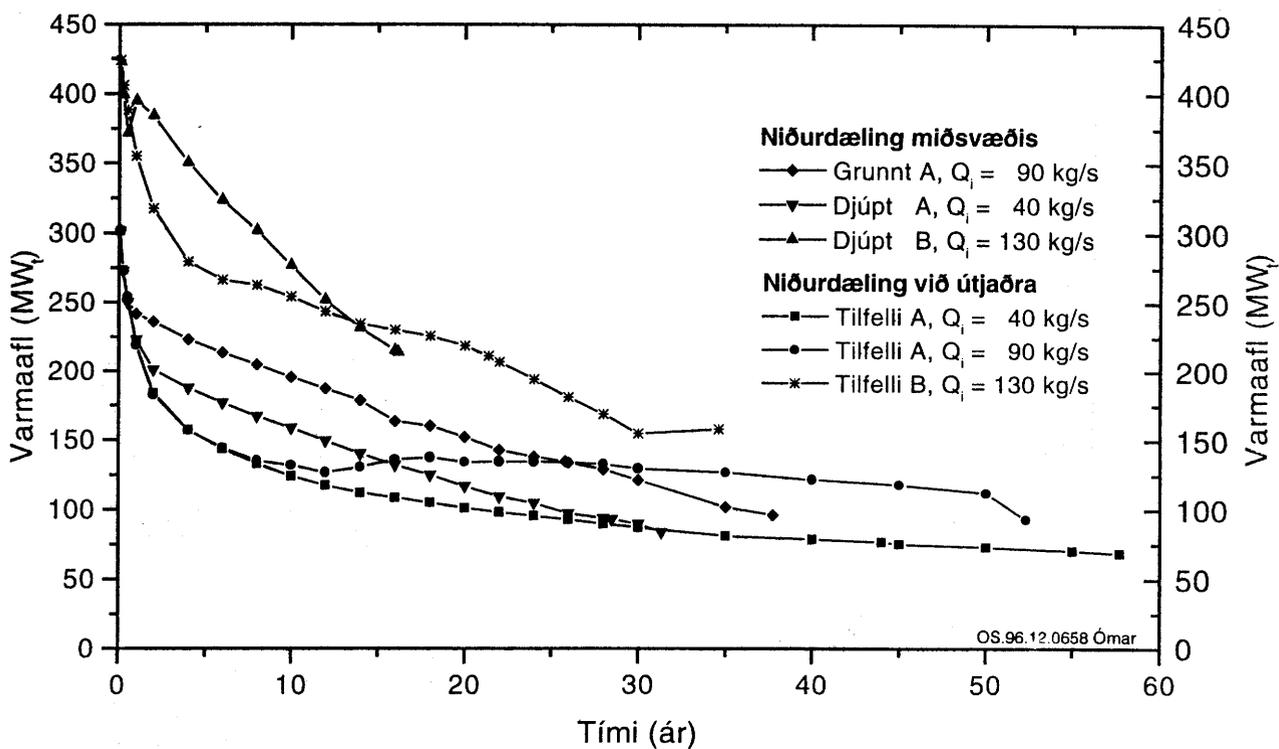
Mynd 21. Framleitt rafafi úr einfasa vatnskerfi fyrir uppsetningu I, tilfelli A og uppsetningu II, tilfelli D án og með niðurdælingu.



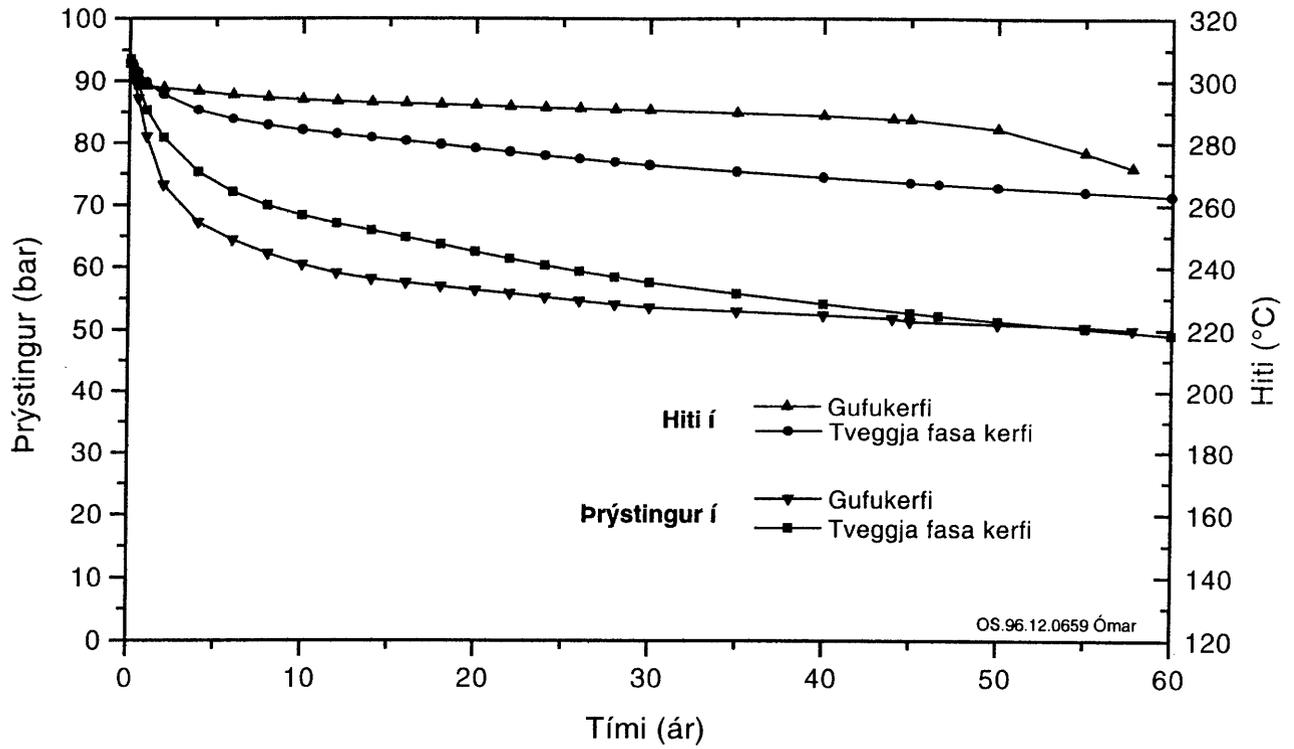
Mynd 22. Framleitt varmaafi úr einfasa vatnskerfi fyrir uppsetningu I, tilfelli A og uppsetningu II, tilfelli D án og með niðurdælingu.



Mynd 23. Framleitt rafafi úr gufukerfi fyrir uppsetningar I og II, tilfelli A og B



Mynd 24. Framleitt varmaafi úr gufukerfi fyrir uppsetningar I og II, tilfelli A og B



Mynd 25. Samanburður á þrýstingi og hita miðsvæðis og djúpt í jarðhitakerfinu (lag 4) milli gufukerfis og tveggja fasa kerfis. Í báðum tilvikum er niðurdæling 40 kg/s með uppsetningu II, tilfelli A

5. NIÐURSTÖÐUR FYRIR 30 ÁRA VINNSLUTÍMA

Þegar lítið er yfir þau dæmi sem búið er að keyra og miðað við 30 ára vinnslutíma kemur í ljós að áhrifa niðurdælingar gæti aðeins lítillaga í uppsetningum II og III, en áhrifin koma glögglega fram í uppsetningu I þar sem niðurdælingunni er dreift milli vinnsluholnana. Ef miðað er við raforkuframleiðslu eykur niðurdælingin lítið afl kerfanna í þeim tilfellum. Ástæðan er eins og áður er komin fram að vermi vökvans lækkar samhliða auknu rennsli þannig að nýtanlegt magn gufu til raforkuframleiðslu verður nær það sama og án niðurdælingar. Vinnsla varmaorku eykst hins vegar í hlutfalli við aukið rennsli. Fyrir niðurdælingu í öðrum hluta jarðhitakerfisins (tvíþól uppsetning) eða út við jaðra þess eru áhrif niðurdælingarinnar að byrja að koma fram eftir 20-25 ára vinnslu. Þó niðurdælingin bæti afkomu kerfisins, vegur það ekki mikið miðað við 30 ára afkomu þess. Á þessu tímabili munar mest um að niðurdælingin kemur í veg fyrir vatnspurrð í kerfinu, sérstaklega ef það er lokað eða náttúrulegt aðstreymi að því er takmarkað.

Fyrir opið jarðhitakerfi þar sem náttúrulegt aðstreymi að því er í hlutfalli við niðurdrátt eru áhrif niðurdælingar takmörkuð með tilliti til raforkuframleiðslu og 30 ára vinnslutíma. Í því tilviki geta áhrif niðurdælingar jafnvel verið neikvæð og á það einkum við þegar niðurdælingunni er dreift milli vinnsluholna, en þá verður töluverð kæling við þær jafnframt sem þrýstingur í kerfinu helst hár og suðu þannig haldið niðri. Þetta á líklega líka við þó niðurdælingin væri á svæði utan við vinnslusvæðið ef fjarlægðin milli niðurdælingar- og vinnsluholna væri stutt (<200 m).

Áhrif niðurdælingar fyrstu 30 ár vinnslunnar virðast því aðallega vera að viðhalda vinnslunni út þann tíma og þannig lengja nýtingartíma kerfisins fram yfir þau tímamörk. Fyrir sértækari aðstæður en hér er reiknað með geta áhrifin þó verið meiri þannig að orkuvinnsla eykst jafnframt því að nýtingartími kerfisins lengist.

6. LÍFTÍMI LOKAÐRA KERFA

Endingartími lokaðra jarðhitakerfa, eða jarðhitakerfa sem hafa mjög takmarkað náttúrulegt aðstreymi, ræðst af stærð þeirra og hversu hratt þau eru nýtt. Með samanburði við nokkur þekkt jarðhitakerfi í heiminum má álykta að lítil jarðhitakerfi séu að flatarmáli minni en $1,5 \text{ km}^2$ og stór kerfi stærri en 6 km^2 . Í hópi minni jarðhitakerfa geta talist Bjarnarflag, Hvít-hólar og jafnvel Krafla, en í hópi stórra kerfa teljast Nesjavellir, Bulalo Filipseyjum, Cerro Prieto Mexikó og Wairakei Nýja Sjálandi. Stærð kerfisins sem notað var í þeim dæmum sem hér hefur verið fjallað um var $2,56 \text{ km}^3$ og að flatarmáli $3,2 \text{ km}^2$ þannig að það nálgast að vera í hópi lítilla jarðhitakerfa. Ef lekt jarðhitakerfisins er góð getur eðlileg vinnsla keyrt kerfið í þrot á rúmunum 20 árum ef rýmd þess er ekki einnig meiri. Meiri rýmd og þar með stærra kerfi lengir þennan tíma. Í litlu kerfi takmarkar vökvamagn í kerfinu endingu þess frekar en varmaorka þess. Niðurdælingin kemur því í veg fyrir vökvapurrd í þannig kerfi og lengir nýtingartíma þess.

Í dæmunum fyrir opið jarðhitakerfi þar sem niðurdrátturinn í kerfinu gat dregið að náttúrulegt aðstreymi hafði niðurdælingin mjög lítil áhrif miðað við 30 ára vinnslusögu (sjá töflu 7). Þau tilvik sem hafa verið prófuð eftir að kerfinu var lokað sýna áhrif niðurdælingarinnar betur, en þeirra fer oftast ekki að gæta að ráði fyrr en eftir nokkurra ára vinnslu. Í flestum þeim tilvikum bætir niðurdælingin afkomu kerfisins, en oft ekki fyrr en eftir 20-30 ára vinnslu. Áhrif niðurdælingar eru því sýnilegust eftir þann vinnslutíma, þó niðurdælingin hafi byrjað við upphaf vinnslu. Niðurdælingin lengir endingartíma jarðhitakerfisins og heldur uppi hærra vinnslustigi úr því. Líftími kerfisins ákvarðast því af kröfum um afl úr kerfinu og síðan af því hvenær kælifrontur niðurdælingarinnar nær til vinnsluholnanna, en áætla má staðsetningu hans út frá magni niðurdælingar og hlutfalli varmarýmdar í vökva og bergi (S.M. Benson og G.S. Bodvarsson, 1982).

$$r^2 = \frac{(\rho C)_i}{(\rho C)_k} \frac{Q_t}{\pi H}$$

Hér er ρ eðlisþyngd og C eðlisvarmi, en i á við niðurdælingarvökvann og k á við jarðhitakerfið. Fyrir gefnar stærðir í töflu 1 má áætla færslu kælifronts á hverjum tíma samkvæmt;

$$r = \sqrt{20,66 \times Q_t} \quad \text{eða} \quad r = \sqrt{16527 \times Q_t/H}$$

þar sem Q er magn niðurdælingar (kg/s), t er tími (ár) og H er þykkt kerfisins (m). Með því að snúa ofangreindum jöfnum við má áætla tímamann sem það tekur kælifrontinn að ná til vinnsluholnanna. Þá sést að það tekur kælifrontinn minnst 4 ár að ná til vinnsluholnanna fyrir uppsetningu I og mestu niðurdælingu, um 55 ár fyrir uppsetningu II og um 38 ár fyrir uppsetningu III. Í reynd dreifist niðurdælingin til beggja laga jarðhitakerfisins svo þessi tími getur allt að því tvöfaldast, en á móti kemur að nokkru áður en kælifronturinn nær til vinnsluholnanna er hiti farinn að lækka við þær sem dregur úr gufuframleiðslunni.

Þó líftími kerfisins ákvarðist að nokkru af því hvenær kælifronturinn nær til vinnsluholnanna vegna þess að um og eftir það lækkar hiti stöðugt við þær, þá getur verið möguleiki að vinna afl úr kerfinu allmörg ár eftir það. Það ræðst af því hversu skarpur kælifronturinn er, sem aftur ákvarðast af magni niðurdælingar, hreyfanleika hvers vökvafasa og fleiri eðliseiginleikum.

7. UMRÆÐA UM STAÐSETNINGU NIÐURDÆLINGARHOLNA

Hér hafa verið prófuð þrjú mynstur innbyrðis afstöðu vinnsluholna og niðurdælingarholna. Þegar horft er til raforkuframléiðslu skilaði niðurdæling sem dreift var innan um vinnsluholurnar minnstum árangri. Í sumum þeirra tilfella gæti niðurdæling jafnvel dregið úr raforkuvinnslu umfram það sem væri án niðurdælingar. Vegna lítillar fjarlægðar milli vinnslu- og niðurdælingarholna dregur niðurdælingin fljótt úr niðurdrætti, eykur rennslið, en samhliða þessu minnkar vermi vökvans svo gufuframleiðsla breytist lítið. Svæðið milli og umhverfis vinnslu- og niðurdælingarholurnar kólnar hratt, á skömmum tíma getur kælifronturinn náð að vinnsluholum, en þar utan við verða litlar breytingar á ástandi kerfisins. Með þessari uppsetningu nýtist varmaorka kerfisins ekki utan við vinnslusvæðið.

Niðurdæling samkvæmt tvíþól uppsetningu og eins við útjaðra kerfisins gaf jákvæðan árangur. Fyrir þau mynstur tekur það kælifrontinn mun lengri tíma að nálgast vinnsluholurnar og niðurdælingarvökvinn vinnur varma úr mun stærri hluta jarðhitakerfisins. Tvíþól uppsetningin gaf heldur meiri aukningu í rafafli en niðurdæling við útjaðra, hins vegar gæti endingartíminn verið skemmri fyrir þá uppsetningu. Ef lítið er til fleiri þátta virðist niðurdæling við útjaðrana koma betur út. Varmanám úr jarðhitakerfinu er betra því niðurdælingin dreifist meir um kerfið. Viðhald þrýstings í kerfinu er gott og vinnslusvæðið helst heitt á vinnslutímanum. Það tekur kælifrontinn langan tíma að nálgast vinnsluholurnar svo endingartími kerfisins er langur.

Þó niðurstöður þeirra dæma sem hér hafa verið prófuð "aðhyllist" niðurdælingu með tvíþól uppsetningu og að hún fari fram við útjaðra kerfisins, þá getur eitthvert sambland allra þriggja mynstranna gefið mestu aukningu rafafls, og á það sérstaklega við ef stefnt er að aukningu þess á fyrri hluta endingartíma kerfisins. Þannig eru vísbendingar um að fyrir gufukerfi geti verið betra að byrja niðurdælingu nálægt vinnsluholum til að draga sem mest úr niðurdrætti á skemmstum tíma. Eftir að gufan blotnar er kerfið komið í tveggja fasa ástand og þá þyrfti að færa niðurdælinguna burtu frá vinnslusvæðinu í samræmi við fyrri niðurstöður. Eins ef lekt kerfisins er lítil getur þurft að byrja niðurdælingu nálægt vinnsluholum til að draga úr niðurdrætti. Síðan yrði að færa niðurdælinguna fjær vinnslusvæðinu áður en hætta er á að kælifronturinn nái til þeirra. Vegna þyngdarsviðs og mismunar í eðlisþunga niðurdælingarvökva og þess vökva sem er fyrir í kerfinu þá leitar niðurdælingarvökvinn niður í kerfið. Viðhald þrýstings verður því hlutfallslega meira dýpra í kerfinu en grunnt í því. Ekki er unnt út frá fyrirbyggjandi niðurstöðum að meta hvort betra sé að dæla grunnt til kerfisins eða til dýpri hluta þess.

8. SAMANDREGNAR NIÐURSTÖÐUR ÞESSA ÁFANGA

- Líkanið hefur verið keyrt yfir 160 sinnum til að kanna áhrif niðurdælingar á afköst jarðhitakerfis. Prófuð voru þrjú mynstur milli afstöðu vinnslu- og niðurdælingarholna. Einnig var prófað að hafa kerfið í byrjun í vatnsfasa, tveggja fasa og í gufufasa. Um 2/3 hluti keyrslna sem lokið er voru fyrir tveggja fasa opið kerfi, en í þessum áfanga var megin áherslan á tveggja fasa jarðhitakerfi.
- Fyrir opin tveggja fasa kerfi eða tveggja fasa jarðhitakerfi með náttúrulegt aðstreymi og miðað við 30 ára vinnslusögu var lítil bót af niðurdælingu. Ef niðurdælingunni var dreift á holar inni á vinnslusvæðinu í þannig tilfelli gat niðurdælingin jafnvel dregið úr afköstum kerfisins þegar miðað er við raforkuframleiðslu.
- Jarðhitakerfi með mikla lekt og nægt náttúrulegt aðstreymi þurfa því ekki niðurdælingu til að halda uppi afköstum kerfisins. Niðurdæling gæti hins vegar reynst heppileg í sumum þannig tilfellum til að stýra varmanámi úr kerfinu.
- Fyrir jarðhitakerfi með takmarkað aðstreymi og ef niðurdælingunni er dreift milli vinnsluholnana þá virðist henta betur að niðurdælingin nái til dýpri hluta kerfisins. Suða viðhelst þá lengur grunnt í kerfinu og gufuvinnslan verður meiri. Einnig viðhelst þrýstingur betur í kerfinu þannig.
- Aðskilin vinnslu- og niðurdælingarsvæði (tvíþól uppsetning) og niðurdæling við útjaðra juku afköst kerfisins. Aukinna afkasta fór þó almennt ekki að gæta fyrr en eftir um 20 ára vinnslu. Álykta má af því að niðurdæling í nokkurri fjarlægð frá vinnslusvæðinu bæti afköst kerfisins á seinni hluta afskriftartíma virkjana og eftir þann tíma.
- Niðurdæling með tvíþól uppsetningu og við útjaðra juku afköst jarðhitakerfisins og lengdu endingartíma þess. Endingartíminn eykst með því rúmmáli sem niðurdælingarvökvinn nær að vinna varmann úr. Því ber við hönnun niðurdælingar að stuðla að sem bestu varmanámi úr jarðhitakerfinu. Þar á eftir kemur að draga úr niðurdrætti með því að viðhalda þrýstingi í kerfinu. Til að ná fram báðum þessum markmiðum þarf að dæla niður álíka miklu vatnsmagni og tekið er úr kerfinu.

9. HEIMILDIR

- Benson, S.M. og G.S. Bodvarsson, 1982: Nonisothermal effects during injection and falloff tests. Society of Petroleum Engineers 57th Annual Fall Technical Conference and Exhibition. Paper SPE-11137. s. 16.
- Bodvarsson, G.S., S.M. Benson, O. Sigurdsson, V. Stefansson, og E.T. Eliasson, 1984a: The Krafla geothermal field, Iceland. 1. Analysis of well test data. Water Resources Research, Vol. 20(11), s. 1515-1530.
- Bodvarsson, G.S., K. Pruess, V. Stefansson og E.T. Eliasson, 1984b: The Krafla geothermal field, Iceland. 2. The natural state of the system. Water Resources Research, Vol. 20(11), s. 1531-1544.
- Bodvarsson, G.S., K. Pruess, og M.J. O Sullivan, 1985a: Injection and energy recovery in fractured geothermal reservoirs. Soc. Petroleum Eng. J., s. 303-312.
- Bodvarsson, G.S., K. Pruess, V. Stefansson, S. Bjornsson og S.B. Ojiambo, 1985b: A summary of modeling studies of the East Olkaria geothermal field, Kenya. Geothermal Resources Council 1985 International Volume, s. 295-301.
- Bodvarsson, G.S. og V. Stefansson, 1989: Some theoretical and field aspects of reinjection in geothermal reservoirs. Water Resources Research, Vol. 25(6), s. 1235-1248.
- Bodvarsson, G.S., S. Bjornsson, A. Gunnarsson, E. Gunnlaugsson, O. Sigurdsson, V. Stefansson og B. Steingrimsson, 1990: The Nesjavellir geothermal field, Iceland. Part 1. Field characteristics and development of a three-dimensional numerical model. Geothermal Sci. and Tech., Vol. 2(3), s. 189-228.
- James, R. 1979: Reinjection strategy. Proc. 5th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford, California, s. 355-359.
- Ómar Sigurðsson, Þórður Arason og Valgarður Stefánsson, 1995: Reinjection strategy for geothermal systems. Proceedings of the World Geothermal Congress 1995, Vol. 3, s. 1967-1971.
- Pruess, K. 1986: TOUGH User's Guide. Lawrence Berkeley Laboratory, Earth Sciences Division, Berkeley, California, s. 85.
- Valgarður Stefánsson, 1992: Geothermal Reinjection Experience. Invited paper presented at the United Nations Workshop on Reinjection of Geothermal Fluids in Volcanic Environment. San José, Costa Rica, 10.-12. November 1992, s. 34.

VIÐAUKAR

Samandregnar lýsingar á
útkomu tölvukeyrslna

VIÐAUKI 1. Keyrslur fyrir tveggja fasa opið kerfi

Til að fá fram áhrif niðurdælingar var fyrir hverja uppsetningu keyrt dæmi án niðurdælingar til viðmiðunar. Vinnslutíminn var almennt 30 ár. Töflur V1-1 og V1-2 gefa helstu kennistærðir fyrir rennsli og afl frá grunnkeyrslunum, en síðari umræða byggir á samanburði við þær. Viðmiðunarstærðirnar í töflu V1-1, sem eru frá miðbiki vinnslusögunar, eru nálægt því að svara meðaltalsgildunum yfir 30 ára tímabilið.

Tafla V1-1. Kennistærðir grunnkeyrslna, gildi við 14-16 ára vinnslu.

Uppsetning	Tilfelli	Rennsli (kg/s)			Afl (MW)	
		Skiljuvatn	Gufa	Heildar	Varma	Raf
I og II	A	42	50	92	165	22
	B	126	88	214	325	39
II	C	61	50	111	185	23
	D	143	87	230	344	40
III	A	38	49	87	163	22
	B	129	85	214	326	39
	C	58	49	107	181	23
	D	145	85	230	342	39

Tafla V1-2. Kennistærðir grunnkeyrslna, gildi við 30 ára vinnslu.

Uppsetning	Tilfelli	Rennsli (kg/s)			Afl (MW)	
		Skiljuvatn	Gufa	Heildar	Varma	Raf
I og II	A	41	41	82	143	19
	B	136	75	211	308	34
II	C	58	42	100	161	19
	D	140	79	219	318	36
III	A	41	40	81	141	18
	B	148	75	223	314	34
	C	57	41	98	155	19
	D	146	77	223	316	35

Í undirköflum hér á eftir verður fjallað lauslega um breytingar vegna niðurdælingar fyrir hvert tilfelli sem keyrt var fyrir hverja uppsetningu. Nöfn undirkafila vísa til niðurdælingarmynsturs eða uppsetningar og eru málsgreinar í þeim merktar einkennisstaf viðkomandi tilfellis (A til D). Öll viðmiðun er við grunnkeyrslu sama tilfellis, en um breytileika milli tilfella víssast til töflu 2 í fyrri hluta skýrslunnar og fyrir magn niðurdælingar víssast til töflu 5 á sama stað.

1.1. Niðurdælingu dreift milli vinnsluholna

Hér er niðurdælingaholunum dreift milli vinnsluholnanna og er fjarlægðin milli holna að jafnaði 200-280 m. Prófuð voru tvö tilvik, í öðru var dælt eingöngu í efra lag jarðhitakerfisins (lag 3) en í hinu í neðra lag þess (lag 4). Vinnsluholurnar voru hins vegar opnar til beggja laga. Í töflu V1-3 er tekið saman lauslegt yfirlit um aflbreytingu kerfisins fyrir þessa uppsetningu (uppsetningu I).

1.1.1. Niðurdæling í efra lagið. (skrár rots- áður rows-)

A) Eftir um 6 ára vinnslu hafði heildarrenslið aukist um 33 kg/s (83% af 40 kg/s niðurdælingu) og hélst þannig út vinnslutímann. Skiljuvatn jókst um svipað magn á sama tíma en gufa var óbreytt. Rafafi jókst því ekki en varmaaflið jókst um 25 MW_t. Við 90 kg/s niðurdælingu jókst skiljuvatn um 76 kg/s og heildarrensli um sama magn og var þessi aukning komin fram eftir um átta ár. Gufurensli var nær sama og án niðurdælingar eða ögn minna í lokin. Rafafi var því nær óbreytt en varmaaflið jókst um 50 MW_t.

B) Á 6-7 árum hefur skiljuvatn aukist um 81 kg/s og heildarrenslið um 73 kg/s fyrir 130 kg/s niðurdælingu. Aðeins hefur dregið úr gufurensli miðað við keyrslu án niðurdælingar. Eftir um 5 ára vinnslu hefur rafafi því minnkað um 3 MW_e og eftir 22 ár um meir en 5 MW_e. Varmaaflið er hins vegar um 40 MW_t hærra til að byrja með, en það dregur úr því og það er um 25 MW_t hærra eftir rúm 20 ár. Þegar dælt er niður 220 kg/s eykst heildarrenslið um 108 kg/s. Skiljuvatnið eykst um 124 kg/s, en það dregur úr gufurensli. Varmaaflið verður allt að 60 MW_t hærra fyrri hluta vinnslusögunnar, en minnkar er á líður og er orðið svipað og fyrr undir lokin. Rafafi minnkar hins vegar og er um 3 MW_e minna eftir 5 ár, eftir 15 ár um 8 MW_e minna og undir lokin nærri 12 MW_e minna.

C) Eftir um 8 ára vinnslu hefur heildarrenslið aukist um 47 kg/s (78%) og er aukningin aðallega skiljuvatn (45 kg/s). Gufurensli er nær eins og fæst án niðurdælingar fyrstu 20 árin en þá dregur aðeins úr því. Varmaaflið eykst um 35 MW_t og rafafi er nær óbreytt, en minnkar um 1 MW_e eftir 20 ár. Við meiri niðurdælingu (110 kg/s) eykst heildarrenslið um 74 kg/s. Skiljuvatnið eykst um 77 kg/s og nú dregur fyrr af gufurenslinu eða eftir um 13 ár. Varmaaflið er að jafnaði um 45 MW_t hærra en án niðurdælingar, en rafafi minnkar hins vegar um 1-2 MW_e eftir 13-15 ár.

D) Á um 6-8 ár hefur heildarrenslið aukist um 70 kg/s (48%). Þar er aukning í skiljuvatni um 79 kg/s, en aðeins dregur úr gufurensli er á líður vinnslusöguna. Í byrjun eykst því varmaaflið um allt að 35 MW_t, en er orðið nær það sama og áður undir lokin. Rafafi minnkar hins vegar, í fyrstu um 1 MW_e sem er orðið um 5 MW_e eftir um 15 ár og undir lokin hefur það minnkað um 7 MW_e. Við meiri niðurdælingu (230 kg/s) er aukningin í heildarrensli um 95 kg/s (41%). Aukningin í skiljuvatni er um 111 kg/s, en á móti dregur úr gufurensli og fer þess að gæta eftir um 8 ár. Varmaaflið er aðeins meira í upphafi, en það dregur jafnt og þétt úr því svo það er svipað eða minni undir lokin. Rafafi minnkar hins vegar eftir um 8 ár og dalar síðan út vinnslusöguna. Minnkunin nemur í byrjun um 5 MW_e, en er orðin um 13 MW_e undir lokin.

1.1.2. Niðurdæling í neðra lagið. (skrár rotm- áður rowm-)

A) Heildarrenslið eykst fljótlega um 35 kg/s (87%) sem er nær eingöngu aukning í skiljuvatni. Gufurenslið er hins vegar óbreytt út tímabilið. Rafafið breytist því ekki, en varmaaflið

eykst um 25 MW_t. Meiri niðurdæling eykur heildarennslíð um 62 kg/s og er aukning í skiljuvatni rúmlega það. Gufurennslíð dalar aðeins eftir um 20 ár. Varmaaflið eykst um 44 MW_t. Rafaflið er nær sama og án niðurdælingar en minnkar þó um 1-2 MW_e eftir rúm 20 ár.

B) Heildarrennslíð eykst fljótlega um 51 kg/s (af 60 kg/s). Skiljuvatnið eykst um 60 kg/s. Þetta eykst svo eitthvað meira út vinnslusöguna, en að sama skapi dregur úr gufurennslínu. Varmaaflið eykst lítillega eða um 25 MW_t fyrstu 15 árin, en er orðið það sama og án niðurdælingar eftir rúm 20 ár. Úr rafafli dregur eftir um 8 ár og hefur það minnkað um 5 MW_e eftir 15 ár og um 10 MW_e undir lokin. Við 220 kg/s niðurdælingu eykst heildarrennslíð um 92 kg/s (42%). Skiljuvatnið eykst um 111 kg/s, en gufurennslíð minnkar. Aukning varmaafis er svipuð og áður eða um 25-30 MW_t og minnkar í það sama við um 22 ár. Rafaflið minnkar hins vegar meira eða um 10 MW_e eftir 15 ár og um 15 MW_e undir lokin.

C) Heildarrennslíð eykst fljótlega um 40 kg/s (67%), en eftir um 20 ár dregur aftur úr því og er aukningin þá um 29 kg/s. Skiljuvatn hagar sér á svipaðan hátt, eykst í byrjun um 40 kg/s og minnkar í 31 kg/s. Gufurennslíð er nær óbreytt, en minnkandi undir lokin. Rafafli er því nær óbreytt eða rúmu 1 MW_e lægra í lokin. Varmaaflið eykst lítillega eða um 20-25 MW_t. Meiri niðurdæling eykur heildarrennslíð um 62 kg/s og er aukningin aðallega skiljuvatn. Lítillega dregur úr gufurennslínu eftir um 20 ár. Rafafli er því svipað fyrstu 20 árin, en lækkar þá um 1-3 MW_e. Varmaaflið er í fyrstu um 45 MW_t hærra, en undir lokin er aukningin um 30 MW_t.

D) Heildarrennslíð eykst aðeins um 54 kg/s (37%) meðan skiljuvatn eykst um meira en 67 kg/s, því á móti dregur úr gufurennslí. Eftir um 10 ára vinnslu fer rafafli því minnkandi og hefur það minnkað um rúm 5 MW_e eftir 15 ár og um 11 MW_e undir lokin. Varmaaflið er í fyrstu aðeins hærra, en eftir rúm 10 ár nálgast það að vera það sama og án niðurdælingar. Niðurdæling upp á 230 kg/s eykur heildarrennslíð um 83 kg/s. Aukning í skiljuvatni er um 102 kg/s. Gufurennslíð byrjar að minnka eftir um 6 ár. Rafafli minnkar því eftir um 6 ár og hefur minnkað um rúm 10 MW_e eftir 15 ár og um 15 MW_e undir lokin. Varmaaflið er aðeins meira í byrjun en eftir 12-14 ár er það svipað og án niðurdælingar.

1.1.3. Niðurdæling í bæði lögum (skrár rowt-)

Tvær keyrslur voru gerðar til að sjá mismuninn ef niðurdælingunni væri leyft að dreifast til beggja laga jarðhitakerfisins. Prófað var tilfelli A fyrir niðurdælingu skiljuvatns og tilfelli D fyrir heildarrennslí.

A) Niðurdrætti í efra lagi kerfisins svipar til þess er fæst í grunnkeyrslunni án niðurdælingar, en í neðra laginu er hann um 5 bar minni. Niðurdráttur í efra laginu er eins og þegar niðurdælingunni er dreift djúpt og í neðra laginu eins og þegar henni er dreift grunnt. Hitadreifingin er á milli þess er fæst úr hinum keyrslunum. Breytingar í rennslí eru nær eins og fyrir niðurdælingu grunnt. Í samanburði við niðurdælingu djúpt er skiljuvatn og heildarrennslí aðeins minna fyrstu 8 árin, en verður þá nær það sama og er orðið örlítið meira undir lokin. Breytingar í gufurennslí eru nær engar milli þessara dæma. Örlítil aukning er í varma- og rafafli á síðari hluta vinnslusögunar miðað við niðurdælingu djúpt, en er eins og fyrir niðurdælingu grunnt.

D) Niðurdráttur í báðum lögum jarðhitakerfisins er um 8 bar minni en án niðurdælingar og svipar þrýstingsdreifingunni í báðum lögum til þess er fæst fyrir niðurdælingu til efra lagsins. Hitadreifingin svipar einnig til þess þegar dælt er til efra lagsins. Rennslisbreytingar skiljuvatns og heildarrennslis eru aðeins minni, en þegar dælt er eingöngu niður í efra lagið og

er þessi munur allt að 5 kg/s. Gufurennslí er hins vegar nær það sama. Heildarrennslí er hins vegar allt að 10 kg/s meira í samanburði við það að dælt er til neðra lagsins eingöngu. Aukning verður í skiljuvatni í fyrstu, en það verður svo svipað og þegar dælt er til neðra lagsins. Gufurennslí eykst hins vegar aðeins á tímabilinu 8-26 ár. Rafafi er því allt að 2 MW_e hærra á því tímabili og varmaafi um 15 MW_t hærra. Varma- og rafafi er aftur á móti nær það sama og fæst fyrir niðurdælingu til efra lagsins.

1.2. Niðurdælingu víxlað milli vinnslu- og niðurdælingarholna (skrár rowa-)

Fyrir þetta tilfelli var fimmtu niðurdælingarholunni bætt við og hún staðsett þannig að staðsetningarmynstur vinnslu- og niðurdælingarholna væri eins. Þetta var gert til að auðvelda víxlun á hlutverkum holnana. Á tveggja ára fresti skiptu síðan vinnslu- og niðurdælingarholur um hlutverk. Vegna þessa þurfti minnst 15 keyrslur til að líkja eftir 30 ára vinnslusögu. Aðeins voru keyrð tvö þannig dæmi (tilfelli A og D) og bæði aðeins fyrir niðurdælingu skiljuvatns til efra lags jarðhitakerfisins. Rétt var byrjað á dæmi D fyrir niðurdælingu heildarrennslis þegar ákveðið var að breyta randskilyrðunum.

A) Í samanburði við grunnkeyrslu án niðurdælingar er hiti í efra lagi jarðhitakerfisins svipaður. Hiti í neðra laginu er um 8 °C hærra við holurnar með niðurdælingunni. Þrýstifall er um 2 bar í efra laginu við holurnar, en í neðra laginu er þrýstingur þar um 8 bar hærra. Með sömu viðmiðun eykst heildarrennslíð fljótlega (á 4-5 árum) að meðaltali um allt að 30 kg/s og helst þannig út vinnslusöguna í 30 ár. Aðallega er rennslisaukningin skiljuvatn, en einnig er örlítil aukning í gufurennslí. Undir lok vinnslusögunar virðist gufurennslí því um 7 kg/s meira en í grunnkeyrslunni. Varmaafið eykst því að meðaltali um 28 MW_t og rafafi er um 1,5-2 MW_e hærra. Vegna hlutverkaskipta holnanna tekur nokkurn tíma eftir hverja skiptingu fyrir suðu að magnast við fyrrum niðurdælingarholu. Rennslisferlarnir verða því ekki samfelld aflíðandi heldur taka á sig sagtanna mynstur. Þannig er ekki víst að raunaukning sé í gufurennslí og þar með rafafli.

Rétt er að bera þetta dæmi einnig saman við það er niðurdæling er til ákveðna holna. Þá fæst að hitafall næst vinnsluholunum er að jafnaði allt að 30 °C minna í efra lagi kerfisins þegar hlutverki holnana er víxlað, en aðeins nokkrum gráðum minna í neðra lagi þess. Niðurdráttur í báðum lögum kerfisins er hins vegar svipaður. Aukning í heildarrennslí er svipuð eða örlítil minni. Á sama hátt er aukning skiljuvatns aðeins minni og aukning virðist vera í gufurennslí. Aukning varmaafis er því svipuð, en rafafi virðist aukast eftir um 8 ára vinnslu um allt að 2 MW_e.

D) Í samanburði við keyrslu án niðurdælingar er hitafall við holurnar um 20 °C meira í efra lagi kerfisins, en svipað í neðra laginu. Niðurdráttur í báðum lögum jarðhitakerfisins er um 5 bar minni. Heildarrennslí eykst fljótlega um rúm 70 kg/s. Aukning skiljuvatns er um 87 kg/s, en gufurennslí minnkar um 16 kg/s. Varmaafi vex því um 20 MW_t og helst nokkurn veginn þannig út vinnslusöguna, en rafafi minnkar um 8 MW_e. Þegar samanburður er gerður við samskonar dæmi nema með fastar niðurdælingarholur fæst að hitafallið við holurnar er mun minna í báðum lögum kerfisins. Í efra lagi kerfisins er hitafallið allt að 40 °C minna og í neðra laginu um 16 °C minna. Niðurdráttur er hins vegar svipaður í báðum lögum. Aukning heildarrennslis er sambærileg, en virðist vera að aukast meira undir lokin. Rennslisskiptingin er hins vegar aðeins breytt þannig að aukning skiljuvatns er um 7 kg/s meiri, en gufurennslí er um 3 kg/s

minna. Gufurennslí nálgast svo að vera eins undir lokin. Varmaafið er því sambærilegt eða 5-10 MW_t minna fyrri hluta vinnslutímabilsins og rafafið um 1 MW_e minna fyrri hluta tímabilsins en sama undir lokin.

Tafla V1-3. Lauslegt yfirlit afbreytinga eftir 30 ára vinnslu fyrir uppsetningu I.

Niðurdæling skiljuvatns								
Tilfalli	Efra lag		Neðra lag		Bæði lög		Víxlað	
	MW _t	MW _e						
A	+25	0	+25	0	+25	+0	+28	+2
B	+25	-5	0	-10				
C	+35	-1	+20	-1				
D	0	-7	0	-11			+20	-8
Niðurdæling heildarrennslis								
A	+50	-0	+44	-2				
B	0	-12	0	-15				
C	+45	-2	+30	-3				
D	0	-13	0	-15	+0	-13		

1.3. Niðurdæling við útjaðra (skrár rotb- áður rowb-)

Í þessu tilfalli eru niðurdælingarholurnar staðsettar við horn vinnslusvæðisins, en vinnsluholurnar um miðbik þess. Fjarlægð milli vinnslu og niðurdælingar er minnst 720 m og fyrir flestar vinnsluholurnar yfir 850 m. Dælt er niður í efra lag jarðhitakerfisins (lag 3). Vinnslusagan nær yfir 30 ár. Lausleg samantekt afbreytinga fyrir þessa uppsetningu er gefin í töflu V1-4.

A) Heildarrennslí eykst lítið í byrjun (7 kg/s), en er að aukast út vinnslusöguna og hefur í lokin aukist um 19 kg/s. Þessi aukning samsvarar aukningu skiljuvatns, en gufurennslí breytist ekki. Því breytist rafafið ekki, en varmaafið smá eykst og hefur hækkað um 18 MW_t undir lokin. Við meiri niðurdælingu kemur aukning í heildarrennslí fyrir fram, en hegðunin er sama og áður. Við um 10 ár er aukning heildarrennslis um 21 kg/s og undir lokin um 38 kg/s. Breytingar skiljuvatns eru samsvarandi, en einnig verður vart örflíttar aukningar í gufurennslí (2 kg/s). Rafafið eykst því um allt að 1 MW_e og varmaafið um 20-30 MW_t.

B) Við mikla lekt eykst heildarrennslíð nokkuð eftir 14-16 ára vinnslu eða um 63 kg/s. Aukningin verður nær öll í skiljuvatni því gufurennslí breytist lítið nema í lokin er það dalar smávegis. Rafafið breytist því lítið, en minnkar í lokin um 1 MW_e. Varmaafið eykst eftir 14-16 ár um allt að 42 MW_t. Sama hegðun á sér stað við meiri niðurdælingu, en skiljuvatn og þar með heildarrennslí taka að aukast eftir 8-10 ár. Heildarrennslí eykst um allt að 83 kg/s, sem er aðallega skiljuvatn, því nær engin breyting verður í gufurennslí. Rafafið breytist því ekki, en varmaafið eykst um allt að 65 MW_t.

C) Við mikið grop eykst skiljuvatn og þar með heildarrennslí lítillega, en gufurennslí er óbreytt. Aukningin nemur um 9 kg/s og er aðeins meiri undir lokin. Rafafið breytist ekki og varmaafið eykst aðeins um rúm 8 MW_t. Svipuð hegðun er við meiri niðurdælingu. Þá eykst skiljuvatn og því heildarrennslí um rúm 19 kg/s (24 kg/s undir lokin). Rafafið verður sama og áður og varmaafið eykst um 16-25 MW_t.

D) Við mikla lekt og mikið grop breytist gufurennslíð ekki, en skiljuvatn og þar með heildarrensli fara að aukast eftir um 6 ára vinnslu og eru vaxandi út vinnslusöguna. Rennslíð vex um 16 kg/s eftir 6-10 ára vinnslu og upp í um 54 kg/s undir lokin. Rafafi breytist ekki, en varmaafi eykst um 12 MW_t í fyrstu og um 33 MW_t undir lokin. Meiri niðurdæling eykur ekki gufurennslí heldur eingöngu skiljuvatn og heildarrensli. Rennslisaukningin kemur vel fram eftir 6 ára vinnslu (25 kg/s) og eykst til loka vinnslusögunnar um 70 kg/s (30%). Rafafi breytist því ekki, en varmaafi er að aukast um 25 MW_t og upp um 50 MW_t undir lokin.

1.4 Niðurdæling samkvæmt tvíþól (efra lag) (skrár rotd- áður rowd-)

Vinnsluholunum fimm er hér dreift um suður hluta vinnslusvæðisins, en niðurdælingarholurnar eru í hnapp á norður hluta þess. Minnst er fjarlægðin milli rennslisþólanna 600 m. Dælt er niður í efra lag jarðhitakerfisins (lag 3). Vinnslusagan er 30 ár og er lauslegt yfirlit aflbreytinga í lok hennar gefið í töflu V1-4 fyrir þessa uppsetningu.

A) Eftir um 4 ára vinnslu fer skiljuvatn og því heildarrensli að aukast, en gufurennslí breytist nær ekkert þó má greina örliða aukningu í því. Heildarrenslið eykst um 12 kg/s í byrjun og hefur aukist um 23 kg/s undir lokin. Nær engin breyting verður á rafafi, en varmaafi er að aukast um allt að 19 MW_t undir lokin. Meiri niðurdæling eykur lítillega gufurennslíð, en aðallega er aukningin í skiljuvatni sem kemur fram eftir 2-4 ár. Skiljuvatnið eykst um 26-43 kg/s og heildarrenslið um 29-45 kg/s. Rafafi eykst því um 1-2 MW_e og varmaafið um 25-40 MW_t.

B) Hér verður nær engin breyting á gufurennslí. Skiljuvatn og þar með heildarrensli aukast og taka kipp eftir um 6 ára vinnslu og eru að aukast út vinnslusöguna. Aukningin nemur 19-57 kg/s. Rafafi breytist því ekki og aukning varmaafis nemur 12-42 MW_t. Aukin niðurdæling hefur lítil áhrif á gufurennslíð, en eykur skiljuvatn og því heildarrensli þeim mun meira. Heildarrenslið er að aukast út vinnslutímabilið nema í blá lokin, þar sem randskilyrði virðast vera að auka aðstreymi í grunnkeyrslunni. Aukning heildarrennlis (skiljuvatns) nemur 44-79 kg/s. Rafafi breytist nær ekkert og varmaafi eykst um 45-62 MW_t.

C) Gufulrensli eykst örliði, en aðallega er þó aukningin í skiljuvatni. Aukningin í heildarrensli nemur um 14-19 kg/s. Rafafi eykst því um eða innan við 1 MW_e og varmaafið um 12-17 MW_t. Meiri niðurdæling eykur gufurennslíð aðeins meira, en aðallega seint á tímabilinu eða eftir rúm 20 ár. Aukning verður í skiljuvatni og því heildarrensli eftir um 2-4 ára vinnslu sem nemur 21-36 kg/s fyrir skiljuvatn og 21-40 kg/s fyrir heildarrenslið. Rafafi eykst því um 1-2 MW_e, aðallega seinni hluta vinnslusögunar. Varmaafi eykst hins vegar um 18-37 MW_t.

D) Niðurdæling hefur hér nær engin áhrif á gufurennslíð, en eykur skiljuvatn og því heildarrenslið. Aukningarinnar fer að gæta að ráði eftir um 6 ára vinnslu og nemur 22-51 kg/s, en rennslíð er að aukast út vinnslusöguna. Rafafi er óbreytt og varmaafi eykst um 16-37 MW_t á tímabilinu. Meiri niðurdæling hefur lítil áhrif á gufurennslíð, en eykur skiljuvatnið og fer þess að gæta að ráði eftir 2-4 ára vinnslu. Aukningin í heildarrensli (skiljuvatni) nemur þannig 28-67 kg/s, sem er vaxandi út tímabilið. Lítil breyting er því á rafafi en varmaafi eykst um 20-54 MW_t.

1.5. Niðurdæling neðan til í þrýstistigul (skrár rotp- áður rowp-)

Til að mynda þrýstistigul var settur mismunaprýstingur yfir jarðhitakerfið og nemur hann í upphafi um 4 bar eða um 2 bar yfir meginhluta jarðhitakerfisins (vinnslusvæðið). Uppstilling vinnslu- og niðurdælingaholna er samkvæmt tvíþólmynstri. Vinnslusagan var 30 ár en ekki náðist að keyra öll dæmin yfir það tímabil. Lauslegt yfirlit um afbreytingarnar í lok vinnslusögunar fyrir þessa uppsetningu er birt í töflu V1-4.

Grunnkeyrsla (án niðurdælingar) fyrir litla lekt og líftíð grop (tilfelli A) gefur heildarrennslið undir lok 30 ára vinnslusögu um 90 kg/s og skiljuvatn um 50 kg/s. Rafafli var að jafnaði rúm 20 MW_e á vinnslutímabilinu og varmaaflið undir lokin 150 MW_t. Fyrir tilfelli B gekk grunnkeyrslan aðeins í 10 ár, en aðrar keyrslur gengu eðlilega.

A) Gufurennslí eykst ekki, en skiljuvatn og þar með heildarrennsli aukast um 12-20 kg/s. Rafafli er því óbreytt og varmaafli eykst um 12-16 MW_t. Meiri niðurdæling eykur gufurennslíð líftíð, en heildarrennsli, aðallega skiljuvatn, eykst um 31-42 kg/s. Rafafli eykst um 1-2 MW_e og varmaafli um 29-40 MW_t.

B) Grunnkeyrslan án niðurdælingar gekk aðeins í 10 ár fyrir þann tölvutíma sem henni var gefinn. Þá var komin mikil suða við vinnsluholurnar í efra lagi jarðhitakerfisins og lífaninu gekk illa að ná samleitni í reikningana. Samanburður takmarkast því hér á milli niðurdælingarkeyrslanna sem gengu eðlilega enda lítil suða þá í jarðhitakerfinu.

Þegar skiljuvatni er dælt niður er þrýstingsstigullinn milli niðurdælingar- og vinnslupólana um 10 bar/km, en nærri 15 bar/km þegar heildarrennsli er dælt niður. Skiljuvatn og heildarrennsli eykst eftir 4-6 ára vinnslu. Heildarrennslið verður um 280 kg/s og um 305 kg/s fyrir 130 kg/s og 220 kg/s niðurdælingu. Þar af verður skiljuvatn um 195 kg/s og 220 kg/s. Gufurennslí er svipað í báðum tilvikum um 90 kg/s, þó eykst það aðeins eftir um 20 ára vinnslu við meiri niðurdælinguna. Varmaafli er því um 375 MW_t og 400 MW_t, en rafafli tæp 40 MW_e. Við minni niðurdælinguna dregur úr rafaflinu eftir um 20 ára vinnslu þannig að undir lok vinnslusögunnar er rafaflið um 36 MW_e en 38 MW_e fyrir meiri niðurdælinguna.

C) Heildarrennsli eykst um 20 kg/s og fer hækkandi eftir um 18-20 ára vinnslu. Undir lokin á 30 ára vinnslusögu er aukning heildarrennslis um 30 kg/s. Þessi rennslisaukning kemur aðallega fram sem skiljuvatn, en gufurennslí eykst lítils háttar (1-2 kg/s). Varmaaflið hefur því aukist um 25 MW_t undir lokin og rafafli um 0,5-1 MW_e. Í neðra laginu (lagi 4) er þrýstingur almennt um 5 bar hærri og hiti eitthvað hærri vegna minni suðu. Í efra laginu (lagi 3) er meiri tvíþólvirkni. Meiri niðurdæling kælir mjög niðurdælingarsvæðið og hækkar þrýsting í báðum lögum jarðhitakerfisins um meir en 10 bar. Suðufrentur verður í kerfinu. Heildarrennsli eykst um 40 kg/s í byrjun og eftir um 16 ár um allt að 50 kg/s. Aukningin er aðallega í skiljuvatni, en gufurennslí eykst um 3-4 kg/s. Varmaafli eykst því um allt að 35 MW_t og rafafli um 2 MW_e.

D) Fyrir mikla lekt og mikið grop eykur niðurdæling heildarrennslið um 50 kg/s og er aukningin nær eingöngu skiljuvatn. Varmaafli eykst um 40 MW_t, en rafafli er nær óbreytt. Mikil kæling er á niðurdælingarsvæðinu og þrýstingur að jafnaði um 5 bar hærri, en í grunnkeyrslunni. Suða er því miklu minni í kerfinu. Meiri niðurdæling eykur kælinguna og hækkar þrýsting enn í báðum lögum um 2-7 bar. Suða er lítil og myndar front sem aðskilur vinnsluholur frá niðurdælingarhlutanum. Heildarrennsli eykst um rúm 75 kg/s, sem er aðallega skiljuvatn. Eftir um 18 ára vinnslu eykst gufurennslíð um allt að 5 kg/s. Varmaaflið eykst því um allt að 70 MW_t og

rafafi um allt að 3 MW_e á tímabilinu.

1.6. Niðurdæling ofan til í þrýstistigul (skrár roth- áður rowh-)

Aðeins tvö dæmi voru keyrð fyrir þessa uppsetningu. Annars vegar tilfelli A fyrir niðurdælingu skiljuvatns og hins vegar tilfelli D fyrir niðurdælingu heildarrennslis. Vinnslusagan var 30 ár og afbreytingarnar í lok hennar eru sýndar í töflu V1-4.

A) Án niðurdælingar myndast þrýstingsstigull að vinnslupólnum sem verður um 15 bar/km í efra lagi jarðhitakerfisins og um 30 bar/km í neðra laginu. Við niðurdælingu skiljuvatns verður þrýstingsstigullinn um 20 bar/km í efra laginu en nær sami og fyrr í neðralaginu. Aukning verður fljótlega í skiljuvatni og þar með heildarrennslis sem nemur um 15 kg/s og virðist það vera að aukast frekar undir lok vinnslusögunar. Gufurennslis breytist hins vegar ekkert á tímabilinu. Varmaafi eykst því um tæp 15 MW_t, en rafafi er óbreytt.

D) Án niðurdælingar verður þrýstingsstigullinn að vinnslupólnum um 10 bar/km í báðum lögum kerfisins. Með niðurdælingu heildarrennslis verður þrýstingsstigullinn um 18 bar/km í efra lagi kerfisins og 13 bar/km í neðra lagi þess. Heildarrennslis vex fyrstu ár vinnslusögunar um 73 kg/s og verður um 300 kg/s. Aukningin er aðallega skiljuvatn sem er vaxandi út vinnslusögunna. Gufurennslis eykst þó lítillega eða um 6 kg/s eftir um 15 ára vinnslu. Varmaafi hækkar því um rúm 60 MW_t og er rúm 380 MW_t undir lok tímabilsins. Aukning rafafis er um 2,5 MW_e eftir um 15 ára vinnslu, en rafafið er rúm 36 MW_e undir lok tímabilsins.

Tafla V1-4. Lauslegt yfirlit afbreytinga eftir 30 ára vinnslu fyrir uppsetningu II og III.

Niðurdæling skiljuvatns								
Tilfelli	Við jaðra		Tvíþóll		Neðan í stigul		Uppi í stigul	
	MW _t	MW _e						
A	+18	0	+19	0	+16	0	+14	0
B	+42	-1	+42	0				
C	+8	0	+17	+1	+25	+1		
D	+33	0	+37	0	+40	+0		
Niðurdæling heildarrennslis								
A	+30	+1	+40	+2	+40	+2		
B	+65	0	+62	+0				
C	+25	0	+37	+2	+35	+2		
D	+50	0	+54	+0	+70	+3	+60	+2,5

VIÐAUKI 2. Keyrslur fyrir tveggja fasa lokað kerfi

Í töflu V2-1 eru birtar helstu viðmiðunarstærðir fyrir keyrslur sem hafa verið gerðar til þessa fyrir lokað tveggja fasa kerfi. Keyrslurnar hafa flestar verið gerðar fyrir 60 ára vinnslusögu. Til að hafa samanburð við keyrslur gerðar fyrir opið kerfi, sem flestar voru aðeins fyrir 30 ára vinnslusögu, voru miðgildi við 14-16 ára vinnslu valin í töfluna. Þau gildi eru jafnframt nálægt meðaltalsgildum yfir 30 ára vinnslusögu. Töflur V2-2 og V2-3 sýna svo sömu viðmiðunarstærðir, annars vegar eftir 30 ára vinnslu og hins vegar eftir 45 ára vinnslu. Af töflunum sést hvernig þessar stærðir breytast er vinnslusagan verður lengri. Þær hjálpa einnig til við að meta tímaáhrifin í jarðhitakerfinu.

Tafla V2-1. Kennistærðir grunnkeyrslanna, gildi við 14-16 ára vinnslu.

Uppsetning	Tilfelli	Rennsli (kg/s)			Afl (MW)	
		Skiljuvatn	Gufa	Heildar	Varma	Raf
I og II	A	17	49	66	147	22
	B	0	79	79	220	36
	C	49	51	100	177	23
	D	52	85	137	279	38
III	A	12	46	58	135	21
	B	0	75	75	212	34

Tafla V2-2. Kennistærðir grunnkeyrslanna, gildi við 30 ára vinnslu.

Uppsetning	Tilfelli	Rennsli (kg/s)			Afl (MW)	
		Skiljuvatn	Gufa	Heildar	Varma	Raf
I og II	A	0	38	38	104	17
	B	0	17	17	49	8
	C	22	41	63	130	19
	D	0	57	57	159	26
III	A	1	31	32	87	14
	B	0	17	17	48	8

2.1. Niðurdælingu dreift milli vinnsluholna. (rcts og rctm)

Tafla V2-4 gefur lauslegt yfirlit um afbreytingar í lok 60 ára vinnslusögu fyrir þetta niðurdælingarmynstur (uppsetning I).

Tafla V2-3. Kennistærðir grunnkeyrslna, gildi við 45 ára vinnslu.

Uppsetning	Tilfelli	Rennsli (kg/s)			Afl (MW)	
		Skiljuvatn	Gufa	Heildar	Varma	Raf
I og II	A	0	21	21	63	10
	B	0	17	17	47	8
II	C	2	33	35	92	15
	D	0	38	38	108	18
III	A	0	24	24	67	11
	B	0	16	16	47	8

2.1.1 Niðurdæling til efra lags jarðhitakerfisins (rcts)

A) Fyrir niðurdælingu skiljuvatns er niðurdráttur svipaður í efra lagi jarðhitakerfisins og án niðurdælingar. Í neðra laginu er niðurdrátturinn hins vegar um 7 bar minni. Utan miðju svæðisins, þar sem bæði vinnslu- og niðurdælingar holar eru staðsettar, er mikil suða og nálgast að vera þurr gufa. Kælifronturinn hefur náð vinnsluholunum eftir rúmlega 40 ára vinnslu. Án niðurdælingar verða vinnsluholurnar þurrar eftir 26 ára vinnslu, en það gerist ekki með niðurdælingu. Skiljuvatn eykst og nær nokkurn veginn jafnvægi eftir 26 ár, en gufurennslíð dalar eins og þegar engin niðurdæling er. Eftir 60 ára vinnslu er heildarrennslíð um 41 kg/s. Þar af er gufurennslíð 14 kg/s og skiljuvatn 27 kg/s. Varmaafli eykst að jafnaði um 26 MW_t, en rafafi breytist lítið. Við meiri niðurdælingu dregur úr niðurdrætti og er hann um 5 bar minni í efra laginu og 9 bar minni í neðra lagi kerfisins miðað við grunnkeyrsluna. Kælifronturinn nær vinnsluholunum eftir rúm 24 ár og suða verður minni við þær. Skiljuvatn eykst töluvert, en gufurennslí er nær óbreytt. Heildarrennslíð eftir 60 ára vinnslu er um 73 kg/s. Aukning varmaafis er þá um 43 MW_t meðan rafaflið breytist nær ekkert.

Ofangreindar breytingar má sjá nánar á myndum V2-1 og V2-2. Jafnframt má sjá á mynd V2-3 hvernig uppsöfnuð raforkuvinnsla breytist út vinnslusöguna. Samkvæmt myndinni er raforkuvinnslan að smá aukast út vinnslusöguna fyrir 40 kg/s niðurdælingu, en fyrir 90 kg/s niðurdælingu eykst raforkuvinnslan ekkert eftir um 22 ára vinnslu og eftir 35 ára vinnslu skilar niðurdælingin minni raforkuvinnslu en grunnkeyrslan sem er án niðurdælingar.

2.1.2. Niðurdæling til neðra lags jarðhitakerfisins (rctm)

A) Niðurdráttur verður um 2 bar minni í efra lagi jarðhitakerfisins og um 11 bar minni í neðra laginu. Kælifronturinn virðist ná að vinnsluholunum eftir um 26 ára vinnslu og suða kafnar í neðra laginu umhverfis vinnsluholurnar eftir um 40 ára vinnslu. Skiljuvatn eykst og þar með heildarrennslí um 35 kg/s, en það dregur úr því er líður á vinnslusöguna og er aukningin eftir 60 ára vinnslu um 23 kg/s. Gufurennslí er óbreytt og rafafi því einnig. Varmaaflið eykst hins vegar um 26 MW_t. Aukin niðurdæling minnkar niðurdráttinn í efra lagi jarðhitakerfisins um önnur 2 bar og í neðra laginu um önnur 8 bar. Suða viðhelst í efra laginu en er kæfð í neðra laginu eftir 4 ára vinnslu. Kæling byrjar um 2 árum seinna við vinnsluholurnar. Veruleg aukning er í skiljuvatni og er heildarrennslíð eftir 30 ára vinnslu um 106 kg/s, en um 72 kg/s eftir 60 ára vinnslu. Lítil breyting verður á gufurennslí. Gufurennslíð minnkar um miðbik vinnslusögunar um tæp 5 kg/s, en eykst eftir um 50 ára vinnslu og við 60 ár nemur aukningin um

5 kg/s. Rafafi breytist eins, þ.e. minnkar um 2 MW_e um miðbik vinnslusögunar og eykst um 2 MW_e undir lok hennar. Varmaafi hækkar að jafnaði um 48 MW_t.

Þessar breytingar má sjá nánar á myndum V2-4 og V2-5. Á mynd V2-6 sést síðan hvernig uppsöfnuð raforkuvinnsla breytist út vinnslusöguna. Af myndinni sést að minni niðurdælingin hefur nær engin áhrif á raforkuvinnsluna. Fyrir meiri niðurdælingu verður raforkuvinnslan nokkru minni heldur en ef engin niðurdæling væri notuð.

B) Niðurdráttur í efra lagi kerfisins er um 6 bar minni og í neðra lagi þess um 34 bar minni. Suða helst í efra laginu við vinnsluholurnar út vinnslusöguna, en er kæfð í neðra laginu í byrjun hennar eða eftir um 2 ára vinnslu. Kælifronturinn nær til vinnsluholnana eftir um 45 ára vinnslu og hækkar þá nokkuð snögglega þrýstingurinn í neðra laginu við þær um allt að 14 bar. Án niðurdælingarinnar verða vinnsluholurnar þurrar eftir 10 ára vinnslu og vatnspurrðar gætir við þær eftir um 22 ár er kerfið verður einfasa gufa. Hins vegar með niðurdælingu eykst heildarrenslið og munar þar mestu eftir 22 ára vinnslu, en þá er aukning þess að jafnaði um 82 kg/s. Aukningin er aðallega skiljuvatn. Rennslið dalar síðan þar til kælifronturinn nær til vinnsluholnana og þrýstingur hækkar við þær. Þá eykst heildarrenslið um önnur 53 kg/s og er undir lok vinnslusögunar um 143 kg/s. Gufurensli er um 9 kg/s minna á tímabilinu 5-22 ár, en eftir það meira en án niðurdælingar, því dölun þess er hægari. Undir lok vinnslusögunar er það um 22 kg/s. Aukning varmaafis fylgir aukningu heildarrensliis og er mest eftir rúmlega 22 ára vinnslu um 137 MW_t og eftir 50 ára vinnslu 112 MW_t. Rafafi breytist hins vegar í takt við gufurenslið, er um 4 MW_e minna á tímabilinu 5-22 ár og meira eftir það t.d. um 6 MW_e meira við 40 ára vinnslu, en rafafi þá er um 14 MW_e. Aukin niðurdæling minnkar niðurdrátt í kerfinu enn frekar, lítillega í efra laginu en um önnur 6 bar í neðra laginu. Suða kafnar á fyrsta ári vinnslu í neðra laginu og eftir um 50 ára vinnslu í efra laginu. Mikil aukning er í heildarrensli og virðist kælifronturinn ná til vinnsluholnana eftir um 20 ára vinnslu. Heildarrensli undir lok vinnslusögunar er um 186 kg/s, þar af er skiljuvatn um 163 kg/s. Gufurensli minnkar eins og áður á tímabilinu 5-22 ár um 15 kg/s eða nokkuð meira en áður. Gufurenslið er síðan meira eftir það en ekki eins mikið og fyrir minni niðurdælingu. Varmaafi verður um 70 MW_t meira fyrstu 25 árin, en nokkru meira eftir það og er þannig að jafnaði um 140 MW_t meira undir lokin. Rafafi sem breytist með gufurensli verður hins vegar nokkru minna en í fyrra dæminu. Við 40 ára vinnslu er rafafisaukningin aðeins um 3 MW_e og alls er rafafi þá um 11 MW_e.

Breytingar raf- og varmaafis eru sýndar á myndum V2-7 og V2-8. Breyting uppsafnaðrar raforkuvinnslu er svo sýnd á mynd V2-9. Þar sést að ávinningurinn af niðurdælingu heildarrensliis er enginn yfir 60 ára vinnslusögu. Nokkur ávinningur er hins vegar af niðurdælingu skiljuvatns, en þess fer þó ekki að gæta fyrir en eftir 30 ára vinnslu.

2.2. Niðurdæling við útjaðra (rctb)

A) Fyrstu 30 árin er þrýstingsfall (niðurdráttur) svipaður í báðum lögum jarðhitakerfisins og fyrir grunnheyrsluna. Hiti næst vinnsluholunum eða um miðbik vinnslusvæðisins er einnig svipaður. Heildarrenslið eykst um rúm 14 kg/s, sem er nær eingöngu skiljuvatn, en gufurensli er nær sama og án niðurdælingar. Varmaafi hækkar því um 12 MW_t, en rafafi er nærri óbreytt. Við áframhaldandi vinnslu í 60 ár eykst niðurdrátturinn um 7 bar og verður um 3-7 bar minni en án niðurdælingar. Hitinn lækkar einnig við vinnsluholurnar því hann fylgir

Tafla V2-4. Lauslegt yfirlit afbreytinga eftir 60 ára vinnslu fyrir uppsetningu I

Niðurdæling skiljuvatns				
Tilfelli	Efra lag		Neðra lag	
	MW _t	MW _e	MW _t	MW _e
A	26	0	26	0
B			103	2,5
C				
D				
Niðurdæling heildarrennslis				
A	43	+0	48	2
B			131	2,5
C				
D				

þrýstingi vegna suðu. Eftir rúmlega 30 ára vinnslu þorna vinnsluholurnar ef engin niðurdæling er og eftir um 35 ár fer heildarrennslíð/gufurennslíð minnkandi. Með niðurdælingu haldast holurnar blautar og eftir um 40 ár samsvarar heildarrennslíð niðurdælingunni. Gufurennslíð dalar hægar og er um 11 kg/s meira undir lokin en án niðurdælingar. Varmaafi verður því um 75 MW_t undir lok 60 ára vinnslusögu í stað 37 MW_t og rafafið um 11 MW_e í stað 6 MW_e (tafla V2-5). Aukin niðurdæling minnkar niðurdráttinn, aðallega þó í neðra lagi jarðhitakerfisins um tæp 9 bar. Hitinn við vinnsluholurnar verður því hærri og aðallega í neðra laginu. Heildarrennslí dalar lítið eftir um 35 ára vinnslu eða frá 85 kg/s í 78 kg/s, en hlutur skiljuvatns fer vaxandi út vinnslusöguna. Gufurennslíð minnkar rólega út vinnslusöguna og er við lok hennar um 26 kg/s. Nokkur aukning er í varmaafli, sem er undir lok 60 ára vinnslu um 109 MW_t. Rafafi eykst einnig og er undir lokin um 12 MW_e.

Breytingarnar í rafafi og varmaafli fyrir þetta tilfelli eru sýndar á myndum V2-10 og V2-11. Þar sést að raf- og varmaafið eykst aðallega eftir að vinnsla hefur staðið í 35 ár. Segja má að þetta sjáist enn betur á mynd V2-12 sem sýnir breytingu á uppsafnaðri raforkuvinnslu. Þar sést að raforkuvinnslan eykst fyrst að ráði eftir 35 ára vinnslu

D) Þetta tilfelli var keyrt fyrir 60 ára vinnslusögu. Án niðurdælingar myndast mikil suða við vinnsluholurnar þannig að þrýstingur verður svipaður í báðum lögum jarðhitakerfisins, þ.e. lítið þrýstingsstigull. Þegar skiljuvatni er dælt niður verður niðurdráttur í efra laginu aðeins meiri, en í neðra laginu viðheldst hár þrýstingur og suðan verður lítil. Þrýstingur í neðra laginu er um 15 bar hærri en án niðurdælingar. Án niðurdælingar verða vinnsluholurnar þurrar eftir 22 ára vinnslu og eftir 30 ára vinnslu er gufurennslíð 56 kg/s. Þegar vinnslan nálgast 60 ár er jarðhitakerfið að komast í hreint gufuástand alls staðar og því að nálgast vatnspúrrð. Gufurennslí fer þá ört minnkandi úr um 25 kg/s. Með niðurdælingu helst þrýstingur hærri og magn skiljuvatns eykst. Eftir um 18-20 ára vinnslu virðist niðurdælingin ná til vinnsluholnana og rennslíð nálgast jafnvægi. Við 30 ára vinnslu er gufurennslí um 52 kg/s og skiljuvatn um 83 kg/s eða alls 135 kg/s. Gufurennslí er þá örlítið minna en án niðurdælingar. Það verður hins vegar meira eftir um 45 ára vinnslu og undir lok 60 ára vinnslu er það 38 kg/s. Skiljuvatn er þá 87 kg/s og heildarrennslí 125 kg/s. Varmaafið verður mun meira með niðurdælingu eða um 167 MW_t undir lok vinnslusögunar og rafafi um 17 MW_e (tafla V2-5). Við meiri niðurdæl-

ingu (230 kg/s) er jarðhitakerfið flætt við um 45 ára vinnslu og suða hættir þá í því. Rennslið verður mun meira og tekur að aukast eftir um 4 ára vinnslu. Það er einnig jafnara og við 30 ára vinnslu er gufurennslí 66 kg/s, skiljuvatn 124 kg/s og heildarrennslið um 190 kg/s. Gufurennslí dalar aðeins þar til suða hættir í kerfinu eftir um 45 ára vinnslu, en þá eykst það aðeins aftur. Eftir 60 ára vinnslu er því gufurennslí 53 kg/s, skiljuvatn 170 kg/s og heildarrennslið um 223 kg/s eða örlitlu minna en niðurdælingin. Samsvarandi verður varma- og rafafi meira og er undir lok 60 ára vinnslu 273 MW_t og 24 MW_e (tafla V2-5). Þessar breytingar í raf- og varmaafli eru sýndar á myndum V2-13 og V2-14. Jafnframt er sýnt á mynd V2-15 hvernig uppsöfnuð raforkuvinnsla breytist. Samkvæmt myndinni er enginn ávinningur af niðurdælingu skiljuvatns á vinnslutímabilinu. Hins vegar er ávinningurinn töluverður þegar meiru er dælt niður, eingöngu þó á síðari hluta vinnslusögunnar.

Fyrir þetta tilfelli var einnig prófað að breyta magni niðurdælingar á ýmsan hátt. Keyrt var dæmi þar sem meðaltali skiljuvatns yfir 6 ára tímabil var dælt niður. Það var keyrt fyrir 30 ára vinnslusögu og þurfti því 5 keyrslur. Miðað við fast magn skiljuvatns eins og áður hefur verið rætt varð heildarrennslið, aðallega skiljuvatnið, aðeins meira fyrstu 18 árin, en gufurennslí svipað. Síðar verður skiljuvatnið og því heildarrennsli minna, en gufurennslí er að aukast við lok 30 ára vinnslusögu. Varmaaflið verður því örlítið meira og rafafið um 2 MW_e meira undir lokin. Sama dæmi var keyrt fyrir heildarrennsli og í 60 ár alls 11 keyrslur. Þó niðurdæling sé mikil fyrst þá dregur úr henni og hún verður minni undir lok vinnslusögunar (348-156 kg/s) en þegar föst niðurdæling er valin (230 kg/s). Niðurdráttur verður því um 7-9 bar meiri undir lokin og því suða í báðum lögum jarðhitakerfisins út tímabilið og er hún töluverð í efra laginu. Hitafallið er hins vegar svipað í báðum tilvikum og færsla kælifronts svipuð. Rennslið er að jafnaði töluvert meira, aðallega skiljuvatn, en gufurennslí er um 12 kg/s meira. Rennslið dalar út vinnslusöguna og verður aðeins minna eftir 45 ára vinnslu er suða er kæfð í jarðhitakerfinu í fyrri tilvikinu. Gufurennslí er hins vegar lítið minna eftir 60 ára vinnslu. Þar sem heildarrennslið er mun meira að jafnaði samanborið við föstu niðurdælinguna, þá verður varmaaflið megin hluta vinnslusögunnar um 55 MW_t meira (mynd V2-17) og rafafið um 5 MW_e meira (mynd V2-16). Þetta veldur því að aukning í uppsafnaðri raforkuvinnslu verður nær tvöfalt meiri, en þegar föstu meðaltali heildarrennslis er dælt niður (mynd V2-18).

Fyrir þetta tilvik var einnig prófað að dæla niður mjög miklu magni vatns eða 348 kg/s og í allt að 90 ár. Samanborið við föstu venjulegu niðurdælinguna (230 kg/s) verður niðurdráttur meiri en 10 bar minni og jarðhitakerfið er flætt þ.e. suða kæfð eftir um 24-26 ár. Eitthvað dregur frekar úr niðurdrætti er vinnslu er haldið áfram og eftir um 90 ár er kælifronturinn farinn að nálgast vinnsluholurnar og hefur hiti þá lækkað við vinnsluholurnar um 1 °C/ári síðustu 35 árin. Heildarrennsli er um 324 kg/s þar til suða er kæfð í jarðhitakerfinu við um 25 ár, en eftir það er heildarrennslið um 337 kg/s. Veruleg aukning er í skiljuvatni, en einnig eykst gufurennslí úr holunum og er það um 79 kg/s eftir 60 ára vinnslu. Næstu 30 árin dalar gufurennslí aðeins og skiljuvatnið eykst þannig að heildarrennslið helst sama og fyrr. Eftir 90 ára vinnslu er gufurennslí 53 kg/s. Vegna meira rennslis er varmaaflið mun meira en í fyrri tilvikum. Rafafið er eftir 60 ára vinnslu um 35 MW_e og eftir 90 ára vinnslu 24 MW_e. Á myndum V2-16 og V2-17 er sýndur samanburður við fyrri samskonar tilvik fyrir fyrstu 60 ár vinnslusögunar því grunnkeyrslur og fyrri dæmi voru ekki keyrð yfir lengri tíma. Á myndunum sést að rafafi og varmaafi aukast töluvert eftir um 26 ára vinnslu (þegar suða er kæfð), í samanburði við fyrri tilvik. Í þessu dæmi var einnig prófað að dæla niður kaldari vökva (80 °C), en í öðrum dæmum. Kæling verður þá aðeins meiri í jarðhitakerfinu og aðeins dregur úr raf- og varmaafinu.

(myndir V2-16 og V2-17). Mynd V2-18 sýnir svo hvernig uppsöfnuð raforkuvinnsla breytist fyrir þessi tilvik í samanburði við grunnkeyrslu. Þar sést að þessi mikla niðurdæling eykur raforkuvinnsluna verulega umfram fyrri tilvik og ljóst er af fyrirliggjandi keyrslum að þessi aukning heldur áfram fram yfir 90 ára vinnslusöguna.

2.3. Niðurdæling samkvæmt tvíþól (rctd)

Grunnkeyrslur voru keyrðar fyrir tilfelli A og B. Önnur (A) náði ekki að keyra nema í tæp 43 ár fyrir gefin reikniskref, en þá var jarðhitakerfið að fara í fulla suðu. Fyrir tilfelli A verða vinnsluholurnar þurrar eftir rúmlega 30 ára vinnslu og eftir um 43 ára vinnslu stefnir í vatnsþurrð við vinnsluholurnar. Gufurennslu og heildarrennslu er þá tæp 24 kg/s. Varmaafi er þá 67 MW_t og rafafi 11 MW_e. Í tilfelli B er jarðhitakerfið að fara í einfasa gufu eftir 22-26 ára vinnslu og gerist breytingin fyrir í neðra lagi þess. Vinnsluholurnar verða þurrar eftir rúmlega 12 ára vinnslu og vatnsþurrðar gætir eftir 26 ára vinnslu. Þá minnkar heildarrennslu úr 44 kg/s í tæp 16 kg/s og helst þannig út vinnslusöguna. Varmaafi fellur þá úr 126 MW_t í 47 MW_t og rafafi úr 21 MW_e í tæp 8 MW_e.

A) Fyrir 40 kg/s niðurdælingu nær vinnslusagan aðeins yfir rúm 48 ár fyrir gefin reikniskrefa fjölda. Jarðhitakerfið er þá komið í fulla suðu við vinnsluholurnar (vinnslupólinn) og niðurdráttur þar svipaður og án niðurdælingar. Vinnsluholurnar haldast blautar (fram að þeim tíma). Skiljuvatn eykst því um 24 kg/s og heildarrennslu um 27 kg/s. Gufurennslu eykst aðeins eftir rúmlega 20 ára vinnslu. Varmaafi eykst því um rúm 25 MW_t og rafafi um 1 MW_e (sjá myndir V2-19 og V2-20).

Aukin niðurdæling minnkar niðurdráttinn í neðra lagi jarðhitakerfisins, en lítið í efra laginu. Suða helst mikil í efra laginu, en er við það að kafna í neðra laginu. Heildarrennslu eykst mikið nær frá upphafi vinnslusögunnar. Aðallega er aukningin skiljuvatn sem eykst um 81 kg/s, en einnig eykst gufurennslu og er aukningin í því orðin töluverð eftir 30 ára vinnslu eða um 11 kg/s. Varmaafi eykst því um 100 MW_t og rafafi um rúm 6 MW_e (myndir V2-19 og V2-20). Undir lok 60 ára vinnslusögu er heildarrennslu um 130 kg/s og þar af gufurennslu 35 kg/s. Varmaafi er þá 169 MW_t og rafafi 16 MW_e.

Prófað var að keyra þetta tilfelli fyrir enn meiri niðurdælingu eða 130 kg/s. Vegna lágrar lektar vex þrýstingur við niðurdælingarpólinn um nærri 10 bar til viðbótar því sem var fyrir 90 kg/s niðurdælingu, en þrýstingur við vinnslupólinn er svipaður. Þrýstingsstigullinn milli pólanu er því milli 35-50 bar. Suða er kæfð í neðra laginu líklega eftir um 45 ára vinnslu, en hún helst við vinnslupólinn í efra laginu. Skarpar hita- og þrýstingsfrontur hefur myndast milli niðurdælingar- og vinnslupólsins. Heildarrennslu eykst mikið nær frá upphafi vinnslusögunnar. Aðallega er aukningin skiljuvatn, en gufurennslu eykst einnig. Í samanburði við 90 kg/s niðurdælinguna er rennslisaukningin meiri á fyrstu árum vinnslusögunnar, en eftir um 30 ára vinnslu er rennslu og skipting þess svipuð í báðum dæmum. Á seinni hluta vinnslusögunnar er rennslisaukningin hins vegar aðeins minni. Ekki er ljóst hvað veldur því, en undir lok vinnslusögunnar er heildarrennslu 120 kg/s og gufurennslu tæp 30 kg/s. Varmaafi er þá 148 MW_t og rafafi rúm 13 MW_e.

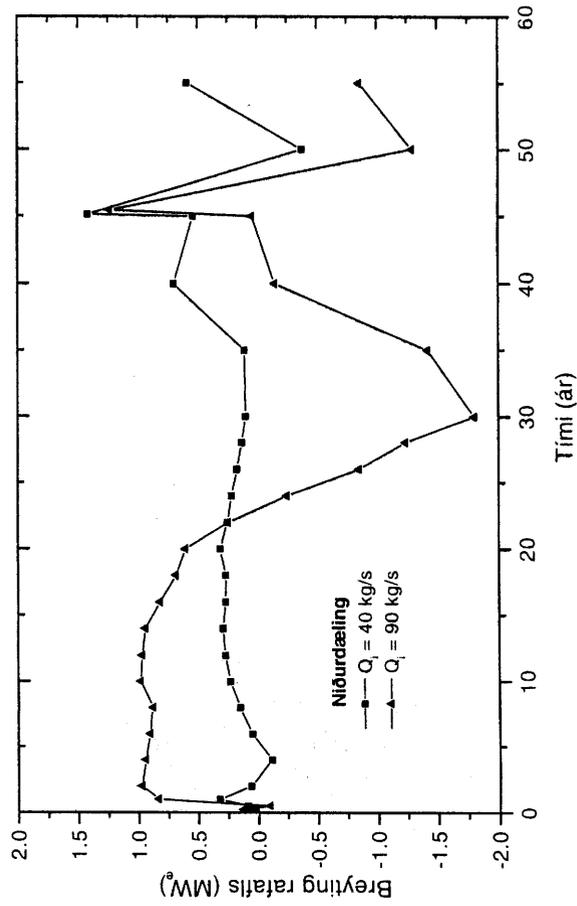
Myndir V2-19 og V2-20 sýna breytingar í raf- og varmaafi miðað við grunnkeyrslu, en þar sem hún gekk aðeins í tæp 43 ár nær samanburðurinn ekki nema til 40 ára þó keyrslurnar með niðurdælingunni hafi gengið lengur. Útkomur keyrslanna benda til að breytingar séu litlar

næstu 10-15 árin frá því sem þær eru eftir 40 ára vinnslu. Mynd V2-21 sýnir svo hvernig upp-
söfnuð raforkuvinnsla breytist fyrir þessi tilvik miðað við grunnkeyrslu án niðurdælingar.

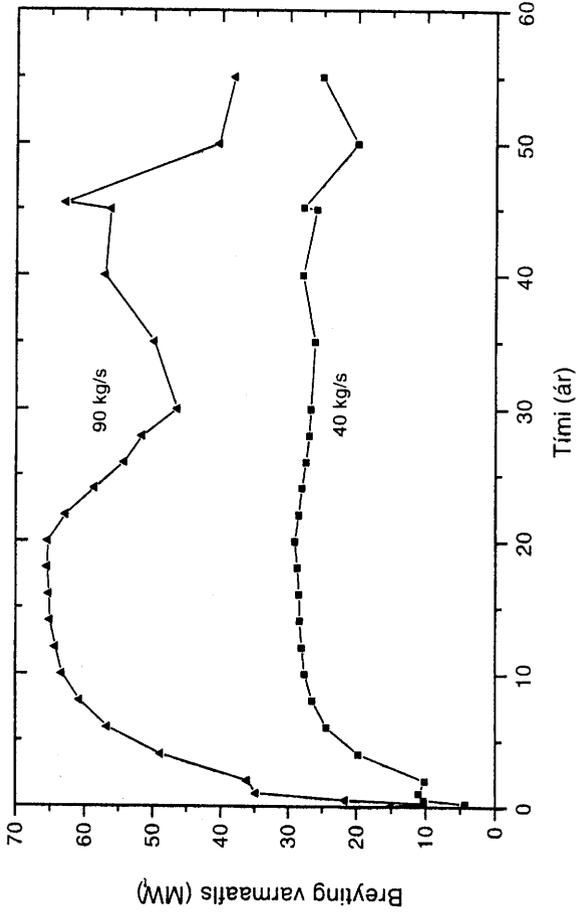
B) Niðurdráttur minnkar mikið í neðra lagi kerfisins eða um rúm 25 bar og er suða kæfð þar
eftir rúmlega 6 ára vinnslu. Í efra laginu er niðurdráttur svipaður og án niðurdælingar og helst
suða þar við vinnslupólinn. Kælifrontsins fer að gæta við vinnslupólinn eftir rúmlega 30 ára
vinnslu. Mikil aukning verður á heildarrensli sem er aðallega aukning skiljuvatns, en gufu-
rensli eykst einnig eftir um 24 ára vinnslu. Mestu munar um aukningu gufurenslis eftir
30 ára vinnslu því ekki verður vatnsþurrð í kerfinu. Almennt eykst heildarrensli um 105 kg/s,
skiljuvatnið um rúm 87 kg/s og gufurenslið um tæp 18 kg/s. Eins eykst varma- og rafafið að-
allega eftir 30 ára vinnslu. Nemur aukning varmaafis þá 118 MW_t og aukning rafafis um
9 MW_e (myndir V2-22 og V2-23). Aukin niðurdæling minnkar niðurdráttinn í báðum lögum
jarðhitakerfisins mikið, í efra laginu um rúm 16 bar og í neðra laginu um 45 bar. Örlfittlar
suðu gætir við vinnslupólinn og gætir kælifrontsins við vinnslupólinn eftir um 24 ára vinnslu.
Heildarrensli eykst mjög mikið eða um allt að 287 kg/s. Aukningin er aðallega skiljuvatn sem
verður allt að 227 kg/s. Gufurensli er aðeins minna fyrstu árin, en eftir 8 ára vinnslu byrjar
það að aukast og mest ber á aukningunni eftir rúmlega 26 ára vinnslu þar sem vatnsþurrðar gæt-
ir ekki. Gufurenslið dalar einnig lítið út 60 ára vinnslusöguna. Eftir 8 ára vinnslu er gufu-
rennslið rúm 94 kg/s og eftir 60 ára vinnslu er það 71 kg/s. Aukning þess undir lokin er um
53 kg/s. Á sama hátt eykst varma- og rafafið mikið miðað við enga niðurdælingu og er dölun
afisins lítil út vinnslusöguna (sjá myndir V2-22 og V2-23). Undir lok vinnslusögunnar er
varmaafið 359 MW_t og aukning þess þá um 318 MW_t. Rafafið er þá rúm 31 MW_e og aukning
þess um 24 MW_e. Mynd V2-24 sýnir síðan breytingu á uppsafnaðri raforkuvinnslu og sést þar
að ávinningurinn af niðurdælingunni er lítil fyrstu 26 árin, en all verulegur eftir það því niður-
dælingin kemur í veg fyrir vatnsþurrð við vinnslupólinn.

Tafla V2-5. Lauslegt yfirlit afbreytinga eftir 60 ára vinnslu fyrir uppsetningu II og III

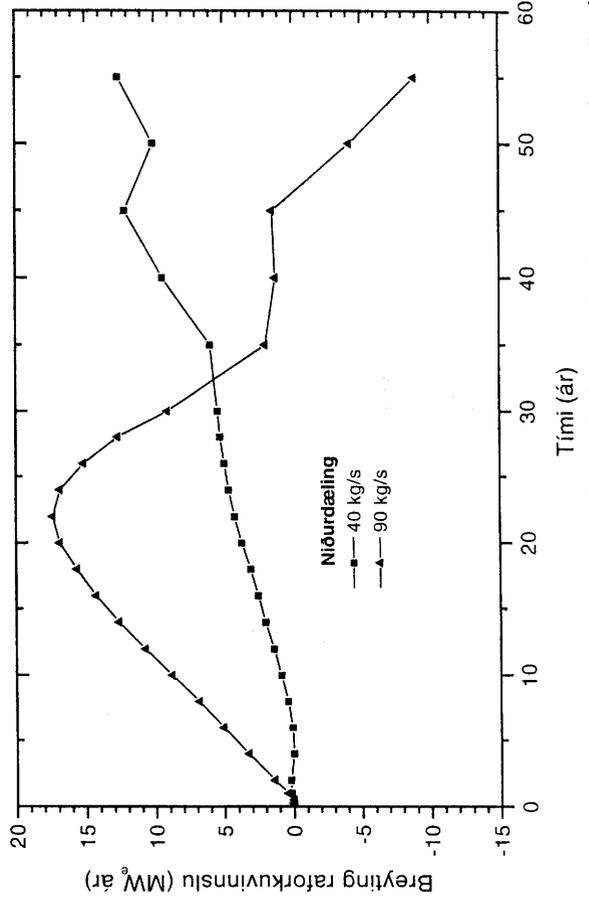
Niðurdæling skiljuvatns				
Tilfelli	Við útjæðra		Tvíþóll	
	MW _t	MW _e	MW _t	MW _e
A	+38	+5	+25	+1
B			+118	+9
C				
D	+95	+5		
Niðurdæling heildarrenslis				
A	+71	+6	+100	+6
B			+318	+24
C				
D	+200	+12		



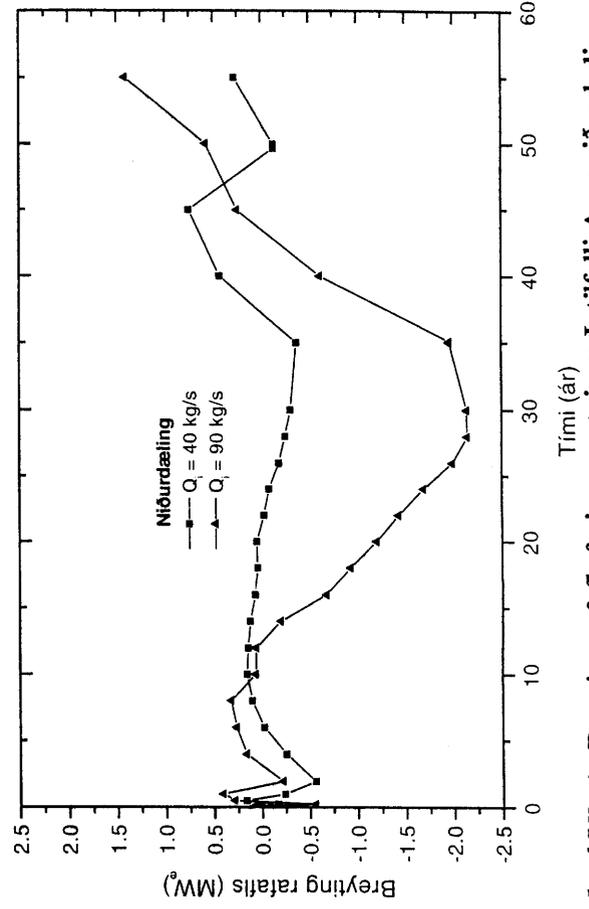
Mynd V2- 1. Breyting rafafis fyrir uppsetningu I, tilfelli A og niurdælingu grunnt til kerfisins (lag 3).



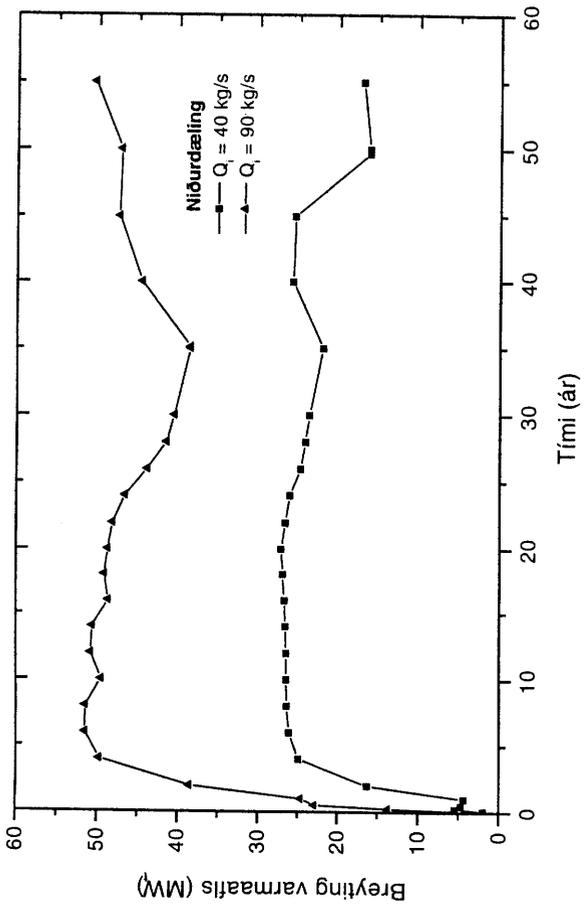
Mynd V2- 2. Breyting varmaafis fyrir uppsetningu I, tilfelli A og niurdælingu grunnt til kerfisins (lag 3).



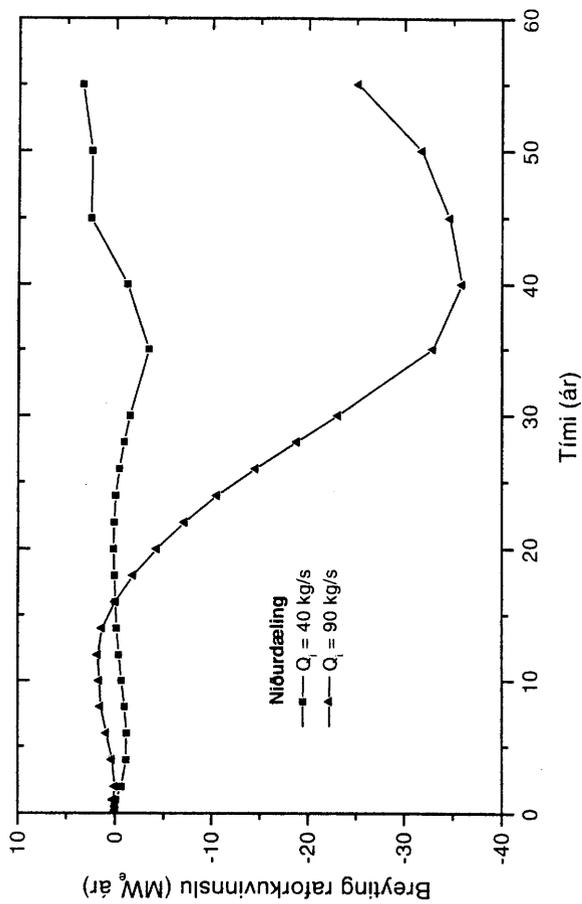
Mynd V2- 3. Breyting uppsafnaðar raforkuvinnslu fyrir uppsetningu I, tilfelli A og niurdælingu grunnt til kerfisins (lag 3).



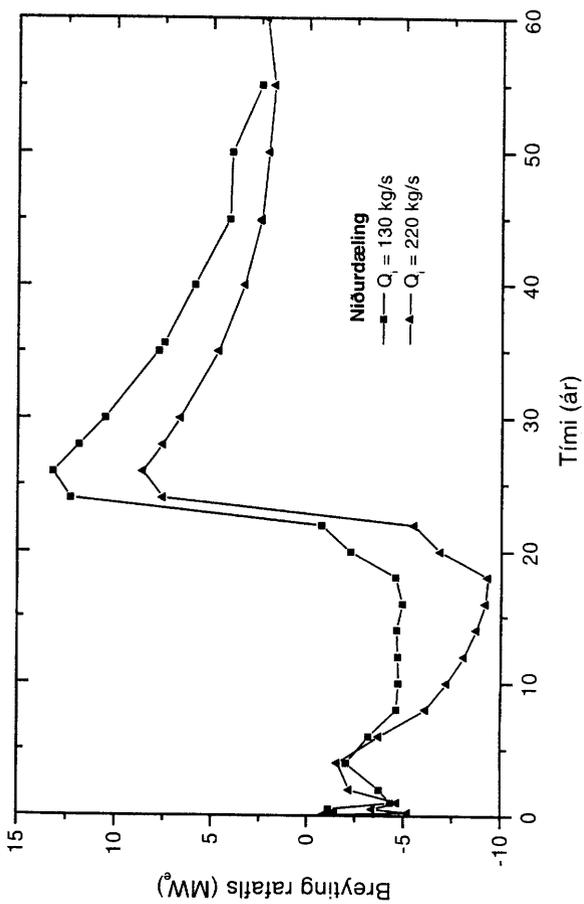
Mynd V2- 4. Breyting rafafis fyrir uppsetningu I, tilfelli A og niurdælingu djúpt til kerfisins (lag 4).



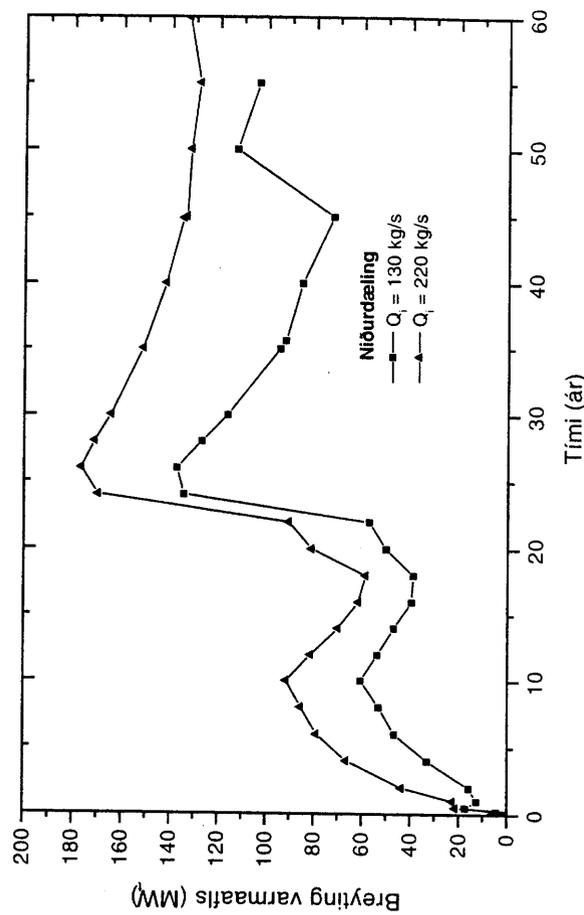
Mynd V2- 5. Breyting varmaafis fyrir uppsetningu I, tilfelli A og niðurdælingu djúpt til kerfisins (lag 4).



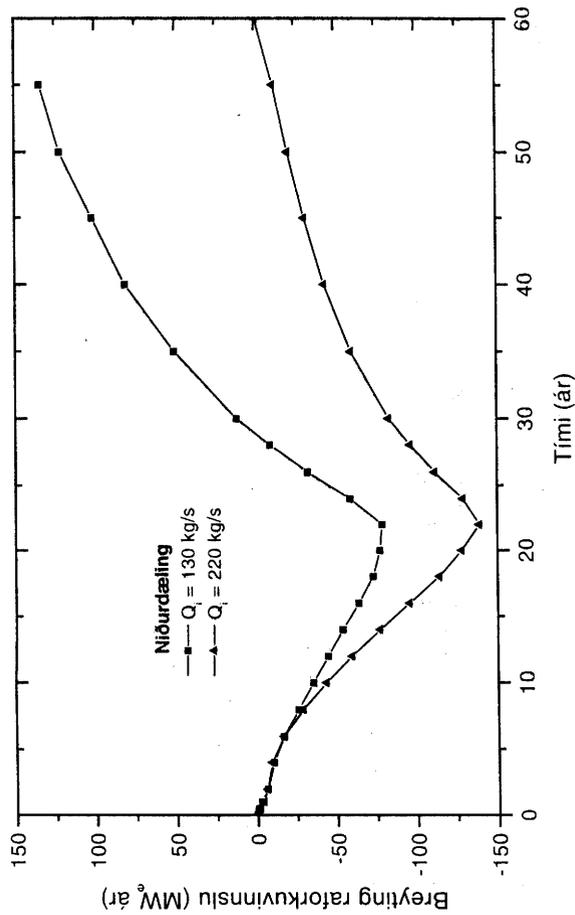
Mynd V2- 6. Breyting uppsafnaðar raforkuvinnslu fyrir uppsetningu I, tilfelli A og niðurdælingu djúpt til kerfisins (lag 4).



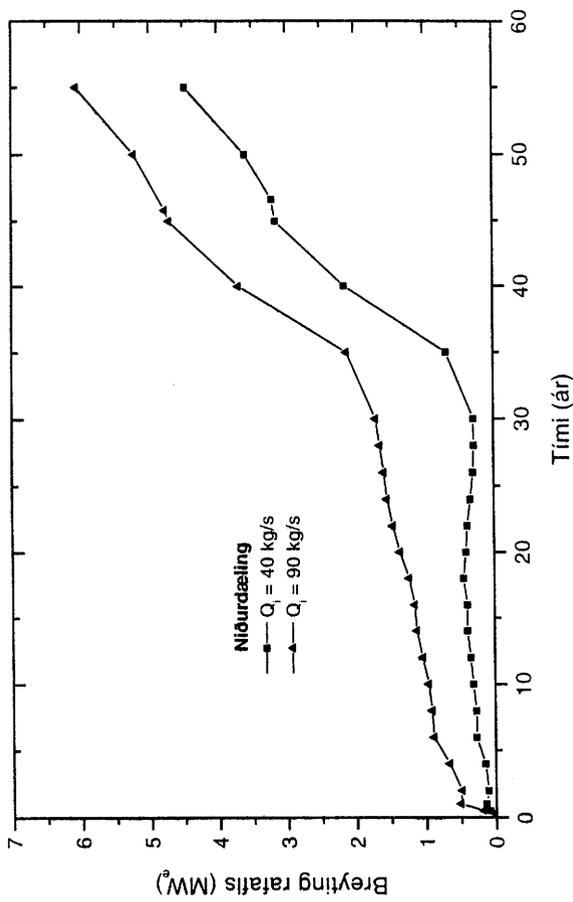
Mynd V2- 7. Breyting rafafis fyrir uppsetningu I, tilfelli B og niðurdælingu djúpt til kerfisins (lag 4).



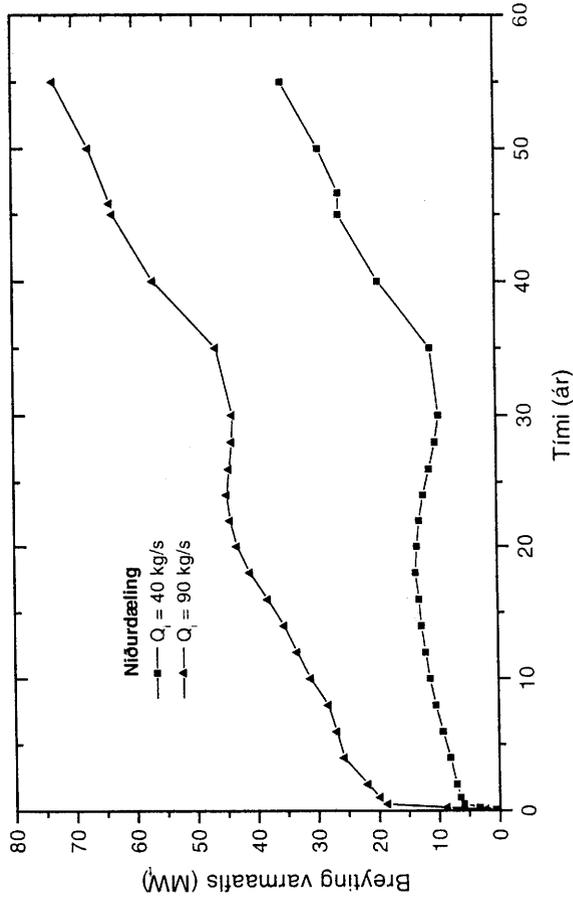
Mynd V2- 8. Breyting varmaafis fyrir uppsetningu I, tilfelli B og niðurdælingu djúpt til kerfisins (lag 4).



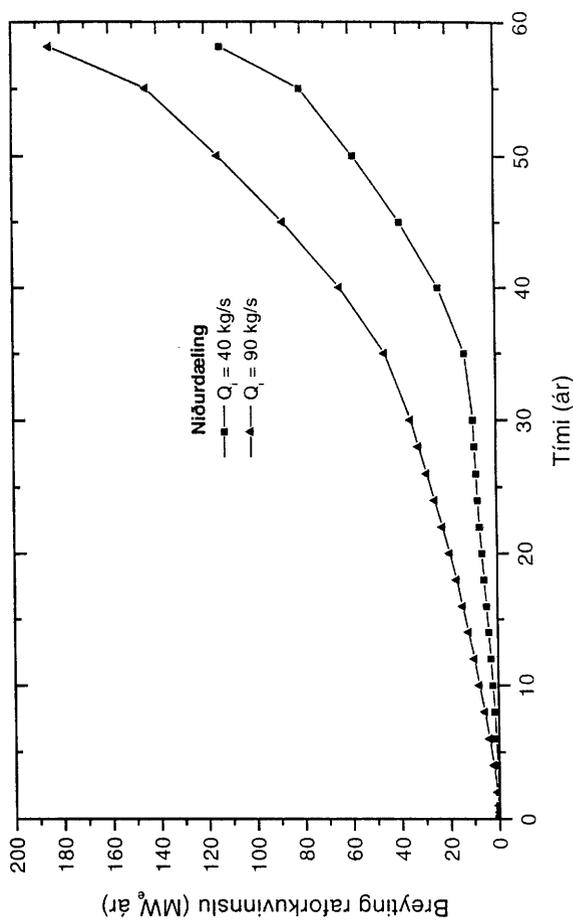
Mynd V2- 9. Breyting uppsafnaðar raforkuvinnslu fyrir uppsetningu I, tilfelli B og niurdælingu djúpt til kerfisins (lag 4).



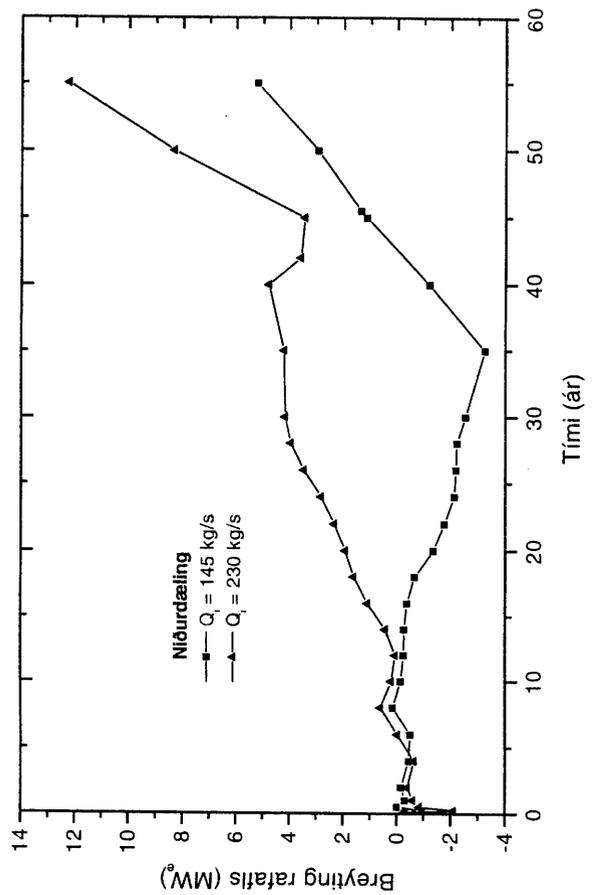
Mynd V2-10. Breyting rafafis fyrir uppsetningu II, tilfelli A. Niurdæling er í efra lag jarðhitakerfisins (lag 3).



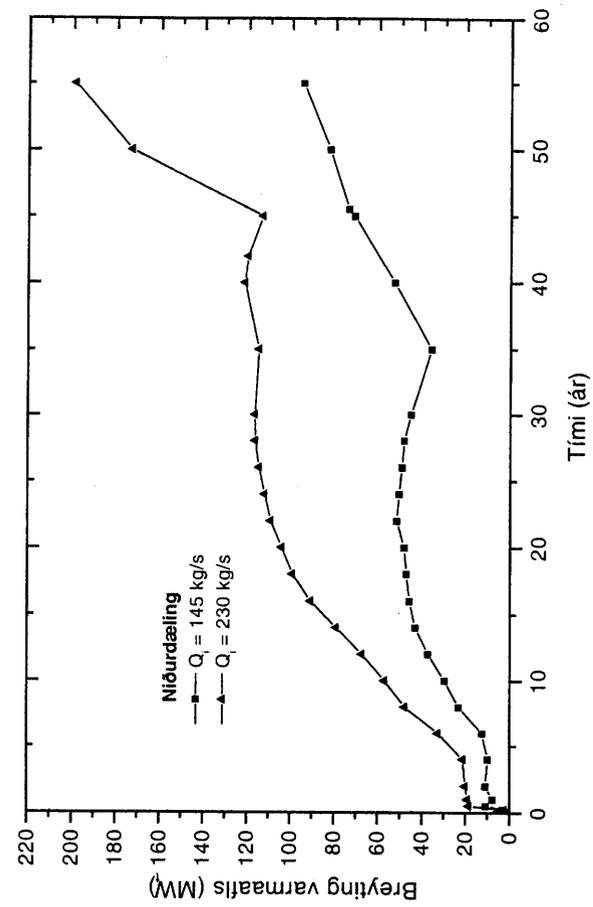
Mynd V2-11. Breyting varmaafis fyrir uppsetningu II, tilfelli A. Niurdæling er í efra lag jarðhitakerfisins (lag 3).



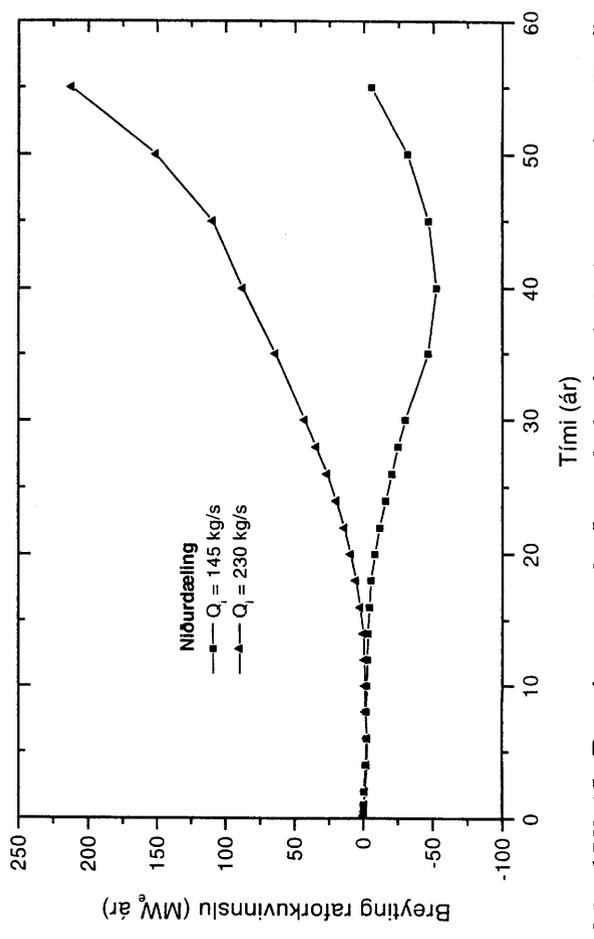
Mynd V2-12. Breyting uppsafnaðar raforkuvinnslu fyrir uppsetningu II, tilfelli A. Niurdæling er í efra lag jarðhitakerfisins (lag 3).



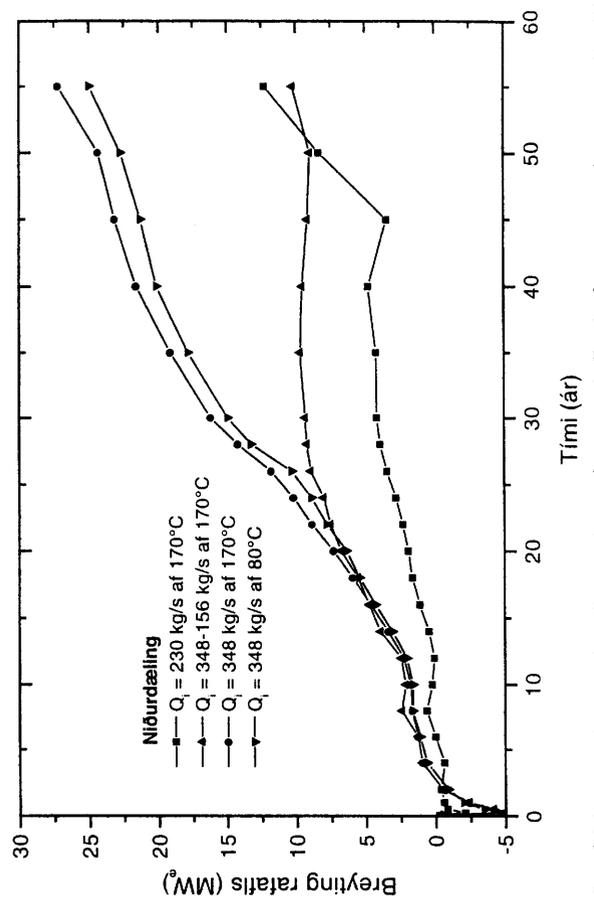
Mynd V2-13. Breyting rafafis fyrir uppsetningu II, tilfelli D. Niðurdæling er í efra lag jarðhitakerfisins (lag 3).



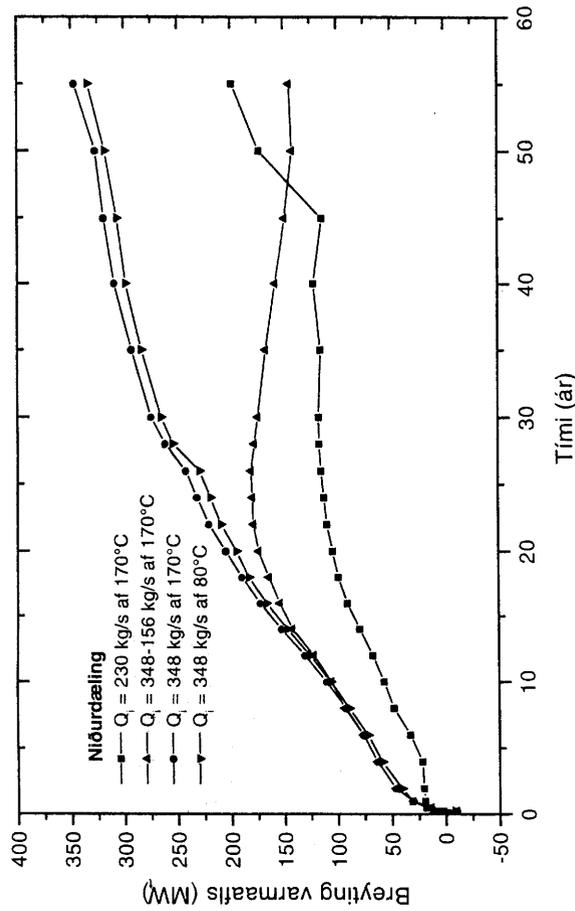
Mynd V2-14. Breyting varmaafis fyrir uppsetningu II, tilfelli D. Niðurdæling er í efra lag jarðhitakerfisins (lag 3).



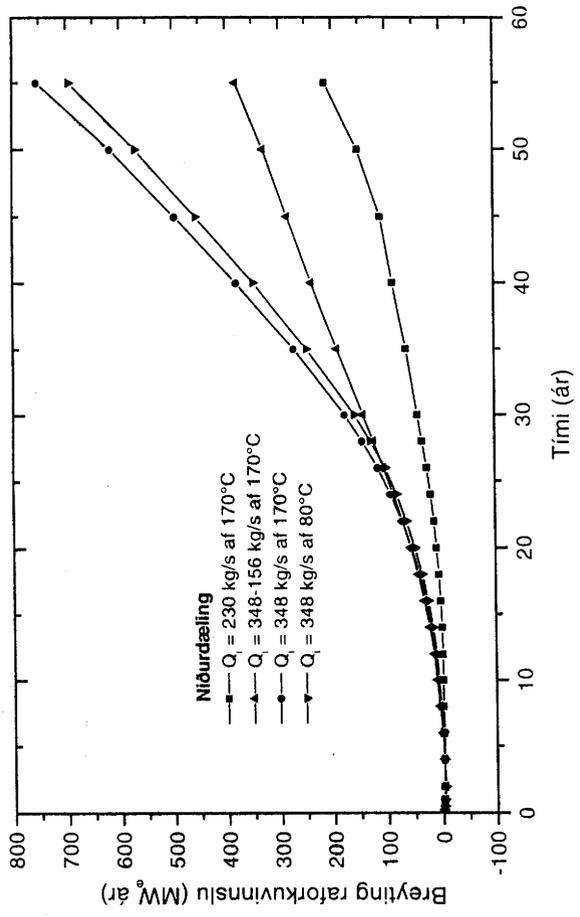
Mynd V2-15. Breyting uppsafnaðar raforkuvinnslu fyrir uppsetningu II, tilfelli D. Niðurdæling er í efra lag jarðhitakerfisins (lag 3).



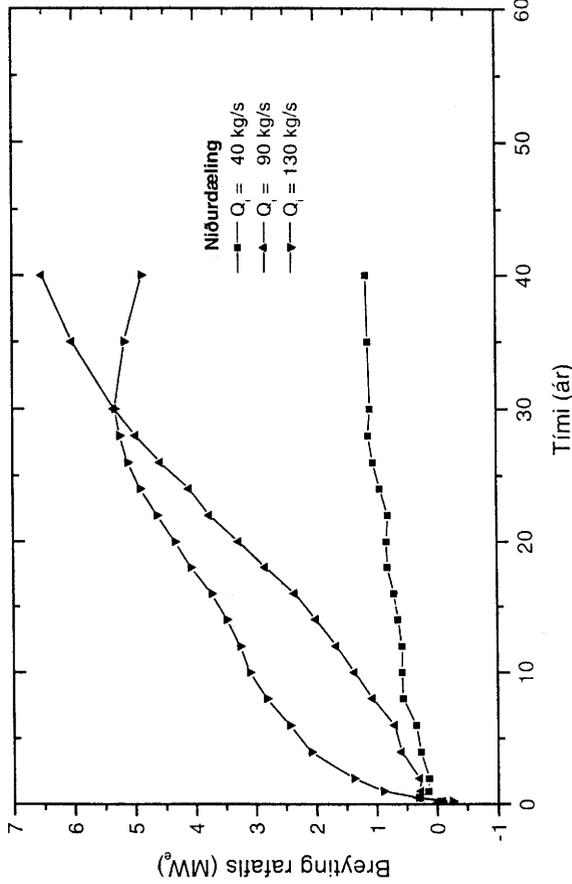
Mynd V2-16. Samanburður á breytingu rafafis fyrir uppsetningu II, tilfelli D þegar niðurdæling líkist heildarrensli á hverjum tíma og svo fyrir mun



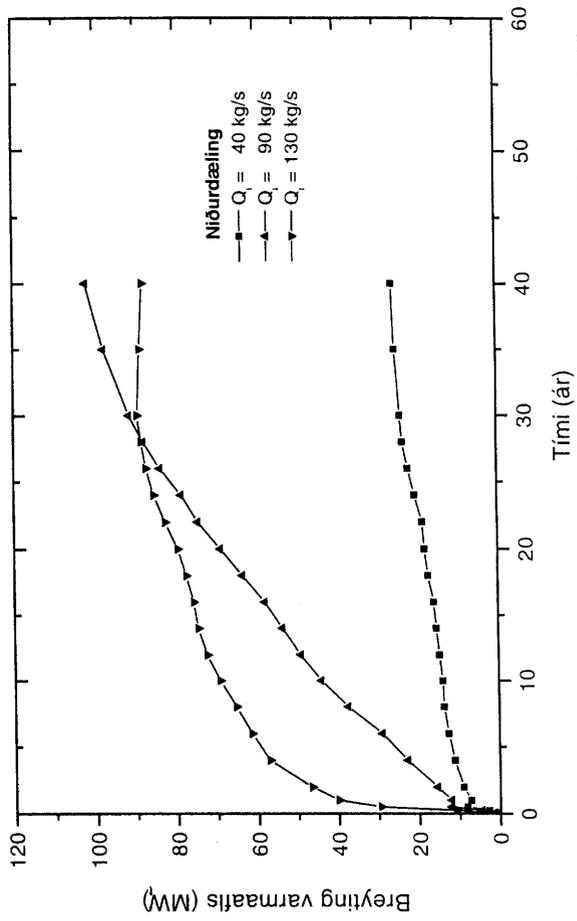
Mynd V2-17. Samanburður á breytingu varmafls fyrir uppsetningu II, tilfelli D þegar niurdæling líkist heildarrensli á hverjum tíma og svo fyrir mun meiri niurdælingu.



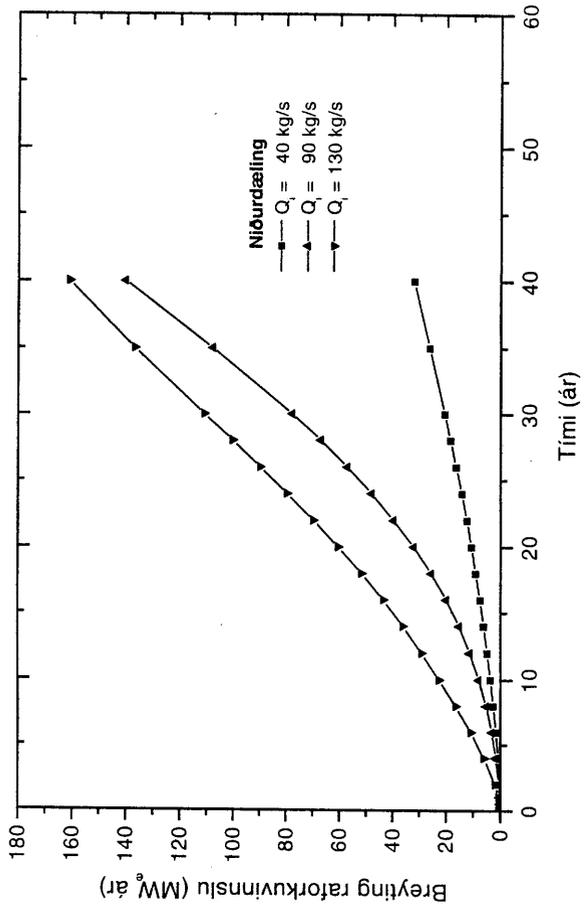
Mynd V2-18. Samanburður á breytingu uppsafnaðar raforkuvinnslu fyrir uppsetningu II, tilfelli D þegar niurdæling líkist heildarrensli á hverjum tíma og svo fyrir mun meiri niurdælingu.



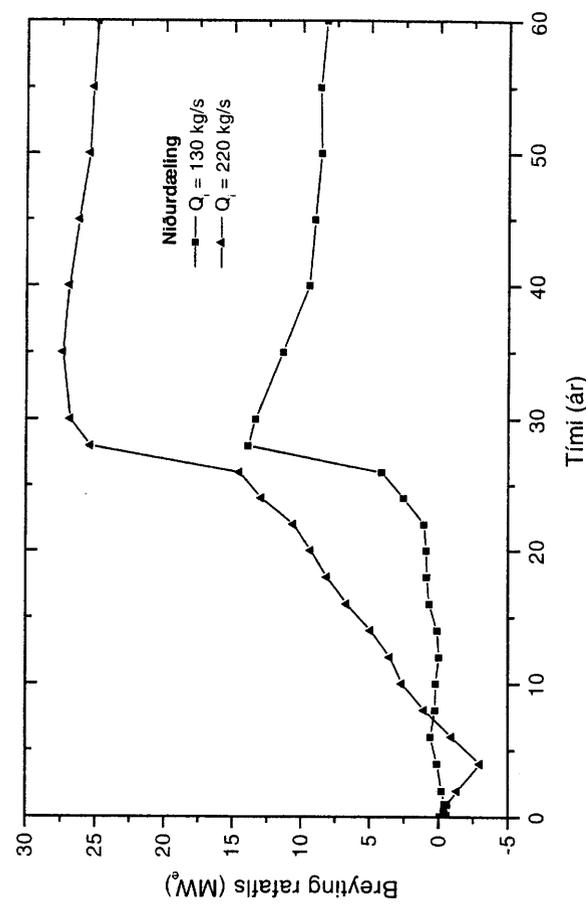
Mynd V2-19. Breyting rafafis fyrir uppsetningu III, tilfelli A. Niurdæling er í efra lag jarðhitakerfisins (lag 3).



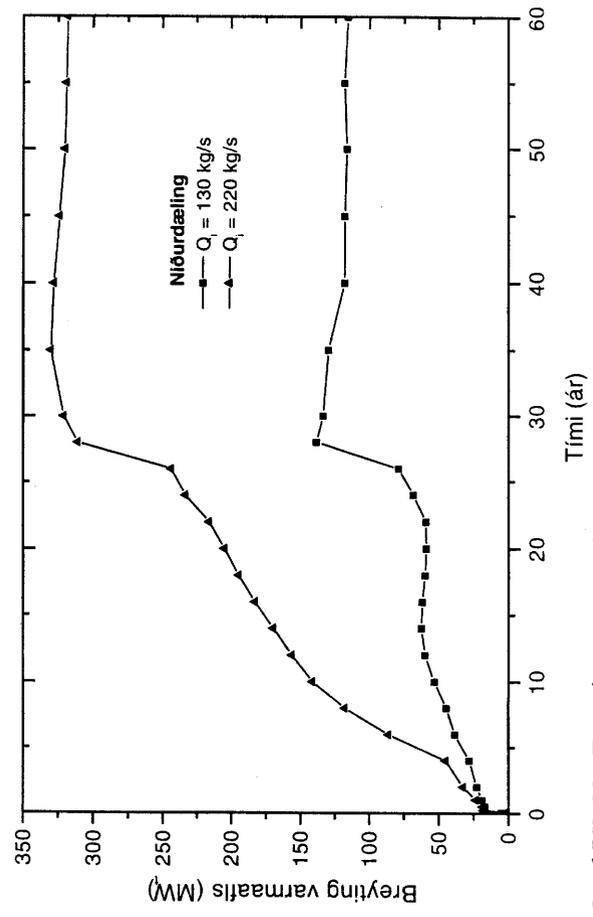
Mynd V2-20. Breyting varmafls fyrir uppsetningu III, tilfelli A. Niurdæling er í efra lag jarðhitakerfisins (lag 3).



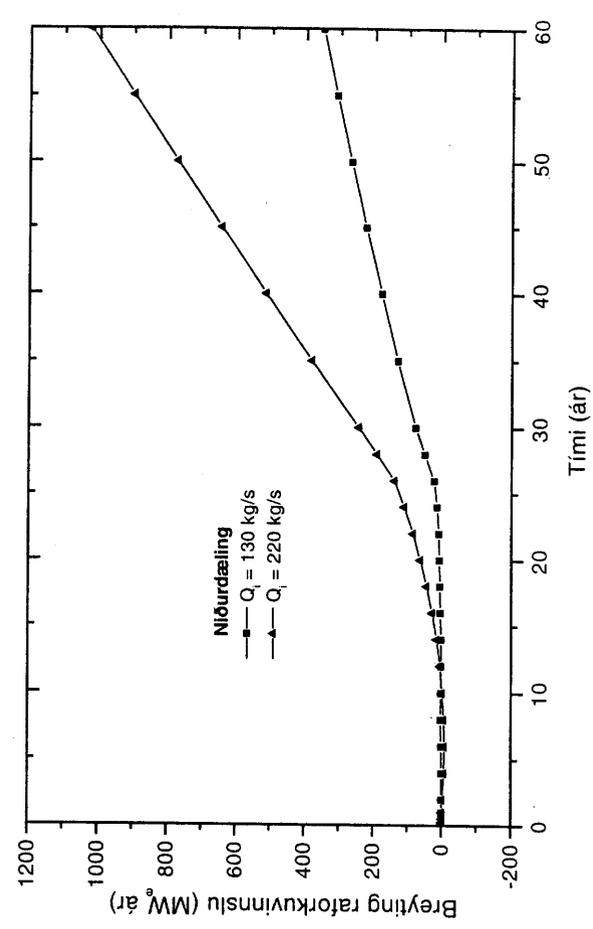
Mynd V2-21. Breyting uppsafnaðar raforkvinnslu fyrir uppsetningu III, tilfelli A. Niðurdæling er í efra lag jarðhitakerfisins (lag 3).



Mynd V2-22. Breyting rafafis fyrir uppsetningu III, tilfelli B. Niðurdæling er í efra lag jarðhitakerfisins (lag 3).



Mynd V2-23. Breyting varmaafis fyrir uppsetningu III, tilfelli B. Niðurdæling er í efra lag jarðhitakerfisins (lag 3).



Mynd V2-24. Breyting uppsafnaðar raforkvinnslu fyrir uppsetningu III, tilfelli B. Niðurdæling er í efra lag jarðhitakerfisins (lag 3).

VIÐAUKI 3. Keyrslur fyrir lokað einfasa vatnskerfi

Nokkrar keyrslur hafa verið prófaðar fyrir einfasa vatnskerfi, en aðeins fyrir 30 ára vinnslusögu. Í þeim dæmum sem hafa verið prófuð var hámarkshiti í jarðhitakerfinu aðeins 250 °C og gefur tafla 11 upphafsgildin fyrir hita og þrýsting í kerfinu.

Keyrðar voru tvær grunnkeyrslur, ein fyrir lága lekt og lágt grop (tilfelli A), en hin fyrir háa lekt og hátt grop (tilfelli D). Í báðum tilvikum fellur þrýstingur hratt í jarðhitakerfinu strax á fyrsta ári vinnslunnar og nær síðan nokkru jafnvægi. Á fyrsta árinu er niðurdrátturinn því um 7 bar í báðum lögum jarðhitakerfisins, en á næstu 30 árum eykst niðurdrátturinn aðeins um 2-4 bar. Suða byrjar í efra lagi kerfisins eftir 8-10 ára vinnslu og er að smá aukast út vinnslusögunna. Rennsli minnkar strax á fyrsta ári vinnslunnar, en helst síðan nokkuð stöðugt út vinnslusögunna samanber þrýstingsbreytingarnar. Fyrir fyrra tilvikid verður heildarrennslið um 33 kg/s undir lok 30 ára vinnslusögu, þar af skiljuvatn 26 kg/s og gufurennslið 7 kg/s. Varmaafi er því rúm 35 MW_t og rafafið tæp 3 MW_e. Á sama hátt fyrir hitt tilfellið er heildarrennslið um 51 kg/s, þar af skiljuvatn 41 kg/s og gufurennsli 10 kg/s. Varmaafið er því 56 MW_t og rafafið um 4 MW_e. Tafla V3-1 gefur helstu viðmiðunarstærðirnar fyrir þessar keyrslur um miðbik vinnslusögunnar.

Tafla V3-1. Kennistærðir grunnkeyrslna, gildi við 14-16 ára vinnslu.

Uppsetning	Tilfelli	Rennsli (kg/s)			Afi (MW)	
		Skiljuvatn	Gufa	Heildar	Varma	Raf
I	A	25	6	31	32	2,4
og II	D	39	8	47	51	3,7

3.1. Niðurdæling við útjæðra (skrár rowb og rowb)

Gerðar voru tvær keyrslur fyrir niðurdælingu við útjæðrana. Notað var sama magn niðurdælingar og fyrir tveggja fasa dæmin. Aðeins voru keyrð endatilfellin þ.e. lítil lekt og grop og lítil niðurdæling (skiljuvatn) og síðan mikil lekt og grop og mikil niðurdæling (heildarrennsli). Þessar keyrslur höfðu verið gerðar fyrir opið kerfi og voru svo endurteknar fyrir lokað kerfi.

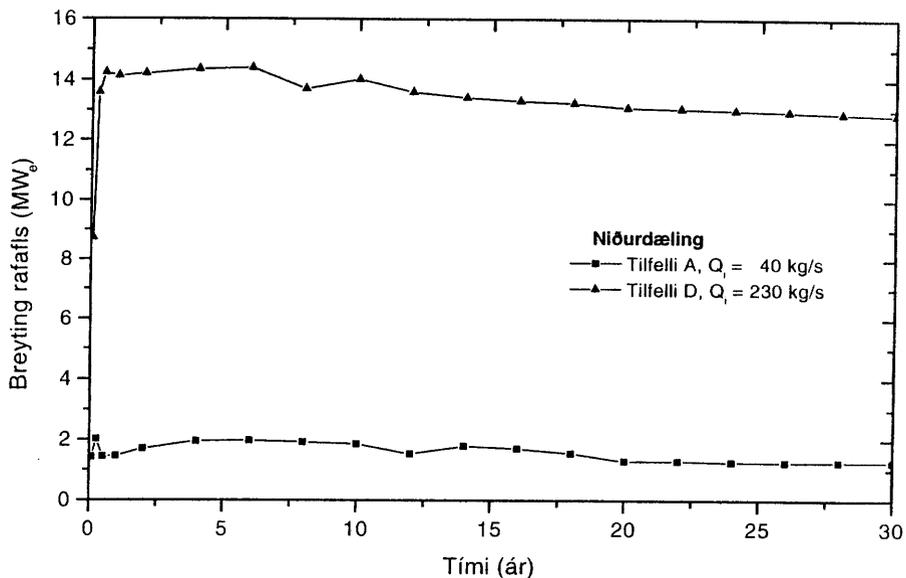
A) Við niðurdælinguna myndast ekki suða í jarðhitakerfinu út vinnslusögunna. Niðurdráttur minnkar um 5-6 bar í kerfinu og þrýstingsaukning verður við niðurdælingarholurnar. Hiti breytist lítið í kerfinu út vinnslusögunna. Eins og áður fellur þrýstingur og rennsli strax í byrjun vinnslunnar og helst síðan stöðugt út vinnslusögunna. Heildarrennslið eykst um 20 kg/s og er að jafnaði 53 kg/s, en niðurdælingin er 40 kg/s. Aukningin er aðallega skiljuvatn eða 18 kg/s, en einnig eykst gufurennslið um 2 kg/s. Varmaafið eykst því um rúm 20 MW_t og rafafið um 1 MW_e og sýna myndir V2-25 og V2-26 nánar afbreytingarnar. Aukin niðurdæling hefur ekki enn verið gerð fyrir þetta tilvik.

D) Aðeins tilvikid fyrir meiri niðurdælinguna hefur enn verið keyrt. Niðurdráttur minnkar um 20 bar og þrýstingur hækkar nokkuð við niðurdælingarholurnar. Engin suða myndast og í efra lagi kerfisins er kominn kælifrontur, sem færir í átt að vinnsluholunum og er um það bil hálf-

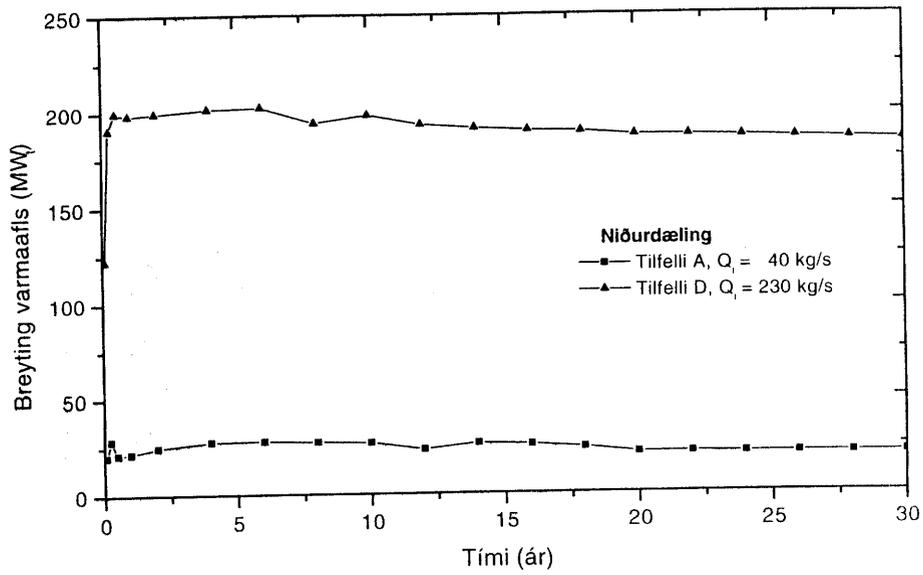
aður að þeim á 30 árum. Rennslis- og þrýstingsbreytingar verða mestar á fyrsta ári vinnslunar, en litlar eftir það. Mikil aukning verður í heildarrensli eða um 175 kg/s svo það verður alls um 227 kg/s, en niðurdælingin er 230 kg/s. Aðallega eykst skiljuvatnið eða um 146 kg/s, en gufurensli eykst einnig töluvert eða um 28 kg/s. Varmaaflið eykst því um 185 MW_t og rafaflið um tæp 13 MW_e, en þetta er sýnt nánar á myndum V3-1 og V3-2.

Af myndum V3-1 og V3-2 má ráða að fyrir vatnsfasa jarðhitakerfi með takmarkaðri hleðslu (aðsteymi) skiptir niðurdælingin meira máli með aukinni lekt kerfisins og þarf þá magn niðurdælingar að vera töluvert. Mynd V3-3 sýnir svo hvernig niðurdælingin veldur breytingu á uppsafnaðri raforkuvinnslu fyrir þessi dæmi.

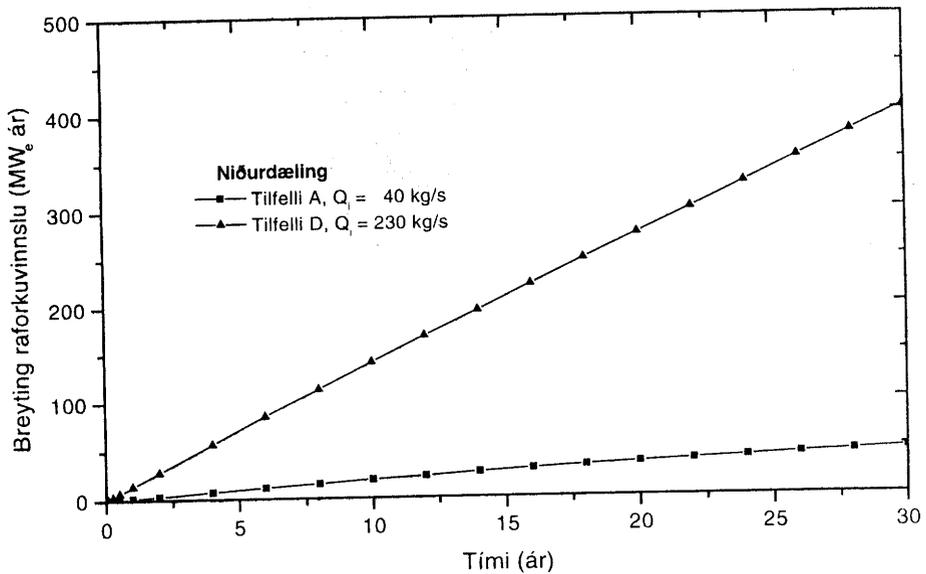
Niðurdæling í opið vatnskerfi gefur nokkru meira rennsli, en hegðun og viðbrögð kerfisins eru eins og fyrir lokað kerfi. Vinnsla varmaafis og rafafis verða einnig meiri í hlutfalli við rennslisaukninguna.



Mynd V3-1. Breyting rafafis í vatnskerfi fyrir uppsetningu II, tilfelli A og D. Niðurdæling er í efra lag jarðhitakerfisins (lag 3).



Mynd V3-2. Breyting varmaafis í vatnskerfi fyrir uppsetningu II, tilfelli A og D. Niðurdæling er í efra lag jarðhitakerfisins (lag 3).



Mynd V3-3. Breyting uppsafnaðar raforkuvinnslu í vatnskerfi fyrir uppsetningu II, tilfelli A og D. Niðurdæling er í efra lag jarðhitakerfisins (lag 3).

VIÐAUKI 4. Keyrslur fyrir lokað einfasa gufukerfi

Eins og er hefur ekki verið lokið við að keyra grunnkeyrslur, þ.e. keyrslur án niðurdælingar, fyrir dæmi þar sem jarðhitakerfið er í einfasa gufuástandi. Ein grunnkeyrsla hefur verið gerð með þeim upphafsgildum sem gefin eru í töflu 14 og nær hún yfir 40 ára vinnslusögu. Einnig er lokið nokkrum keyrslum fyrir sömu upphafsgildi með niðurdælingu dreift milli vinnsluholna og við útjaðrana. Þessum keyrslum verður gerð nokkur skil hér á eftir en án samanburðar við grunnkeyrslur.

Tafla V4-1. Kennistærðir grunnkeyrslu, gildi við 15 og 30 ára vinnslu.

Uppsetning	Tilfelli	Tími (ár)	Rennsli (kg/s)			Afl (MW)	
			Skiljuvatn	Gufa	Heildar	Varma	Raf
I og II	A	15	0	35	35	98	16
	A	30	0	19	19	53	8

4.1. Niðurdælingu dreift milli vinnsluholna (rcss og rcsm)

4.1.1. Niðurdæling til efra lags jarðhitakerfisins (rcss)

A) Líkanið hefur aðeins verið keyrt fyrir niðurdælingu heildarrennslis eða 90 kg/s. Fyrir gefinn fjölda reikniskrefa fyrir þetta dæmi stöðvaðist keyrslan eftir um 38 ára vinnslusögu. Niðurdráttur var þá nokkur í báðum lögum jarðhitakerfisins. Þrýstingur í efra lagi þess var þá um 42 bar og í neðra laginu tæp 58 bar við vinnsluholurnar. Niðurdælingin kæfir suðuna við niðurdælingar- og vinnsluholurnar. Það gerist eftir um 12 ára vinnslu í efra lagi jarðhitakerfisins og eftir um 22 ára vinnslu í neðra laginu, en kælifronturinn virðist ná til vinnsluholnanna nokkru áður. Öfugt við dæmin fyrir einfasa vatn og tveggja fasa ástand þá er heildarrennslið í upphafi vinnslu svipað því sem það er eftir nokkura ára vinnslu í hinum dæmunum. Fyrir hin dæmin er rennslið mikið í upphafi vinnslu og dalar hratt fyrsta árið að því rennsli sem síðan einkennir vinnslusöguna. Þessi breytta hegðun stafar líklega af mismunandi hreyfanleika vatns og gufu vegna mismunandi hlutlektar og eins af því að minni vökvamassi er til staðar við vinnsluholurnar þegar kerfið er metnað gufu og dempun þess er meiri.

Í byrjun er vinnslan þurr gufa en eftir um 0,5 ára vinnslu fer hún að blotna. Heildarrennslið er í byrjun um 109 kg/s og eykst aðeins er gufan blotnar, en tekur síðan að dala hægt út vinnslusöguna, sem nær yfir 38 ár, og er í lokin um 84 kg/s. Er gufan blotnar kemur skiljuvatn sem eykst hratt í fyrstu en nær svo jafnvægi við um 73 kg/s. Það tekur svo að minnka undir lok vinnslusögunnar og er í lokin um 66 kg/s. Gufurennslið er í byrjun 109 kg/s og dalar út vinnslutímabilið í um 17 kg/s. Varmaaflið er í byrjun rúm 300 MW_t, sem minnkar um ein 50 MW_t er gufan blotnar, og dalar út vinnslutímabilið í 96 MW_t. Ráfaflíð fylgir gufurennslinu og er í byrjun um 50 MW_e, sem minnkar um 15 MW_e er gufan blotnar, og dalar í tæp 8 MW_e á tímabilinu. Aflbreytingarnar miðað við grunnkeyrsluna eru sýndar á myndum V4-1 og V4-2. Fyrir breytingu á uppsafnaðri raforkuvinnslu fyrir þetta dæmi vísast til myndar V4-3.

4.1.2. Niðurdæling til neðra lags jarðhitakerfisins (rcsm)

A) Tilfellið fyrir niðurdælingu skiljuvatns (40 kg/s) var keyrt og fyrir gefinn fjöldi reikniskrefa gaf það 31 árs vinnslusögu. Niðurdráttur er nokkur við vinnsluholurnar og er þrýstingur við þær rúm 47 bar í efra lagi jarðhitakerfisins og tæp 51 bar í neðra laginu. Suða helst í efra laginu en er kæfð í neðra laginu eftir rúmlega 25 ára vinnslu. Heildarrennslíð er í byrjun um 109 kg/s sem dalar hratt í fyrstu eða þar til gufan blotnar eftir um tveggja ára vinnslu. Eftir það dalar heildarrennslíð í takt með gufurennslinu, en skiljuvatnið nær jafnvægi eftir 5 ára vinnslu. Eftir 31 árs vinnslu er heildarrennslíð um 50 kg/s, skiljuvatn um 26 kg/s og gufurennslí um 24 kg/s. Varmaaflið er í byrjun um 300 MW_t, en dalar á fyrstu tveim árunum um 100 MW_t og síðan út vinnslusöguna í 83 MW_t. Svipað er með rafaflið, það byrjar í 49 MW_e, minnkar á fyrstu tveim árunum um 16 MW_e og dalar síðan út vinnslusöguna í um 10 MW_e. Myndir V4-1 og V4-2 sýna afbreytingarnar fyrir þetta tilvik í samanburði við grunnkeyrslu og mynd V4-3 breytingar í uppsafnaðri raforkuvinnslu.

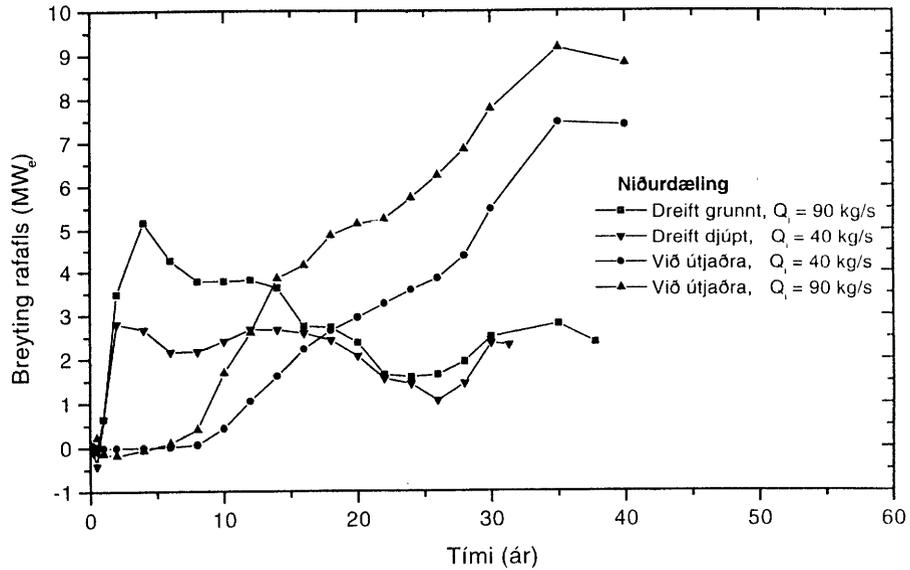
B) Reynt var að dæla niður nokkuð miklu magni fyrir þetta dæmi eða 130 kg/s, en aðeins náðist að keyra dæmið yfir 16 ára vinnslusögu fyrir gefinn fjöldi reikniskrefa. Ástæðan er sú að breytingar eru þá örar í kerfinu, þar sem svæðið utan við niðurdælingarholurnar er í einfasa gufu ástand og gufuhluti hár í efra laginu meðan neðra lagið er í einfasa vatns ástandi um miðbik vinnslusvæðisins. Meðan þrýstingur og hiti lækka lítið í efra laginu þá lækkar þrýstingur um 24 bar og hiti um tæpar 50 °C miðsvæðis í neðra laginu. Heildarrennslí dalar aðeins fyrsta árið, en þá blotnar gufan og skiljuvatn eykst upp í um 100 kg/s sem eykur heildarrennslíð um 65 kg/s svo það verður um 215 kg/s. Á sama tíma hægir á dölun gufurennslis sem er þá tæp 120 kg/s. Heildarrennslí og gufurennslí dala síðan tiltölulega hratt næstu 15 ár, en skiljuvatnið nokkuð hægar. Við lok þessarar keyrslu eða eftir 16 ára vinnslu er heildarrennslíð um 133 kg/s, gufurennslíð um 57 kg/s og skiljuvatn um 76 kg/s. Á sama hátt dala varma- og rafafi hratt á þessu tímabili. Þannig dalar varmaaflið úr 394 MW_t í 212 MW_t og rafaflið úr 54 MW_e í 26 MW_e.

4.2. Niðurdæling við útjaðra (rcsb)

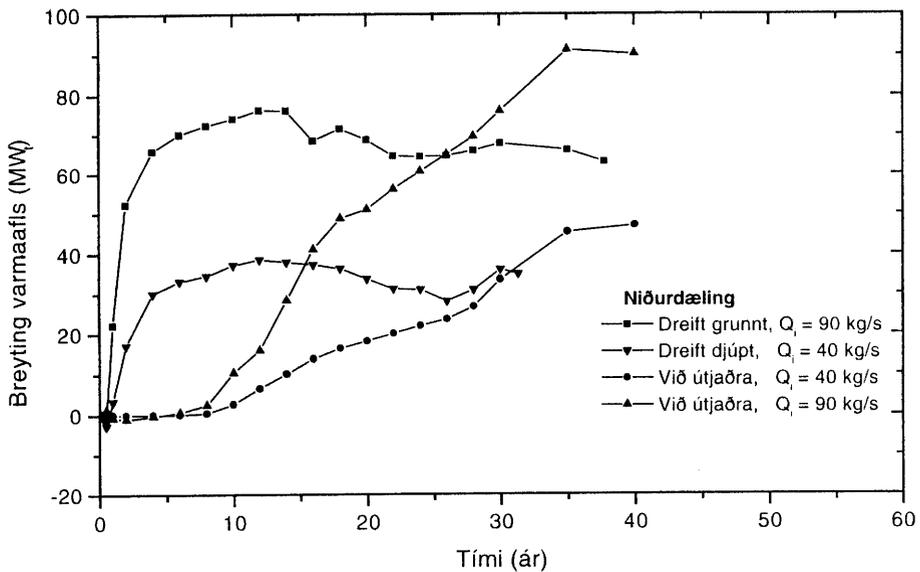
A) Um miðbik vinnslusvæðisins helst gufuhluti hár alla vinnslusöguna. Í neðra laginu er þurr gufa við vinnsluholurnar, en blaut gufa í efra laginu. Hiti og þrýstingur í efra laginu falla nokkuð jafnt út vinnslusöguna, hiti um 25 °C og þrýstingur um 20 bar. Í neðra laginu dalar hitinn við vinnsluholurnar um 13 °C fyrstu 45 ár vinnslusögunnar, en um 15 °C næstu 15 árin og stafar það af því að suðufrenturinn nálgast þá vinnsluholurnar í því lagi. Þrýstingurinn í neðra laginu dalar mest fyrstu 5 ár vinnslusögunnar (25 bar), en síðan rólega út vinnslusöguna (15 bar). Heildarrennslí og gufurennslí fylgjast að mestu að og er dölun þeirra mest fyrstu 5 árin en síðan hæg eftir það. Skiljuvatn er óverulegt þar til eftir rúmlega 40 ára vinnslu er suðufrenturinn nálgast vinnsluholurnar. Eftir 30 ára vinnslu er heildarrennslí um 31 kg/s og gufurennslí nær það sama. Eftir 45 ára vinnslu eykst skiljuvatn og við 60 ára vinnslu er heildarrennslíð um 33 kg/s, gufurennslíð um 21 kg/s og skiljuvatn 12 kg/s. Varma- og rafafi breytist á líknan hátt og rennslíð. Eftir 30 ára vinnslu er varmaaflið 87 MW_t og rafaflið 14 MW_e og undir lok vinnslusögunnar er varmaaflið 67 MW_t og rafaflið um 10 MW_e. Myndir V4-1 og V4-2 sýna nánar afbreytingarnar miðað við grunnkeyrsluna. Tilfellið fyrir aukna niðurdælingu náði aðeins að keyra í 52 ár fyrir gefinn fjöldi reikniskrefa. Í efra laginu er hiti og þrýstingur við vinnsluholurnar svipaður og fyrir minni niðurdælingu. Gufuhluti helst einnig svipaður og áður í

efra laginu (samsvarandi blautri gufu). Í neðra laginu kemur suðufrenturinn að vinnsluholunum eftir um 18 ára vinnslu. Gufuhlutinn lækkar þá mikið í neðra laginu, hitinn fellur og samsvarar eftir það hitanum undir lok vinnslusögunar fyrir minni niðurdælingu. Þrýstingur fellur hins vegar svipað í byrjun, en er síðan um 9 bar hærri eftir að suðufrenturinn er kominn að vinnsluholunum. Fyrstu 12 árin er rennsli nær það sama og fyrir minni niðurdælingu. Eftir 14 ára vinnslu eykst heildarrennslið sem stafar aðallega af aukningu skiljuvatns. Við 30 ára vinnslu er heildarrennslið því um 76 kg/s, gufurennslíð um 39 kg/s og skiljuvatn um 37 kg/s. Á síðari hluta vinnslusögunnar er heildarrennslið svipað, en hlutföllin hafa breytst svo gufurennslíð stefnir í að vera um 22 kg/s og skiljuvatn 54 kg/s. Þegar keyrslan stöðvast eftir rúmlega 52 ára vinnslu er suða að kafna í neðra laginu og rennsli að minnka. Varmafl eykst miðað við minni niðurdælingu og aðallega eftir um 14 ára vinnslu. Eftir 30 ára vinnslu er varmaflíð 130 MW_t og undir lokin stefnir það í að vera rúm 90 MW_t . Rafaflið eykst minna og er að jafnaði um 2 MW_e meira en fyrir minni dælinguna, og undir lokin er aukningin aðeins rúm 1 MW_e . Á myndum V4-1 og V4-2 sést hvernig raf- og varmaflíð breytist miðað við grunnkeyrslu án niðurdælingar. Mynd V4-3 sýnir svo breytingar í uppsafnaðri raforkuvinnslu og sést þar að raforkuvinnslan eykst töluvert fyrir þessa uppsetningu.

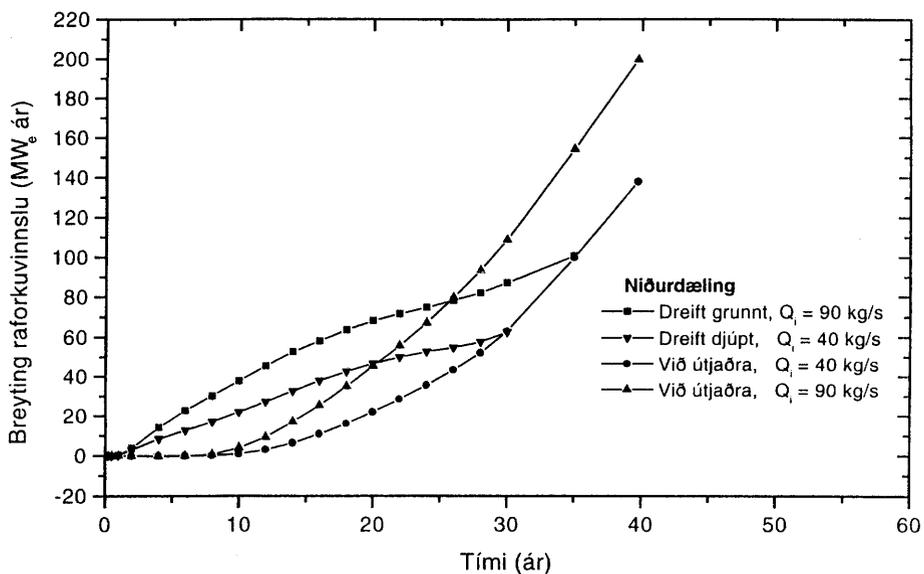
B) Eingöngu tilvikið fyrir minni niðurdælinguna hefur enn verið keyrt og gekk það aðeins í 35 ár fyrir gefinn fjölda reikniskrafa. Í efra laginu hefur hiti og þrýstingur fallið nokkuð jafnt á tímabilinu, hitinn um $22 \text{ }^\circ\text{C}$ og þrýstingurinn um 25 bar. Á sama tíma hefur svæðið við vinnsluholurnar verið að þorna í efra laginu. Í neðra laginu kemur suðufrenturinn að vinnsluholunum eftir tæplega 10 ára vinnslu og eftir 35 ára vinnslu hefur suðan verið kæfð í neðra laginu. Á fyrstu 4 árum vinnslunnar fellur hiti og þrýstingur mest í neðra laginu. Þannig fellur hiti um $10 \text{ }^\circ\text{C}$ í fyrstu, um annað eins er suðufrenturinn kemur að vinnsluholunum og síðan um aðrar $10 \text{ }^\circ\text{C}$ næstu 25 árin. Þrýstingur fellur um 20 bar í byrjun, en síðan um 10 bar næstu 25 árin og er farinn að hækka aftur undir lokin þegar suðan kafnar í laginu. Heildarrennsli dalar hratt við upphaf vinnslu, en eykst síðan aftur er skiljuvatn eykst eftir 6-8 ára vinnslu. Heildarrennsli helst síðan nokkuð jafnt út 35 ára vinnslusöguna ($106\text{-}125 \text{ kg/s}$) og er heldur að aukast undir lokin. Eftir 6 ára vinnslu fer skiljuvatn að aukast og er vaxandi út vinnslusöguna. Gufurennslí dalar ört í fyrstu en aðeins minna eftir að skiljuvatn eykst. Töluvert dregur úr dölun gufurennslis undir lokin er suðan kafnar í neðra laginu. Fyrstu 5 árin er gufurennslí meir en 100 kg/s , en undir lok vinnslusögunar er það 35 kg/s . Á svipaðan hátt dalar varmafl og rafafi út vinnslusöguna. Eftir 35 ára vinnslu er varmaflíð um 157 MW_t og hefur þá dalað um meir en 150 MW_t . Rafaflið er um 16 MW_e og hefur þá dalað á samsvarandi hátt um meir en 36 MW_e .



Mynd V4-1. Breyting rafafis í gufukerfi fyrir uppsetningar I og II, tilfelli A. Niðurdæling er í efra lag jarðhitakerfisins (lag 3) nema þar sem henni er dreift milli niðurdælingarholna í dýpra lagið (lag 4).



Mynd V4-2. Breyting varmaafis í gufukerfi fyrir uppsetningar I og II, tilfelli A. Niðurdæling er í efra lag jarðhitakerfisins (lag 3) nema þar sem henni er dreift milli niðurdælingarholna í dýpra lagið (lag 4).



Mynd V4-3. Breyting uppsafnaðar raforkuvinnslu í gufukerfi fyrir uppsetningar I og II, tilfalli A. Niðurdæling er í efra lag jarðhitakerfisins (lag 3) nema þar sem henni er dreift milli niðurdælingarholna í dýpra lagið (lag 4).