

Dæluþrófun á holu ÁH-2 Kópaskeri

Grímur Björnsson

Greinargerð GrB-88-01

DÆLUPRÓFUN Á HOLU ÁH-2 KÓPASKERI

1. Inngangur

Í þessari greinargerð er lýst framkvæmd og niðurstöðum dæluþrófs sem gert var á holu 2 á svæði Árlax hf við Kópasker, dagana 10-16 desember 1987. Holan var boruð í nóvember 1987 og er 300 m djúp. Í dælingu gefur hún 15-16 °C heitan sjó, og kemur hann úr æðum á 70-140 m dýpi (sjá greinargerðir Orkustofnunar: GÓF-87/06, GÓF-87/08 og GÓF-87/10). Hinn volgi sær þykir mjög áhugaverður til fiskeldis og því óskaði verkkaupi (Árlax hf) eftir því við Jarðhitadeild Orkustofnunar að hún gerði dæluþrófun á holunni (OS-JHD greinargerð GrB/GÓF-87/01).

Markmið dæluþrófunarinnar er að: 1) áætla afköst holunnar, 2) spá um niðurdrátt við langvarandi dælingu, 3) taka vatnssýni í lok dælingar til mælingar magns uppleystra efna og 4) gefa grófar hugmyndir um eðli vatnskerfisins við Kópasker út frá niðurstöðum ofangreindra atriða og með hliðsjón af fyrri athugunum og mælingum.

2. Framkvæmd

Áður en mælingar hófust hafði verkkaupi komið fyrir rafknúinni dælu á 25 m dýpi í holu 2. Auk þess hafði verkkaupi útvegað 135 og 220 l tunnur til rennismælinga, flot-seltumæli og kvika-silfurshitamæli (svið -10 - 60 °C). Þá var einnig útbúinn einfaldur vatnsborðsmælir í samvinnu við starfsmann Orkustofnunar, sem mættur var á svæðið.

Dæluþrófið var framkvæmt í tveimur hlutum. Í þeim fyrri var dæling aukin í nokkrum þrepum. Vatnsmagni var haldið föstu í hverju þrepi og niðurdráttur, selta og hiti mæld með tíma. Eftir að dælt hafði verið í um 5 tíma var holan hitamæld í dælingu og einnig 50 mínútum eftir að dæling hætti. Daginn eftir hófst seinni hlutinn með langtímadælingu úr holu 2. Var þá stillt á fast vatnsmagn (8,0 l/s) og því haldið í 6 sólarhringa. Skráður var hiti dæluvatns, selta og niðurdráttur. Fyrstu 3 klst. dælingarinnar fylgdist starfsmaður Orkustofnunar með mælingum en eftir það tóku heimamenn við. Á

6. degi voru síðan tekin tvö vatnssýni til efnagreiningar. Eftir það var dæling stöðvuð og mæld jöfnun vatnsborðs í holunni.

3. Úrvinnsla og niðurstöður mælinga

3.1 Hitamælingar

Þar sem erfitt hafði reynst að hitamæla holu 2 með handrúlluhitamælum Orkustofnunar var verkkaupi búinn að þræða plaströr niður á 150 m dýpi í holunni. Þar stöðvaðist rörendinn á fyrirstöðu. Að morgni 10 desember var holan síðan hitamæld í þessu plaströri, en þá vildi ekki betur til en svo að hitamælirúllan bilaði og er mælingin því dæmd varasöm. Var því gripið til þess ráðs að hefja þrepaðælingu, en á meðan var sérútbúinn borholumælingabíll Orkustofnunar gerður klár fyrir hitamælingu. Í síðasta dæluþrepi var plaströrið dregið úr holunni og löngum og þungum hitaskynjara mælingabílsins smeygt niður með dæluunni. Síðan var mælt án vandræða í 152 m dýpi, en þar var fyrirstaða sem ókleyft reyndist að komast framhjá. Þessi fyrirstaða stafar væntanlega af hruni úr efri hluta holunnar. Þegar mælt hafði verið til botns var dæling stöðvuð. Hitaskynjarinn var látinn bíða í botni í rúmlega 50 mínútur, en þá var hitamælt upp holuna.

Þessar tvær hitamælingar eru sýndar á mynd 1. Með samanburði á mælingunum er ljóst að helstu æðar holunnar eru á 70-90 m dýpi, en auk þess eru smærri æðar á 100-110 og á 130-140 m dýpi. Smávægileg kólnun varð milli mælinga á 152 m dýpi og bendir það til þess að vatn komi úr neðri hluta holunnar í dælingu, en í mjög litlu magni. eru þessar niðurstöður í góðu samræmi við það sem mælt var í borun (OS-JHD greinargerð GÓF-87/08). Hitastig vatnsins sem upp kemur í dælingu er milli 15,5 og 16 °C.

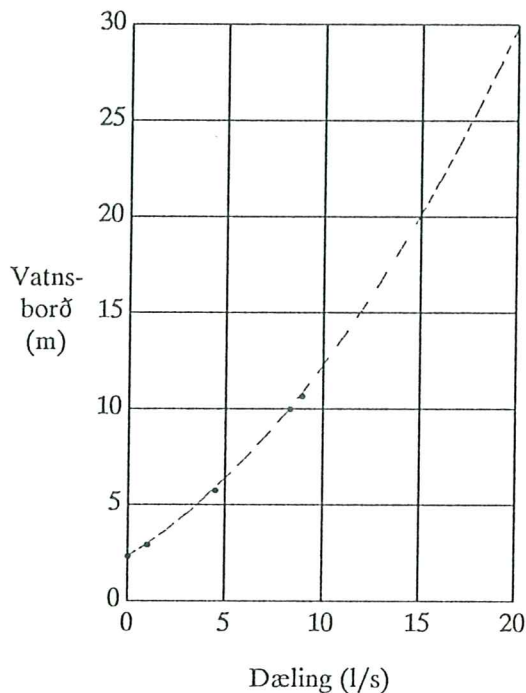
3.2 Niðurstöður þrepaðælingar

Tafla 1 sýnir allar skráðar mæliniðurstöður þrepaðælingar holu 2. Mynd 2 er unnin upp úr töflunni og sýnir hvernig vatnsborð breytist í holunni með dælingu. Hægt er að fella feril að mældu gögnunum í mynd 2 sem lýsir niður-

drættinum h (m) sem falli af dælingu Q (l/s). Þessi ferill er gefinn með

$$h = 2.35 + 0.61 Q + 0.04 Q^2 \quad (1)$$

og er hann einnig teiknaður inn á myndina sem brotin lína. Hér er liðurinn $0.61 Q$ einkennandi fyrir þann niðurdrátt sem verður í sjálfu vatnskerfinu við dælingu, á meðan liðurinn $0.04 Q^2$ lýsir iðustreymistöpum í og við holuna.



Mynd 2: Afkastaferill holu 2. Punktar eru mældir, en brotin lína reiknuð.

Ef lítið er til síðustu mælinganna í töflu 1 sést að vatnsborð holu 2 hækkar um næstum 0,5 m frá 14:09 til 15:40. Þetta gerist samhliða hámarksdælingu úr holunni og verður vart skýrt með öðru en leka að ofan. Sá leki stafar þá frá sjó þeim sem dælt var úr holunni, en hann féll í gleypna grús holustæðisins, í aðeins 2-3 m fjarlægð frá holunni. Einhver hluti sjávarins hefur þá sigið niður í gegnum jarðlög við holuna og valdið vatnsborðshækkun. Ekki er ástæða til að ætla að þessi leki skekki þær mælingar sem sýndar eru á mynd 2. Vatnsborð í langtíma-dælingunni ber vel saman við mynd 2, en í því var þess gætt að dæluvatnið rynni örugglega frá holunni og út í sjó.

3.3 Langtímadæling

3.3.1 Fræðilegar forsendur túlkunar: Langtíma-dælingin var túlkuð með það að markmiði að finna lektar- og forðastuðla bergsins sem hola 2

vinnur vatn úr. Þá er langalgengast að velja byrjunarlíkan þar sem gert er ráð fyrir að vatnið sé sótt úr óendanlegu, lárétta lagi sem er lokað bæði að ofan og neðan. Gert er ráð fyrir að holan þverskeri þetta lárétta lag, og að eiginleikar lagsins og vökvans í því séu alls staðar eins og óháðir stefnu. Þá er einnig gerð sú krafa að lagstreymi ríki í þessu lárétta lagi. Að þessum forsendum uppfylltum má reikna þrýstibreytingar í lárétta laginu sem fall af tíma og fjarlægð frá holu, með hinni vel þekktu lausn Theis eða afbrigðum þar af. Þeir stuðlar sem notaðir eru við slíka reikninga eru þá:

- k raunlekt (m^2)
- h þykkt lárétta lagsins (m)
- ϕ virkur poruhluti
- c_v fjaðurstuðull vatns (Pa^{-1})
- c_b fjaðurstuðull bergs (Pa^{-1})
- $c_t = \phi c_v + (1-\phi) c_b$
- Q dæling úr holu (m^3/s)
- μ eðlisseigja vökva ($kg/m/s = Pa \cdot s$)
- r_w radíus holu (m)

Nú er verkefnið að ákvarða stuðlana k , h og c_t , en þó ekki einhlítt því hin fræðilega lausn er háð tveimur stuðlum sem eru margfeldi hinna fjögurra ofangreindu. Á Orkustofnun er hefð að nota hneppin

$$T = \frac{k h}{\mu} \quad (2)$$

og

$$S = h c_t \quad (3)$$

þar sem stuðulinn T er kallaður vatnsleiðni og er beinn mælikvarði á lekt bergsins, en S er nefndur vatnsrýmd og segir til um rúmmál vökva sem má fjarlægja úr einingarflatarmáli svæðis ef þrýstingi er breytt um eina einingu.

3.3.2 Túlkun gagna frá holu 2: Tafla 2 varðveitir allar þær skráningar sem gerðar voru samhliða langtímadælingu úr holu 2. Auk þess er þar sýnd jöfnun vatnsborðs eftir að dæling hætti. Mynd 3 sýnir mælt vatnsborð í holu 2 meðan langtímadælingin varaði. Myndin er með semi-logaritmískum ásum og ættu mældu gögnin að raða sér á beina línu ef æðar holu 2 hlýða forsendum Theis líkansins. Augljóst er af gögnunum að svo er ekki nema í skamman tíma (fyrstu 15-20 mínútur dælingar). Eftir það tekur hið melda vatnsborð að sléttast út og er komið í jafnvægi eftir 1½ klst. Sveiflur sem sjást í mæligögnunum eftir það eru vegna áhrifa sjávarfalla. Þetta stöðuga vatnsborð verður vart skýrt með öðru en góðri tengingu æða holu 2 við

vel lek sjó- og/eða ferskvatnsakerfi, sem eru mjög nærri holunni. Verður að telja tenginguna við sjó líklegri þar sem selta fremur jókst en stóð í stað samhliða vikulangri dælingu. Úr þessu fæst samt ekki endanlega skorið nema við mjög langa dælingu.

Hægt er að fella lausn Theis að gögnum frá fyrstu 16 mínútum dæluþrófsins. Það gefur gildin $T = 4.55 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Pa/s}$ og $S = 5.06 \times 10^{-5} \text{ m/Pa}$, og er sýnt á mynd 4 hvernig samræmi fékkst milli mældu gagnanna og reiknaða ferilsins. Líta má svo á, að þessi gildi á S og T lýsis bergi á 70-140 m dýpi í næsta nágreinni holunnar.

Næsta skref í túlkun mæligagnanna er að leggja mat á þann "leka" sem kemur til bergsyrpunnar á 70-140 m dýpi. Sterkar líkur eru til þess að sá leki komi að ofan, samanber vatnsborðshækkunina sem varð í lok þrepaðælingarinnar. Til er á forritasafni Jarðhitadeildar Orkustofnunar hugbúnaður sem nota má við túlkun slíkra tilvika. Mynd 5 sýnir afstætt hvernig slíkt líkan er hugsað. Vökvi streymir lárétt eftir vinnslulagi til holu, en vegna þrýstingslækkunar tekur að leka lóðrétt niður í gegnum yfirlagið. Magn lekans fer eftir þrýstifalli í vinnslulaginu og eiginleikum yfirlagsins. Gert er ráð fyrir að á efra borði yfirlagsins hvíli vökvi með föstum þrýstingi (sjórinn í tilviki holu 2), en neðan vinnslulagsins sé hinsvegar þétt berg. Inn á myndina eru svo merktar þær stærðir sem þarf til að ákvarða þrýsting í vinnslulaginu með vinnslu, tíma og fjarlægð frá holu. Líkt og í lausnaraðferð Theis er ekki hægt að ákvarða hverja þessara stærða fyrir sig, heldur finnst lausn fyrir nokkur hneppi þessara stærða. Þau eru:

$$CD = \frac{C}{2\pi r_w^2 S} \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{k}{\mu c_t} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{\tilde{k} r_w}{4kh} \left[\frac{\alpha}{\tilde{\alpha}} \right]^{1/2} \quad (6)$$

$$\frac{r}{B} = \frac{r}{h} \left[\frac{\tilde{k}}{k} \frac{h}{h} \right]^{1/2} \quad (7)$$

auk stærðanna T og S sem lýst er í jöfnum (1) og (2). Hér er "" merkið notað til að auðkenna stærðir leka yfirlagsins. Stærðin C lýsir fjaður-einkennum vatnssúlunnar í holunni. Auk ofangreindra hneppa er tekin með í lausnina tregða holunnar, s, en þeirri stærð er ætlað að

lýsa örvaðri/tapaðri lekt í holuveggjum vegna áhrifa borunar.

Mynd 6 sýnir hvernig til tókst með túlkun langtímaprófs holu 2 samkvæmt því líkani sem sýnt er á mynd 5. Við túlkunina voru notuð gildin á T og S frá mynd 4, og stuðlarnir s, CD, β og r/B ákvarðaðir með ítrun (inversion). Það gaf:

$$s = 0.12$$

$$CD = 0.91$$

$$\beta = 0.014$$

$$r/B = 0.084$$

Eins og sést á myndinni er gott samræmi í túlkuninni og víkja mældu gögnin að meðaltali 0,96 % frá reiknaða ferlinum.

Þegar þessi niðurstaða lá fyrir var vatnsborðsgögnunum frá jöfnun holu 2 bætt við dælingargögnin og fékkst þá enn á ný gott samræmi reiknaðs og mælds ferils, en meðaltal frávíka jókst þó í 1,42 %. Þessi túlkun er sýnd á mynd 7.

4. Langtímaspá um vatnsborð

Ef gert er ráð fyrir því að líkanið með leka yfirlaginu, sem ákvarðað var hér að ofan, gildi um holu 2, þá má spá um niðurdrátt í holunni við mismikla dælingu. Þessi vatnsborðsspá er sýnd á mynd 8 fyrir 10, 20, 30 og 40 sekúndulíttra dælingu. Samkvæmt spánni næst stöðugt vatnsborð eftir innan við 4 klst. dælingu fyrir öll tilvikin. Hinsvegar er vatnsborðið vanmetið frá því sem ætlað var út frá þrepaðælingunni (jafna 1). Þetta vanmat er:

Dæling (l/s)	Mynd 8 Vatnsb.	Jafna 1 Vatnsb.	Vanmat (m)
10	11.96	12.45	0.5
20	21.52	30.55	9
30	31.09	56.65	26
40	40.65	90.75	50

og stafar hann af því að líkanið með leka yfirlaginu reiknar ekki með iðustreymistöpum í dælingu. Því ber að nota jöfnu 1 til mats á niðurdrætti í holunni samfara dælingu.

Þó það líkan sem notað var til grundvallar vatnsborðsspánni vanmeti þannig dýpi á vatnsborð, stendur samt eftir sú mikilvæga niðurstaða að stöðugt vatnsborð næst í holunni eftir mjög skamma dælingu.

*5. Samandregnar niðurstöður og umræða**Reykjavík, 5 janúar, 1988**Grímur Björnsson*

Niðurstöður dæluþrófunar holu 2 má draga saman á eftirfarandi hátt:

1. Holan vinnur sjó úr æðum á 70-140 m dýpi.
2. Holan er hrunin á 152 m dýpi. Vatn sífrar upp í gegnum þennan hrunkafla í dælingu, en í mjög litlu magni.
3. Holan gefur í dælingu sjó með 15,5-16 °C hita, og seltu upp á 35-36 prómill, mælt með flotmæli.
4. Í dælingu jafnar holan sig fljótt á stöðugt vatnsborð og er það túlkað þannig að vinnsluæðar holu 2 hafi góð tengsl við vel lek vatnskerfi. Líkur benda til að þessi "leki" komi að ofan til æðanna, og að lekinn sé sjór.
5. Hægt er að fella mælda vatnsborðsferla að reiknilíkani þar sem gert er ráð fyrir að hola 2 vinni sjó úr láréttu vinnslulagi, sem er lokað að neðan en lekt að ofan. Langtímaspá sem byggir á þessu reiknilíkani bendir til að stöðugt vatnsborð náist eftir skamma dælingu. Hinsvegar er rétt að nota jöfnu 1 til að meta dýpi á vatnsborð í holunni í dælingu, þar sem reiknilíkanið gerir ekki ráð fyrir iðustreymistöpum.

Rétt er að benda á tvö vafaatriði sem dæluþrófun holu 2 getur ekki leyst úr. Þau eru annarsvegar selta og hinsvegar hitastig vatnsins við langvarandi dælingu. Vitað er að ferskt grunnvatnskerfi er skammt frá og landmegin við holuna. Ekki er hægt að segja til um hvort það vatn berist til holunnar við langvarandi dælingu. Að sama skapi er ekki hægt að segja til um hvort hitastig vatnsins verði stöðugt í langtíma dælingu. Líkur benda til að sjór/ferskvatn leki að ofan til æða holu 2 og má þar með ætla að einhver kólnun fylgi vinnslu. Kólnunarhraðinn er hins vegar óþekktur, en verður mjög háður stærð þess svæðis sem hinn kaldi leki fer um. Ef til vill má finna svar við þessari spurningu með tímafrekum líkanreikningum.

Hér verður ekki lagt mat á hve miklu vatni er hagkvæmt að dæla úr holunni. Þar ráða sjónarmið rafmagnkostnaðar. Benda má þó á að við stórtæka dælingu (> 20 l/s) virðist rúmur helmingur af dæluaflinu fara í að vinna upp iðustreymistöp í holunni og holuveggjum.

TAFLA 1: Þrepaprófun holu 2

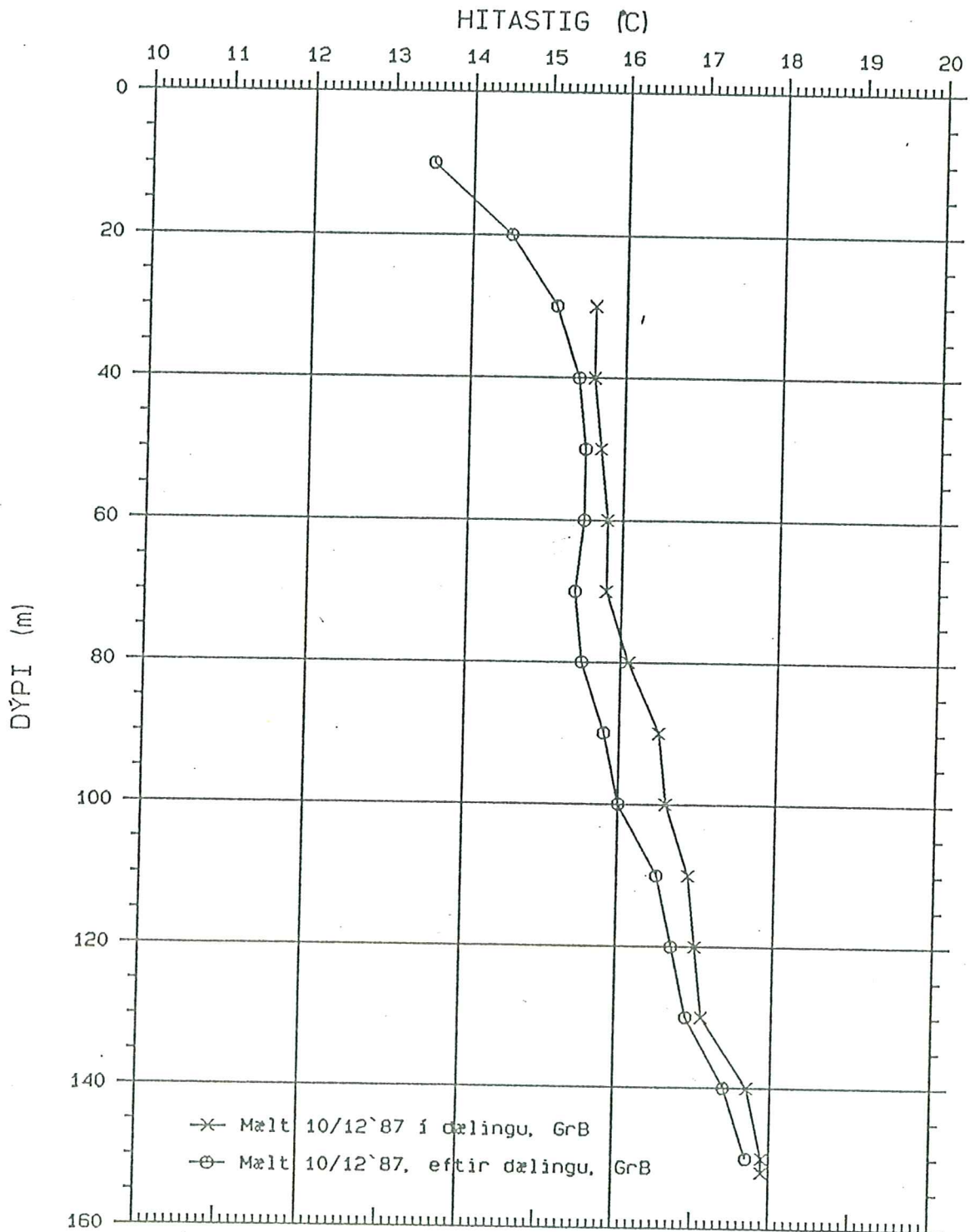
Tími	Vatnsborð	Dæling l/s	Skolhiti °C	Selta ‰	Athugasemdir
10:59	2.50				Fyrir dælingu
11:01	2.50				Þrep 1
11:02	2.82				
11:03½		0.9			Rennsli mælt í 135 l tunnu
11:06	2.95				
11:09	2.98	1.0			
11:13	2.99		12		Ónákvæm hitamæling
11:18	3.00				
11:23	3.00	1.0	12	35	
11:26					Þrep 2
11:26½	5.12				
11:29	6.18	7.0			Dregið úr rennsli
11:32	5.80		14.2		
11:35	5.64	4.5			
11:42	5.71				
11:44		4.5	15		
11:47	5.76				
11:53	5.81				
11:57	5.83	4.5	15.0	35	Farið í mat
12:40	5.88	4.5	15.2	35	
12:47	5.88				Þrep 3
12:48	7.56				
12:49	8.11				
12:52	8.95	8.4	15.2		
12:53		8.4			
12:54½	9.25				
13:00	9.59	7.9			
13:05	9.76				
13:11	9.86		15.5	35.5	
13:20	9.98				
13:28	10.06		15.6		
13:31	10.08				
13:32					Þrep 4: Fullopnæð á dælu
13:32½	10.44				
13:33	10.60	9.6			
13:35	10.85		15.8	35.5	
13:39	11.03	8.5			Rennsli mælt í 220 l tunnu
13:47	11.19	8.8			
14:09	11.33	8.9			
14:42	10.83	8.8			
14:49	10.78		15.8	35.5	
15:40	10.75	9.5	15.8	35.5	Holan hitamæld í dælingu
15:45					Dælingu lýkur, farið í kaffi
16:23	2.60				Holan hitamæld á nýjan leik
16:46	2.52				

TAFLA 2: Langtímaprófun holu 2 í desember, 1987. Tími gefinn í sekúndum frá upphafi dælingar.

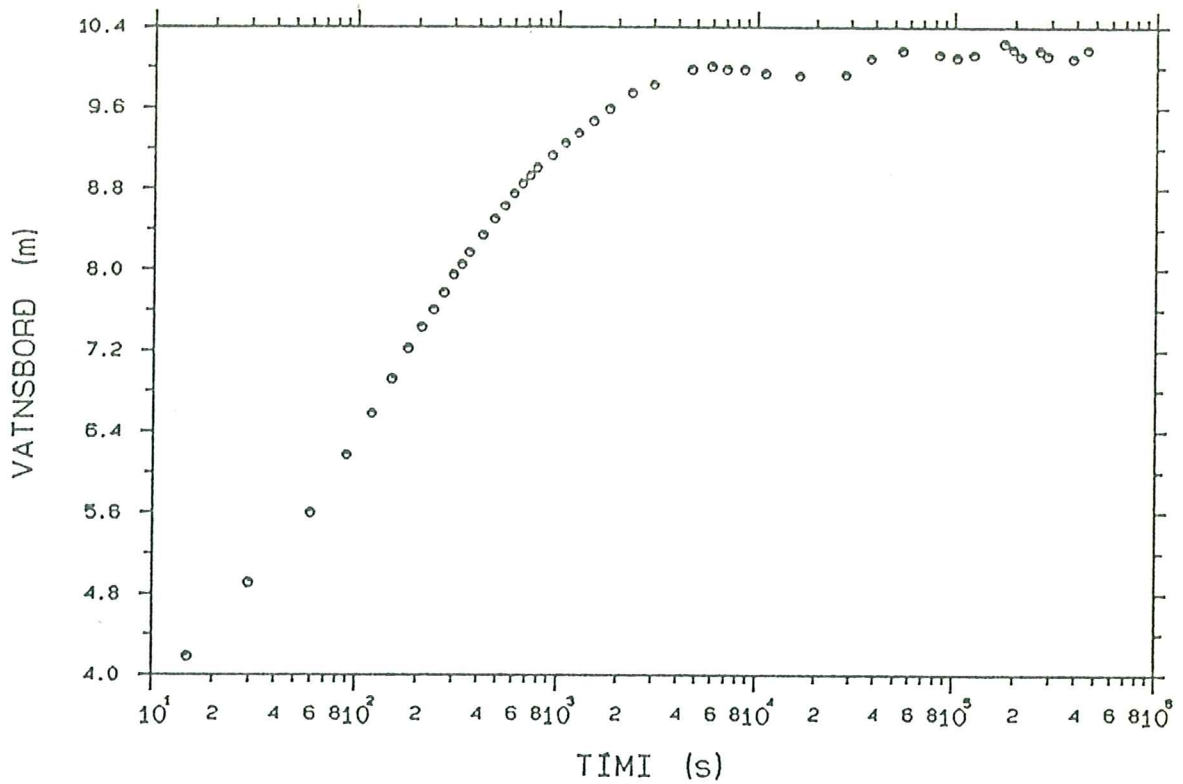
Dags	klst:mín	Tími s	Vatnsborð	Dæling l/s	Skolhiti °C	Selta ‰	Athugasemdir
11	8:37	0	2.47				Dæling hefst
11		15	4.18				
11		30	4.91				
11	8:38	60	5.60				
11		90	6.17				
11	8:39	120	6.58				
11		150	6.92				
11	8:40	180	7.22				
11		210	7.43				
11	8:41	240	7.60				
11		270	7.77				
11	8:42	300	7.95				
11		330	8.05				
11	8:43	360	8.17				
11	8:44	420	8.34				
11	8:45	480	8.00				
11	8:46	540	8.63				
11	8:47	600	8.75				
11	8:48	660	8.85				
11	8:49	720	8.93				
11	8:50	780	9.01				
11	8:52	930	9.13				
11	8:55	1080	9.25	8.1	15.7	35.5	
11	8:58	1260	9.35				
11	9:02	1500	9.47				
11	9:07	1800	9.59				
11	9:16	2340	9.75				
11	9:27	3000	9.83				
11	9:55	4680	9.98				
11	10:15	5880	10.01	7.9	15.5	35.0	
11	10:34	7020	9.98				
11	11:00	8580	9.98				
11	11:40	10980	9.94	7.9	15.5	35.0	
11	13:10	16380	9.92	7.9	15.7	35.0	
11	16:25	28080	9.93	7.9	15.7	35.5	
11	19:05	37680	10.09	7.9	15.7		
11	23:45	54480	10.17	7.9	15.7	35.5	
12	7:25	83700	10.13	7.9	15.7	35.5	Dagur 2
12	13:07	102600	10.10	7.9	15.7		
12	19:15	124080	10.13	7.9	15.7	36.5	
13	9:25	175680	10.24	7.9	15.7	35.5	Dagur 3
13	14:30	193980	10.18	7.9	15.7		
13	19:15	211080	10.11	7.9	15.7	36.0	
14	9:20	261780	10.17	7.9	15.7	36.0	Dagur 4
14	15:55	285480	10.12	7.9	15.7		
15	19:00	382980	10.09	7.9	15.7	35.5	Dagur 5
16	14:40	453780	10.18	7.9	15.7	35.5	Dagur 6

Tafla 2 - framhald

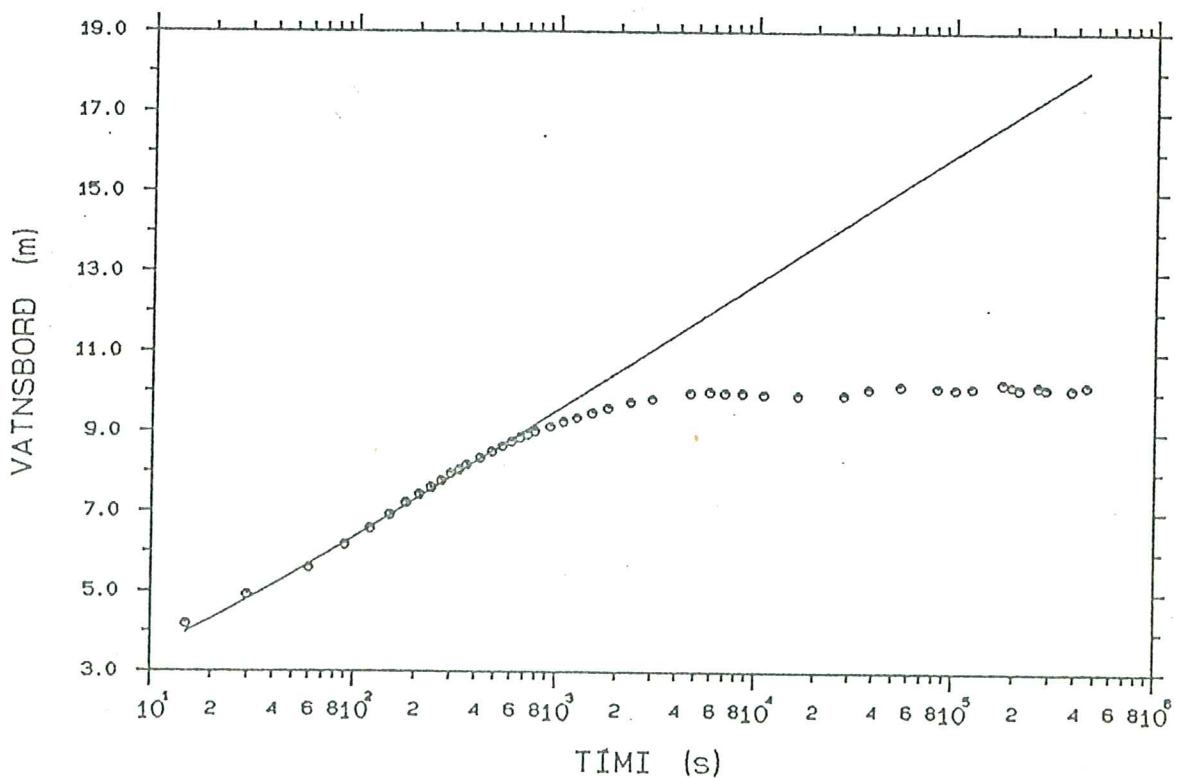
Dags	klst:mín	Tími s	Vatnsborð	Dæling l/s	Skolhiti °C	Selta ‰	Athugasemdir
16	15:50	457980	10.17	0.0			Dæling stöðvuð Mæld jöfnun
16		458010	8.00				
16		458025	7.44				
16	15:51	458040	7.00				
16		458055	6.55				
16		458070	6.30				
16		458085	6.08				
16	15:52	458100	5.89				
16		458130	5.51				
16	15:53	458160	5.30				
16		458190	5.06				
16	15:54	458220	4.86				
16		458250	4.71				
16	15:55	458280	4.55				
16	15:56	458340	4.31				
16	15:57	458400	4.12				
16	15:58	458460	3.96				
16	15:59	458520	3.82				
16	16:04	458820	3.31				
16	16:09	459120	3.04				
16	16:14	459420	2.89				
16	16:19	459720	2.78				
16	16:55	461880	2.45				Prófun lýkur

KÓPASKER - HOLA 2
HITAMÆLINGAR

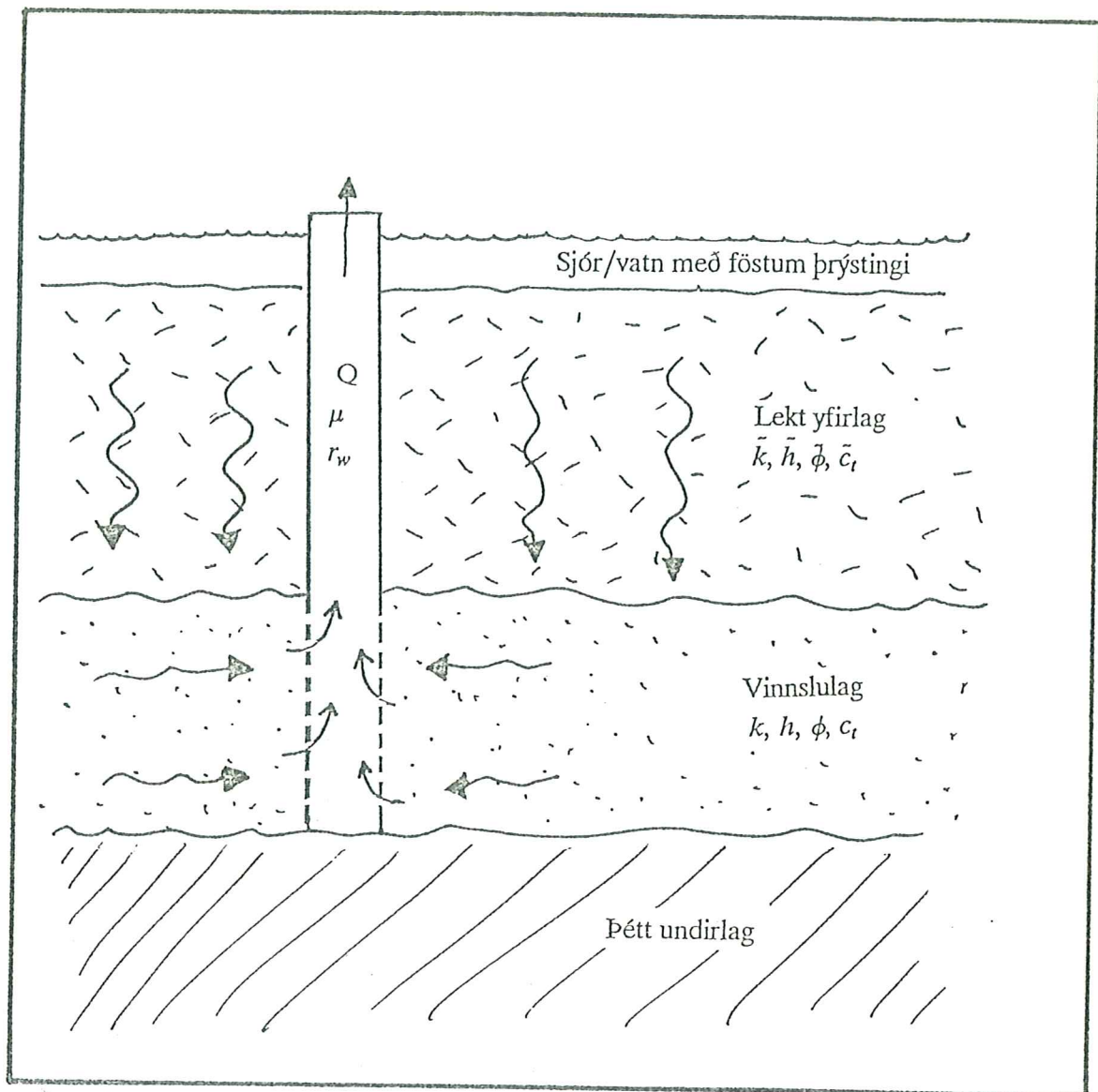
Mynd 1: Hitamælingar í holu 2 í og eftir dælingu.



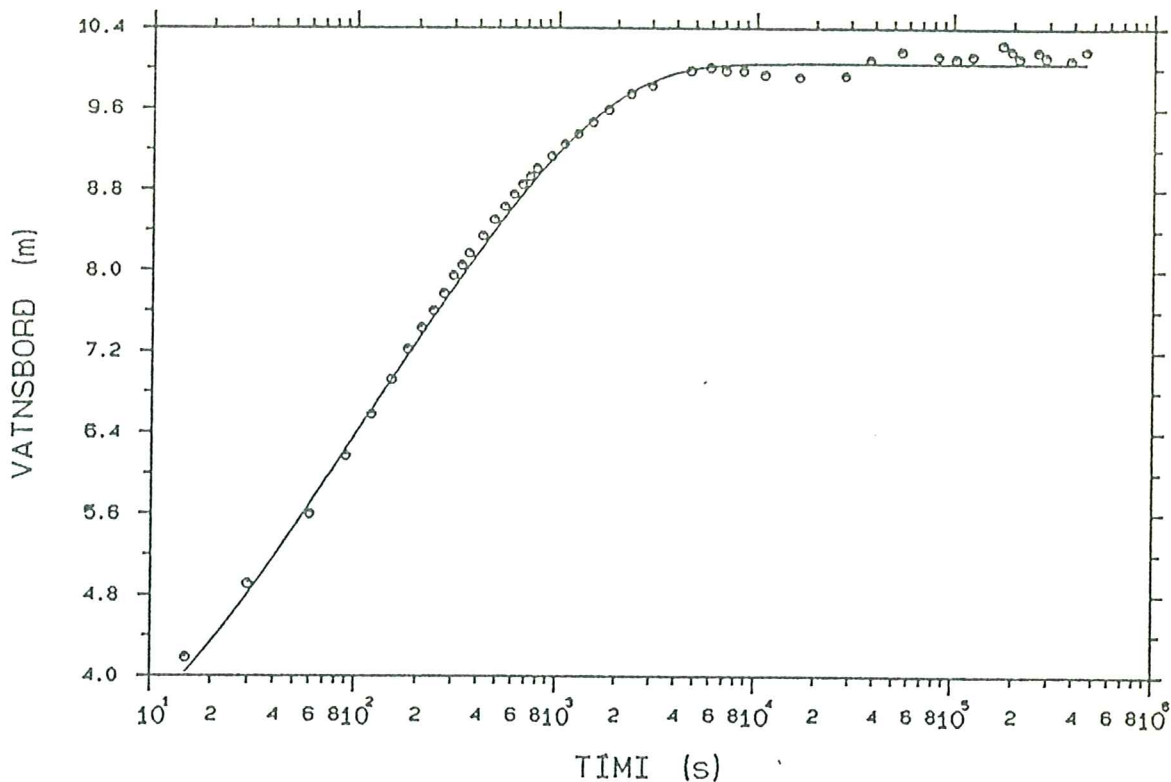
Mynd 3: Mælt vatnsborð í langtímadælingu holu 2.



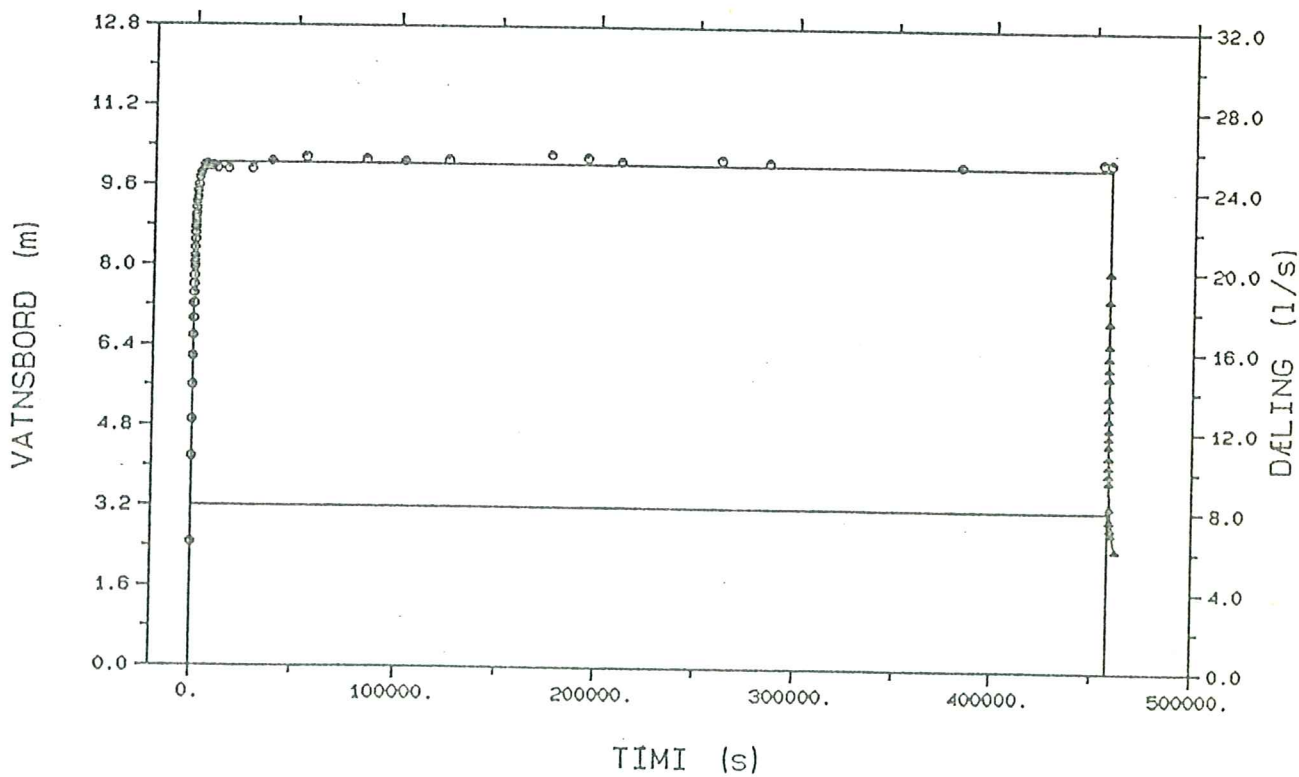
Mynd 4: Reiknuð lausn fyrir mæld gögn frá fyrstu 16 mínútum dæluþrófsins, samkvæmt Theis aðferð. Punktar eru mæligögn, reiknaður ferill er heildreginn.



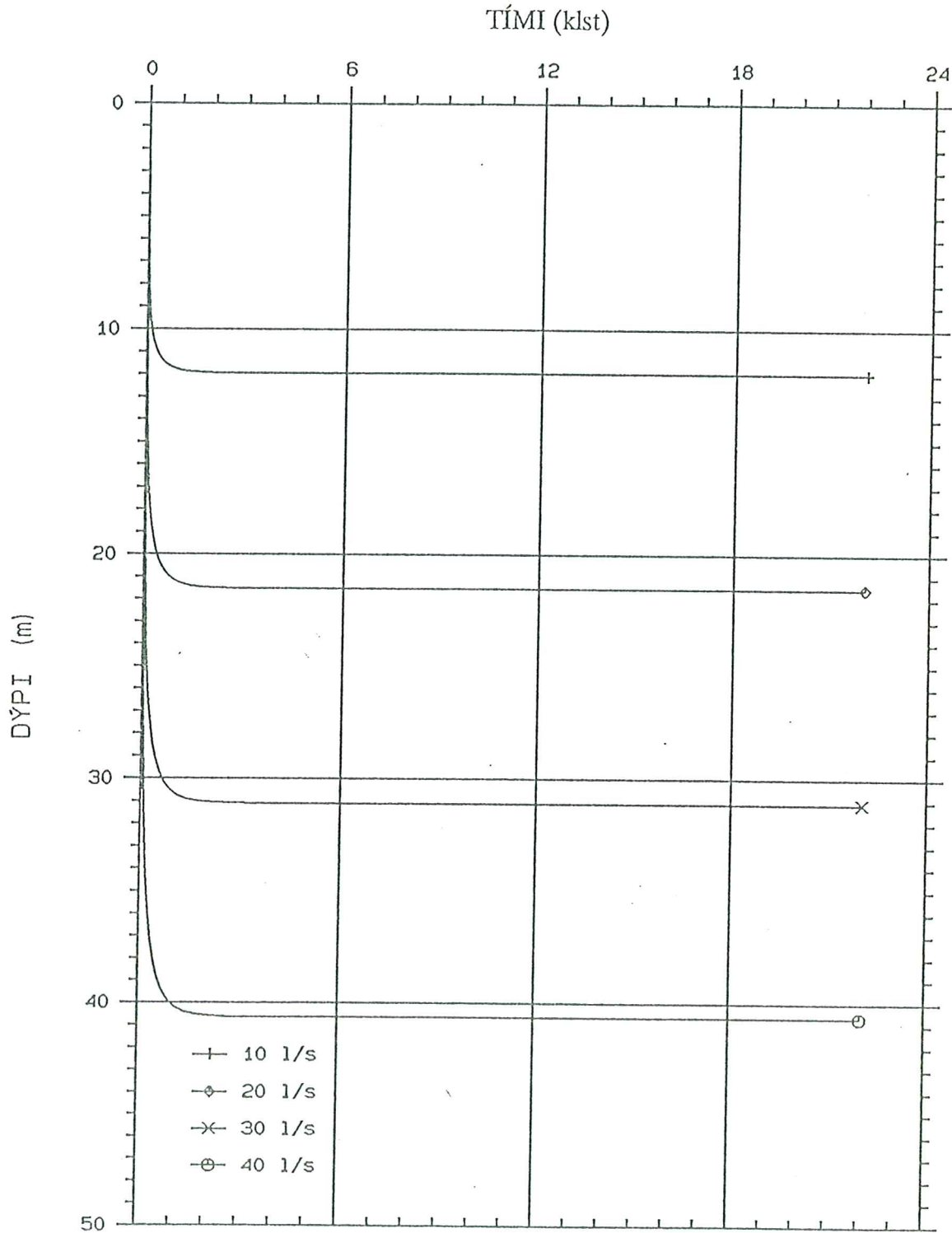
Mynd 5: Afstæð mynd af láréttu grunnvatnskerfi með leku yfirlagi og þéttu undirlagi. Þær stærðir sem notaðar eru í fræðilegum útreikningum eru sýndar á myndinni.



Mynd 6: Reiknuð og mæld gildi í langtímaprófi holu 2 ef gert er ráð fyrir að líkanið á mynd 5 gildi um umhverfi holunnar. Punktar eru mæld gögn, reiknaðir ferill er heildreginn. Stærðir sem liggja til grundvallar í reiknilíkaninu eru gefnar í texta.



Mynd 7: Reiknuð og mæld gildi í langtímaprófi og jöfnun holu 2. Sama líkan og í mynd 6.



Mynd 8: Vatnsborðsspá fyrir holu 2 ef gert er ráð fyrir að líkanið með leka yfirlaginu standist. Athugið að dýpi á vatnsborð er vanmetið, þar sem iðustreymistöp eru ekki tekin með inn í útreikninga.