KONINKLIJK NEDERLANDS METEOROLOGISCH INSTITUUT

TECHNISCHE RAPPORTEN

T.R. - 8

P.C.T. van der Hoeven

Voorlopige ijkopstelling voor barometers in het luchtdruk-ijklaboratorium (kamer 170)

De Bilt 1981

KONINKLIJK NEDERLANDS METEOROLOGISCH INSTITUUT

TECHNISCHE RAPPORTEN

T.R. - 8

P.C.T. van der Hoeven

Voorlopige ijkopstelling voor barometers in het luchtdruk-ijklaboratorium (kamer 170)

De Bilt 1981

Publikationnummer: K.N.M.I. T.R. 8 (FM)

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut,
Fysisch Meteorologisch Onderzoek,
Postbus 201,
3730 AE De Bilt,
Nederland

U.D.C. 551.508.41

9 januari 1981

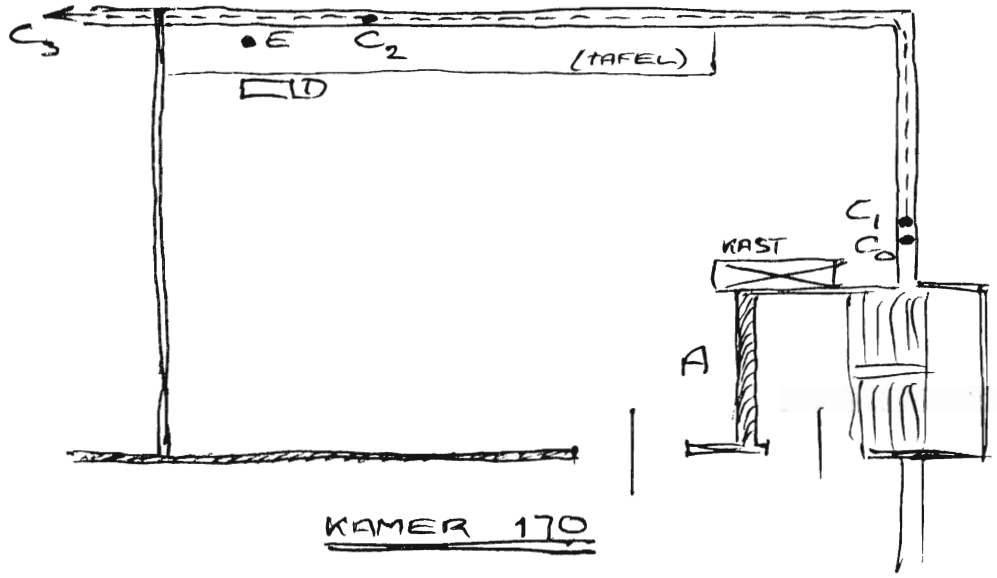
WERKGROEP BAROMETERIJKING

Mededeling no. 2

[redacted]

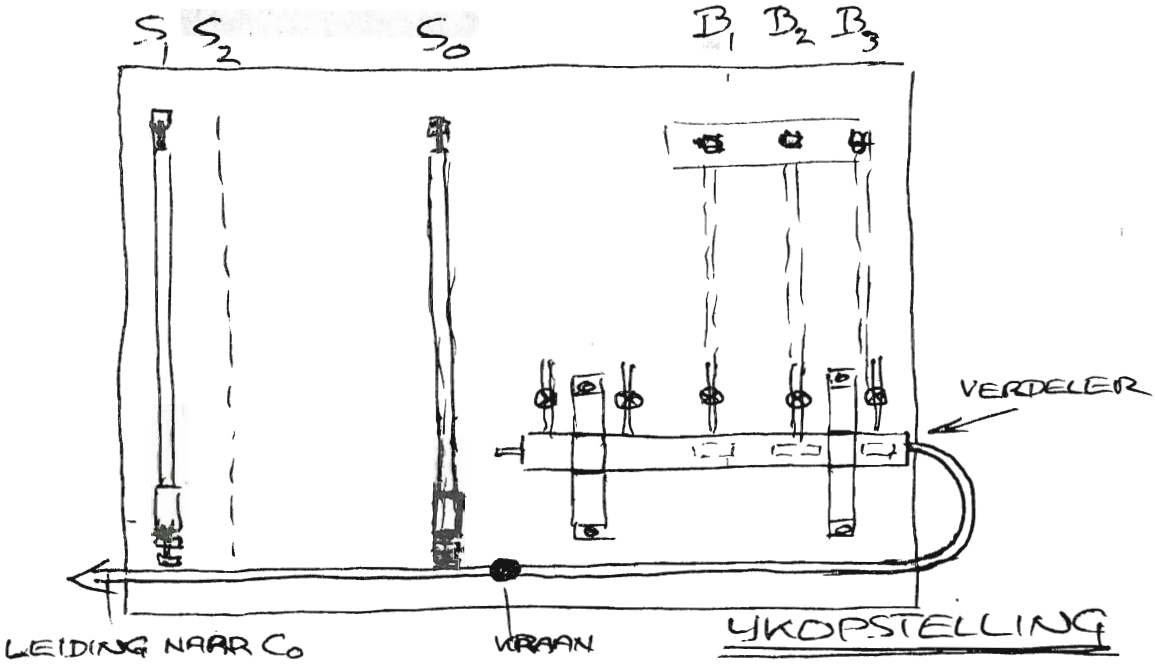
IJkopstelling in kamer 170

In de periode 12 december - 12 januari heeft INSA een voorlopige opstelling gebouwd in het ijklaboratorium in kamer 170, waarmee vlot kan worden geijkt op b.v. elf punten in het bereik 950-1050 mbar.



In de buurt van de brandtrap aan het kopeinde van vleugel 3B, is een drukvat ingegraven (in 1972) met een inhoud van rond 1800 l. Op twee punten van dit vat zijn afzonderlijke leidingen aangesloten. Eén leiding mondt uit in kraan C_o in kamer 170, en de andere in kraan C_1 (vlak naast C_o), die is doorverbonden met kraan C_2 in kamer 170 en C_3 in kamer 169. In de reeds aanwezige situatie bevond zich in de buurt van kraan C_2 een persluchtaansluiting E.

In kamer 170, tegen de blinde muur bij A, is een plaat duims multiplex aangebracht van 1,20 m hoog en 1,60 m breed, die voldoende ruimte en volledige vrijheid biedt bij het monteren van een ijkopstelling.



Het belangrijkste onderdeel van de ijkopstelling is een "verdeler" die via een leiding met kraan vast aangesloten is op uitgang C_o van het drukvat. Uit deze verdeler komen vijf uitgangen mèt kraan en één uitgang zonder kraan. Al deze uitgangen kunnen via een slang worden doorverbonden met een barometer.

Voorts zijn haken en stelringen aangebracht voor het ophangen van de nieuwe substandaard (S_1), voor de tot dusver gebruikte substandaard (S_o) en voor drie te ijken barometers (B_1, B_2 en B_3). Er is nog ruimte gereserveerd voor de tweede nieuwe substandaard (S_2) en ook tussen S_2 en S_o, en tussen S_o en B_1 is er nog plaats voor meer barometers.

Ten behoeve van de drukregeling van het vat zijn de volgende voorzieningen getroffen:

1. Op kraan C_1, is een leiding vastgemaakt die in open verbinding staat met de buitenlucht.
2. Uit de instrumentvoorraad werd een vacuumpomp opgenomen. Men stelde hem op in de buurt van de persluchtkraan, bij D.
3. Kraan C_2 is verbonden met de middelste poot van een driewegkraan. De twee overige uitgangen worden resp. op de zuigpomp (D) en op de perslucht (E) aangesloten.

4. Aan de afvoerzijde van de zuigpomp is een leiding vastgemaakt die in open verbinding staat met de buitenlucht (lucht uit vat stinkt !).
5. Kraan C_3 is dichtgemaakt met een afsluitdop.

Wil men -en dit is essentieel- de druk constant houden, dan moeten de kranen C_1 en C_2 en de niet gebruikte aansluitingen van de verdeler goed gesloten zijn, en uiteraard mogen er geen lekkages optreden in de diverse leidingen en verbindingen.

Wil men de druk verhogen, dan moet C_1 gesloten zijn en moet er enige tijd via C_2 perslucht in het vat geleid worden.

Wil men de druk verlagen, dan met C_1 gesloten zijn en moet er enige tijd via C_2 lucht uit het vat worden gepompt.

Ter bepaling van de gedachten nog het volgende. Wanneer men werkt in stappen van 10 mbar, dan moet voor één ijkstap 10/1000 x 1800 l = 18 l lucht in of uit het vat worden gebracht. En analoog, een luchtverplaatsing van 180 cc veroorzaakt een drukverandering van 0,1 mbar, en een luchtverplaatsing van 18 cc een drukverandering van 0,01 mbar. Uit deze gegevens volgt dat zelfs bij dit grote vat, zeer kleine lekken erg storend kunnen werken.

9 februari 1981

WERKGROEP BAROMETERIJKING

Mededeling no. 9

[redacted]

Eigenschappen ijkopstelling barometers

Eind januari werd een aantal proeven uitgevoerd om bekend te raken met de eigenschappen van de installatie waarmee straks barometers geijkt moeten worden. Het belangrijkste onderdeel van deze installatie is het drukvat. De eigenschappen, die in het drukvat zijn "ingebouwd", zijn bijzonder standvastig:

Inhoud van het vat : 1,8 m^3

Vermoedelijke afmetingen: doorsnede 0,95 m, lang 2,60 m

Gewicht van het vat: volgens grove schatting 600 kg

een drukverandering van:	kan veroorzaakt worden door: toevoegen hoeveelheid lucht à 15 °C en 1000 mbar:	temperatuur-verhoging van:
10 mbar	18 liter	3 °C
1 mbar	1,8 liter	0,3 °C
0,1 mbar	180 cc	0,03 °C
0,01 mbar	18 cc	0,003 °C

Voor de door adiabatische temperatuurverandering veroorzaakte over- of onderdrukken blijkt een halveringstijd van rond 1 minuut te gelden:

na druksprong 10 mbar : ruim 2 mbar aan te passen (na 5 minuten aanpassing beter dan 0,1 mbar)

na druksprong >30 mbar : 5 à 7 mbar aan te passen (na kleine 10 minuten aanpassing beter dan 0,1 mbar).

De eigenschappen van de installatie als geheel zijn bepaald minder standvastig. Op dit moment gelden hier de volgende gegevens:

lek : over 100 mbar drukverval 0,05 mbar/uur (= bijna niets)

drukverhogen : perslucht, 12 à 13 s/10 mbar

drukverlagen : pompen, 60 s/10 mbar.

Overige zaken

Alvorens te kijken hoe het vat zich in daadwerkelijk gebruik gedraagt, is het erg nuttig elke keer eerst eens uit te rekenen wat hier op grond van de gaswetten verwacht zou moeten worden. De wet, die hier verreweg het vaakste van toepassing is, is de gaswet van Boyle-Gay Lussac:

$$\frac{p.V}{T} = m.R$$

p druk van de lucht in het vat in N/m^2.

V volume van het vat in m^3.

T temperatuur van de lucht in het vat in ^oK.

m massa van de lucht in het vat in kg.

R gasconstante; voor droge lucht geldt $R = 287,05\ J/kg/^oK$.

1. Drukverandering bij constante temperatuur

Brengen we Δm kg extra lucht in het vat en houden we daarbij het volume en de temperatuur constant, dan zal de druk p met Δp toenemen, en geldt:

$$\frac{(p + \Delta p).V}{T} = (m + \Delta m).R$$

waaruit:

$$\frac{\Delta p.V}{\Delta m} = R.T$$

Daar het vat ingegraven is met de bovenkant op één meter beneden het maaiveld, zal de temperatuur in het vat in de buurt van het jaargemiddelde van 10 ^oC = 283 ^oK liggen, en krijgen we:

$$\frac{\Delta p.V}{\Delta m} = 287,05.283 = 81240$$

Deze betrekking is op twee manieren te gebruiken. In de eerste plaats kan men het volume van het vat bepalen wanneer Δm bekend is en Δp gemeten wordt:

Bij een luchtdruk van 1035,0 mbar ofwel 103500 N/m^2 werd twintig maal onder een met water gevulde maatbeker een liter lucht vanuit het vat

afgemeten. De temperatuur van het water waar de lucht doorheen borrelde kan op 10 °C = 283 °K geschat worden. Het ging hier dus elke keer om:

$$m = \frac{p.V}{T.R} = \frac{103500.0,001}{283.287,05}$$

$$= 0,00127 \text{ kg lucht/liter}$$

De uitkomst van de proef is uitgezet in bijlage 1. Afgezien van de eerste twee, lagen de punten schitterend op een rechte lijn. Uit de figuur kan opgemeten worden dat een Δm van 20 l, ofwel van 0,0254 kg, een drukval van 11,55 mbar = 1155 N/m^2 veroorzaakte, en het volume van het vat wordt dan:

$$V = 81240 \cdot \frac{\Delta m}{\Delta p} = 81240 \frac{0,0254}{1155} = 1,80 \text{ m}^3$$

In de tweede plaats kunnen we, nu we de inhoud van het vat weten, de hoeveelheid lucht bepalen die nodig is voor een druksprong van bijv. 10 mbar = 1000 N

$$\Delta m = \frac{V.\Delta p}{81240} = \frac{1,80.1000}{81240} = 0,0221 \text{ kg per 10 mbar}$$

Stel nu dat de in- of uitgebrachte lucht buiten het vat een temperatuur van 15 °C en een druk van 1000 mbar heeft, dan is de massa m' van 1 l van die lucht:

$$m' = \frac{p.V}{T.R} = \frac{100000.0,001}{288.287,05} = 0,00121 \text{ kg per liter}$$

waarmee het aantal I liters lucht dat nodig is om een druksprong van 10 mbar te bewerkstelligen gelijk wordt aan:

$$I = \Delta m/0,00121 = 18,3 \text{ liter per 10 mbar.}$$

2. Druksprong door temperatuurwijziging

Indien we de hoeveelheid lucht in het vat constant houden en er treedt om een of andere reden een temperatuurverandering ΔT op in die lucht, dan krijgen we ook hier een druksprong. Gaan we uit

van lucht van 10 °C onder 1000 mbar, dan levert de gaswet:

$$(p + \Delta p).V = (T + \Delta T).m.R$$

waaruit:

$$\Delta p = \Delta T \cdot \frac{mR}{V} \quad \text{of, omdat} \quad \frac{mR}{V} = \frac{p}{T}$$

$$= \frac{p}{T} \cdot \Delta T = \frac{100000}{283} \cdot \Delta T$$

$$= 353\ \Delta T$$

Bij gelijkblijvend volume vertoont de lucht in het vat dus na een temperatuurverhoging van 1 °C een drukverhoging van 353 N/m^2 ofwel van 3,5 mbar.

3. Adiabatische toestandveranderingen

Voor een druksprong van 10 mbar moesten we Δm = 0,0218 kg lucht in het vat brengen. Binnen het vat neemt deze hoeveelheid Δm, bij p = 1000 mbar en T = 10 °C volgens de gaswet een ruimte ΔV in van:

$$\Delta V = \frac{T.\Delta m.R}{p} = \frac{283.0,0221.287,05}{100000}\ m^3 = 0,0179\ m^3$$

De lucht die oorspronkelijk in het vat zat moet dus bij het inbrengen van de lucht gecomprimeerd worden van volume V tot V-ΔV. De inwendige energie neemt daarbij toe met:

$$A = p.\Delta V = 10^5.0,0177 \text{ joule}$$

$$= 1790 \text{ joule}$$

Dit bedrag aan joules wordt daarbij omgezet in een temperatuurtoename ΔT. Daar de warmtecapaciteit bij constant volume C_v voor lucht gelijk is aan 714 J/kg/°K, wordt deze temperatuurtoename (hier geldt $A = C_v.m.\Delta T$) gelijk aan:

$$\Delta T = \frac{A}{C_v.m} = \frac{A.T.R}{C_v.p.V} =$$

$$= \frac{1790.283.287,05}{718.10^5.1,80}\ °C = 1,13\ °C$$

En omdat die lucht hier is opgesloten in het vat, gaat deze temperatuurverhoging volgens punt 2 samen met - en kunnen we die buiten het vat waarnemen aan - een drukverhoging Δp_T van:

$$\Delta p_T = 353.1,13\ N/m^2 = 398\ N/m^2 = 4,0\ mbar.$$

Dit betreft hier dus bepaald geen te verwaarlozen effect. Als het vat van binnen geheel bekleed was geweest met een zeer lichte en goed isolerende laag, bijv. met 1 cm tempex, en men zou er (zie punt 1) 18 l lucht inbrengen met de bedoeling de druk van 1000 mbar naar 1010 mbar te brengen, dan zou men na deze keurig uitgemeten injectie, in het vat niet de verwachte 1010 mbar aantreffen maar een druk van niet minder dan 1014 mbar. Men realisere zich hier overigens dat deze 40% toeslag op drukveranderingen in principe voor elk vat geldt, ongeacht inhoud, druk en temperatuur. Vullen we namelijk alle formules die hier gebruikt zijn in elkaar in, dan valt bijna alles weg en houden we op het einde over:

$$\Delta p_T = \frac{R}{C_v} \cdot \Delta p = \frac{287,05}{718} \cdot \Delta p$$
$$= 0,40\ \Delta p$$

en hierin is dan:

Δp de "bedoelde" drukverandering

Δp_T de "toeslag" ten gevolge van de adiabatische temperatuurverandering.

Nu is het vat in werkelijkheid ongeïsoleerd en erg zwaar, en de lucht die erin zit verschrikkelijk dun en licht. Zodra er dan ook ten gevolge van het pompen een temperatuurverandering in de lucht in het vat ontstaat, komt er meteen een warmteuitwisseling op gang om deze temperatuurverandering weer ongedaan te maken. De 1790 joule, die hier na een 10mbar-sprong weggewerkt moeten worden, kunnen dan ook vrijwel "spoorloos" in het ijzer verdwijnen. De temperatuurverandering in het ijzer, ΔT_{ij}, bedraagt hier iets in de orde van:

$$\Delta T_{ij} = \frac{1790}{C_{ij} - m_{ij}} = \frac{1790}{480-600} = 0,006\ ^oC.$$

Terugvertaald naar druk (zie weer punt 2) blijft er van de "toeslag" van 4 mbar na volledige temperatuuraanpassing dus uiteindelijk maar

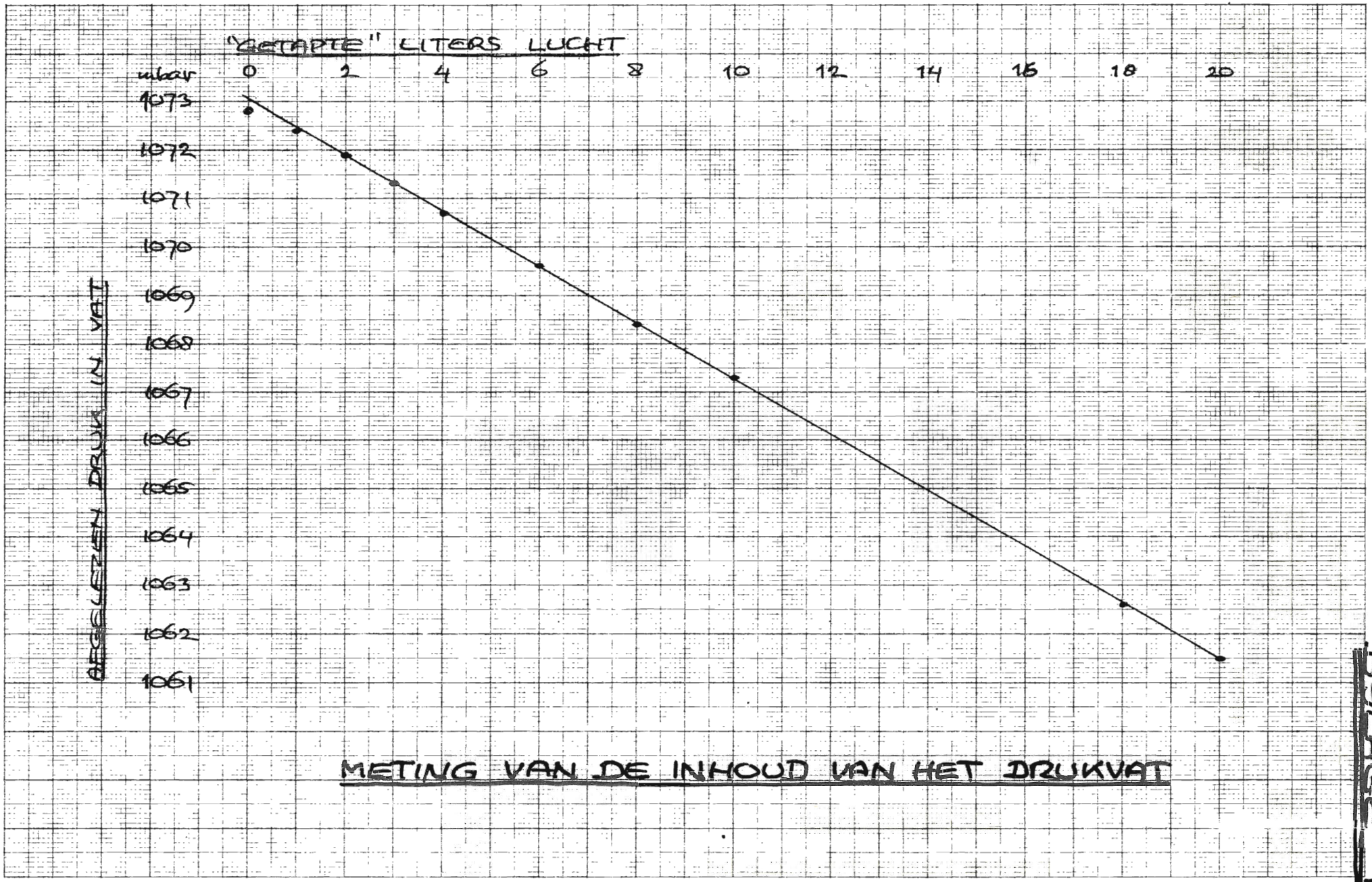
ongeveer 0,02 mbar over. En omdat op nog langere duur ook de grond rond het vat mee gaat doen, zal dit restant na verloop van uren en dagen heel langzaam aan nog wat verder verdwijnen. Hier valt uitstekend mee te werken.

Niet minder belangrijk is dat ook de tijd, die de lucht nodig heeft om te kunnen aanpassen, hoewel er beslist rekening mee moet worden gehouden, toch erg meevalt. In bijlage 2 is een aantal proeven samengevat. Een eerste belangrijke constatering is, dat na afloop van het aanbrengen van een 10-mbar sprong (uitpompen of persen maakt geen verschil) ruim de helft van de 4 mbar onder- of overdruk al is verdwenen tijdens dat aanbrengen van die sprong. Voor het aanpassen van de dan nog resterende 2 mbar blijkt op een bijzonder prettige en gemakkelijk te onthouden manier op te gaan, dat die elke minuut gehalveerd wordt. Na een minuut of vijf is de aanpassing hier beter dan een tiende millibar.

Na het aanbrengen van grotere druksprongen blijkt er na het sluiten van de kraan van de "40% toeslag" nog veel minder overgebleven. Ook voor de dan nog aan te passen 3-7 mbar blijkt de halveringstijd van 1 minuut heel redelijk op te gaan, en moet men de lucht navenant meer tijd geven om thermisch in evenwicht met het drukvat te komen.

En kijken we nu nog eens naar bijlage 1: Het aftappen van de liters lucht nam in totaal ongeveer 40 minuten in beslag. Hier hadden die adiabatische temperatuureffecten dus geen kans tot uiting te komen. Vóór de proef stond het vat echter op 1090 mbar. Daar de nonius zo niet meer was af te lezen, werd begonnen met 20 mbar uit het vat te laten lopen. Na de kraan weer goed gesloten te hebben, werd de eerste aflezing gedaan en werd het "tappen" van de liters lucht gestart. In bijlage 1 kan men zien dat dit begin te voortvarend is geweest. De eerste twee punten vallen buiten de lijn!

Tot slot nog iets wat op het eerste gezicht helemaal fout lijkt: Als we barometers gaan ijken en we gaan "960 STEP 10 UNTIL 1050" <u>omhoog</u>, dan werken we met platte meniscus, en gaan we "1040 STEP 10 UNTIL 950" <u>omlaag</u>, dan werken we met een zeer bolle meniscus.



METING VAN DE INHOUD VAN HET DRUKVAT

BIJLAGE 1

BYLAGE 2

DRIE MAAL 60 SECONDEN POMPEN

vóór shift (shift)	987,6 (10,1 mbar)		977,5 (10,5 mbar)		968,0 (10,1 mbar)	
begin	975,5	-2,0	966,2	-1,8	956,3	-1,8
30 s	976,4	-1,1	966,8	-1,2	956,9	-1,2
1 min	976,8	-0,7	967,3	-0,7	957,2	-0,9
2 min	977,1	-0,4	(967,8)	(-0,2)	957,8	-0,3
3 min	977,3	-0,2	968,0	0,0	957,9	-0,2
4 min	977,5	0,0	968,0	0,0	958,0	-0,1
5 min	977,5	0,0	968,0	0,0	958.1	0,0

DRIE MAAL 12 SECONDEN BLAZEN

vóór shift (shift)	958,1 (9,5 mbar)		967,6 (9,4 mbar)		977,0 (8,6 mbar)	
begin	969,1	+1,5	978,8	+1,8	987,5	+1,9
30 s	968,6	+1,0	978,1	+1,1	986,8	+1,2
1 min	968,3	+0,7	977,7	+0,7	986,5	+0,9
2 min	967,9	+0,3	977,3	+0,3	986,0	+0,4
3 min	967,7	+0,1	977,1	+0,1	985,7	+0,1
4 min	967,6	0,0	977,0	0,0	985,6	0,0
5 min	967,6	0,0	977,0	0,0	985,6	0,0

VIER GROTERE SHIFTEN

vóór shift (shift)	1032,3 600 s pompen (94,5 mbar)		1052,2 640 s pompen (104,3 mbar)		985,6 80 s blazen (46,7 mbar)		937,8 180 s blazen (114,8 mbar)	
BEGIN	934,8	-3,0	944,7	-3,2	1038,2	+5,9	1060,0	+7,4
30 s	936,0	-1,8	945,9	-2,0	1036,1	+3,8	1057,2	+4,6
1 min	936,7	-1,1	946,6	-1,3	1034,7	+2,4	1055,5	+2,9
2 min	937,2	-0.6	947,2	-0,7	1033,5	+1,2	1054,0	+1,4
3 min	937,5	-0,3	947,5	-0,4	1032,9	+0,6	1053,5	+0,9
4 min	937,7	-0,1	947,7	-0,2	1032,6	+0,3	1053,2	+0,6
5 min	937,7	-0,1	947,8	-0,1	1032,6	+0,3	1053,0	+0,4
6 min	937,8	0,0	947,9	0,0	1032,4	+0,1	1052,9	+0,3
8 min	937,8	0,0	947,9	0,0	1032,3	0,0	1052,8	+0,2
10 min	937,8	0,0	947,9	0,0	1032,3	0,0	1052,7	+0,1
12 min	937,8	0,0	947,9	0,0	-	-	1052,6	0,0