



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Experimenten met een microbarometer kalibrator

Hans Beekhuis

De Bilt, 2012 | Technical report; TR-333

Experimenten met een microbarometer kalibrator

Versie 1.0

Datum 15 mei 2012
Status Definitief



**Technisch Rapport KNMI TR-333, 2012,
Experimenten met een microbarometer kalibrator**

Hans Beekhuis

Uitgevoerd in het kader van het project
Microbarometer Kalibratie
Project MBC

Projectnummer	841012080054
Opdrachtgever	Bernard Dost
Projectleider	Hans Beekhuis
Datum	15 mei 2012
Versie	definitief



Inhoudsopgave

0.1.	Samenvatting.....	3
0.2.	Advies.....	4
1.	Inleiding.....	5
1.1.	Doel van het project.....	5
1.2.	Context van het project.....	5
1.3.	De KNMI microbarometer.....	6
	Prototype opstelling.....	8
1.4.	Toepassingsgebied.....	8
1.5.	Eisen aan de Kalibrator.....	8
1.6.	Opstelling.....	9
1.7.	Voorgestelde meetprocedure.....	11
2.	Verkennde metingen.....	12
2.1.	Controle van de referentie sensor.....	12
2.2.	Bepaling van het op te wekken drukverschil.....	13
2.3.	Vormvastheid.....	13
2.3.1.	Mechanische belasting.....	13
2.3.2.	Thermische stress.....	14
2.3.3.	Aansluitingen.....	14
2.4.	Gevoeligheid.....	14
2.5.	Lineariteit.....	15
2.6.	Frequentie karakteristiek.....	16
2.7.	Invloed van de temperatuur.....	17
2.7.1.	Opwarming.....	17
2.7.2.	Temperatuurstress.....	18
2.7.3.	Temperatuurdrift.....	18
2.8.	Ruis bijdrage door de ventilatie.....	19
2.9.	Absolute of differentiële kalibratie.....	19
3.	Ontwerpaspecten.....	20
3.1.	Luchtdichtheid verbeteren.....	20
3.2.	Relaxatie effect.....	21
3.3.	Vorm en materiaal keuze.....	22
3.4.	Druk generator.....	22
3.5.	Aansluiting van de microbarometer.....	22
3.6.	Stroomsturing van de luidsprekers.....	22
3.7.	Overige aspecten.....	24
3.7.1.	DC-DC converter.....	24
3.7.2.	Stoorsignalen veroorzaakt door de demodulator.....	24
4.	Conclusies en aanbevelingen.....	25
4.1.	Bruikbaarheid t.a.v. het gestelde doel.....	25
4.2.	Temperatuur meting in de kalibrator en ventilatie.....	25
4.3.	Ontwerpaspecten.....	26
5.	Geraadpleegde literatuur.....	27
6.	Bijlagen.....	28
6.1.	Paroscientific 1030G barometer.....	28
6.2.	Sphynx SP-W130-PP Luidsprekers.....	29
6.3.	Validyne DP45-14 Microbarometer.....	30
6.4.	NI USB 609 Data-acquisitie unit.....	32



0.1. Samenvatting

In dit project is een prototype voor een kalibratie opstelling voor de KNMI microbarometer gerealiseerd.

In een aantal experimenten zijn eigenschappen van deze kalibrator bepaald, met het doel de bruikbaarheid van de kalibrator te schatten. Er wordt hierbij een onderscheid gemaakt tussen een differentiële modus en een absolute modus.

- In de differentiële modus worden beide poorten van de microbarometer sensor aangesloten op de calibrator. Deze modus is bruikbaar om de sensor van een microbarometer te controleren.
- In absolute modus wordt een compleet geassembleerde microbarometer aangesloten op de calibrator. Deze modus is bedoeld om een kalibratie van de complete microbarometer uit te voeren.

De resultaten geven aan dat de kalibrator in differentiële modus bruikbaar is om de sensor in de microbarometer te controleren op juiste werking. De microbarometer sensor kan worden geëxciteerd op het frequentie gebied van 0.01 Hz tot 10 Hz met een amplitude tussen 1 en 100 Pa. De bereikbare nauwkeurigheid is daarbij 0.1 Pa. De reproduceerbaarheid daarbij is rond de 0.5 Pa. Deze waarden liggen dicht bij de eisen die SO heeft opgesteld.

De kalibrator is echter **niet** geschikt voor gebruik in de absolute modus. De reproduceerbaarheid is daarvoor niet groot genoeg en de ruis/drift ten gevolge van temperatuurverschillen is onvoldoende gecontroleerd.

Een oplossing om deze opstelling toch bruikbaar te maken zou kunnen zijn deze calibrator in een differentiële modus te gebruiken door de microbarometer onder test te vergelijken met een microbarometer die de universiteit van Los Alamos is gekalibreerd. Door de referentie op de ene kamer en de Microbarometer onder test op de andere kamer aan te sluiten is een vergelijkende meting mogelijk. Onder de aanname dat beide micro barometers een vergelijkbare karakteristiek hebben t.a.v. temperatuurgedrag en een symmetrisch opstelling m.b.t. tot het dode volume zal een vergelijk te maken zijn tegen de microbarometer onder test. Immers de drukveranderingen tussen beide kamers zijn op een het teken na symmetrisch. Deze mogelijkheid is in dit project niet onderzocht.

Een poging om in absolute modus te compenseren voor temperatureffecten is niet haalbaar gebleken, De temperatuur kan niet met voldoende nauwkeurigheid worden bepaald om deze compensatie mogelijk te maken.

Daarnaast in dit rapport een aantal aanbevelingen gedaan voor verbeteringen aan de calibrator.



0.2. Advies

Zoals in de vorige paragraaf vermeld zal er een nog aanzienlijke inspanning nodig zijn om de prototype kalibrator om te zetten naar een operationeel meetinstrument.

De KNMI organisatie is echter niet meer ingericht op het vervaardigen van apparatuur. In de afgelopen jaren is bij de afdeling WIS-service de focus verlegd naar dienstverlening ten behoeve van het operationele meetnet. Daarbij is de functie instrumentmakerij verregaand afgebouwd. Ook de afdeling I-RD beschouwt instrumentatieontwikkeling “in huis” niet meer als een kerntaak. Het dus realistisch om vast te stellen dat dit werk niet binnen het de afdeling KNMI-INFRA kan worden uitgevoerd.

Dat betekent dat realisatie van een kalibrator buiten het KNMI zou moeten worden uitgevoerd¹. Daarbij moet wel rekening worden gehouden met de personele capaciteit die nodig is bij het opstellen van specificaties, het genereren van bouwbestek en de begeleiding van dit proces.

Ten slotte zou er naar een kant en klare kalibrator gezocht kunnen worden bij firma's die gespecialiseerd zijn in geluidsdrukmetingen². Apparatuur die een microfoon kan kalibreren bij frequentie in de order van 1 Hz is mogelijk (met geringe aanpassingen) bruikbaar voor microbarometers.

Het advies omvat:

- Het afronden van het huidige project en het voorliggende rapport vastleggen in een KNMI intern Technisch Rapport.
- Naar gelang de behoefte navraag doen naar mogelijk “uit-huis” ontwikkelen van de kalibrator
- Naar gelang de behoefte een marktscan uitvoeren voor de inzet van kalibrators voor laagfrequente microfoons.

Hans Beekhuis

¹ Er kan daarbij worden gedacht aan uitbesteding bij de werkplaats van de Universiteit Utrecht.

² Bijvoorbeeld de firma Brüel & Kjær lijkt een geschikt startpunt voor deze vraag.



1. Inleiding

1.1. Doel van het project

Het project Micro Barometer Calibration (MBC) heeft tot doel een opstelling te realiseren die gebruikt kan worden om de microbarografen zoals die in de infrageluid array's worden gebruikt te kunnen controleren en indien mogelijk te kalibreren. Aangezien de microbarometers onder operationele omstandigheden gebruikt worden is het uiteindelijke doel van dit project om de kalibratie en kwaliteitsborging van deze sensoren in te richten analoog aan de (andere) operationele sensoren van het KNMI.

In dit rapport worden de eisen die gesteld worden aan een conceptueel ontwerp van deze kalibratie opstelling gepresenteerd, en wordt een aantal verkennende metingen, die met deze opstelling zijn uitgevoerd, besproken. Daarmee zijn de relevante eigenschappen van de kalibrator vastgelegd. Het doel van dit rapport is ook om informatie te leveren voor het bepalen van de te volgen strategie. Een strategie die moet leiden tot een levensvatbaar ontwerp van de kalibrator.

1.2. Context van het project

Infrageluid of infrason geluid is geluid dat bestaat uit zogeheten infrason trillingen. Dit zijn geluidsgolven waarvan de frequentie zo laag ligt dat het menselijk gehoororgaan dit niet meer als geluid kan waarnemen. Infrageluid beslaat ruwweg het frequentie domein tussen 0.002 hertz en 20 hertz.

Bronnen die infrageluid op wekken zijn grote verplaatsende volumes lucht, of bewegende oppervlaktes, zoals:

- Grote explosies, zoals die van de vuurwerkcramp in Enschede,
- Vulkanische uitbarstingen. Activiteit van de Etna in 2001 is in Nederland geregistreerd
- Meteorologische verschijnselen, zoals gravitatie golven.
- Vliegtuigen die door de geluidsbarrière gaan,
- Bovengrondse kernbomproeven,
- Meteorietinslagen.

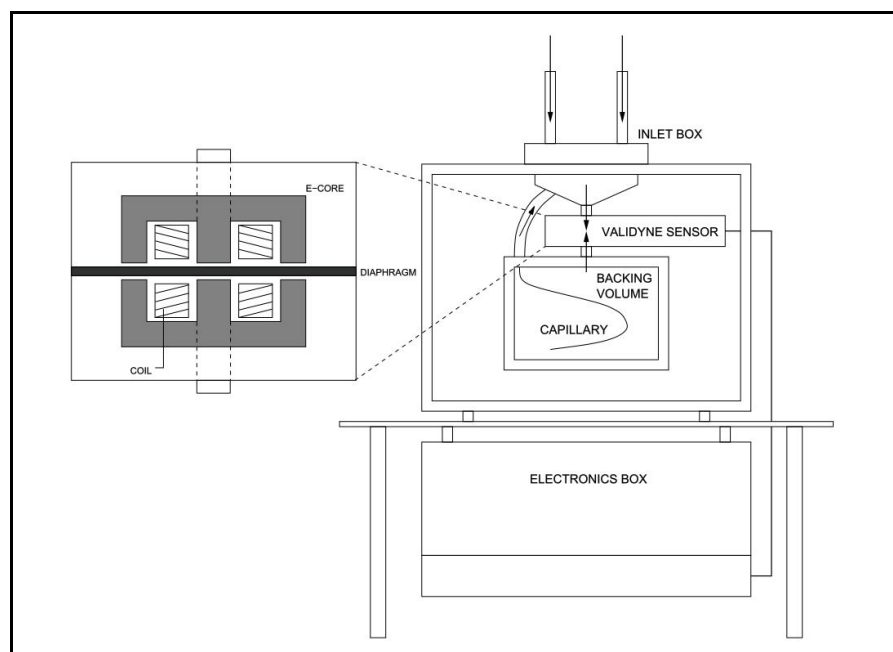
Voor het meten van infrageluid gebruikt men een microbarometer, een gevoelige en hoog frequente variant van de barometer. Gebruikmakend van een array van microbarometers en adequate signaal bewerking is het mogelijk de richting waaruit het signaal komt vast te stellen. Met twee of meer van deze arrays is het dus mogelijk de plaats van de bron te bepalen. Dit wordt toegepast bij de verificatie van het kernstopverdrag, internationaal aangeduid als het Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBT).

Sinds 2006 is een wereldwijd netwerk gerealiseerd van 60 meetlocaties waarop infrageluid wordt gemeten. Deze methode van detectie is effectief omdat infrageluid zich, vanwege zijn geringe absorptie, over zeer lange afstanden door de atmosfeer kan voortplanten. Met dit netwerk kunnen wereldwijd bovengrondse kernexplosie worden waargenomen met een grenswaarde van ongeveer 1 kiloton TNT.

Ook het KNMI registreert op een vijftal locaties infrageluid. Op zo'n locatie wordt door een array van 5 tot 16 microbarografen infrageluid bemonsterd. Door de gebruikte ruimtelijke opstelling van zo'n array is ook richtinginformatie van de bron(nen) van infrageluid uit deze registraties te berekenen.

1.3. De KNMI microbarometer

In 1999 is door het KNMI binnen een project genaamd "Sonic Boom Detection Technique" op het terrein van de luchtmacht basis Deelen een array van 16 microbarometers aangelegd, het Deelen Infrasound Array (DIA). Het doel van dat project was om technieken te ontwikkelen om op een adequate manier het optreden van "sonic booms" te registreren. Achterliggend doel was om met deze gegevens de Koninklijke Luchtmacht (KLu) te ondersteunen in het afhandelen van schade claims, en om publiek toegankelijke informatie te genereren ten aanzien van het optreden van sonic booms, zoals die kunnen optreden wanneer vliegtuigen door de geluidsbarrière breken. Ondertussen zijn er een aantal infrageluid arrays geïnstalleerd. Het aantal microbarometers bedraagt nu ongeveer 40 stuks en zal nog groeien tot circa 70 stuks. Voor meer informatie over de KNMI microbarometer zie referentie 2)27



figuur 1: de Microbarometer zoals deze op het KNMI is ontwikkeld

Een schematisch overzicht van de KNMI micro barometer zoals hierboven is afgebeeld is beschikbaar in de literatuur(*1). In dit instrument wordt de atmosfeer bemonsterd via een spuitstuk (inlet box), waarop een zestal luchtdoorlatende slangen worden aangesloten. Deze vijf meter lange slangen, in een stervorm op het oppervlak gelegd, fungeren als een spatieel akoestisch filter dat windruis onderdrukt in de bemonsterde drukvariaties. De drukvariaties worden gemeten door de Validyne sensor. Deze Validyne DP45 sensor is gevoelig voor drukverschillen. Zie referentie **Error! Reference source not found.** voor de specificaties van deze sensor.



Door middel van een “backing volume” wordt de atmosfeer invloed afgesloten van een van de poorten op de sensor, zodat een instrument ontstaat dat gevoelig is voor drukvariaties in de atmosfeer. In dit “backing volume” is een capillair aangebracht dat fungeert als akoestische weerstand. Door dit gecontroleerde lek worden de allerlaagste componenten van atmosferische drukgolven doorgelaten. Johan Mentink heeft de karakteristieken van de microbarometer vastgelegd (referentie 4) De responsietijd van dit filter ligt in de orde van 20 minuten. Dit laagdoorlaat filter voorkomt dat de sensor in verzadiging kan gaan. In de inzet zijn de verschillende onderdelen van de Validyne sensor zoals het diafragma en spoelen afgebeeld.

Bij de DP45-14 sensor wordt een door Validyne ontwikkelde DP101 analoge modulator en demodulator toegepast. Het is een klassiek ontwerp uit de jaren 1980 van een synchrone detector schakeling (referentie 10).

De meest significante bijdragen van infrageluid liggen in het frequentie domein van 0.002 tot 20 Hz. De gemeten drukvariaties kunnen in de orde van enkele Pa zijn, maar meestal zijn ze veel kleiner. De ruis die door het instrument zelf wordt opgewekt op dit frequentie domein is in de orde van 0.05 Pa. Omdat de signalen van de verschillende microbarometers in het array verder worden bewerkt met correlatie technieken wordt de ruis in het uiteindelijke signaal nog verder gereduceerd.



Prototype opstelling

1.4. Toepassingsgebied

Voor het gebruik van de kalibrator worden een tweetal gebruiksmodi onderscheiden:

1) Het oorspronkelijke doel van dit project was om een absolute kalibratie na te streven. Het is dan mogelijk om de kalibrator direct op het inlaatstuk van de microbarometer inclusief behuizing en aangesloten "backing volume" aan te sluiten. Door tijdgemoduleerde drukvariaties van verschillende frequenties aan te bieden kan zodoende een compleet geassembleerde microbarometer worden geëvalueerd. Dat vraagt echter om modulatie van signalen in de grote orde van 100.000 Pa met een modulatie diepte van maximaal 100 Pa en een resolutie/lineariteit tot 0.1 Pa. Dat vereist dus een stabiliteit van 1 op 1000.

2) Een tweede vorm van gebruik is te overwegen. Door de metingen niet absoluut maar differentieel uit te voeren en de kalibrator dus op beide poorten van de Validyne sensor aan te sluiten is de kalibrator te gebruiken tijdens de assemblage van een microbarometer. In dit geval is het "slechts" nodig om een stabiel druk gemoduleerd signaal van rond de 100 Pa op te wekken. Het gevolg is dat de stabiliteitseisen veel lager zijn.

3) Het tijdsaspect is ook van belang. Door (temperatuur)drift is het veel moeilijker om een stabiel druk signaal gedurende een lange tijd (1 uur) op te wekken, dan om zo'n signaal gedurende een korte tijd (1 minuut) binnen de specificaties stabiel te houden

Zoals later in dit rapport duidelijk zal worden stelt zelfs deze differentiële eenvoudige sensor controle al de nodige uitdagingen. Ideeën hoe een absolute kalibratie zou kunnen worden bereikt worden aangegeven maar zijn nog niet geëvalueerd

1.5. Eisen aan de Kalibrator

De volgende eisen worden gesteld aan de kalibrator.

- De kalibrator moet de microbarometer kunnen stimuleren met sinusoïdale signalen op het frequentiedomein van 0.01 Hz tot 10 Hz.
- De amplitude van deze signalen is variabel tussen 1 en 100 Pa.
- Ruis in het aangeboden signaal zal kleiner zijn dan 0.1 Pa.
- Eisen op het gebied van de lange termijn stabiliteit en drift zijn nog niet gesteld, anders dan "zo goed mogelijk".

Daarnaast is afgesproken om de microbarometer met een aantal discrete frequenties te stimuleren. Het namelijk niet goed mogelijk via een analyse van de impulsresponsie het gedrag van de microbarometer vast te leggen, gezien de kleine amplitude van de laagfrequente componenten.

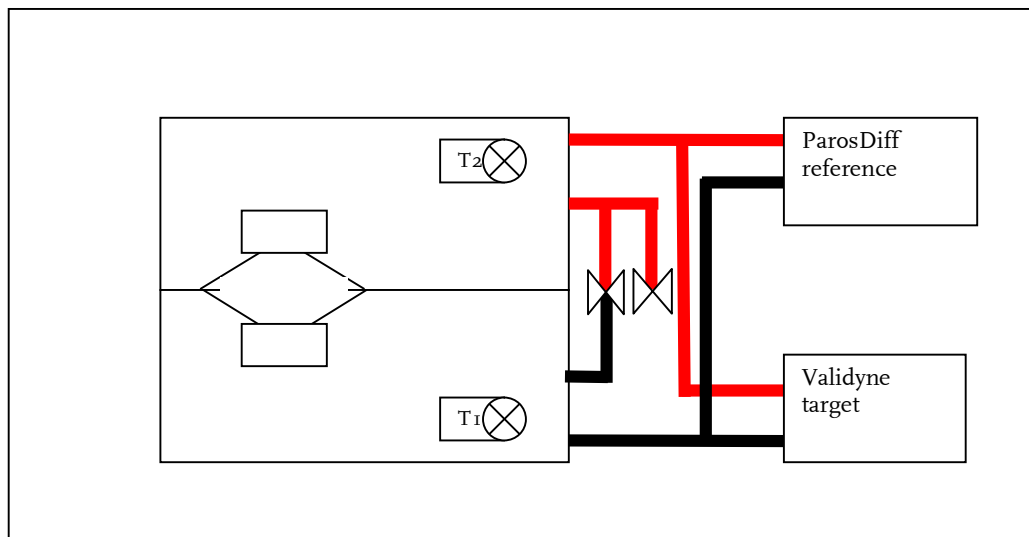
1.6. Opstelling

Het prototype van de kalibrator is opgebouwd uit twee even grote kamers, met een grootte van ongeveer 2.5 dm^3 . Deze kamers zijn hermetisch afgesloten, zodat lucht van buitenaf niet in deze kamers kan doordringen. Inwendig zijn deze kamers met elkaar verbonden door middel van een membraan. Door een kracht op het membraan uit te oefenen kan een drukverschil kan tussen deze twee kamers worden opgebouwd. Het membraan in kwestie bestaat uit een tweetal luidsprekers, type SP W130PP (zie bijlage), een in elke kamer, zodat deze kracht kan worden opgewekt door een elektrische stroom door de luidspreker spoelen te sturen.

Een microbarometer sensor kan worden aangesloten tussen de twee kamers van de kalibrator. Een differentiële druksensor van het type paroscientific 1030G is eveneens aangesloten tussen deze twee kamers. Deze, die permanent is aangesloten, dient als referentie.

Er is voor gezorgd dat het volume van de slangen die buiten de kalibrator aangesloten zijn voor beide kamers even groot is. Dit om eventuele effecten die via de slangen doorwerken voor beide kamers gelijk te houden, en dus verstoringen te minimaliseren. Door een kraan te openen is het mogelijk om de druk in de beide kamers gelijk te maken, zodat een nulmeting mogelijk is. Door nog een andere kraan te openen is de binnen de kalibrator gelijk te maken aan de atmosferische druk.

Omdat temperatuur fluctuaties zich vertalen in drukvariaties wordt de temperatuur in de kamers gemeten met een miniatuur Pt500 element. Om deze temperatuur meting representatief voor het hele meetvolume te laten zijn wordt de lucht in de kamers d.m.v. een kleine ventilator gemengd. Deze ventilatoren leveren wel extra ruis in de metingen op (zie § 2.7.3).



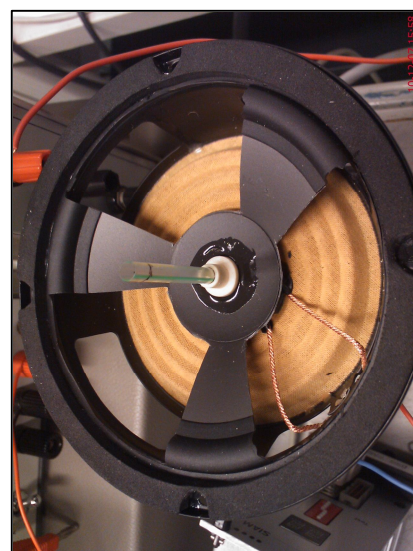
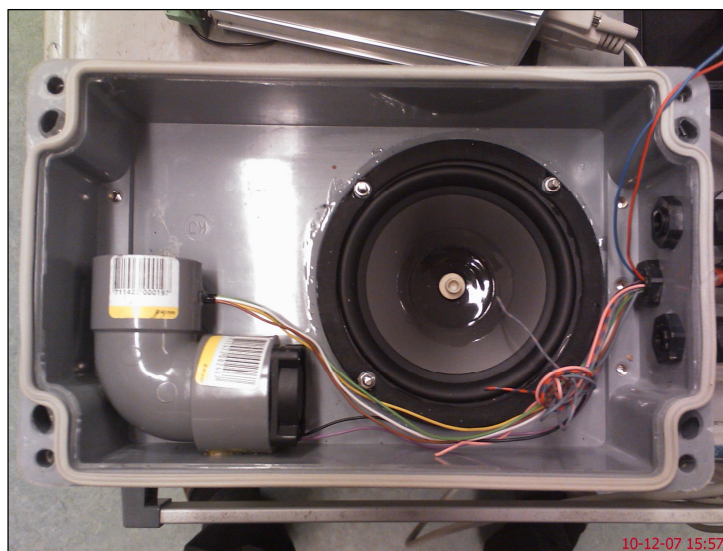
figuur 2: schematische weergave van de prototype kalibrator

Op de foto hieronder is de implementatie van de kalibrator afgebeeld. De tweede luidspreker ontbreekt in linker foto. Van de tweede luidspreker is de conus luidspreker is verwijderd, zodat alleen de spreekspoel en ophanging in takt is gebleven. Deze aangepaste luidspreker wordt boven op de onderste luidspreker gebouwd. De spreekspoelen worden met elkaar verbonden d.m.v. een stangetje, zodat de beide spreekspoelen hetzelfde membraan aandrijven.

Dit is gedaan om de drukverhoging die optreed door de thermisch belasting van beide kamers zo gelijk mogelijk te houden.

De aansturing van de luidsprekers wordt verzorgd door een HP4301a functiegenerator. Met deze generator zijn signalen te genereren in het frequentiegebied van 0.0001 Hz tot 10 MHz. Daarvan wordt in deze opstelling het domein 0.01 Hz tot 10 Hz gebruikt. Door de luidsprekers direct, d.w.z. zonder verdere versterking, met generator aan te sturen is experimenteel bepaald dat een drukverschil kan worden opgewekt van 220 Pa. Dit is in overeenstemming met de eisen die aan de kalibrator worden gesteld.

Een miniventilator is gemonteerd op een 90 bocht pvc afvoer buis en leidt de lucht langs het miniatuur Pt500 temperatuur-element.



figuur 3: Een blik in de kalibrator

De signaal verwerking wordt gevormd door de bij de sensor behorende analoge signaalverwerkings print, gevolgd door een filter. Dit instelbare laag-doorlaat filter is van het fabrikaat KEMO en filtert alle frequenties boven 40 Hz met 48 dB/octaaf uit het analoge signaal. Daarna wordt het signaal gedigitaliseerd door een National Instruments DAQ unit van het type USB-6008.



1.7. Voorgestelde meetprocedure

De beginsituatie is dat de opstelling in thermisch evenwicht is met de omgeving. De kleppen zijn geopend zodat er geen drukverschil tussen de kamers en de atmosfeer is. Dan wordt elk meetpunt als volgt bepaald:

- 1) Kleppen worden gesloten.
- 2) Ventilatie wordt uitgeschakeld.
- 3) Het nulniveau wordt vastgesteld.
- 4) Modulatie wordt aangeboden.
- 5) Wachten op relaxatie (kan alleen bij aanbieden van stapfunctie)
- 6) Na de meting wordt het nulniveau opnieuw vastgesteld en de drift in de druk over deze meting wordt bepaald.
- 7) Klep die de druk tussen de beide kamers nivelleert wordt geopend.
- 8) Het nulniveau wordt nogmaals bepaald en geeft samen met de in stap 1 bepaalde waarde een maat voor de drift in de registrerende apparatuur.

Op die manier worden meetpunten van 10 Hz, 1 Hz, 0,1 Hz en 0,01 Hz bepaald. De drift tijdens de lagere frequenties zal groter zijn dan tijdens de kortdurende meetpunten bij hogere frequenties. De nauwkeurigheid van de metingen bij de lagere frequenties is dus minder groot.

Tot nu toe werden de experimenten met een in labview ontwikkelde test applicatie ingelezen. Om er een volwaardige applicatie van te maken zal een software design moet worden opgesteld.

Tot nu toe worden de volgende signalen bewerkt:

- In Temperatuur 2 kanalen via SIAM.
- In Stuurstroom door luidsprekers via ACQ board.
- In Signaal van de Microbarometer via ACQ board.
- In Referentie Paros Diff barometer via een seriële poort.
- Uit klepsturing t.b.v. nivelleren drukverschil tussen de kamers via ACQ board.
- Uit klepsturing t.b.v. nivelleren met atmosferische druk via ACQ board.
- Uit aansturing ventilatoren t.b.v. van temperatuur meting.
- Uit aansturing Signaal generator via seriële poort.

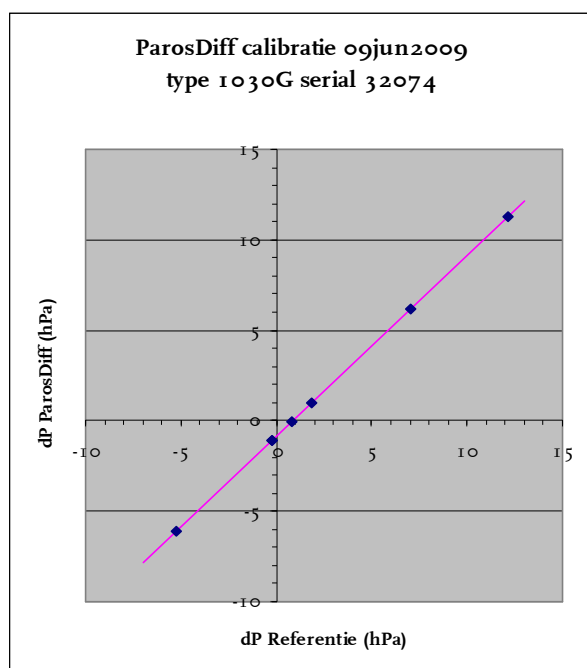
2. Verkennende metingen

De microbarometer is een uiterst gevoelige barometer, die over een breed frequentiegebied gevoelig is. Dat betreft b.v. drukverstoringen die door temperatuur fluctuaties worden opgewekt of het doordringen van geluidsgolven in de kalibrator. Er moeten dan ook maatregelen worden genomen om de invloeden van buitenaf zoveel mogelijk te onderdrukken. Een aantal experimenten zijn uitgevoerd om een schatting te kunnen geven van de eigenschappen van de besproken opstelling en de daarbij haalbare stabiliteit.

2.1. Controle van de referentie sensor

De referentie sensor is een Paroscientific 1030G barometer. Voor de specificaties van deze barometer wordt verwezen naar het specificatieblad in bijlage 6.1 De bemonsteringssnelheid van deze sensor is instelbaar. Bij een interval van een meting per seconde is de nauwkeurigheid van deze sensor voldoende om een drukverschil tussen de kamers te bepalen op 1 Pa nauwkeurig. De referentie is ongeschikt om de snelle fluctuaties te volgen die met de micro worden geregistreerd. De referentie is echter wel van belang om de absolute grootte van de drukverschillen bij frequenties lager dan 0.1 Hz vast te stellen en deze te vergelijken tegen de microbarometer. Voor hogere frequenties wordt dan eenzelfde gevoeligheid geponeerd. De referentie is constant aangesloten op de kalibrator.

De referentie sensor is vergeleken tegen de referentie barometer van het ijklab. Uit deze metingen blijkt dat deze barometer bruikbaar is om het drukverschil te bepalen. Het verband tussen ijklab referentie barometer en de de Paroscientific is middels een lineaire kleinste kwadraten methode vastgesteld op: $\Delta P = 0,9986 \cdot \Delta P_{\text{ref}} - 0,869$ (hPa)



figuur 4 :calibratie paros1030G tegen de referentie barometer van het ijklab



2.2. Bepaling van het op te wekken drukverschil

Er wordt aangenomen dat het drukverschil dat tussen beide kamers wordt opgewekt evenredig is met de stroom door de luidsprekerspoelen. Immers de kracht die een stroom(draad) in een constant magneetveld ondervindt is $F = B \times I$. Zolang de uitslag van de luidsprekers zodanig klein is dat de spreekspoel zich in het homogene veld van de luidspreker magneet bevindt zal die kracht evenredig met de stroomsterkte zijn.

De aansturing van de luidsprekers verzorgd door een HP4301a functiegenerator. Met deze generator zijn signalen te genereren in het frequentiegebied van 0.0001 Hz tot 10 MHz. Daarvan wordt in deze opstelling het domein 0.01 Hz tot 100 Hz gebruikt. De luidsprekers in de opstelling worden direct aangestuurd door deze generator. Experimenteel is bepaald dat met deze generator een drukverschil kan worden opgewekt van 220 Pa.

Er zijn natuurlijk beperkingen in de lineaire uitslag die de conus van de luidspreker kan maken. Voor de gebruikte luidsprekers geldt dat voor uitwijkingen tot 2 mm uitslag, hetgeen equivalent is met een drukverschil van ongeveer 2000 Pa tussen beide kamers. Omdat het drukverschil waarmee wordt gewerkt een factor 10 kleiner is, is de aanname dat daarmee in het lineaire gebied gewerkt wordt realistisch.

Bij een kastinhoud 2520 cm³ en een conus oppervlak van 116 cm² betekent een conus verplaatsing van 1 mm een drukverschil van ongeveer 900 Pa. (bij een omgevingsdruk van 1 atm). Daar het maximale drukverschillen die met de huidige opstelling worden bereikt is 220 pascal is, volgt daaruit dat de maximale conusuitslag in de orde van 0.2 mm zal zijn. Dat is ruim binnen het lineaire gebied van deze luidspreker.

Door extra versterking met een spanning naar stroom omzetter kan deze drukvariatie worden vergroot. Dat is bij deze experimenten niet uitgevoerd omdat de bereikte drukvariatie voldoende groot is, gelet op de eisen die aan de kalibrator worden gesteld. Stroomsturing heeft echter voordelen t.a.v. de representativiteit van metingen, dus dat is iets om rekening mee te houden bij een definitief ontwerp. Voor meer details zie § 3.6.

2.3. Vormvastheid

De twee kamers bestaan in de huidige testopstelling uit polyester kasten. Luchtdruk verschillen van buitenaf zullen doordat ze de kasten vervormen effect hebben op de metingen.

2.3.1. Mechanische belasting

Met een eenvoudig experiment is de invloed van (lucht)druk van buiten afgeschat. Door een gewicht van een 5 kg op het deksel (oppervlak 250 cm²) te plaatsen wordt bij benadering verandering in de atmosferische druk van 2000 Pa gecreëerd. In eerste instantie was deze invloed zeer duidelijk aanwezig. De kasten zijn echter door middel van een aluminium plaat verstevigd met het doel om doorbuigen tegen te gaan. Na deze modificatie bleek dat de 2000 Pa externe belasting leidt tot een interne drukverhoging van 4 Pa.



Het is duidelijk dat om het doorlekken van externe drukverschillen in de metingen te voorkomen de definitieve opstelling aan hogere eisen van vormvastheid zal moeten voldoen. In de hutestopstelling is dat geen groot probleem omdat dit effect door de gelijke eigenschappen van de twee kamers in de differentiële modus wordt onderdrukt. Dit bezwaar gaat dus vooral meetellen indien een absolute kalibratie wordt nagestreefd.

2.3.2. Thermische stress

Lokale temperatuur verschillen in de behuizing kunnen ontstaan door aanraking of blootstelling aan warmte straling. Het is vastgesteld dat een aanraking van enkele seconden met een warme hand van de behuizing, een drukafwijking van meerdere pascal kan veroorzaken. Vooral lokale temperatuur verschillen in de behuizing leiden tot grote vorm veranderingen (kromtrekken van het materiaal). Maatregelen betreffen een juiste keuze van het materiaal, de vorm, bv een bol is veel minder gevoelig voor dit soort vorm veranderingen, en vooral een goede thermische isolatie.

2.3.3. Aansluitingen

De verbindingsslagen tussen de microbarometer en andere onderdelen nu van siliconenrubber gemaakt. Doordat deze slangen gemakkelijk vervormen zij zullen zij drukverstoringen doorlaten. In de definitieve opstelling zal gezocht moeten worden naar stijf aansluitmateriaal.

2.4. Gevoeligheid

De gevoeligheid van de Kalibrator is experimenteel bepaald door een blokvormig signaal van +10 en -10 volt via de een weerstand van 50 Ohm aan de kalibrator aan te bieden. Daarbij wordt gevonden dat de paroscientific 1030G referentie een drukverschil meet van 220 Pa. De Gain instelling van de DP101 demodulator is daarbij zo afgeregeld dat een spanning wordt gemeten van +5.5 en -5.5 V. Daarmee is de gevoeligheid van de kalibrator afgeregeld op 50 mV/Pa

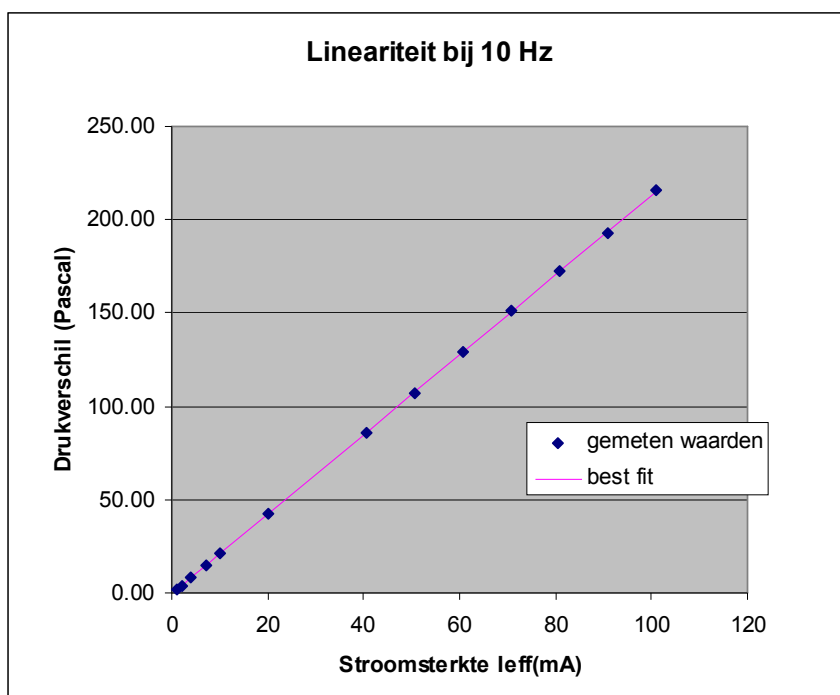
De referentie barometer kan na afregelen in verdere experimenten worden verwijderd, maar dit is in dit prototype is de referentie altijd aangesloten gebleven parallel aan de microbarometer sensor.

2.5. Lineariteit

Een goede lineariteit is een belangrijke eigenschap voor de kalibrator, omdat het daarmee mogelijk wordt om signalen van verschillende amplitudes te genereren zonder dat daarbij gecorrigeerd hoeft te worden voor harmonische vervorming, die bijdragen van hogere frequenties in het stimulus signaal zullen opwekken. Voor de onderstaande meting waarbij een signaal van variabele amplitude met een vaste frequentie van 10 Hz aan de kalibrator werd aangeboden is de lineariteit bepaald. Hierbij is de responsie van de calibrator bepaald door de top top waarde van de validyne sensor uit te lezen op een digitale scoop (Iecroy 9304) tegen de effectieve stroomsterkte door de luidsprekerspoelen gemeten met een DMM (HP 34401). De uitlezing van de validyne wordt omgezet in Pascal met de in § 2.4 bepaalde gevoeligheid.

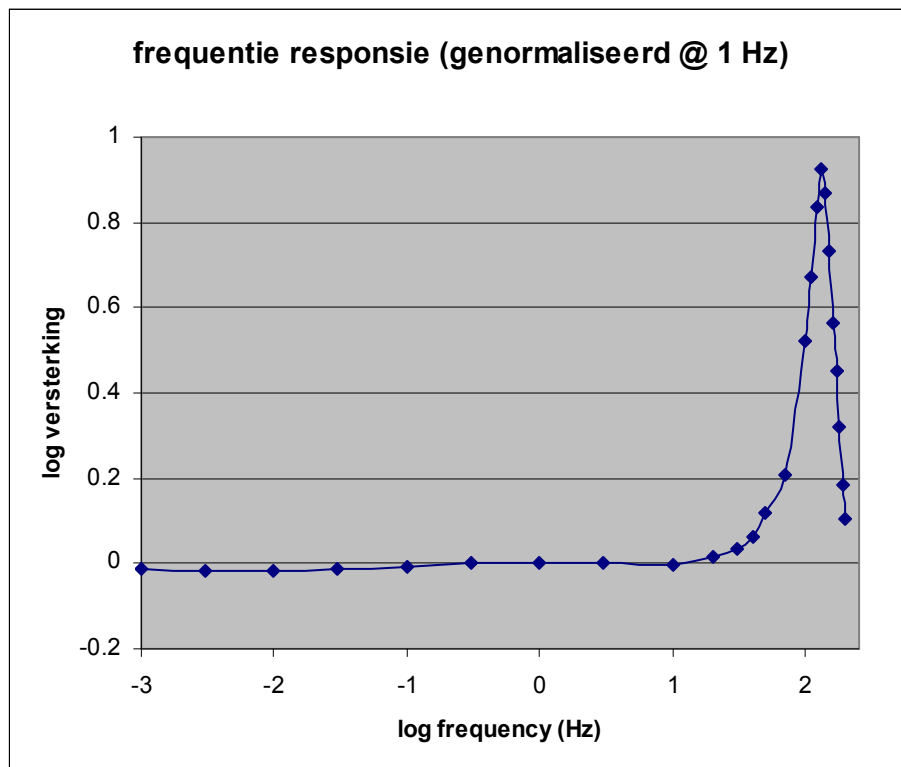
De afwijking van de lineariteit is niet goed te bepalen in het gebied met drukken lager dan 20 Pa vanwege de hoeveelheid ruis in het signaal voor dat gebied. Bij drukverschillen van 0 tot 20 Pa worden afwijkingen van de lineariteit to maximaal 5% gevonden. Bij drukverschillen tussen de 20 en 200 Pa is de afwijking van de lineariteit kleiner dan 1%.

Opgemerkt wordt dat elk systeem dat lucht adiabatisch (zonder uitwisseling van energie met de omgeving) comprimeert met vervorming te maken krijgt die optreedt omdat het adiabatisch verdichten en verdunnen van lucht een niet lineair proces is. Deze vervorming is voor deze opstelling bij de gebruikte maximale conus uitslag van 0.1 millimeter echter verwaarloosbaar klein, in de orde van 0.05%



figuur 5: lineariteit van de calibrator bij een frequentie van 10 Hz

2.6. Frequentie karakteristiek



figuur 6 : Frequentie responsie van de calibrator, by 1 hz is modulatie diepte 20 Pa

In bovenstaande grafiek is de amplitude van de drukvariaties zoals die door de microbarometer wordt geregistreerd weergegeven als functie van de frequentie. Tijdens dit experiment was de amplitude van het signaal 20 Pa bij 1 Hz. Het laagdoorlaat filter is bij dit experiment natuurlijk uitgeschakeld geweest. De

De overdrachtsfunctie is genormaliseerd op een frequentie van 1 Hz. Duidelijk is dat overdracht in frequentie gebied van 0.001 Hz tot 10 Hz zeer vlak is. Dit is het statische frequentie gebied, waarbij de drukopbouw kan worden beschouwd als het gevolg van de een constante kracht op het membraan. De geringe afname van de amplitude bij lage frequenties is het gevolg van een onbegrepen relaxatie effect in het gedrag van de kalibrator (zie § 3.2). Bij frequenties hoger dan 20 Hz treedt het dynamisch gedrag steeds meer op de voorgrond. De opslingering die optreedt doordat het veersysteem gevormd door de massa van de lucht en decompressie krachten in resonantie geraken, is bij een frequentie van 130 Hz maximaal. De grafiek geeft aan dat het volume van de kamers in combinatie met de gebruikte luidsprekers juist gekozen is, gelet op de eisen die aan de kalibrator worden gesteld.



2.7. Invloed van de temperatuur

Temperatuurverandering van de lucht in de kamers veroorzaakt drukverschillen. Volgens de ideale gaswet is de druk bij gelijkblijvend volume evenredig met de absolute temperatuur. Dat betekent dat bij een temperatuur van 300 K (27 °C) en een druk van 100 kPa een temperatuur verandering van 1 K een drukverandering van 330 Pa zal opleveren. Dit laat zien dat de temperatuur een parameter met een zeer grote invloed op de metingen is. De voor de kalibrator geëiste nauwkeurigheid van de van 0.1 Pa vertaald zich dan in een temperatuurstabiliteit 0.3 mK. In differentiële mode is de situatie wel beter omdat temperatuur invloeden op beide kamers bij benadering even veel doorwerken. Bij een geschatte common mode rejection van 10 is dan de gevraagde stabiliteit 3 mK over de gehele duur van de meting. Zelfs relatieve temperatuurmetingen met deze nauwkeurigheid zijn moeilijk te realiseren.

Door de luidsprekers en de ventilatoren wordt warmte in het systeem gebracht. Dat is een eigenschap van het gekozen concept, waarbij de actoren in het meetvolume zijn opgenomen. Het idee achter de symmetrische opstelling is dat deze temperatuur, en dus de druk, in beide kamers evenveel zal stijgen wanneer in beide kamers evenveel vermogen wordt gedissipeerd. In de differentiële modus wordt dus effect van de temperatuurvariaties onderdrukt. Metingen in de klimaatkamer van het ijklaboratorium van het KNMI bevestigen dat.

Het idee is om te corrigeren voor drukverschillen t.g.v. temperatuur door de temperatuur in de kamers mee te registreren, en dan deze temperatuurregistratie terug te rekenen naar een drukvariatie. Dat blijkt niet eenvoudig omdat de temperatuurmeting moet worden uitgevoerd met een nauwkeurigheid van 0.003 graad wanneer een nauwkeurigheid van 1 Pa wordt gevraagd. Deze temperatuur nauwkeurigheid is echter niet haalbaar met de met de gebruikte miniatuur sensoren. Ook met full-size Pt500 sensoren is deze nauwkeurigheid niet eenvoudig te bereiken. Resultaat is dat terugrekenen een grote hoeveelheid schijnbare ruis in de metingen brengt. Immers de ruis in de temperatuur metingen wordt terugvertaald in drukvariaties. Ook is niet duidelijk in hoeverre door het mengen van de lucht de temperatuur in de kamer wordt gehomogeniseerd. Om daar iets over te zeggen is aanvullend onderzoek nodig.

2.7.1. Opwarming

De ventilatoren brengen de meeste warmte in het systeem. Deze ventilatoren brengen wanneer ze in op maximaal vermogen in gebruik zijn 1,3 Watt vermogen in elke kamer van de kalibrator. In de klimaatkamer van het ijklab is gevonden dat injectie van dit vermogen in de huidige opstelling tot een temperatuurstijging van 1.5 °K leidt. In normaal gebruik worden de ventilatoren op halve voedingsspanning gebruikt wat het vermogen reduceert tot 0.37 Watt en de temperatuur verhoging tot ongeveer 0.9 °K beperkt. Deze temperatuurverhoging is indicatief. In een andere dimensionering van het ontwerp en met het aanbrengen van isolatie zullen andere waarden worden gemeten.

Het vermogen dat wordt ingebracht door het bekrachtigen van de luidspreker spoelen is veel kleiner. Bij het opwekken van een statisch 200 Pa drukverschil is het vermogen 0.13 Watt per kamer. Bij het instellen van lagere verschildrukken daalt dit vermogen snel omdat het vermogen evenredig is met I^2 . Dus bij een drukverschil van



20 Pa is het geïnjecteerde vermogen nog maar 0.0013 Watt. Indien er een sinusoidaal signaal wordt aangeboden mag dat nog eens een factor 0.7 worden vermenigvuldigd. Daarmee wordt de temperatuurverhoging die kan optreden t.g.v. het bekrachtigen van de luidsprekers bij een drukmodulatie van 20 Pa geschat op 0.001 K

Opgemerkt wordt dat dit geldt voor de huidige niet thermisch geïsoleerde kalibrator. Bij het aanbrengen van isolatie zullen deze temperatuurverhogingen eerder verstorend worden.

2.7.2. Temperatuurstress

In een definitief ontwerp moet er aandacht zijn voor temperatuurstabilisatie. Zo moeten warmtestromen worden voorkomen b.v. door het aanbrengen van isolatie. Maar minstens even belangrijk is dat de isolatie voorkomt dat er temperatuurverschillen over de behuizing ontstaan. Want temperatuurstress in het materiaal van de kast leidt tot vervorming en daardoor tot grote afwijkingen in de druk. Zelfs een aanraking van enkele seconden met een warme hand van de behuizing, kan al een drukafwijking van meerdere pascal veroorzaken.

2.7.3. Temperatuurdrift

De drift in de kalibrator wordt door een aantal factoren bepaald. Enerzijds is er drift in de sensor en de bijbehorende de/modulator. Maar de belangrijkste factor is de invloed van temperatuur op de kalibrator zelf. Strik genomen is temperatuur invloed geen drift, maar een te bepalen functie als de temperatuur in de kalibrator kamers nauwkeurig genoeg te meten zou zijn. In een experiment in de klimaatkamer van het ijklab is geprobeerd de temperatuurafhankelijkheid te bepalen. De kalibrator was daarbij in de klimaatkamer geplaatst, de microbarometer sensor en registrerende apparatuur werd op kamer temperatuur gehouden. Een temperatuursprong van 10 graden (van 25 °C naar 30 °C) werd op de kalibrator toegepast, na stabilisatie werd deze temperatuur weer op de originele waarde van gebracht. Deze temperatuurvariatie levert een drukverhoging van +/- 1650 Pa op in de calibrator. Het drukverschil tussen beide kamer wordt echter niet groter dan 80 Pa, wat betekent dat het temperatuureffect een factor 20 wordt onderdrukt in de differentiële modus. Dit experiment beslaat een tijdsduur van 6 uur. In die periode loopt het drukverschil tussen de P1030G referentie barometer en de DP45 lineair op met 2 Pa/uur. Deze bijdrage kan niet verklaard worden uit de temperatuurverloop tijdens dit experiment.



2.8. Ruis bijdrage door de ventilatie

De eigen ruis van het de Validyne sensor inclusief de bijbehorende analoge signaal bewerking maar zonder dat er een backing volume op is aangesloten bedraagt op het frequentie domein van 0.01 Hz tot 10 Hz ongeveer 0.03 Pa. Als de sensor wordt aangesloten op de kalibrator dan wordt laagfrequente ruis en temperatuurdrift in het signaal zichtbaar. Wanneer de kraan in de verbinding tussen de kamers geopend is dan kan er geen drukverschil tussen de kamers ontstaan. Het signaal is dan akoestisch kortgesloten. De eigenruis in de registratie op het frequentie domein 0.01 tot 10 Hz bedraagt in dit geval 0.03 Pa effectief. Deze waarde ligt dicht bij de door seismologie gevraagde waarde van 0.1 Pa.

Bij het sluiten van de kraan worden de kamers druktechnisch gescheiden. Daardoor gaan drukverschillen optreden die b.v. door temperatuur veranderingen of mechanische stress worden veroorzaakt.

In deze situatie blijkt hoe gevoelig de kalibrator is voor omgevingsinvloeden. Het voor enkele seconden licht aanraken van een deksel leidt tot een signaal dat tot enkele Pa per seconde kan verlopen. Onder normale omstandigheden (geen tocht, geen open raam) is de drift veel kleiner, een typische waarde is dan 0.01 Pa/s. Door het aanbrengen van extra isolatie is waarschijnlijk een lagere driftwaarde te bereiken.

Het probleem bij het gebruik van de actieve ventilatie is dat door de opgewekte luchtstroming drukvariaties in orde van enkele Pascal worden opgewekt. De ventilatoren moeten tijdens een meting dus worden stilgezet. Daarna moet er nog enkele tientallen seconden worden gewacht tot de lucht tot stilstand gekomen is voordat een meting kan worden uitgevoerd.

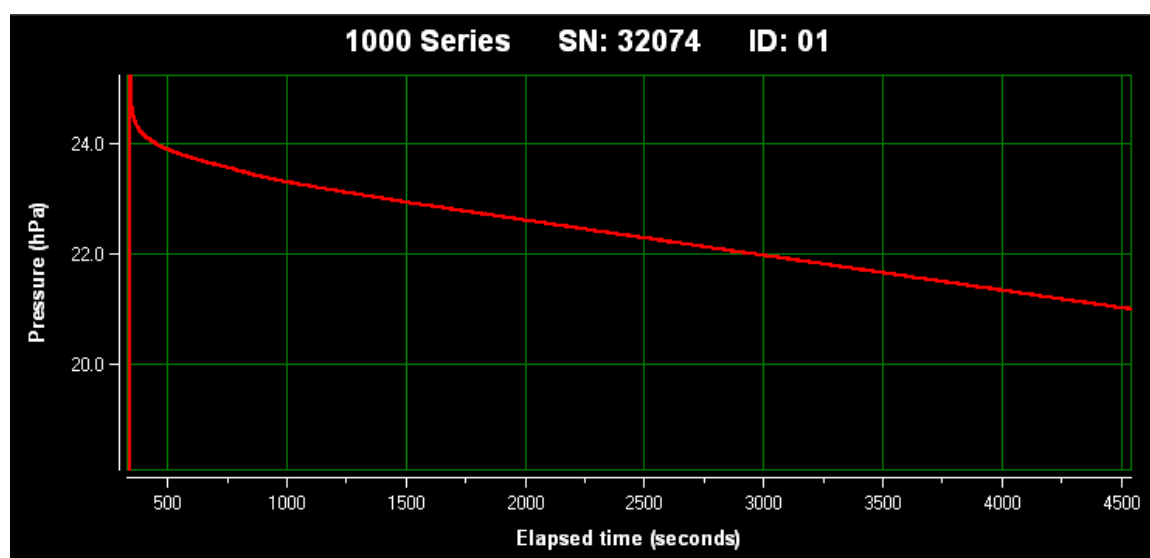
2.9. Absolute of differentiële kalibratie

Bij de boven beschreven experimenten is alleen gemeten in de differentiële modus, waarbij de sensor onder test is aangesloten op de beide kamers van de kalibrator. In een extra test is de sensor geassembleerd en met het backing volume aangesloten op één kamer van de kalibrator. De andere kamer van de kalibrator is afgesloten. De modulatie diepte van de op te wekken signalen is dan ruwweg de helft van de signalen die in de differentiële modus worden opgewekt. Ook de invloed van de temperatuurdrift neemt dan sterk toe. Deze drift, ook in een temperatuur gestabiliseerde ruimte kan 0.5 Pa/sec bedragen. De vraag is natuurlijk of er bruikbare resultaten te verwachten zijn nadat de kalibrator thermisch wordt geïsoleerd van de omgeving, op een beperkt frequentie gebied. In dat geval zou, bijvoorbeeld op de range van 0.1 Hz tot 10 Hz de kalibrator kunnen worden gebruikt als controle apparaat van een geassembleerde microbarometer.

3. Ontwerpaspecten

Dit hoofdstuk beschrijft een aantal zaken die van belang zijn bij het voorbereiden van een definitief ontwerp voor de microbarometer kalibrator. Een aantal problemen die zijn opgemerkt tijdens de experimenten worden benoemd. Vervolgens worden een aantal ontwerpaspecten besproken. Tenslotte worden een aantal aspecten genoemd die geen direct verband hebben met de ontwikkeling van de kalibrator, maar die tijdens de experimenten zijn opgemerkt en die het rapporteren waard worden geacht.

3.1. Luchtdichtheid verbeteren



figuur 7 : Lek als functie van de tijd

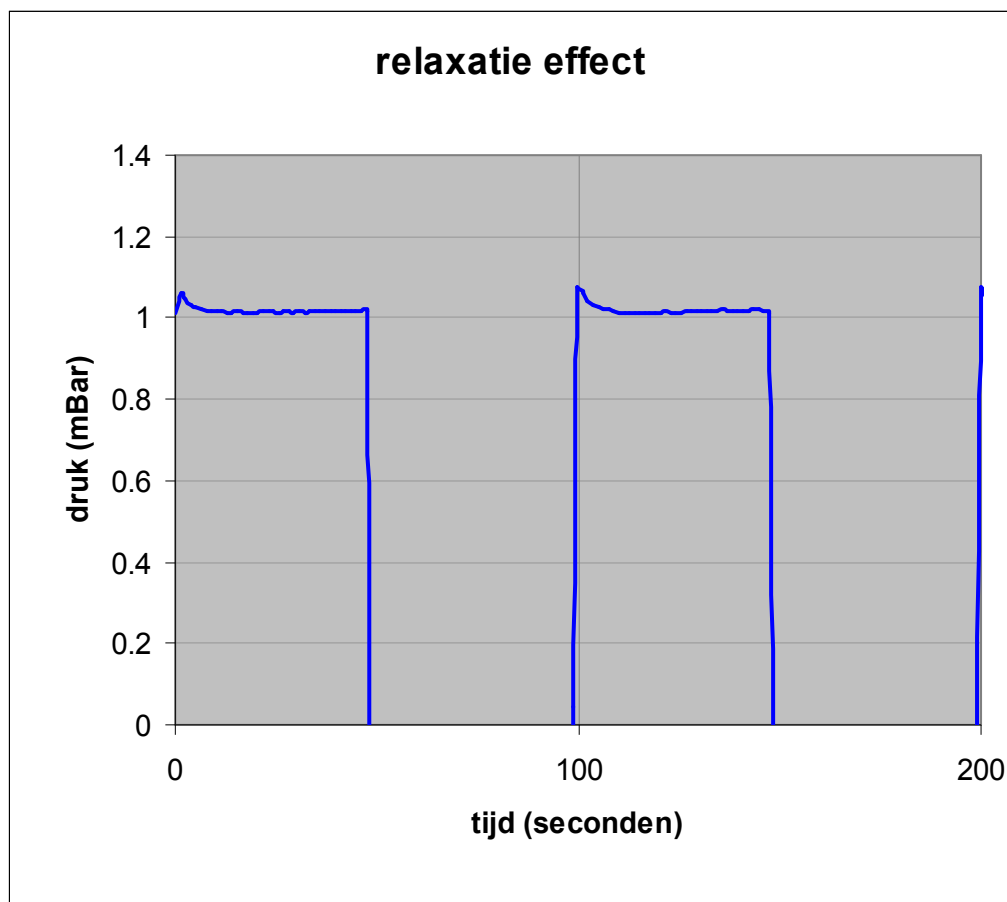
De luchtdichtheid van de kalibrator is een belangrijk punt van zorg. Lek vanuit een van de kamers verstoort de symmetrie tussen de twee kamers en kan de opstelling door verstering van die symmetrie onbruikbaar maken.

De kamers gebruikt in het prototype sluiten door middel van een rubberstrip, deze blijkt enigszins te lekken. Er is geprobeerd de opstelling beter af te sluiten door alle naden en kabeldoorgangen af te kitten met "Bisonkit rubber repair" sealant, en door extra tape over de deksels aan te brengen.

In een experiment wordt één van de kamers op 2400 Pa overdruk gebracht. Een tijdsregistratie van het drukverloop gemeten met de 1030G referentiesensor is hieronder bijgevoegd. Daarin is de lek terug gebracht tot 10% per uur. Omdat de metingen over het algemeen enkele minuten tot maximaal 15 minuten duren is de afwijking t.g.v. lek maximaal 2.5%

Hoewel de opstelling met de huidige lekeigenschappen bruikbaar is moet een hogere graad van luchtdichtheid bereikt worden in de prototype opstelling. Vooral de kabel doorvoeren moeten daarbij kritisch worden bekeken op lek. Daarnaast moet ook de luchtdichtheid van de luidspreker conussen worden gecontroleerd.

3.2. Relaxatie effect



figuur 8: Het relaxatie effect is nog niet verklaard

Een nog niet verklaard verschijnsel doet zich voor als de luidsprekers worden aangestuurd. Het aanvankelijk opgewekte drukverschil loopt in de eerste 10 seconden een aantal procenten terug in waarde. Hierboven is het resultaat zichtbaar als de kalibrator wordt aangestuurd met een blokgolf (10 volt TT), maar het treed natuurlijk ook op als en een sinusoidale modulatie wordt gebruikt. Het verschijnsel is bij grotere drukverschillen prominenter aanwezig.

De verklaring wordt vooralsnog gezocht in de ophanging van spreekspoel en conus van de luidsprekers. Mogelijk geeft dit materiaal in eerste instantie mee na een uitslag van de conus, maar worden terugwerkende kruipkrachten na verloop van enige tijd toch sterker. Dit verschijnsel verklaart waarom de amplitude karakteristiek voor frequenties kleiner dan 0,1 Hz wat inzakt, immers voor deze lage frequenties wordt een door deze relaxatie een lagere druk opgebouwd, zie verder ook § 2.6.



3.3. Vorm en materiaal keuze

De huidige vorm is min of meer gedictieerd door welke materialen bij de service werkplaats van het KNMI aanwezig waren. Zo zijn de rechthoekige polyester kasten niet ideaal vanuit vormvastheid onder externe krachten. De sluiting van de deksels is niet voldoende luchtdicht. In een definitief ontwerp zullen de kamers een betere vormvastheid moeten hebben. Te denken is aan het gebruiken van cilindervormige kamers (of nog beter een bolvormige) afgesloten door dikwandige deksels van een geschikt materiaal. Zodoende kan een betere vormvastheid worden bereikt.

3.4. Druk generator

In dit onderzoek zijn luidsprekers de actieve elementen die de drukopbouw verzorgen. Daarvoor is gekozen omdat luidsprekers makkelijk aan te sturen zijn en maar weinig bewegende delen bevatten. Het domein waarop de druksignalen kunnen worden opgewekt is groot en eigenlijk allen afhankelijk van de aansturende generator. Ook is de calibrator eenvoudig robuust te maken.

Het nadeel van luidsprekers is dat het vermogen, dat in de spreekspoel wordt gedissipeerd, in de meetruimte wordt toegevoerd. Hierdoor verandert de temperatuur in de meetruimte.

Voor de gebruikte luidspreker is het vermogen dat in de ruimte wordt gebracht gering. Voor drukverschillen tot 20 Pa is het gedissipeerde vermogen in de orde van 1 mW. In § 2.7 is aangetoond dat het vermogen nodig om bruikbare druksignalen op te wekken zodanig klein is dat een implementatie met luidsprekers goed mogelijk lijkt.

Een alternatief is de actoren extern te maken b.v. door een zuiger te laten aandrijven door een aandrijffunit zoals een stappenmotor of lineaire transducer. Scheiding van warmte opgewekt in de zuiger en de meetvolumes moet dan geschieden door een olieslot of iets dergelijks. De complexiteit van zulke oplossingen is te groot voor dit verkennend onderzoek, en daarom niet overwogen.

3.5. Aansluiting van de microbarometer

De aansluiting op het inlaatspruitstuk van de microbarometer moet zodanig worden ontworpen dat het eenvoudig kan worden aangesloten. De luchtdichtheid van deze aansluiting is natuurlijk een eerste voorwaarde, maar ook moet een gering dood volume worden nagestreefd.

3.6. Stroomsturing van de luidsprekers

In de huidige situatie is de uitgangsspanning van de generator via de in de generator ingebouwde 50 Ohm weerstand direct aan de spreekspoelen gekoppeld. Weerstandsvariatie in de spreekspoelen t.g.v. temperatuur variatie zullen de grootte van deze stroom beïnvloeden en daarmee dus het opgebouwde drukverschil. Bij het ontwerp van de definitieve opstelling moet worden onderzocht of het nodig is



hiermee rekening te houden. Dit effect kan worden opgeheven door over te gaan op stroomsturing van de luidsprekers. Bij de benodigde stroomsterkte door de spoelen worden echter geen grote effecten van deze verbetering verwacht.

Ook nu is er al enige demping van dit effect doordat de opstelling wordt aangestuurd via de ingebouwde 50 Ohm weerstand van de generator. Deze weerstand in de generator is een weerstand met een zeer kleine temperatuurcoëfficiënt. Daar de weerstand van de luidspreker spoelen 15 Ohm bedraagt, wordt de invloed van weerstandsvariaties in deze spreekspoelen met ongeveer een factor 4 onderdrukt.

Bij een meting werd door de luidsprekers een stroom van 150 mA gestuurd, overeenkomend met ongeveer 200 Pa drukverschil. Hierbij werd gevonden dat de stroom maximaal 0.2 % verloopt onder invloed van de opwarming van de spreekspoel. De calibrator wordt echter bij veel kleinere drukverschillen (en dus kleinere stromen) gebruikt. En dus zal het dit effect navenant kleiner zijn.



3.7. Overige aspecten

Hier worden een aantal aspecten genoemd die geen direct verband hebben met de ontwikkeling van de kalibrator, maar die tijdens de experimenten zijn opgemerkt en die het rapporteren waard zijn.

3.7.1. DC-DC converter

De microbarometer wordt gevoed door een DC-DC converter, deze levert erg veel storing via de voedingslijnen op het uitgangssignaal. Signaalverstoring is hoogfrequent maar aangezien dat discrete frequenties betreft is doorlekkeren van dit stoorsignaal tijdens de digitalisatie van data niet uitgesloten. De amplitude van de signalen op de analoge uitgang zijn in de orde van 50 mV, wat equivalent is met ongeveer 1 Pa aan drukverschil. Om de data acquisitie niet te veel te verstoren is deze voeding voor de duur van de experimenten vervangen door een Labvoeding. Aanbevolen wordt om hier ook op te letten bij de operationele inzet van de Microbarometer. Het plaatsen van filters in de voedingslijnen wordt aanbevolen.

3.7.2. Stoorsignalen veroorzaakt door de demodulator

Om de de Valdyne sensor te kunnen gebruiken is er een modulator-demodulator analoge printkaart nodig. Deze kaart is door Valydine ontwikkeld en wordt bij de sensor geleverd. Het is een klassiek ontwerp uit de jaren 1980 van een analoge chopperversterker. De uitvoer is een analogoog signaal waarbij m.b.v. 10-slag potmeters gain en offset moeten worden ingesteld. Deze potmeters zijn wel vergrendeld maar het is relatief eenvoudig om een microbarometer te ontregelen. Overigens wordt hier geen uitspraak wordt gedaan over de geschiktheid van deze analoge printkaart.

Wel is geconstateerd dat er fouten kunnen optreden doordat resten van het signaal van sychrone detector op de uitgang van de analoge verwerkingskaart verschijnen. De vrijlopende generator die de sychrone detector aanstuurt levert een frequentie van enkele kHz en dat signaal kan als zwevings product aanleiding geven tot stoorsignalen in de grote orde van 0.2 Pa (10 mV tt). Kenmerkend is dat de frequentie van dit signaal snel in frequentie wijzigt, bijvoorbeeld van snelle naar steeds langzamere zwevingen, om na de nul-doorgang weer in frequentie toe te nemen. Om dit te verifiëren werd de sensor akoestisch kortgesloten, zodat uitgesloten werd toch onbedoeld atmosferische signalen worden gedetecteerd. Ook in die situatie worden de stoorsignalen gedetecteerd. Dit onderstreept het belang van een goed laagdoorlaat filter om dit type fouten te voorkomen.



4. Conclusies en aanbevelingen

De voorgaande bevindingen worden in deze paragraaf samengevat, en in een drietal afdelingen gegroepeerd.

4.1. Bruikbaarheid t.a.v. het gestelde doel

1a) Het prototype van de kalibrator is bruikbaar om in differentiële modus de sensor van een microbarometer te controleren op juiste werking. Op het domein van 0.01 Hz tot 10 Hz kunnen sinusoïdale drukverschillen worden opgewekt tot 200 Pa. De ruis in deze signalen is in de orde van 0.1 Pa. De drift in deze signalen ligt rond de 2 Pa/uur. De reproduceerbaarheid van deze signalen is geschat op 0.5 Pa. Met het aanbrengen van thermische isolatie rond de kalibrator is die stabiliteit en daarmee de reproduceerbaarheid nog verder te verbeteren.

1b) De prototype-kalibrator is NIET bruikbaar om in absolute modus de geassembleerde microbarometer te controleren op juiste werking op een beperkt frequentie domein. Op het domein van 1 Hz tot 10 Hz kunnen sinusoïdale drukverschillen worden opgewekt tot 100 Pa. De ruis in deze signalen is in de orde van 2 Pa. De reproduceerbaarheid van deze signalen is rond de 5 Pa. Met name temperatuurdrift is dermate hoog dat voor frequenties lager dan 0.1 Hz geen bruikbare resultaten te verwachten zijn.

1c) De prototype-kalibrator is niet geschikt voor precisie metingen. De reproduceerbaarheid is daarvoor niet groot genoeg en de ruis/drift t.g.v. temperatuurverschillen is niet voldoende gecontroleerd.

1d) Het gebruik van de kalibrator tijdens het assemblage proces van een microbarometer om de versterking van de microbarometer-sensor instelling te controleren is mogelijk.

1e) Een scan over verschillende frequenties tussen 0.01 Hz en 10 Hz, en een drukmodulatie tussen 1 en 100 Pa om te controleren of de aangesloten microbarometer-sensor goed werkt is mogelijk.

4.2. Temperatuur meting in de kalibrator en ventilatie

2) De geforceerde ventilatie van de kamers werkt averechts tijdens de metingen.

2a) Ventilatie tijdens de metingen verstoort de metingen ernstig, er worden extra drukverschillen geïntroduceerd die kunnen oplopen tot 5 Pa.

2b) Terugrekenen van het drukverschil uit de gemeten temperatuurverschillen brengt een grote hoeveelheid berekende ruis in de resultaten omdat de precisie van de temperatuurmeting niet toereikend is.



4.3. Ontwerpaspecten

3) Bij het vervaardigen van een prototype moet er rekening worden gehouden met de volgende aspecten:

3a) De luchtdichtheid van de beide kamers, zowel onderling als naar de buitenwereld moet worden verbeterd. Er wordt gestreefd naar een lek van minder dan 1 % per uur.

3b) De warmte-uitwisseling tussen de omgeving en de kalibrator moeten worden beperkt door het aanbrengen van thermische isolatie. Dit is nodig om drift door temperatuurveranderingen te minimaliseren. Er moet worden gestreefd naar een hoge isolatie waarde.

3c) De stijfheid van de kalibrator moet worden verhoogd. Dit kan door gebruik te maken van een cilinder of bolvormige constructie i.p.v. een doosvormige constructie. De wanddikte moet in overstemming daarmee gekozen worden. Een externe drukverandering moet minstens een factor 1000 worden onderdrukt.

3d) De slangaansluitingen van de kalibrator op het de microbarometer-sensor moeten worden verbeterd. Zij moeten betrouwbare drukdichte aansluitingen vormen. Een marktscan naar geschikt verkrijgbaar industrieel of laboratorium materiaal moet worden uitgevoerd. Een eenvoudig aan te brengen aansluiting op het inlaatspruitstuk van een geassembleerde microbarometer moet worden ontworpen.

3e) De doorvoeren van de elektrische bekabeling moeten zorgvuldig worden ontworpen met het oog op de gevraagde luchtdichtheid van het ontwerp. Doorvoeren moeten bestaan uit massief koperdraad dat wordt ingesmolten in luchtdicht materiaal.

3f) Aanbevolen wordt de luidsprekers/membranen via een spanning naar stroom convertor aan te sturen, opdat de kracht die op het membraan wordt uitgeoefend evenredig is met de aangeboden spanning.

3g) Het relaxatie effect, het terugkruipen van het ingestelde drukverschil van kalibrator moet zo veel mogelijk worden onderdrukt. Daartoe zal verder onderzoek nodig zijn. Dit effect wordt mogelijk veroorzaakt door de ophanging van de conussen van de gebruikte luidsprekers.



5. Geraadpleegde literatuur

- 1) Richiardone, 1993 The Transfer Function of a differential Microbarometer. Journal of Atmospheric and Oceanographic Technology volume 10 - page 624
- 2) Evers, 2000, KNMI technical report 255 - The Deelen infrasound array – on the detection and identification of infrasound
- 3) Handboek Waarnemingen, Hoofdstuk 5 – Druk, KNMI, De Bilt, versie maart 2001.
- 4) Mentink J en L. G. Evers, 2011, Frequency response and design parameters for differential microbarometers, J. Acoust. Soc. Am. Volume 130, Issue 1, pp. 33-41
- 5) Wilczak, 2004, A new Turbulence Microbarometer and its Evaluation using Budget of Horizontal Heat Flux, Journal of Atmospheric and Oceanographic Technology volume 21 page 1170
- 6) Sleeman et al, 2006, Three Channel Correlation Analysis: A new technique to measure Instrumental Noise of Digitizers and Seismic Sensors. Bulletin of the Seismological Society of America vol 96 No 1 pp 258-271 Februari 2006
- 7) Burridge: the acoustics of pipe arrays. Geophys. J. R. astr. Soc. volume 26, pp 53-69,1971.
- 8) Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies, Le Pichon, Alexis; Blanc, Elisabeth; Hauchecorne, Alain (Eds.), 1st Edition, 2009, ISBN 978-1-4020-9507-8
- 9) Elliott Sound Products Measuring Loudspeaker Parameters. Rod Elliott, Updated 01 July 2007
- 10) Validyne DP101 instruction manual.



6. Bijlagen

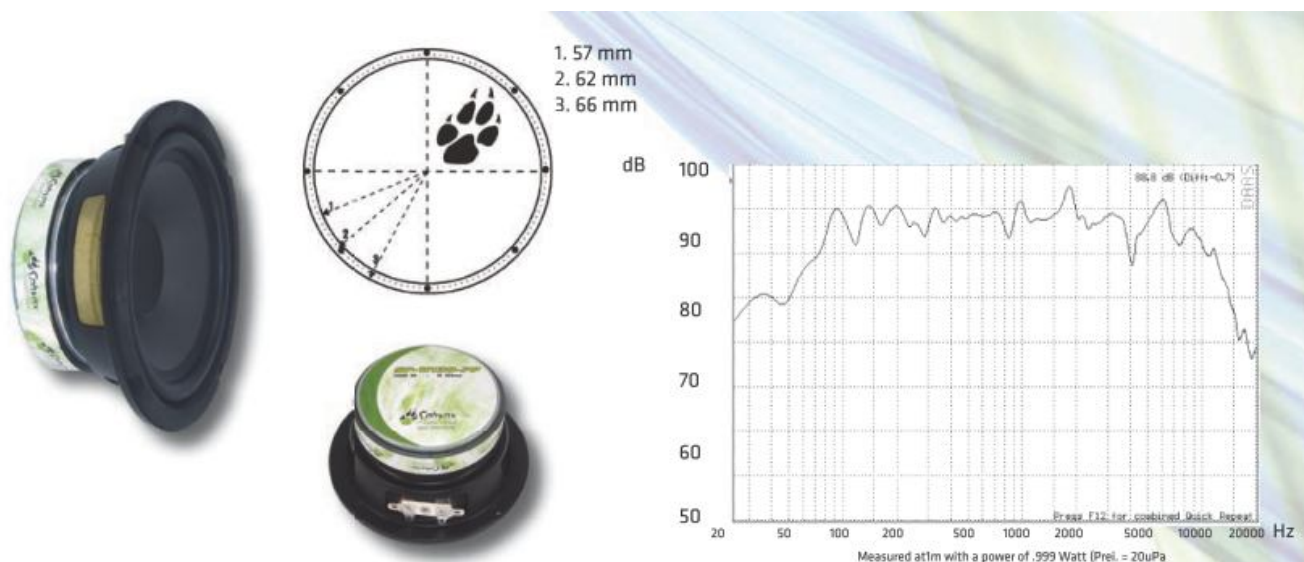
6.1. Paroscientific 1030G barometer

Specificatie blad Paroscientific 1030 G barometer

SPECIFICATION CONTROL DRAWING																																																																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>MODEL NO.</th> <th>PART NO.</th> <th>PRESSURE RANGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1015A -01 -02</td><td>1043 -001 -002</td><td>0 TO 15 PSIA (0.10 MPa)</td></tr> <tr><td>1023A -01 -02</td><td>1043 -003 -004</td><td>0 TO 23 PSIA (0.16 MPa)</td></tr> <tr><td>1030A -01 -02</td><td>1043 -005 -006 -0</td><td>0 TO 30 PSIA (0.21 MPa)</td></tr> <tr><td>1045A -01 -02</td><td>1043 -007 -008 -0</td><td>0 TO 45 PSIA (0.31 MPa)</td></tr> <tr><td>1100A -01 -02</td><td>1043 -009 -010 -0</td><td>0 TO 100 PSIA (0.69 MPa)</td></tr> <tr><td>1200A -01 -02</td><td>1043 -011 -012 -0</td><td>0 TO 200 PSIA (1.38 MPa)</td></tr> <tr><td>1300A -01 -02</td><td>1043 -013 -014 -0</td><td>0 TO 300 PSIA (2.07 MPa)</td></tr> <tr><td>1400A -01 -02</td><td>1043 -015 -016 -0</td><td>0 TO 400 PSIA (2.76 MPa)</td></tr> <tr><td>1500A -01 -02</td><td>1043 -045 -0</td><td>0 TO 500 PSIA (3.45 MPa)</td></tr> <tr><td colspan="3"> </td></tr> <tr><td>1015G -01 -02</td><td>1043 -019 -020</td><td>0 TO 15 PSIG (0.10 MPa)</td></tr> <tr><td>1022G -01 -02</td><td>1043 -077 -072</td><td>0 TO 22 PSIG (0.15 MPa)</td></tr> <tr><td>1030G -01 -02</td><td>1043 -021 -022 -0</td><td>0 TO 30 PSIG (0.21 MPa)</td></tr> <tr><td>1100G -01 -02</td><td>1043 -023 -024 -0</td><td>0 TO 100 PSIG (0.69 MPa)</td></tr> <tr><td>1150G -01 -02</td><td>1043 -074 -075 -0</td><td>0 TO 150 PSIG (1.03 MPa)</td></tr> <tr><td>1200G -01 -02</td><td>1043 -025 -026 -0</td><td>0 TO 200 PSIG (1.38 MPa)</td></tr> <tr><td colspan="3"> </td></tr> <tr><td>1001K -01 -02</td><td>1043 -043 -044 -0</td><td>0 TO 1000 PSIA (6.90 MPa)</td></tr> <tr><td>1002K -01 -02</td><td>1043 -033 -034 -0</td><td>0 TO 2000 PSIA (13.79 MPa)</td></tr> <tr><td>1003K -01 -02</td><td>1043 -035 -036 -0</td><td>0 TO 3000 PSIA (20.68 MPa)</td></tr> <tr><td>1006K -01 -02</td><td>1043 -037 -038 -0</td><td>0 TO 6000 PSIA (41.36 MPa)</td></tr> <tr><td>1010K -01 -02</td><td>1043 -039 -040 -0</td><td>0 TO 10,000 PSIA (68.9 MPa)</td></tr> </tbody> </table> <p style="margin-left: 20px;">WITH "-0" FOR OIL FILLED (30 PSI AND ABOVE ONLY)</p> <p style="margin-left: 20px;">16 BIT CONFIGURATION</p> <p style="margin-left: 20px;">RS-232 CONFIGURATION</p> <p style="margin-left: 20px;">16 BIT CONFIGURATION</p> <p style="margin-left: 20px;">RS-232 CONFIGURATION</p>	MODEL NO.	PART NO.	PRESSURE RANGE	1015A -01 -02	1043 -001 -002	0 TO 15 PSIA (0.10 MPa)	1023A -01 -02	1043 -003 -004	0 TO 23 PSIA (0.16 MPa)	1030A -01 -02	1043 -005 -006 -0	0 TO 30 PSIA (0.21 MPa)	1045A -01 -02	1043 -007 -008 -0	0 TO 45 PSIA (0.31 MPa)	1100A -01 -02	1043 -009 -010 -0	0 TO 100 PSIA (0.69 MPa)	1200A -01 -02	1043 -011 -012 -0	0 TO 200 PSIA (1.38 MPa)	1300A -01 -02	1043 -013 -014 -0	0 TO 300 PSIA (2.07 MPa)	1400A -01 -02	1043 -015 -016 -0	0 TO 400 PSIA (2.76 MPa)	1500A -01 -02	1043 -045 -0	0 TO 500 PSIA (3.45 MPa)				1015G -01 -02	1043 -019 -020	0 TO 15 PSIG (0.10 MPa)	1022G -01 -02	1043 -077 -072	0 TO 22 PSIG (0.15 MPa)	1030G -01 -02	1043 -021 -022 -0	0 TO 30 PSIG (0.21 MPa)	1100G -01 -02	1043 -023 -024 -0	0 TO 100 PSIG (0.69 MPa)	1150G -01 -02	1043 -074 -075 -0	0 TO 150 PSIG (1.03 MPa)	1200G -01 -02	1043 -025 -026 -0	0 TO 200 PSIG (1.38 MPa)				1001K -01 -02	1043 -043 -044 -0	0 TO 1000 PSIA (6.90 MPa)	1002K -01 -02	1043 -033 -034 -0	0 TO 2000 PSIA (13.79 MPa)	1003K -01 -02	1043 -035 -036 -0	0 TO 3000 PSIA (20.68 MPa)	1006K -01 -02	1043 -037 -038 -0	0 TO 6000 PSIA (41.36 MPa)	1010K -01 -02	1043 -039 -040 -0	0 TO 10,000 PSIA (68.9 MPa)	<p>CHARACTERISTICS:</p> <p>SIZE (EXCLUDING FITTINGS AND CONNECTORS) 3.12 X 3.12 X 5.00 IN. [7.92 X 7.92 X 12.7]</p> <p>WEIGHT 1 LB 13 OZ (.822 KG) NOMINAL</p> <p>OPERATES FROM +6 VDC MIN TO +16 VDC MAX. RECOMMENDED INPUT VOLTAGE IS +6 VDC.</p> <p>OPERATING SUPPLY CURRENT:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">RESOLUTION MODE (SEE NOTE 7)</th> </tr> <tr> <th>STANDARD (PARTS PER MILLION)</th> <th colspan="2">NANO (PARTS PER BILLION)</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>IIR</td> <td>FIR</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SLEEP MODE</td> <td>7 mA</td> <td>7 mA</td> <td>7 mA</td> </tr> <tr> <td>QUIESCENT</td> <td>12 mA</td> <td>43 mA</td> <td>24 mA</td> </tr> <tr> <td>MAXIMUM</td> <td>16 mA</td> <td>43 mA</td> <td>27 mA</td> </tr> </tbody> </table> <p>ENVIRONMENTAL:</p> <p>OVERPRESSURE:</p> <p>FOR ALL MODELS EXCEPT 1500A 1.2 X FULL SCALE</p> <p>FOR MODEL 1500A ONLY 1.0 X FULL SCALE</p> <p>OPERATING TEMPERATURE RANGE:</p> <p>FOR 15 PSI TO 1,000 PSI -40 °C TO +70 °C (-40 °F TO +158 °F)</p> <p>FOR 2,000 PSI TO 10,000 PSI 0 °C TO +70 °C (32 °F TO +158 °F)</p> <p>MINIMUM OPERATING TEMPERATURE RANGE IF TRANSDUCER IS OIL FILLED:</p> <p>FOR 15 PSI TO 1,000 PSI -20 °C (-4 °F)</p> <p>FOR 2,000 PSI TO 10,000 PSI 0 °C (32 °F)</p> <p>OIL-FILLED UNITS HAVE THE PRESSURE PORT OIL FILLED UNDER VACUUM WITH DOW CORNING FS-1265 FLUID. AT 25 °C, SPECIFIC GRAVITY IS 1.25 AND VISCOSITY IS 300 CENTISTOKES. FOR GAUGE UNITS, ONLY THE POSITIVE PRESSURE PORT IS OIL FILLED.</p> <p>OIL FILLED UNITS GENERATE A PRESSURE HEAD WHICH VARIES WITH ORIENTATION.</p> <p>CAUTION: DO NOT APPLY VACUUM TO PRESSURE PORT. OIL COULD BE WITHDRAWN PERMITTING PRESSURE MEDIUM TO COME INTO CONTACT WITH THE SENSING ELEMENTS.</p> <p>NOTES:</p> <ol style="list-style-type: none"> MAXIMUM TIGHTENING FORCE ON PRESSURE FITTING AFTER INSTALLING THE NUT FINGER TIGHT IS 3/4 OF A TURN USING WRENCHES. REFER TO APPROPRIATE SPECIFICATION CONTROL DRAWINGS LISTED BELOW FOR INTERNAL PRESSURE TRANSDUCER SPECIFICATIONS. <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>PRESSURE RANGE</th> <th>DOCUMENT NO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>15 TO 400 PSIA</td><td>7268-001</td></tr> <tr><td>500 PSIA</td><td>7445-001</td></tr> <tr><td>1,000 PSIA</td><td>7385-001</td></tr> <tr><td>2,000 TO 10,000 PSIA</td><td>7271-001</td></tr> <tr><td>15 TO 200 PSIG</td><td>7239-001</td></tr> </tbody> </table> <ol style="list-style-type: none"> RS-232 SIGNAL LEVELS ARE ±4VDC NOMINAL. MAXIMUM CABLE LENGTH DEPENDS ON CABLE TYPE, BAUD RATE AND ELECTRICAL NOISE LEVELS. RS-232 COMMUNICATIONS PORT MEETS EIA/TIA-232 SPECIFICATIONS. DEPENDING ON MODEL, PRESSURE MEDIUM MAY BE IN CONTACT WITH STAINLESS STEEL, ALUMINUM, NICKEL, INCONEL, SOLDER, NYLON, OIL, GOLD AND EPOXY. FOR 1,000 THROUGH 10,000 PSI UNITS, PRESSURE MEDIUM MAY BE IN CONTACT WITH STAINLESS STEEL, INCONEL, AND OIL ONLY. MATING CONNECTOR IS PROVIDED WITH THE 16 BIT CONFIGURATION. THE FOLLOWING ARE CHARACTERISTICS OF FIRMWARE VERSION 3.00 OR LATER: <ol style="list-style-type: none"> THE MODEL 710 DISPLAY IS NOT SUPPORTED. ALL COMMANDS MUST BE TERMINATED WITH A CARRIAGE RETURN AND LINE FEED CHARACTER. SERIAL PROTOCOL IS FIXED AT 8/N/1. PT PARAMETER IS READ ONLY, AND ALWAYS RETURNS "N". MC AND CT DIAGNOSTIC COMMANDS ARE NOT SUPPORTED. SN AND TC PARAMETERS ARE READ-ONLY. OPERATIONS MANUAL AND INTERFACE CABLE SUPPLIED WITH THE UNIT. SEE OPERATIONS MANUAL 8107-001 FOR PROGRAM COMMAND INSTRUCTIONS AND CONFIGURATION SELECTION, AND FOR DEFINITIONS OF STANDARD (PARTS PER MILLION) AND NANO (PARTS PER BILLION) IIR AND FIR FILTERS. DEFAULT SETTING IS STANDARD RESOLUTION. 		RESOLUTION MODE (SEE NOTE 7)			STANDARD (PARTS PER MILLION)	NANO (PARTS PER BILLION)				IIR	FIR	SLEEP MODE	7 mA	7 mA	7 mA	QUIESCENT	12 mA	43 mA	24 mA	MAXIMUM	16 mA	43 mA	27 mA	PRESSURE RANGE	DOCUMENT NO.	15 TO 400 PSIA	7268-001	500 PSIA	7445-001	1,000 PSIA	7385-001	2,000 TO 10,000 PSIA	7271-001	15 TO 200 PSIG	7239-001
MODEL NO.	PART NO.	PRESSURE RANGE																																																																																																							
1015A -01 -02	1043 -001 -002	0 TO 15 PSIA (0.10 MPa)																																																																																																							
1023A -01 -02	1043 -003 -004	0 TO 23 PSIA (0.16 MPa)																																																																																																							
1030A -01 -02	1043 -005 -006 -0	0 TO 30 PSIA (0.21 MPa)																																																																																																							
1045A -01 -02	1043 -007 -008 -0	0 TO 45 PSIA (0.31 MPa)																																																																																																							
1100A -01 -02	1043 -009 -010 -0	0 TO 100 PSIA (0.69 MPa)																																																																																																							
1200A -01 -02	1043 -011 -012 -0	0 TO 200 PSIA (1.38 MPa)																																																																																																							
1300A -01 -02	1043 -013 -014 -0	0 TO 300 PSIA (2.07 MPa)																																																																																																							
1400A -01 -02	1043 -015 -016 -0	0 TO 400 PSIA (2.76 MPa)																																																																																																							
1500A -01 -02	1043 -045 -0	0 TO 500 PSIA (3.45 MPa)																																																																																																							
1015G -01 -02	1043 -019 -020	0 TO 15 PSIG (0.10 MPa)																																																																																																							
1022G -01 -02	1043 -077 -072	0 TO 22 PSIG (0.15 MPa)																																																																																																							
1030G -01 -02	1043 -021 -022 -0	0 TO 30 PSIG (0.21 MPa)																																																																																																							
1100G -01 -02	1043 -023 -024 -0	0 TO 100 PSIG (0.69 MPa)																																																																																																							
1150G -01 -02	1043 -074 -075 -0	0 TO 150 PSIG (1.03 MPa)																																																																																																							
1200G -01 -02	1043 -025 -026 -0	0 TO 200 PSIG (1.38 MPa)																																																																																																							
1001K -01 -02	1043 -043 -044 -0	0 TO 1000 PSIA (6.90 MPa)																																																																																																							
1002K -01 -02	1043 -033 -034 -0	0 TO 2000 PSIA (13.79 MPa)																																																																																																							
1003K -01 -02	1043 -035 -036 -0	0 TO 3000 PSIA (20.68 MPa)																																																																																																							
1006K -01 -02	1043 -037 -038 -0	0 TO 6000 PSIA (41.36 MPa)																																																																																																							
1010K -01 -02	1043 -039 -040 -0	0 TO 10,000 PSIA (68.9 MPa)																																																																																																							
	RESOLUTION MODE (SEE NOTE 7)																																																																																																								
	STANDARD (PARTS PER MILLION)	NANO (PARTS PER BILLION)																																																																																																							
		IIR	FIR																																																																																																						
SLEEP MODE	7 mA	7 mA	7 mA																																																																																																						
QUIESCENT	12 mA	43 mA	24 mA																																																																																																						
MAXIMUM	16 mA	43 mA	27 mA																																																																																																						
PRESSURE RANGE	DOCUMENT NO.																																																																																																								
15 TO 400 PSIA	7268-001																																																																																																								
500 PSIA	7445-001																																																																																																								
1,000 PSIA	7385-001																																																																																																								
2,000 TO 10,000 PSIA	7271-001																																																																																																								
15 TO 200 PSIG	7239-001																																																																																																								
<p>RS-232 CONNECTOR PINOUT</p> <p>FIRMWARE VERSION 52.03 (OBSOLETE)</p> <p>PIN 1 CHASSIS GROUND PIN 2 RS-232 TX PIN 3 RS-232 RX PIN 4 NOT USED PIN 5 SIGNAL GROUND PIN 6 DISPLAY CLOCK PIN 7 NOT USED PIN 8 DISPLAY DATA PIN 9 POWER</p> <p>FIRMWARE VERSION 3.00 OR LATER</p> <p>PIN 1 CHASSIS GROUND PIN 2 RS-232 TX PIN 3 RS-232 RX PIN 4 NOT USED PIN 5 SIGNAL GROUND PIN 6 NOT USED PIN 7 NOT USED PIN 8 NOT USED PIN 9 POWER</p>	<p>16-BIT CONNECTOR PINOUT</p> <p>PIN 1 CHASSIS GROUND PIN 2 RS-232 RX PIN 3 RS-232 TX PIN 4 INHIBIT/TRIGGER PIN 5 D7 PIN 6 D3 PIN 7 GROUND PIN 8 D9 PIN 9 D10 PIN 10 D12 PIN 11 DISPLAY CLOCK PIN 12 D14 PIN 13 D15 MSB PIN 14 D0 LSB PIN 15 D4 PIN 16 D5 PIN 17 D6 PIN 18 DISPLAY DATA PIN 19 D2 PIN 20 D1 PIN 21 D8 PIN 22 D11 PIN 23 D13 PIN 24 DATA VALID PIN 25 POWER</p>																																																																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">CURRENT APPROVALS</th> <th colspan="2">Paroscientific, Inc.</th> <th colspan="3">DESCRIPTION</th> </tr> <tr> <th>NAME</th> <th>DATE</th> <th>NAME</th> <th>DATE</th> <th colspan="2"></th> <th colspan="3">DIGIQUARTZ® INTELLIGENT TRANSMITTER, MODEL 1000</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CAD R.M. Collado</td> <td>6/17/10</td> <td>WPA</td> <td>6/23/10</td> <td colspan="2">1500 1500 Avenue NE Redmond, WA 98052 Tel 425.883.8700 Fax 425.887.5487 website www.paroscientific.com</td> <td>SIZE</td> <td>CAGE</td> <td>DOCUMENT NUMBER</td> <td>REV</td> </tr> <tr> <td>CHK C. Smith</td> <td>6/22/10</td> <td>WPA</td> <td>6/18/10</td> <td colspan="2">UNLESS OTHERWISE SPECIFIED ALL DIMENSIONS ARE IN INCHES DIMENSIONS IN BRACKETS ARE IN MILLIMETERS DIMENSIONS ARE FOR REFERENCE ONLY</td> <td>A</td> <td>54535</td> <td>7274-001</td> <td>AC</td> </tr> <tr> <td>ENG T. Luxon</td> <td>6/21/10</td> <td>WPA</td> <td>6/23/10</td> <td colspan="2">EO NO/EFFECTIVE DATE: EO 7117</td> <td>SCALE</td> <td>NONE</td> <td colspan="2">SHEET 1 OF 2</td> </tr> </tbody> </table>		CURRENT APPROVALS				Paroscientific, Inc.		DESCRIPTION			NAME	DATE	NAME	DATE			DIGIQUARTZ® INTELLIGENT TRANSMITTER, MODEL 1000			CAD R.M. Collado	6/17/10	WPA	6/23/10	1500 1500 Avenue NE Redmond, WA 98052 Tel 425.883.8700 Fax 425.887.5487 website www.paroscientific.com		SIZE	CAGE	DOCUMENT NUMBER	REV	CHK C. Smith	6/22/10	WPA	6/18/10	UNLESS OTHERWISE SPECIFIED ALL DIMENSIONS ARE IN INCHES DIMENSIONS IN BRACKETS ARE IN MILLIMETERS DIMENSIONS ARE FOR REFERENCE ONLY		A	54535	7274-001	AC	ENG T. Luxon	6/21/10	WPA	6/23/10	EO NO/EFFECTIVE DATE: EO 7117		SCALE	NONE	SHEET 1 OF 2																																																									
CURRENT APPROVALS				Paroscientific, Inc.		DESCRIPTION																																																																																																			
NAME	DATE	NAME	DATE			DIGIQUARTZ® INTELLIGENT TRANSMITTER, MODEL 1000																																																																																																			
CAD R.M. Collado	6/17/10	WPA	6/23/10	1500 1500 Avenue NE Redmond, WA 98052 Tel 425.883.8700 Fax 425.887.5487 website www.paroscientific.com		SIZE	CAGE	DOCUMENT NUMBER	REV																																																																																																
CHK C. Smith	6/22/10	WPA	6/18/10	UNLESS OTHERWISE SPECIFIED ALL DIMENSIONS ARE IN INCHES DIMENSIONS IN BRACKETS ARE IN MILLIMETERS DIMENSIONS ARE FOR REFERENCE ONLY		A	54535	7274-001	AC																																																																																																
ENG T. Luxon	6/21/10	WPA	6/23/10	EO NO/EFFECTIVE DATE: EO 7117		SCALE	NONE	SHEET 1 OF 2																																																																																																	

6.2. Sphynx SP-W130-PP Luidsprekers

Specificatie blad Sphynx luidsprekers (www.sphynx.be)



SP-W130-PP (Woofer)

Order Code : LOU402087



Impedance: 8 Ohm
Dimension: Ø 130 mm
P. RMS: 30 W
P. Max: 100 W
SPL (1W/1m): 87,6 dB
F reson.: 65 Hz
Freq: 65 Hz ... 7 kHz
R (DC): 8,1 Ohm
Voice Coil: Ø 25 mm

Voice Coil Mat.: ALUM
Magnet: Ø 90 mm
Magnet weight: 210 gr
Total weight: 960 gr
Zo (Zmax at Fo): 28 Ohm
Sd (Piston*Area): 9.504 sqM
BL (Flux*length): 3.481 TM
No (Ref Effncy): 0,364 %
Qms (Mech): 4.768 Q

Qes (Elec): 1.895 Q
Qts (Total): 1.356 Q
VAS (Ac.Vol): 7.234 McuM
Cms(compl.): 563.997 µM/N
Mms (Total Mass): 4.533 g
Mmd (Diaph. Mass): 4.000 MKg
Added Mass Cone: 0 g
Packing: 30 parts
EAN Barcode: 5413424402087

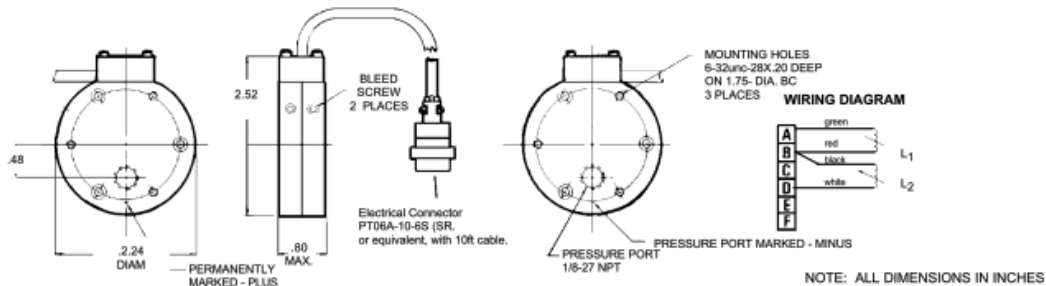
6.3. Validyne DP45-14 Microbarometer

Specificatie blad DP45-14 microbarometer

	<h1 style="font-size: 2em; margin: 0;">DP45</h1>	<p>VERY LOW RANGE DIFFERENTIAL PRESSURE TRANSDUCER VARIABLE RELUCTANCE</p> <p style="text-align: right;">AC Output</p>																																														
	<h2 style="margin: 0;">VERY LOW RANGE WET-WET CAPABILITY</h2> <p>Features</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Low Range: ± 0.6 to 90 in.H₂O FS <input type="checkbox"/> Low Internal Volume <input type="checkbox"/> Symmetrical Construction <input type="checkbox"/> Small Volumetric Displacement <input type="checkbox"/> High Natural Frequency 																																															
<p>Description</p> <p>The Validyne DP45 Very Low Differential Pressure Transducer is designed for extremely low pressure measurement in the order of ± 1 inch water column. This instrument is used extensively in connection with flow measurements where dynamic response at low flow rates is required. Dynamic line pressure effects are minimized due to the combination of low internal volume, symmetrical construction, and small volumetric displacement inherent in the DP45 design.</p> <p>All surfaces exposed to the media are corrosion resistant steel. The design and construction of the DP45 permits the user to disassemble the instrument for cleaning, diaphragm replacement, or changing the transducer range. The transducer range is changed by substituting a different sensing diaphragm chosen from the Diaphragm Selection Chart on the reverse side of this sheet.</p> <p>Used with a typical Validyne carrier demodulator, pressure inputs as low as 0.6 in.H₂O will produce up to a ± 10V output. The exceptionally low acceleration sensitivity of the DP45 ensure accuracy under all types of mouting conditions.</p>	<p>Specifications</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%;">Range:</td> <td>± 0.6 to 90 in. H₂O FS</td> </tr> <tr> <td>Accuracy:*</td> <td>$\pm 0.5\%$ FS</td> </tr> <tr> <td>Hysteresis:</td> <td>0.25% pressure excursion</td> </tr> <tr> <td>Overpressure:</td> <td>15 psid</td> </tr> <tr> <td>Line Pressure:</td> <td>15 psid</td> </tr> <tr> <td>Zero Shift:</td> <td>less than 1% FS psi (with Line Pressure).</td> </tr> <tr> <td>Output:</td> <td>25mV/V FS, nominal.</td> </tr> <tr> <td>Inductance:</td> <td>20mH nominal, each coil.</td> </tr> <tr> <td>Zero Balance:</td> <td>Within ± 5m V/V.</td> </tr> <tr> <td>Excitation</td> <td></td> </tr> <tr> <td> Rated:</td> <td>5 Vrms at 5 KhZ</td> </tr> <tr> <td> Limits:</td> <td>30 Vrms at 3 khZ</td> </tr> <tr> <td>Pressure Media:</td> <td>Corrosive liquids and gases, both sides compatible with 410 CRES and inconel.**</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>0 to 160°F</td> </tr> <tr> <td>Thermal Zero Shift:</td> <td>1% FS/100°F Typical.</td> </tr> <tr> <td>Thermal Sensitivity Shift:</td> <td>2% FS/100°F Typical.</td> </tr> <tr> <td>Pressure Cavity Volume:</td> <td>10-2 cubic inch.</td> </tr> <tr> <td>Volumetric Displacement:</td> <td>10-3 cubic inch FS.</td> </tr> <tr> <td>Natural Frequency:</td> <td>Greater than 600 Hz at all ranges.</td> </tr> <tr> <td>Pressure Connection:</td> <td>1/8-27 NPTF</td> </tr> <tr> <td>Electrical Connection:</td> <td>Bendix PT06A-106S(SR) or equivalent** with 10ft. cable. 12 ounces (336 grams).</td> </tr> <tr> <td>Weight:</td> <td>Changes instrument range or replace diaphragms with selection from chart on reverse side of this data sheet.</td> </tr> <tr> <td>Diaphragms:</td> <td></td> </tr> </table> <p style="font-size: 0.8em; margin-top: 10px;">* Includes the effects of linearity, hysteresis, and repeatability. ** See Ordering Information for available options.</p>		Range:	± 0.6 to 90 in. H ₂ O FS	Accuracy:*	$\pm 0.5\%$ FS	Hysteresis:	0.25% pressure excursion	Overpressure:	15 psid	Line Pressure:	15 psid	Zero Shift:	less than 1% FS psi (with Line Pressure).	Output:	25mV/V FS, nominal.	Inductance:	20mH nominal, each coil.	Zero Balance:	Within ± 5 m V/V.	Excitation		Rated:	5 Vrms at 5 KhZ	Limits:	30 Vrms at 3 khZ	Pressure Media:	Corrosive liquids and gases, both sides compatible with 410 CRES and inconel.**	Temperature:	0 to 160°F	Thermal Zero Shift:	1% FS/100°F Typical.	Thermal Sensitivity Shift:	2% FS/100°F Typical.	Pressure Cavity Volume:	10-2 cubic inch.	Volumetric Displacement:	10-3 cubic inch FS.	Natural Frequency:	Greater than 600 Hz at all ranges.	Pressure Connection:	1/8-27 NPTF	Electrical Connection:	Bendix PT06A-106S(SR) or equivalent** with 10ft. cable. 12 ounces (336 grams).	Weight:	Changes instrument range or replace diaphragms with selection from chart on reverse side of this data sheet.	Diaphragms:	
Range:	± 0.6 to 90 in. H ₂ O FS																																															
Accuracy:*	$\pm 0.5\%$ FS																																															
Hysteresis:	0.25% pressure excursion																																															
Overpressure:	15 psid																																															
Line Pressure:	15 psid																																															
Zero Shift:	less than 1% FS psi (with Line Pressure).																																															
Output:	25mV/V FS, nominal.																																															
Inductance:	20mH nominal, each coil.																																															
Zero Balance:	Within ± 5 m V/V.																																															
Excitation																																																
Rated:	5 Vrms at 5 KhZ																																															
Limits:	30 Vrms at 3 khZ																																															
Pressure Media:	Corrosive liquids and gases, both sides compatible with 410 CRES and inconel.**																																															
Temperature:	0 to 160°F																																															
Thermal Zero Shift:	1% FS/100°F Typical.																																															
Thermal Sensitivity Shift:	2% FS/100°F Typical.																																															
Pressure Cavity Volume:	10-2 cubic inch.																																															
Volumetric Displacement:	10-3 cubic inch FS.																																															
Natural Frequency:	Greater than 600 Hz at all ranges.																																															
Pressure Connection:	1/8-27 NPTF																																															
Electrical Connection:	Bendix PT06A-106S(SR) or equivalent** with 10ft. cable. 12 ounces (336 grams).																																															
Weight:	Changes instrument range or replace diaphragms with selection from chart on reverse side of this data sheet.																																															
Diaphragms:																																																



INSTALLATION DRAWING DP45 Very Low Range Differential Pressure Transducer



DIAPHRAGM SELECTION CHART

DASH NO.	PRESSURE RANGE					
	PSI	"HG	"H ₂ O	KPA	mmHG	CMH ₂ O
	0.020	0.041	0.55	0.14	1.03	1.40
14	0.032	0.055	0.89	0.22	1.65	2.25
16	0.05	0.102	1.40	0.35	2.58	3.50
18	0.08	0.16	2.22	0.55	4.14	5.60
20	0.125	0.35	3.5	0.86	6.5	8.80
22	0.20	0.41	5.5	1.40	10.3	14.0
24	0.32	0.65	8.9	2.2	16.5	22.5
26	0.50	1.02	14.0	3.5	25.8	35.0
28	0.80	1.6	22.2	5.5	41.4	56.0
30	1.25	2.5	35.0	8.6	65.0	88.0
32	2.0	4.1	55.0	14.0	103.0	140.0
34	3.2	6.5	90.0	22.0	165.0	225.0

How to use the Pressure Range Chart

First enter the chart by selecting the appropriate engineering units desired (PSI, IN. H₂, etc.). Move down the column until the desired full scale pressure range is located. Then, select the diaphragm dash number that corresponds to the desired pressure range (number located in far left column). Should the pressure range desired fall between the ranges listed, use the diaphragm dash number for the next higher range. Example: to obtain a 1. PSI transducer, select a -30 diaphragm. This transducer may then be calibrated for any full scale pressure range from 0.81 through 1.25 PSI. Should the pressure range desired fall on a range listed, then use the diaphragm dash number in the left most column. Example: to obtain a 65.0 mmHg transducer, select a -30 diaphragm. This transducer may then be calibrated for any full scale pressure range from 41.5 to 65.0 mmHg. When this pressure range chart is so used, the transducer will meet all of the performance specifications for the model.

To order replacement diaphragms, specify: **Model Code** and **Diaphragm Dash No.**

--- 6 (DP45) --- -16 thru -34

Ordering Information For transducers, specify part numbers as follows:

PRESSURE RANGE Dash Number from Range Selection Chart.	O-RINGS: A = NONE	TEMPERATURE RANGE S = 0° to 160° F	<table border="1"> <thead> <tr><th>CABLE LENGTH</th><th>CABLE</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>A. 1 FT</td><td>Belden 8434</td></tr> <tr><td>B. 18 inches</td><td>Belden 8434</td></tr> <tr><td>C. 5 FT</td><td>Belden 8434</td></tr> <tr><td>D. 10 FT</td><td>Belden 8434</td></tr> <tr><td>E. 15 FT</td><td>Belden 8434</td></tr> <tr><td>F. 25 FT</td><td>Belden 8434</td></tr> <tr><td>G. 50 FT</td><td>Belden 8434</td></tr> <tr><td>H. 100 FT</td><td>Belden 8434</td></tr> <tr><td>J. NONE</td><td>NONE</td></tr> <tr><td>K. Length as Specified</td><td>4 Leads 24 GA</td></tr> <tr><td>L. Length as Specified</td><td>Belden 8434</td></tr> </tbody> </table>	CABLE LENGTH	CABLE	A. 1 FT	Belden 8434	B. 18 inches	Belden 8434	C. 5 FT	Belden 8434	D. 10 FT	Belden 8434	E. 15 FT	Belden 8434	F. 25 FT	Belden 8434	G. 50 FT	Belden 8434	H. 100 FT	Belden 8434	J. NONE	NONE	K. Length as Specified	4 Leads 24 GA	L. Length as Specified	Belden 8434
CABLE LENGTH	CABLE																										
A. 1 FT	Belden 8434																										
B. 18 inches	Belden 8434																										
C. 5 FT	Belden 8434																										
D. 10 FT	Belden 8434																										
E. 15 FT	Belden 8434																										
F. 25 FT	Belden 8434																										
G. 50 FT	Belden 8434																										
H. 100 FT	Belden 8434																										
J. NONE	NONE																										
K. Length as Specified	4 Leads 24 GA																										
L. Length as Specified	Belden 8434																										
DP45 - XX - A - 1 - S - 4 - A																											
ELECTRICAL CONNECTOR 1 = PT06A-10-6S (STD) 2 = PT06E-10-6S 3 = WK-4-21 C -1/4 4 = WK-4-22 C -1/4 6 = NONE 7 = NONE CABLE END PIGTAILED 8 = NONE LEADS PIGTAILED	SENSOR MATERIAL 4 = 410 Stainless Steel																										



8626 Wilbur Avenue
 (818) 886-2057
<http://www.validyne.com>

Northridge, CA 91324-4498
 FAX (818) 886-6512
 e-mail to sales@validyne.com

6.4.



NI USB 609 Data-acquisitie unit

NI USB-6009

14-Bit, 48 kS/s Low-Cost Multifunction DAQ

- 8 analog inputs (14-bit, 48 kS/s)
- 2 analog outputs (12-bit, 150 S/s); 12 digital I/O; 32-bit counter
- Bus-powered for high mobility; built-in signal connectivity
- OEM version available
- Compatible with LabVIEW, LabWindows/CVI, and Measurement Studio for Visual Studio .NET
- NI-DAQmx driver software and NI LabVIEW SignalExpress LE interactive data-logging software



Overview

The National Instruments USB-6009 provides basic data acquisition functionality for applications such as simple data logging, portable measurements, and academic lab experiments. It is affordable for student use and powerful enough for more sophisticated measurement applications. For Mac OS X and Linux users, download the NI-DAQmx Base driver software and program the USB-6009 with LabVIEW or C.

To supplement simulation, measurement, and automation theory courses with practical experiments, NI developed a USB-6009 Student Kit that includes a copy of the LabVIEW Student Edition. These kits are exclusively for students, giving them a powerful, low-cost, hands-on learning tool. Visit the NI academic products page at <http://www.ni.com/academic/measurements.htm> for more details.

For faster sampling, more accurate measurements, calibration support, and higher channel count, consider the NI USB-6210 and NI USB-6211 high-performance USB data acquisition devices.

Every NI USB data acquisition device includes a copy of NI LabVIEW SignalExpress LE so you can quickly acquire, analyze, and present data without programming. In addition to LabVIEW SignalExpress, USB data acquisition modules are compatible with the following versions (or later) of NI application software – LabVIEW 7.x, LabWindows™/CVI 7.x, or Measurement Studio 7.x. USB data acquisition modules are also compatible with Visual Studio .NET, C/C++, and Visual Basic 6.

Specifications

Specifications Documents

- Specifications (3)
- Data Sheet

Specifications Summary

General

Product Name	USB-6009
Product Family	Multifunction Data Acquisition
Form Factor	USB
Part Number	779026-01



Operating System/Target	Linux , Mac OS , Pocket PC , Windows
DAQ Product Family	B Series
Measurement Type	Voltage
RoHS Compliant	Yes
Analog Input	
Channels	4 , 8
Single-Ended Channels	8
Differential Channels	4
Resolution	14 bits
Sample Rate	48 kS/s
Throughput (All Channels)	48 kS/s
Max Voltage	10 V
Maximum Voltage Range	-10 V , 10 V
Maximum Voltage Range Accuracy	138 mV
Minimum Voltage Range	-1 V , 1 V
Minimum Voltage Range Accuracy	37.5 mV
Number of Ranges	8
Simultaneous Sampling	No
On-Board Memory	512 B
Analog Output	
Channels	2
Resolution	12 bits
Max Voltage	5 V
Maximum Voltage Range	0 V , 5 V
Maximum Voltage Range Accuracy	7 mV
Minimum Voltage Range	0 V , 5 V
Minimum Voltage Range Accuracy	7 mV
Update Rate	150 S/s
Current Drive Single	5 mA
Current Drive All	10 mA



Digital I/O	
Bidirectional Channels	12
Input-Only Channels	0
Output-Only Channels	0
Number of Channels	0 , 12
Timing	Software
Logic Levels	TTL
Input Current Flow	Sinking , Sourcing
Output Current Flow	Sinking , Sourcing
Programmable Input Filters	No
Supports Programmable Power-Up States?	No
Current Drive Single	8.5 mA
Current Drive All	102 mA
Watchdog Timer	No
Supports Handshaking I/O?	No
Supports Pattern I/O?	No
Maximum Input Range	0 V , 5 V
Maximum Output Range	0 V , 5 V
Counter/Timers	
Counters	1
Buffered Operations	No
Debouncing/Glitch Removal	No
GPS Synchronization	No
Maximum Range	0 V , 5 V
Max Source Frequency	5 MHz
Pulse Generation	No
Resolution	32 bits
Timebase Stability	50 ppm
Logic Levels	TTL
Physical Specifications	



Length	8.51 cm
Width	8.18 cm
Height	2.31 cm
I/O Connector	Screw terminals
Timing/Triggering/Synchronization	
Triggering	Digital
Synchronization Bus (RTSI)	No

Pricing

NI USB-6009 Complete Package

Each NI USB-6009 requires:

NI USB-6009

Software

Roll over icons above to learn why you need each item in the package.

NI USB-6009 and Accessories

Hardware Subtotal: € 269

NI USB-6009 - 779026-01	Qty	€ 269 each
-------------------------	-----	------------

Optional Accessories Hide

USB 6008/09 Accessory Kit - 779371-01	Qty	€ 39 each
---------------------------------------	-----	-----------

USB 6000 Series Prototyping Accessory - 779511-01	Qty	€ 39 each
---------------------------------------------------	-----	-----------

Software

Software Subtotal: € 0

Note : You should only purchase this device without software if you already own compatible application software.[View Full List]

NI LabVIEW SignalExpress Development System - 779037-35	Qty	€ 1,049 each
------------------------------------------------------------------	-----	--------------

Change Software

Learn about all compatible software and get recommendations based on your needs.

Estimated Shipping Days: 1 - 2

Package Price: € 269

Add to Cart >>

Guarantee your price for 30 days (learn more) Instant Quote

Save for Later



You need software to interface with your hardware and to collect, analyze, present, and store your measurements. This board is compatible with a variety of programming languages, including LabVIEW, C/C++, Visual Basic, and .NET. LabVIEW provides the easiest integration with all of your NI hardware and is recommended to maximize your hardware investment. You have selected **Netherlands** as the country where you will use the product(s) (change).

Resources

Additional Product Information

- Manuals (4)
- Dimensional Drawings
- Product Certifications

Related Information

- NI USB Data Acquisition for OEM
- Download NI Data Acquisition Drivers
- NI LabVIEW SignalExpress Interactive Data-Logging Software

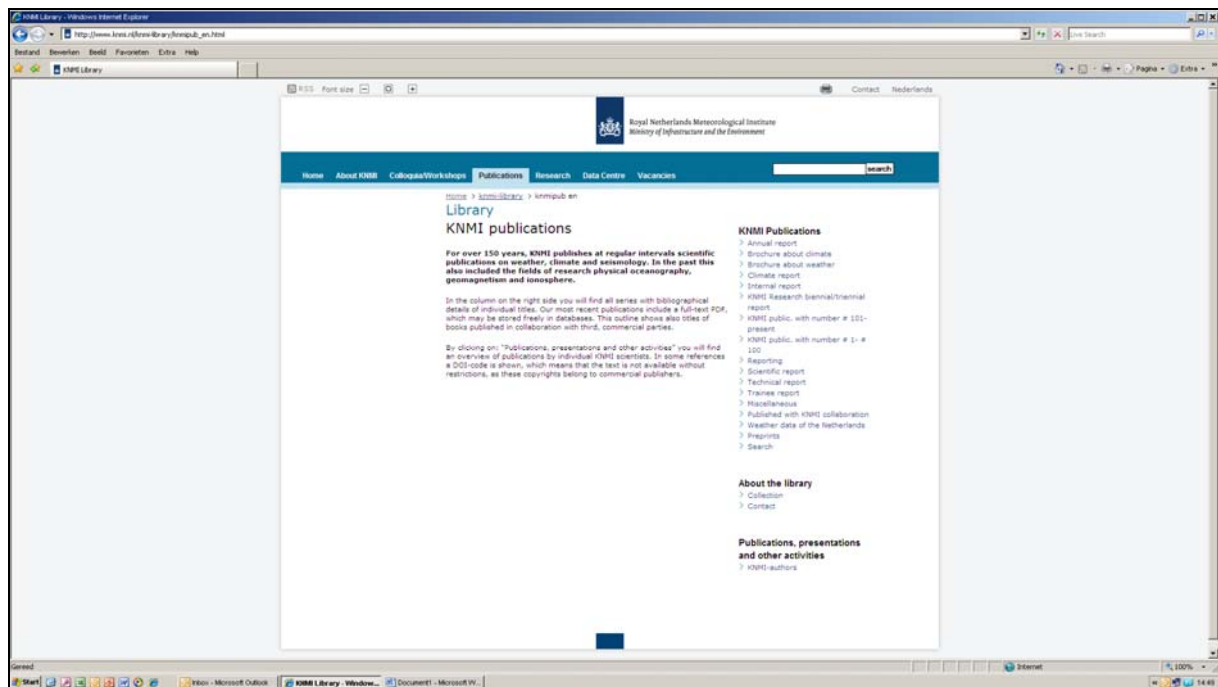
© 2012 National Instruments Corporation. All rights reserved. For information regarding NI trademarks, see ni.com/trademarks. Other product and company names are trademarks or trade names of their respective companies. Except as expressly set forth to the contrary below, use of this content is subject to [the terms of use for ni.com](#).

National Instruments permits you to use and reproduce the content of this model page, in whole or in part; provided, however, that (a) in no event may you (i) modify or otherwise alter the pricing or technical specifications contained herein, (ii) delete, modify, or otherwise alter any of the proprietary notices contained herein, (iii) include any National Instruments logos on any reproduction, or (iv) imply in any manner affiliation by NI with, or sponsorship or endorsement by NI of, you or your products or services or that the reproduction is an official NI document; and (b) you include the following notice in each such reproduction:

"This document/work includes copyrighted content of National Instruments. This content is provided "AS IS" and may contain out-of-date, incomplete, or otherwise inaccurate information. For more detailed product and pricing information, please visit ni.com."

A complete list of all KNMI -publications (1854 – present) can be found on our website

www.knmi.nl/knmi-library/knmipub_en.html



The most recent reports are available as a PDF on this site.

