

DANMARKS METEOROLOGISKE INSTITUT
TEKNISK RAPPORT

02-17

DMI's barometerreference

Maj 2002

Claus Nordstrøm

ISSN 0906-897X (print)
ISSN 1399-1388 (online)



København 2002

Indholdsfortegnelse

1. Introduktion
2. Kort beskrivelse af DMI's hidtidige barometerreference
3. Hvilken rang har DMI's barometerreference?
4. Definition af DMI's barometerreference anno 2002
5. Barometerreferencesammenligningsproceduren
6. Diverse tekniske specifikationer omkring barometerreferencen
7. Barometerreferencens niveau over MSL
8. Referencer

1. Introduktion

Denne undersøgelse vil sigte på kortfattet at klarlægge den hidtidige praksis omkring DMI's barometerreference og beskrive hvordan barometerreferencen skal opereres i fremtiden. DMI's barometerreference anno 2002 og kontrolproceduren mht. denne vil blive defineret og nærmere beskrevet, ligesom diverse tekniske specifikationer og usikkerhedsbetragtninger vil blive behandlet. Teksten vil kun omhandle barometerreferencen og ikke underordnede standarder eller praksis omkring den rutinemæssige kalibrering af diverse barometre, hvilket vil blive behandlet i et andet notat.

2. Kort beskrivelse af DMI's hidtidige barometerreference

DMI's barometerreference har hidtil bestået af to præcisionsinstrumenter:

- A] Et automatisk-elektronisk transportabelt barometer af typen *DPI 140* fra Druck inc., UK.
- B] Et Kew-type kviksølvbarometer af typen *A-1K* fra Hass Instrument Corporation, USA.

De to barometre er placeret ved siden af hinanden i et særligt indrettet rum til barometerkalibrering i DMI's såkaldte bombekælder under DMI-bygningens Sydfløj. Med henvisning til bla P.A. Skovmands tekst: *Danmarks Meteorologiske Barometer Normal* (DMBN), hvor en mere udførlig beskrivelse kan læses, er DMI's barometerreferencen oprindeligt blevet drevet som en kontinuert automatisk trykmåling med *DPI 140* og hvor de manuelle trykmålinger med *Hass A-1K* fungerede som backup og kontrol af *DPI 140*. Det er dog ikke helt klart, hvad der præcist blev opfattet som DMI's barometerreference. Kalibreringen af *DPI 140* blev foretaget mod en primær standard hos DWD i Hamburg (kalibreringen blev ikke programmeret ind i *DPI 140*, men blev foretaget matematisk i den efterfølgende databehandling), der har status som WMO Regionalt Reference Barometer af typen *Ar*. *Ar* er en WMO-betegnelse for et primært eller sekundært standard barometer, der er i stand til en uafhængig bestemmelse af tryk til en nøjagtighed bedre end ± 0.05 hPa, og som er blevet udvalgt ved regional aftale til reference standard barometer for den pågældende region (WMO, 1996). Med fem manuelle *Hass A-1K*- aflæsninger dagligt foretaget samtidigt med fem manuelle *DPI 140*- aflæsninger, blev de to instrumenter løbende dagligt kontrolleret mod hinanden. Udover selvfølgelig at sikre *DPI 140* kalibreringsmæssigt, var tanken bag denne praksis formodentlig også, at med *DPI 140* at flytte tryk-standardten til *Hass A-1K*-instrumentet, der som et kviksølvbarometer opfattes mere langtidsstabilt og som løbende kan "selvkontrolleres" mht vakuum og kviksølvbeholdning mm. Sandsynligvis af disse årsager er *Hass A-1K* blevet vurderet til at kunne opretholde en uændret kalibrering i to år, der er den tidsperiode der ifølge WMO maksimalt må gå mellem to sammenligninger af det enkelte meteorologiske instituts barometerreference med en primær standard. Således har det været tanken, at løbende sammenligninger mellem *DPI 140* og *Hass A-1K* derved vil sikre, at f.eks. "springvise ændringer af *DPI 140* vil blive opdaget ret snart efter forekomsten, og gradvise ændringer vil blive konstaterede før de antager uacceptable proportioner." (P.A. Skovmand i Intern meddelelse af 29 marts 1996: *Til medlemmerne af stationsgruppen*).

Kriterierne for indgriben følger WMOs anbefalinger som angivet i den tidligere WMO-guide dvs WMO Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, no. 8,

1983 (disse kriterier er tilsyneladende ikke nævnt i den sidste version af Guiden, WMO 1996):

- a] Når den absolutte fejl overskrider +/- 0.3 hPa.
- b] Når ændringen af fejlen overskrider +/- 0.1 hPa.
- c] Når fejlen undergår pludselige ændringer eller udviser uregelmæssig ”adfærd”.
- d] Når instrumentet udviser mekaniske defekter.

Hvordan denne ”dobbeltkontrol” helt præcist er blevet praktiseret er ikke beskrevet klart (i noget kendt tekstmateriale) og der er heller ikke angivet, hvad der givet fald er blevet gjort eller måtte gøres, for at rette opståede problemer.

I DMI’s barometerreference har der udover ovennævnte to præcisionsinstrumenter også indgået to stk kviksølvbaserede kontrolbarometre af typen *R. Fuess 2k* som manuelle backup-instrumenter til *Hass A-1K*. Ligeledes er der indgået et *Vaisala PA11* til hurtige kontrol-aflæsninger foretaget samtidigt med hver af de tre kviksølvbarometeraflæsninger med henblik på kompensation for evt. trykændringer i den relativt lange aflæsningsperiode for kviksølvbarometrene.

Sammenfattende kan det nævnes at ”dobbeltkontrollen” i DMI’s barometerreference hidtil er blevet praktiserede rutinemæssigt én gang om dagen og hver kontrol har bestået af en serie på:

- Fem manuelle trykaflæsninger med *DPI 140*.
- Fem manuelle trykaflæsninger med *Hass A-1K*.
- To manuelle trykaflæsninger med *R. Fuess 2k*.
- Tre manuelle trykaflæsninger med *Vaisala PA11A*.

Derudover ved start i alt fem manuelle temperaturlæsninger på hhv *Hass A-1K*, de to *R. Fuess 2k* samt på to HG-stationstermometre.

Aflæsningerne er blevet nedskrevet på nogle fortrykte ark og efterfølgende er værdierne blevet indtastet på PC og efterbehandlet i regneark. Samtidigt med driften af barometerreferencen er der selvfølgelig rutinemæssigt foregået kontrol og justering af et antal stationsbarometre både kviksølvbaserede (hovedsagligt *Lambrect 610* og *R. Fuess 11a9*) og elektroniske (*Vaisala PA11* og *PA11A*).

3. Hvilken rang har DMI’s barometerreference?

DPI 140

Idet *DPI 140* er kalibreret op mod en primær standard, kan *DPI 140* i princippet karakteriseres som en Sekundær Standard* og *DPI 140* benyttes da også som et sådant referenceinstrument f.eks. ved Dansk Teknologisk Instituts DANAK-akkrediteret trykkalibreringslaboratorium (* en Sekundær Standard er en standard, hvis måleværdi er fastlagt ved sammenligning med en primær standard af samme størrelse). Da *DPI 140* ved DMI også er blevet anvendt til at overføre trykstandarden fra den primære standard i Hamburg til det stationære

Hass A-1K-barometer på DMI, må *DPI 140* samtidigt betegnes som en Overførings Standard (Transfer standard). For fuldstændighedens skyld kan det nævnes at *DPI 140* også i praksis fungerer som en Reference Standard, hvilket betegner en standard der generelt har den højeste metrologiske kvalitet tilgængelig et givet sted eller i en given organisation, og en standard, hvorfra målingerne foretaget dér (organisationen) er afledt. Ligeledes fungerer *DPI 140* i praksis også som en Arbejds Standard, hvilket betegner en standard som rutinemæssigt bliver anvendt til kalibrering og kontrol af måleinstrumenter.

Ifølge WMOs klassifikationssystem for barometre i den enkelte nationale meteorologiske organisation, kan DMI's *DPI 140* klassificeres som et barometer af type B, der er en betegnelse for et arbejds standard barometer, hvis kalibrering er etableret ved sammenligning med en primær eller sekundær standard og som er designet til rutinemæssige tryksammenligninger. Da *DPI 140* har en nøjagtighed på ± 0.15 hPa, kan dette instrument ikke klassificeres som et type A barometer, af den årsag at A er en betegnelse for et primært eller sekundært standard barometer i stand til en uafhængig bestemmelse af tryk til en nøjagtighed på ± 0.05 hPa eller bedre.

De to sidste gange DMI's barometerreference er blevet kalibreret mod en primær standard (i begge tilfælde hos DWD i Hamburg) var i oktober 1977 (Sperry-ADT 321-barometeret) og i form af *DPI 140* i marts 1995. Endvidere blev Sperry-ADT 321 kalibreret hos SAS i 1982, sandsynligvis mod en sekundær standard muligvis et Hass-barometer. Hvis kalibreringen bliver foretaget i år (2002), er der således gået hhv. 5, 13 og 7 år mellem de tre sidste kalibreringer af DMI's barometerreference.

Hass A-1K

Før levering til DMI var *Hass A-1K* blevet kalibreret op mod en primær standard. *Hass A-1K* er designet således, at det i princippet kunne karakteriseres som en primær standard, under forudsætning af at en række veldefinerede betingelser er opfyldte (se f.eks. WMO, 1996, s. I.3-13). Disse betingelser er p.t. ikke opfyldte ved DMI, hvorfor det ikke kan forsvares at betegne *Hass A-1K* som en primær standard, men kun som en sekundær standard. Ifølge Hass-manualen er rekalkibrering normalt ikke nødvendig, men rekalkibrering bør foretages i forbindelse med reparation eller ekstraordinært eftersyn.

Efter WMOs klassifikationssystem for barometre i den enkelte nationale meteorologiske organisation, må DMI's *Hass A-1K* klassificeres som et barometer af type B (se ovenfor) idet *Hass A-1K* med en indre diameter på 15 mm for glasrøret med kviksølv søjlen opfylder det krav, at røret skal have en indre diameter på mindst 12 mm. Den samlede nøjagtighed for Hass model A-1K er ± 0.17 hPa, hvilket ikke er godt nok til, at dette instrument kan klassificeres som et type A barometer, hvor nøjagtigheden som før nævnt skal være nede på ± 0.05 hPa eller bedre.

Den sidste gang *Hass A-1K* er blevet kalibreret op mod en primær standard, var den 26 december 1990 hos Hass Instrument Corp. i USA umiddelbart før instrumentet blev leveret til DMI. Den primær standard hos Hass er direkte sammenlignet med en primær standard hos NIST (National Institute of Standards and Technology, USA). Hvad der er sket med *Hass A-1K* mht sammenligning, kalibrering eller særlig kontrol (op mod *DPI 140*) efter hjembringelsen af *DPI 140* fra kalibrering hos DWD i Hamburg marts 1995, er usikkert da det

ikke har været muligt at finde nogle notater omhandlende dette. Det er mest sandsynligt at status quo er blevet opretholdt for *Hass A-1K* og ingen justeringer er blevet foretaget i forhold til *DPI 140* måske i linje med en evt opfattelse at *Hass A-1K* bør være selvtilstrækkeligt og operere uafhængigt. Sammenfattende med hvad der er nævnt i det ovenstående, er det således noget uklart, hvilken rolle *Hass A-1K* præcist har spillet i DMI's barometerreference.

4. Definition af DMI's barometerreference anno 2002

Grundprincippet i den hidtidige praksis mht driften af DMI's barometerreference som kort beskrevet i første afsnit, er velfunderet og vil blive bibeholdt, men den indeholder nogle reminiscenser fra tidligere tiders praksis, hvori hensigtsmæssigheden bør tages op til revurdering.

Bør DMI operere med to referencebarometre?

Hvorfor opererer DMI med to referencebarometre?, hvilket et af dem er den sande reference? og hvilken rolle spiller *Hass A-1K*?, er spørgsmål der er nærliggende at stille. Der er ingen tvivl om at *Hass A-1K* før *DPI 140* – med P.A. Skovmands egne ord – blev opfattet som ”rygraden” i DMI's barometerreference. Efterhånden som elektroniske stationsbarometre imidlertid har vundet indpas, har det været mere hensigtsmæssigt at indføre en barometerreference, der kontinuert kunne registrere trykket automatisk, hvorfor *DPI 140* fra medio 1995 er blevet den nye ryggrad med *Hass A-1K* nu fungerende som backup med *DPI 140* som den reference *Hass A-1K* hænges op på når *DPI 140* kommer hjem frisk fra kalibrering. Sandsynligvis var *Hass A-1K* oprindeligt tænkt som en slags primær standard, men instrumentets ikke tilstrækkelige nøjagtighed (± 0.17 hPa i forhold til WMO-kravet på ± 0.05 hPa for et klasse A-barometer) og det at DMI nok ikke har faciliteter og ressourcer til at opretholde noget, hvor det kan forsvares at kalde det en egentlig uafhængig trykmåling klassificeret som primær standard, har det ikke været passende at bevare *Hass A-1K* i hovedrollen i DMI's barometerreference. Kviksølvbarometeret *Hass A-1K*, kan måske derfor lidt opfattes som en reminiscens, idet *DPI 140* sammenlignet (i princippet rutinemæssigt mindst hvert andet år) op mod en primær standard alene er bestemt til at udgøre barometerreferencen ved DMI.

Grundidéen med at lade den manuelle langtidsstabile ”selvkontrollable” kvasi-primære standard *Hass A-1K* (som beskrevet i første afsnit) indgå som backup og især kontrol af at den automatiske-elektroniske DMI-reference *DPI 140* ikke springer eller glider i løbet af de to år, er imidlertid sund og god og bør bibeholdes. Men det skal være klart, at *DPI 140* skal have status som den ”sande” reference alt andet lige, forudsat at *DPI 140* ikke mistænkes for at være sprunget eller gledet i kalibreringen. Hvis trykværdier aflæst fra *DPI 140* og *Hass A-1K* glider eller springer i forhold til hinanden – jvf ovennævnte kriterier - i toårsperioden mellem to sammenligninger op mod den primær standard, skal *DPI 140* derfor i sådanne tilfælde sendes til rekalkibrering eller reparation. En arbejdsstandard f.eks. en *DPI 141* (som er det instrument OT anvender som arbejdsstandard i elektronikværkstedet) etableret ved sammenligning med referencestandard *DPI 140* før kalibreringen (af *DPI 140*) blev uacceptabel, kan i et temporært fravær af *DPI 140* virke som erstatning for dette instrument. Et aspekt der også har betydning ved anvendelsen af *Hass A-1K*-barometret på ovenfor an-

førte måde, er den signal værdi der ligger i at DMI - i en vis grad - opretholder en uafhængig trykreference i form af *Hass A-1K*.

Rent praktisk bliver driften af DMI's barometerreference forenklet på følgende punkter:

§ *Hass A-1K* skal stå alene og være selvtilstrækkelig som kontrolinstrument og backupreference med undtagelse af det toårige check mod overføringsstandard. Den hidtidige daglige manuelle kontrol af *Hass A-1K*, hvor der indgår de to *R. Fuess 2k* kviksølvbarometre og *Vaisala PA11*, må være en reminiscens fra dengang *Hass A-1K* var referencen. Denne praksis er for ressourcekrævende og for omstændelig i forhold til den rolle *Hass A-1K* nu spiller (og i princippet har spillet de sidste 7 år), hvorfor den i fremtiden ikke bliver genoptaget.

§ Sammenligningerne mellem *DPI 140* og *Hass A-1K* reduceres til ca. én gang om måneden (hvorfor der skrives *ca.*: se næste afsnit), da den hidtidige daglige sammenligning mellem *DPI 140* og *Hass A-1K* må betegnes at være for omstændelig og for ressourcekrævende. Én gang om måneden må set i lyset af *DPI 140*'s gode driftsstabilitet, være fuldt tilstrækkeligt. Tidsmæssigt kan indsatsen, for at opretholde driften af DMI's barometerreference som ovenfor beskrevet, estimeres til omkring 45 minutter månedligt.

5. Barometerreferencesammenligningsproceduren

I det følgende beskrives ikke hvordan barometerkontrollen rent teknisk skal foretages, men kun *hvad* der skal foretages og *hvornår*. Der kan i øvrigt henvises til diverse instrumentmanualer især *Hass*-manualen der både beskriver håndteringen af *Hass A-1K*-barometret, *McLeod*-manometret til bestemmelse af vakuum i *Hass A-1K*, samt brug af den fotoelektriske trykaflæsningsskanner. Endvidere kan henvises til P.A. Skovmands danske opsummering af diverse vejledninger og erfaringer med *Hass*-instrumentet.

Barometerkontrollens hyppighed

Sammenligningen og kontrollen bør foretages – som nævnt ovenfor - ca. én gang om måneden og kun når der hersker ensartede og stabile trykforhold, da store horisontale trykgradienter og derved hurtige ændringer i trykket forøger usikkerheden i sammenligningen. Ud fra målinger i vinterhalvåret 2001/2002 er det fundet at stabile sammenligningsresultater fra DMI's barometerreference, kun kan opnås ved horisontale trykgradienter under 1 hPa/100km, hvorfor den horisontale trykgradient over Danmark/DMI derfor ikke bør overstige **1 hPa/100 km**, når sammenligningen foretages. Det kan nævnes at typiske horisontale trykgradienter over Danmark i vinterhalvåret ligger omkring 2hPa/100km i S-N-retningen. Sammenligningen bør også kun foretages under rolige vindforhold (dette må bedømmes i hver enkelt situation) for at undgå vindens pumpende effekt. Derfor er det af mindre betydning at barometersammenligningen foretages præcist en gang om måneden, end at den tilpasses de faktiske meteorologiske forhold.

Trykaflæsning

Barometerreferencesammenligningsproceduren består nu af tre trykaflæsninger af *Hass A-1K* med ca. én times mellemrum: *Hass A-1K*-barometerets temperatur samt grad af vakuum

med *McLeod*-manometret aflæses og noteres umiddelbart før hver trykaflæsning. Hver trykaflæsningen foretages på et helt 10'ende minut f.eks. kl. 15:00 eller kl. 15:20, da den automatiske dataopsamling skanner trykket målt med *DPI 140* samt de øvrige automatiske barometre hvert hele 10'ende minut. Således skal der kun som kontrol pr. øjesyn foretages trykaflæsning på displayet af *DPI 140*; *DPI*-værdien og tidspunktet noteres i det fortrykte skema (der er vist nedenfor) som kontrol og sikkerhed, men den værdi fra *DPI 140* som indgår i tryksammenligningen, er værdien fra den automatiske dataopsamling på det pågældende tidspunkt, hvor *Hass*-aflæsningen er foretaget. *DPI 140*-værdien skrives ned på en datafil (med navnet *trykdata*), som findes beliggende på den computer i OD (der p.t. er placeret hos undertegnede), der opsamler trykdataene. På denne måde undgås usikkerhed og mere eller mindre ubevidste tendentielle trykaflæsninger, hvis anden-decimalen på *DPI*-displayet svinger meget. Det skal pointeres at den automatiske dataopsamling fast operer på dansk vintertid.

DPI 140 og Hass A-1K; Kontrol af DMI's barometerreference						
Observatør	Dato	Tid i hele 10-min. vintertid	Temp	McLeod	Hass_raw	DPI 140_raw
initialer	dd-md-aaaa	hh:mm	°C	mm HG	hPa	hPa
NN	04-04-2002	11:20	17.9	0.002	1019.10	1021.59
NN	04-04-2002	12:30	18.2	0.001	1019.15	1021.63
NN	04-04-2002	13:30	18.2	0.001	1019.18	1021.65

Skema til notering af aflæsninger i forbindelse med kontrol af DMI's barometerreference med et sæt værdier fra en typisk barometersammenligning.

Når værdierne er blevet noteret i skemaet, skal de efterfølgende nedfældes i en Excel-regnearksfil, hvor de forskellige korrektioner, de endelige trykværdier samt de resulterende differenser til barometerreferencekontrollen beregnes. Størrelsen og retningen på den horisontale trykgradient noteres også i filen. Stien til og navnet på denne regnearksfil, hvor også en elektronisk version af ovenstående skema kan findes, er p.t. H:\BARONORM\BARO_REF.xls på DMI's fælles server under undertegnede's domæne (CLN).

Luftomrøring

Det skal præciseres at der skelnes mellem luftomrøring og ventilation: ventilation betegner en egentlig luftudskiftning, mens det der foregår i DMI's lukket barometerum p.t. kun kan betegnes som luftomrøring. Luftforbindelsen til de omkringliggende lokaler består af to udluftningskanaler: en ud til kælderen og en ud til Sydfløjens trappeopgang.

For at undgå evt. fejlkilder forårsaget af effekter fra en uensartet kviksølv- og instrumenttemperatur i *Hass A-1K*-barometeret (med dets vertikale udstrækning på ca. 1 m) pga. af temperaturlagdeling i barometerummet, skal en luftomrøring i lokalet påbegyndes ved at starte to elektriske roterende vifter mindst 24 timer før sammenligningen mellem *Hass A-1K*

og *DPI 140* er påtænkt. Uden luftomrøring og ved temperaturer omkring 17-18 °C er den vertikale lufttemperaturgradient langs barometeret målt til værdier i området mellem 1.3 til 1.8°C/m (april 2002), hvorfor en god luftomrøring er nødvendig. Til standardiseringsformål anbefaler WMO (1996), at barometrene i en barometersammenligning skal stå ved siden af hinanden i de samme omgivelser i mindst 24 timer for at opnå temperatursartethed, før sammenligningen kan påbegyndes; af denne grund er 24 timer blevet valgt som en passende tidsperiode for temperaturhomogenisering vha. luftomrøring. Men for at undgå at barometerkontrollen påvirkes af luftomrøringen, på samme måde som nævnt ovenfor mht. vinddefekter, skal de to elektriske roterende vifter i barometerrummet derfor slukkes umiddelbart før selve trykaflæsningen i barometersammenligningen. Luftomrøringen har kun betydning for anvendelsen af *Hass A-1K*, der kun opereres ca. én gang om måneden. De typer af elektroniske barometre som DMI anvender, er ifølge instrumentspecifikationerne ikke temperaturafhængige i barometerrummets temperaturområde (ca. 10-20°C), hvorfor brug af luftomrøring i den daglige rutinemæssige barometerkalibrering ikke skønnes nødvendig.

6. Diverse tekniske specifikationer omkring barometerreferencen

DPI 140

DMI's barometerreference består af et automatisk-elektronisk transportabelt barometer af typen *DPI 140* fra Druck inc., UK.

Instrumentspecifikationer:

Måleområde	800 - 1150 hPa
Måleopløsning	0.01 hPa
Nøjagtighed	±0.15 hPa
Stabilitet mht. kalibreringsdrift	under 0.058 hPa/år
Kalibreret temperaturområde	10 - 30°C
Operationelt temperaturområde	0 - 50°C
Opdateringsrate, RS232/IEEE	5 Hz
Opdateringsrate, display	2.5 Hz

Sensitivitet for luftfugtighed:

Fejl ved en luftfugtighedsændring fra 0 – 70% Relativ fugtighed (RH) for forskellige temperaturer (fejlen er tilnærmelsesvis proportional med ændringen i RH jvf. *DPI manual*).

0.004% af trykaflæsning ved 10°C

0.010% af trykaflæsning ved 25°C

Typisk temperatur og fugtighed i barometerrummet er hhv. 17.5°C og 40% RH. Opholdet i barometerrummet er typisk én person i en ½ time. For at være dækket ind på den sikre side mht. fejlestimering, er der testet for to personer i en ½ time: Temperaturen er stort set uændret men RH stiger fra 40 til 50% RH; dvs. en stigning på 10% RH for den ½ time. Ved lineær interpolation bliver fejlen = 0.007% ved 17.5°C. Ved en ændring på 10% RH kan fejlen anslås til $[0.007/(70/10)=]$ 0.001% af trykaflæsningen, svarende til ±0.01 hPa. Fejl i trykbestemmelsen med *DPI 140* introduceret ved ændring af luftfugtigheden under almindeligt ophold i barometerrummet, kan derfor negligeres (dvs. den

samlede ”statistisk korrekte” nøjagtighed ved to personers ophold forbliver uændret på anden decimal, altså = ± 0.15 hPa).

Hass A-1K

Som kontrol af barometerreference anvendes et kviksølvbarometer af typen *A-1K* fra Hass Instrument Corporation, USA.

Instrumentspecifikationer:

Barometret:

Måleområde	0 - 1060 hPa
Måleopløsning	0.05 (0.025) hPa [#]
Nøjagtighed	± 0.17 hPa [*]

Barometrets termometer:

Måleområde	0 - 40 °C
Måleopløsning	0.2 (0.1) °C [skalaen er inddelt i 0.2°C, men kan aflæses til 0.1°C]
Nøjagtighed	± 0.3 °C

skalaen på Hass A-1K er indgraveret således at trykket kan aflæses til nærmeste 0.05 hPa, men kan i følge Hass-manualen strengt taget aflæses til en værdi imellem de enkelte inddelinger; hvis 1.0hPa-indelingerne på hovedskalaen ved indstillingen af barometret ikke ligger lige ud for 0.05hPa-inddelingerne på nonieskalaen, men imellem f.eks. 1017.40 og 1017.45 hPa, så kan trykket bestemmes til 1017.425, hvilket betyder at måleopløsningen i virkeligheden bliver 0.025 hPa. Trykket i DMI’s barometerreference bestemmes dog kun med to decimaler, hvorfor der altid skal afrundes; i dette tilfælde afrundes trykaflæsningen til 1017.43 hPa.

* den samlede nøjagtighed for Hass A-1K er sammensat af flere bidrag, nemlig:

Nøjagtighed, instrument	± 0.100 hPa
Nøjagtighed, t-g-korrektion	± 0.133 hPa
Termometernejagtighedsbetinget barometernejagtighed	± 0.051 hPa

Adderes alle bidragene bliver den maximale samlede nøjagtighedsværdi (dvs. den maksimalt mulige fejl) = ± 0.28 hPa, mens den ”statistisk korrekte” (samlet) nøjagtighed bliver $(\Delta R_x^2)^{0.5} = \pm 0.17$ hPa.

Nøjagtighed, t-g-korrektion: Denne betegner nøjagtigheden på den samlede additive temperatur- og gravitationskorrektion (t-g-korrektion). På *Hass A-1K*-instrumentet er der mulighed for at sætte t-g-korrektionen mekanisk, således at den samlede t-g-korrektion er inkorporeret i aflæsningen af barometertrykket. I DMI’s barometerreference er t-g-korrektionen imidlertid mekanisk nulstillet og t-g-korrektionen foretages matematisk i den efterfølgende dataprocessering. Det skal pointeres at nøjagtigheden på ± 0.133 hPa, går på den additive t-g-korrektion alene (mekanisk eller matematisk), hvorfor den samlede nøjagtighed på den t-g-korrigerede trykaflæsning både består af instrumentnejagtigheden og nøjagtigheden på t-g-korrektionen .

Termometernøjagtighedsbetinget barometernøjagtighed: Stammer fra Hass-termometernøjagtighedens indflydelse på t-korrektionens størrelse: Hass-termometernøjagtighed = $\pm 0.3^\circ\text{C}$. I det nedenstående eksempel er en temperatur på 16°C og normaltrykket på 1013.25 hPa anvendt. Differensen (ΔR_t) mellem t-korrektionen ved \underline{t} og $\underline{t} + 0.3^\circ\text{C}$ ændrer sig ikke med temperaturen og kun meget lidt med trykket. I det mest almindeligt herskende trykområde i DK spændende fra 996-1030 hPa (normaltrykket 1013.25 hPa ± 1 standardafvigelse), ændrer ΔR_t sig kun 0.002 hPa (dvs ΔR_t har en relativ usikkerhed 4%), hvorfor $\Delta R_t = \pm 0.051$ hPa repræsenterer en forholdsvis konstant og meget acceptabel termometernøjagtighedsbetinget middelnøjagtighed på t-korrektionen.

t ($^\circ\text{C}$)	Tryk (hPa)	t-korr (hPa)	ΔR_t (hPa)
16.0	1013.25	1.540	
16.3	1013.25	1.489	0.051

hvor, $t\text{-korr} = -0.0001625 * [\text{tryk} + (30 * 1.333224)] * (t - 25)$ (hPa); kilde: Hass-manual.

Hass A-1K er i lighed med andre kviksølvbaserede barometre, kalibreret til at vise korrekt tryk ved standard gravitation og temperatur:

Standardgravitationen, hvor *Hass A-1K* viser korrekt er 9.80665 ms^{-2} (der er vedtaget som WMO standard).

Standardtemperaturen, hvor *Hass A-1K* viser korrekt er **25°C** (ikke 0°C som WMO anbefaler som standard og som er den almindeligste standardtemperatur i langt de fleste kviksølvbarometre). Af denne årsag anvendes ligning (b) i Hass-manualen s. 4, til at bestemme t-korrektionen. Det skal bemærkes at ligning (b) er blevet modificeret til hPa-enheder, ved at multiplicere konstanten 30 med 1.333224 hPa/mmHG.

Glasrøret med kviksølv søjlen i *Hass A-1K*, har en indre diameter på 15 mm (dette fremgår ikke af Hass-manualen, men er estimeret ud fra måling af den ydre diameter), hvilket er mere end det dobbelte af hvad WMO (1996) angiver som mindstekrav (hvilket er 7 mm). Når den indre diameter er mindre end 20 mm, som det gælder for DMI's *Hass A-1K*, skal det kontrolleres at meniscus* ikke er flad (WMO, 1996). **Fra græsk m•niskos 'nymåne, måne i tiltagende' egl. 'lille måne'; i kviksølvbarometerkontekst anvendt for kviksølvoverfladens hvælvet form i glasrøret.*

Ideelt betragtet burde middelhøjden af meniscus i forhold til den kapillære depression måles umiddelbart efter fabrikskalibreringen eller efter påfyldning af nyt kviksølv, hvorved det vil være muligt at kontrollere ændringer i formen af meniscus. At korrigere for sådanne ændringer anbefales dog ikke (WMO, 1996). Antager meniscus ikke den korrekte form, kan en fejl på op til 0.15 hPa introduceres ved aflæsningen af trykket med *Hass A-1K* (Hass-manual). Ikke-korrekt meniscus-form kan opstå pga. at kviksølvet i barometeret ikke har "sat sig på plads" eller at det er blevet forurennet: Det første problem kan løses ved at tappe let på barometeret (hvilket **altid skal gøres** før en aflæsning), mens det sidste kan kun løses ved at udskifte kviksølvet (i *Hass A-1K* med tripeldestilleret kviksølv) og rengøre barometerets indre efter forskrifterne i Hass-manualen. Data på den oprindelige meniscusform i *Hass*

A-1K eksisterer tilsyneladende ikke, men status for meniscus p.t. - med sin fine hvælvet form - vurderes til sandsynligvis at antage tilfredsstillende proportioner.

7. Barometerreferencens niveau over MSL

Barometerrummets gulvniveau er målt ind til 7.26 m over MSL (april 2001).

DPI 140 er placeret i niveauet 8.18 m over MSL (målt ind april 2002), hvor de 8.18 m over MSL helt specifikt er niveauet på selve sensorcellen (målt midt på studsens indtil sensorcellen).

Hass A-1K er placeret i niveauet 8.17 m over MSL (målt ind april 2002), hvor de 8.17 m over MSL helt specifikt er niveauet for den frie kviksølvoverflade i kviksølvbeholderen i bunden af *Hass A-1K* barometret ved normaltrykket 1013.25 hPa reduceret i forhold til MSL, når røret med kviksølvstøben er blevet evakueret. Værdien repræsenterer således gennemsnitsniveauet for kviksølvet i bundbeholderen, når barometret er i drift. I DMI (1995) defineres niveauet over MSL for kviksølvbarometre helt generelt som niveauet for den "frie" kviksølvoverflade i beholderen, når barometret er i drift (kviksølvniveauet ændre sig jo med trykket); i ældre litteratur (f.eks. USDC, 1941) til niveauet for "elfenbenspunktet" i et *Fortin*-type barometer, hvilket til gengæld er en hel specifik niveauangivelse, idet elfenbenspunktet betegner spidsen af den "pegepind" (der i visse tidligere barometermodeller var lavet af elfenben), hvortil kviksølvniveauet altid justeres, før en trykflæsning kan foretages med et *Fortin*-barometer. Elfenbenspunktet var også den tidligere definition på *stationsniveauet*, højden over MSL af en meteorologisk målestation.

Højdedifferensen mellem *DPI 140* og *Hass A-1K* på 8.18 m – 8.17 m = 0.01 m. Hvis trykfaldet med højden ved jordoverfladen regnes som 1 hPa for hver 8 m's stigning, kan indflydelsen fra højdedifferensen svarende til $[0.01\text{m} \times 0.125\text{hPa/m} =] 0.00125 \text{ hPa}$, antages at være negligeabelt for barometersammenligningens resultat, idet denne værdi ligger langt under *Hass A-1K*'s måleopløsning og de to instrumenters nøjagtighedsspecifikationer. Der er derfor ikke nogen grund til, at justere de to barometre niveaumæssigt helt nøjagtigt ind i forhold til hinanden. Højdedifferensen skal være 0.2 m eller større, før den kan få blot den mindste betydning.

8. Referencer

DMI, 1995 Håndbog for vejrobservatorer

DPI 140/141-manual, 1992, Druck inc., UK.

Hass-manual, 1990? Handbook Type A-1 barometer, Hass Instrument Corporation, USA.

Skovmand, P.A. Diverse noter daterede mellem 1982-97.

USDC, 1941 Barometers and the measurement of atmospheric pressure. United States Department of Commerce. Weather Bureau – F.W. Reichelderfer, Chief. Circular F, Instrument Division – Seventh Ed. USA.

WMO, 1983 Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, no. 8.

WMO, 1996 Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, no. 8.