

DET KGL. NORSKE VIDENSKABERS SELSKAB, MUSEET

rapport

BOTANISK SERIE 1981-4

Forsøk med kalibrering av
ledningsevne målere

Jan - Erik Kofoed



Universitetet i Trondheim

"Det Kgl. Norske Videnskabers Selskab, Museet. Rapport. Botanisk Serie" vil inneholde stoff hovedsakelig fra det fagområde og det geografiske ansvarsområde som Botanisk avdeling, DKNVS, Museet representerer.

Serien vil ofte bringe primærstoff som av ulike hensyn bør gjøres kjent så fort som mulig. I mange tilfeller vil det dreie seg om foreløpige rapporter, og materialet kan senere bli bearbeidet for videre publisering.

Oppdragsrapporter i samband med naturressurskartlegging vil utgjøre en stor del av serien. Ellers vil en finne arbeider fra systematikk, plantesosiologi, plantegeografi, vegetasjonsøkologi o.l. Foredrag, utredninger o.l. som angår avdelingens arbeidsfelt vil det også bli plass til.

Serien er ikke periodisk, og antall nummer pr. år vil variere. Serien startet i 1974, og det fins parallelt en "Arkeologisk Serie" og en "Zoologisk Serie".

Som språk blir norsk brukt, vanligvis også i referat og sammendrag.

For manuskriptet, illustrasjoner, referanser o.l. følges vanlige retningslinjer (jfr. Høeg, O.A. 1971. Vitenskapelig forfatterskap. Universitetsforlaget, Oslo; jfr. også retningslinjer trykt på omslagssiden på K. norske Vidensk. Selsk. Mus. Gunneria). Vanligvis vil et referat (synonym: abstract) på norsk innlede hvert hefte. Dette bør ikke overskride 200 ord. Et sammendrag som er mer fyldig bør komme i tillegg.

Serien trykkes i A4-format på offset. Minimum opplag er 350.

Utgiver:

Universitetet i Trondheim,
Det Kgl. Norske Videnskabers Selskab, Museet.
Botanisk avdeling,
7000 Trondheim.

RETTINGER

Kofoed, J.-E. 1981. Forsøk med kalibrering av ledningsevne målere.
K. norske Vidensk. Selsk. Mus. Rapp. Bot. Ser. 1981-4.

Begrepet ledningsevne, *konduktans* er i rapporten feilaktig brukt. Det menes spesifikk ledningsevne, *konduktivitet*. Overalt hvor det står *ledningsevne* eller *konduktans*, menes det *spesifikk ledningsevne* eller *konduktivitet*.

Enheten for *konduktivitet* er i SI-systemet siemens pr. meter, S/m. S/m skal følgelig stå i stedet for S overalt hvor denne står. Tilsvarende skal mS/m og μ S/m erstatte mS og μ S.

Symbolet for konduktivitet er i SI-systemet γ (gamma) eller σ (sigma). κ (kappa) er brukt fordi det er godt innarbeidet i biologisk litteratur. (Tilsvarende kan nevnes at symbolet for konduktans er *G*.)



Referat

Kofoed, J.-E. 1981. Forsøk med kalibrering av ledningsevneåålere. *K. norske Vidensk. Selsk. Mus. Rapp. Bot. Ser.* 1981 4: 1-14.

Formålet med forsøkene var dels å undersøke nøyaktigheten, dels å kalibrere en del ledningsevneåålere (konduktivimetre) for væsker. Tre typer instrumenter ble undersøkt: Norma målebro med krystall og hodetelefoner, Radiometer CDM2e og Delta modell 1014. Instrumentene ble prøvd både mot standardløsninger av kaliumklorid og faste motstander.

Instrumentene fungerte godt ved verdier ned mot ca. 100 μ S. Ved ca. 10 μ S ble det større nøyaktighet sannsynligvis fordi den kapasitive motstanden (kapisistansen) i elektroden ble merkbar. Ledningsevnes temperaturavhengighet er behandlet på grunnlag av litterære opplysninger. Til slutt er det gitt en del praktiske råd angående måling av ledningsevne.

Jan-Erik Kofoed, Universitetet i Trondheim, Det Kgl. Norske Videnskabers Selskab, Museet, Botanisk avdeling, 7000 Trondheim.

Abstract

Kofoed, J.-E. 1981. Experiments concerning calibration of conductivity meters. *K. Norske Vidensk. Selsk. Mus. Rapp. Bot. Ser.* 1981 4: 1-14.

The purpose of the experiments was both to examine the precision of and to calibrate some conductivity meters for liquids. Three types of instruments were examined: Norma (a wheatstone bridge with crystal oscillator and headphone-set), Radiometer CDM2e and Delta model 1014.

The instruments were tested against both standard solutions of potassium chloride and fixed resistors. The instruments worked well at measured values down to ca. 100 μ S. At ca. 10 μ S the inaccuracy became greater, probably because the capacitive reactance inside the measuring electrode became noticeable. The conductivity is dependent on the temperature. This object is treated based on informations from the literature. At last, some practical hints are given, concerning measuring of conductivity.

Jan-Erik Kofoed, University of Trondheim, The Royal Norwegian Society of Sciences and Letters, The Museum, Botany Department, N-7000 Trondheim.

ISBN 82-7126-255-6

ISSN 0332-8090

Forord

Hensikten med forsøkene var å finne ut påliteligheten av de lednings-
evnemålerne som brukes ved DKNVS Museet, Botanisk avdeling.

De resultatene som har kommet frem gir forhåpentligvis et svar på
dette, samtidig ble det også avdekket problemer, som det ikke ble funnet
noen enkel, praktisk løsning på.

Det er også tatt med noen praktiske råd og anbefalinger ved måling
av ledningsevne.

Jeg vil rette en takk til vit.ass. Erik Lindeberg, Inst. for fys.kjemi
og avd.ing. Jostein Bratsberg, Inst. for teleteknikk, NTH, for verdifull
hjelp som har muliggjort disse forsøkene.

Innholdsfortegnelse

side

Referat

Abstract

Forord

INNLEDNING	3
BESKRIVELSE AV INSTRUMENTENE	3
LEDNINGSEVNENS TEMPERATURAVHENGIGHET	4
KALIBRERINGSFORSØK	7
TEST AV INSTRUMENTER MED FASTE MOTSTANDER	10
KONKLUSJON	12
PRAKTISKE RÅD	12
LITTERATUR	14

INNLEDNING

Konduktans eller ledningsevne har som symbol κ og kan defineres som den inverse motstanden i en terning med sider 1 cm. Ledningsevne benevnes nå ifølge SI-systemet (Système International d'Unités) i siemens som forkortes S. De gamle enhetene Ω^{-1} og MHO bør derfor ikke lenger nyttes. Millisiemens mS og mikrosiemens μS kan brukes for små måleverdier ($1S=1000\text{ mS}=1.000.000\ \mu S$)

Ledningsevne må ikke måles med likestrøm da dette forårsaker polarisasjon ved elektroden. (Kationer går til den negative polen og anioner går til den positive.)

For å unngå polarisasjon tas følgende forhåndsregler:

- 1). Vekselstrøm brukes ved måling.
- 2). For denne velges en passende høy frekvens.
- 3). Bruk en passende stor strømtetthet gjennom elektroden.
- 4). Bruk elektroder belagt med sort platina.

Tre typer instrument ble sammenlignet ved forsøkene:

Radiometer CDM2e

Norma målebro med krystall og høretelefoner

Delta modell 1014.

Radiometer opererer med vekselstrøm med frekvens 3000 Hz i områdene over 150 μS og 70 Hz i de lavere områdene. Krystallet i Norma gir vekselstrøm med frekvens ca. 2000 Hz (tatt på gehør). Delta har ikke oppgitt strømtypen.

Radiometer bruker en Radiometer platinaelektrode type CDC 104, Norma en Philips platinaelektrode type PW 9510 og Delta har en innebygd elektrode av sølv.

BESKRIVELSE AV INSTRUMENTENE

Radiometer er et rørvoltmeter med innebygd vekselstrømgenerator. Den er koblet slik at den angir ledningsevnen direkte. Elektrodekonstanten justeres inn ved hjelp av en kalibreringsknapp. Fabrikken angir en målenøyaktighet på $\pm 1\%$ ved full skala i områdene 0-50 μS til 0-150 mS, i de øvrige områdene $\pm 2\%$.

Instrumentet måler ledningsevne fra 0-500 mS fordelt på 12 områder. Instrumentet angir ledningsevnen ved den temperaturen væsken har. Instrumentet virker pålitelig.

Norma er en Wheatstone målebro som forsynes med vekselstrøm fra en krystall som plugges inn. Ved hjelp av et ratt stilles den inn til minimum lydstyrke i høretelefonene og motstanden R_t avleses på en skala. Ledningsevnen ved den temperaturen det måles ved regnes ut etter formelen $\chi_t = \frac{1}{R_t \cdot K}$ der K er elektrodekonstanten gravert inn på elektroden. (Om korrigering til 20°C, se senere).

NB! Bemerk at elektrodekonstanten K er forskjellig fra cellekonstanten C som brukes i en del formler.

Instrumentet gir ikke så stor nøyaktighet pga. vansker med å finne R_t nøyaktig. Det kan ikke brukes for verdier lavere enn ca 15 μS (noe avhengig av elektrodekonstanten).

Delta er et instrument som er lite og enkelt å bruke. Det har en innebygd målecelle i form av en kopp.

Det måler ledningsevne fra 0-50 mS i 6 områder, 0-0,5-5-50-500-5000-50.000 μS . For å oppnå det siste området settes en propp ned i cella som gjør at den avleste verdien skal ganges med 10.

Instrumentet angir χ_{25} direkte ved alle væsketemperaturer mellom 0°C og 49°C ved at det har innebygd temperaturkompensasjon.

Nøyaktigheten er av fabrikanten oppgitt til $\pm 1\%$ av fullt utslag, men pga. skalainndelinga er det riktigere å operere med en nøyaktighet på $\pm 2\%$.

Instrumentet virker relativt pålitelig hvis det jevnlig kalibreres med KCl-løsninger.

LEDNINGSEVNENS TEMPERATURAVHENGIGHET

Sjørs oppgir i sin artikkel (2) følgende formel for å finne χ_{20} :

$$\chi_{20} = \frac{C}{R_t} \cdot 1,02^{20-t} \quad (a)$$

der $C = \frac{1}{K}$ hvor K er elektrodekonstanten

R_t er målt motstand ved den aktuelle temperaturen t.

Dette er ekvivalent med:

$$x_{20} = x_t \cdot 1,02^{20-t} \quad (b)$$

For å prøve denne formelen ble det utført regresjonsanalyse på tre sett med tall fra Handbook (1), samt en del målte verdier. Regresjonsanalysen fulgte et program gjengitt for regnemaskina HP 19C (3). Vi brukte programmet for eksponensiell kurvetilpassing.

$$y = a \cdot e^{bx} \quad \text{der } x \text{ er argumentet,}$$

i vårt tilfelle temperaturen; og y er funksjonsverdien, i vårt tilfelle ledningsevnen ved temperaturen t. Vi undersøkte altså om ledningsevnen varierer eksponensielt med temperaturen. Hvis dette stemmer er det lett å vise at formler som (a) og (b) holder.

Alle fire forsøk viser høy korrelasjon, slik at man har godt grunnlag for å anta at ledningsevnen er en eksponensialfunksjon av temperaturen ved en gitt konstant konsentrasjon. Dette gir oss da:

$$x_t = a \cdot e^{b \cdot t} \quad (c)$$

Ved å bruke (c) to ganger og dividere får vi:

$$\frac{x_{t1}}{x_{t2}} = e^{b(t_1 - t_2)}$$

$$\Leftrightarrow x_{t1} = x_{t2} \cdot e^{b(t_1 - t_2)} \quad (d)$$

Hvis vi velger $t_1 = 20$ får vi

$$x_{20} = x_{t2} \cdot e^{b(20 - t_2)} \quad (e)$$

Ved alle fire forsøkene fikk vi $e^b \approx 1,02$ og derved har vi

$$x_{20} = x_{t2} \cdot 1,02^{20-t_2}$$

som er den samme som formel (b).

Spørsmålet er om det er nok å angi e^b med tre siffer, og hvis ikke hvor mange siffer bør tas med?

Forsøk 1

a = 0,000794447	Data fra Handbook (1).
b = 0,023659876	0,01N KCl, data for $t \in \{0, 5, 10, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25\}$.
$e^b = 1,023941991$	Korrelasjonskoeffisienten r er meget god.
r2 = 0,995836319	Dette gir en e^b som er for stor.

Forsøk 2

$a = 0,000843524$	0,01N KCl, data for $t \in \{16,17,18,19,20,21,22,23,24,25\}$.
$b = 0,020715503$	Data fra Handbook (1).
$e^b = 1,020931558$	Dette gir mest pålitelig e^b .
$r^2 = 0,999765640$	Korrelasjonskoeffisienten r er meget god.

Forsøk 3

$a = 0,007828846$	0,1N KCl, Data fra Handbook (1).
$b = 0,019830757$	Data for $t \in \{15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30\}$.
$e^b = 1,020028693$	Dette gir en e^b som er for liten.
$r^2 = 0,998967477$	Korrelasjonskoeffisienten r er meget god.

Forsøk 4

$a = 0,000857908$	0,01N KCl $t \in \{18;24,8;26,8;28,5;32;35\}$.
$b = 0,019240426$	Målte verdier av tillaget
$e^b = 1,019426715$	KCl-løsning. Innebærer stor grad av måleusikkerhet. Ga en e^b som er for liten. Korrelasjonskoeffisienten r er ganske god.
$r^2 = 0,988812449$	

Ut fra Handbook (1) sine verdier for 0,01N KCl ved $t \in \{16,17,18,19,20,21,22,23,24,25\}$ regnet vi ut x_{20} for e^b med forskjellig antall siffer etter formelen (e) og fikk:

Tabell 1. x_{20} utregnet etter $x_{20} = e^{b(20-t)} \cdot x_t$. "Sannverdi" = 1,278 mS

e^b	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1,02	1,270	1,272	1,274	1,276	1,278	1,279	1,280	1,281	1,280	1,280
1,021	1,275	1,276	1,277	1,277	1,278	1,278	1,278	1,277	1,275	1,274
1,0209316	1,274	1,276	1,277	1,277	1,278	1,278	1,278	1,277	1,276	1,274

Faktoren 1,02 gir godt samsvar i intervallet $[19,25]$, men dårlig for lavere verdier av t . 1,021 gir gode verdier i hele intervallet med unntak av temperaturene 16,24 og 25°C.

Å øke antall siffer til 8 gir ingen bedring av tallene.

Summerer vi avvikene fra "sann" $x_{20} = 1,278$ mS får vi følgende "feilsum":

1,02: 30 μ S

1,021: 15 μ S

1,0209316: 15 μ S,

Ut fra dette foreslås at følgende formel benyttes:

$$x_{20} = x_t \cdot 1,021^{20-t} \quad (f) \text{ eller}$$

$$x_{20} = \frac{1}{R_t \cdot K} \cdot 1,021^{20-t} \quad (g) \text{ (jfr. (a)).}$$

KALIBRERINGSFORSØK

Ved kalibreringsforsøkene ble det framstilt tre løsninger på 0,01N kaliumklorid, KCl. 0,7455 g analysevare ble løst til 1 liter løsning i destillert og ionebyttet vann. Ved å ta ut 100 ml og fortynde til 1 l ble løsninger på 0,001N og 0,0001N laget. Løsningene ble temperert i vannbad til 25,2°C før måling med Radiometer. For Norma ble det målt ved temperaturer rundt 20°C som ble avlest samtidig som det ble målt. Temperaturmålingene for Norma hadde en nøyaktighet på $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Delta avleser x_{25} direkte, så det ble ikke målt temperatur ved måling med disse, men løsningene holdt seg rundt 20°C. Det ble foretatt målinger med to instrumenter av type Delta, angitt som nr. 1 og nr. 2 i tabeller. Disse ble kalibrert med 0,01N KCl, da de ved begynnelsen av forsøkene viste en del feil.

Resultatene er gjengitt i tabell 2.

Tabell 2. Resultatet av målingene korrigert til x_{25} med formelen

$$x_{25} = x_t \cdot 1,021^{25-t}. \text{ Tall i } \mu\text{S}.$$

	Norma nr. 10	Delta nr. 1	Delta nr. 2	Radio- meter	"Sann- verdi"
Løsning 1: 0,01N	1385	1400	1400	1384	1413
0,001N	146,3	150	148	147,4	147,1
0,0001N	17,97	16,8	16,2	18,32	14,89
Løsning 2: 0,01N	1361	1430	1430	1394	1413
0,001N	147,4	149	149	137,4	147,1
0,0001N	16,35	16,7	16,7	17,63	14,89
Løsning 3: 0,01N	*	1400	1400	1371	1413
0,001N	147,8	150	149	148,4	147,1
0,0001N	16,94	16,7	16,3	17,73	14,89

*) Måling ble ikke foretatt

Under "sannverdi" i tabellen er ført opp de antatt riktige verdiene. Verdien 1413 μS for 0,01N er tatt fra Handbook (1), for 0,0001N er den funnet ved hjelp av Monk (1961) (5).

$$\kappa = \frac{\Lambda \cdot c}{1000} \text{ der } \Lambda \text{ er den spesifikke ledningsevnen ved konsentrasjonen } c.$$

$$\Lambda = 149,85 - 94,55 \sqrt{c}$$

For $c = 10^{-4}$ får vi $\Lambda = 148,90$ og

$$\kappa = 14,89.$$

For 0,001N er verdien funnet ved hjelp av tabell s. 38 i Monk (1961) (5).

For å få en bedre behandling av tallverdiene ble det aritmetiske middel-
et \bar{x} , for de tre målingene med hvert instrument ved hver konsentrasjon foretatt. Videre ble standardavviket, SD; avvik i % fra "sannverdi" og SD uttrykt i % av \bar{x} beregnet. Dette er gjengitt i tabell 3.

Tabell 3. Gjennomsnitt og standardavvik for de tre målingene med hvert instrument på de tre løsningene, samt avvik i % fra "sannverdi" og SD uttrykt i % av κ .

		\bar{x}	SD	Avvik %	SD i % av \bar{x}
0,01N	Radiometer	1383	9,42	- 2,1	0,7
KCl	Norma	1373	12,0	- 2,8	0,9
Tabell:	Delta 1	1410	14,1	- 0,2	1,0
1413 μS	Delta 2	1410	14,1	- 0,2	1,0
0,001N	Radiometer	144,4	4,97	- 1,8	3,4
KCl	Norma	147,2	0,634	0,05	0,4
Tabell:	Delta 1	149,7	0,471	1,7	0,3
147,1 μS	Delta 2	148,7	0,471	1,1	0,3
0,0001N	Radiometer	17,89	0,304	20,1	1,7
KCl	Norma	17,09	0,669	14,8	3,9
Tabell:	Delta 1	16,73	0,047	12,4	0,3
14,89 μS	Delta 2	16,40	0,216	10,1	1,3

Se kommentarer i teksten

Kommentarer til resultatene

0,01N løsning. For 0,01N løsning hadde alle instrumentene et SD som ikke var større enn 1% av \bar{x} , noe som bør regnes som akseptabelt. Norma og Radiometer hadde et avvik fra "sann verdi" på $\pm 2-3\%$ noe som enten skyldes at prøveløsningene var litt under 0,01N eller at instrumentene viser tilsvarende for lite. Det første er mest nærliggende å anta, og hvis man kan godta en feilmargin på $\pm 3\%$ kan avlesningene brukes direkte i dette området.

Det lille avviket hos Delta skyldes at disse ble kalibrert mot 0,01N løsninger direkte. Godtas $\pm 3\%$ feilmargin også for disse, kan avlesningene brukes direkte.

0,001N løsning. For 0,001N løsning hadde Radiometer et SD på 3,4% av \bar{x} . Dette er høgt. Denne store spredninga skyldes målingen av løsning 2. Tar vi bare hensyn til løsning 1 og 3 får vi $\bar{x} = 147,9$; $SD = 0,500$ og avvik 0,5%. SD blir da 0,3% av \bar{x} , noe som må betegnes som et godt resultat. Sannsynligvis har det skjedd en målefeil ved måling av løsning 2. De andre instrumentene hadde et SD på 0,3-0,4% av \bar{x} , noe som er nesten mistenkelig lite. Alle instrumentene avvek relativt lite fra "sann verdi", slik at hvis en feilmargin på $\pm 2\%$ kan godtas kan instrumentene brukes uten korrigering.

0,0001N løsning. For 0,0001N løsning blir resultatene vanskeligere å tolke.

Radiometer hadde et SD på 1,7% av \bar{x} , noe som bør aksepteres. Norma hadde tilsvarende 3,9%; noe som må skyldes at dette instrumentet blir svært unøyaktig ved så lave verdier, da disse ligger ganske nært grensen av hva instrumentet kan måle. SD for de to Delta bør aksepteres.

Når det gjelder selve måleverdiene ser vi at disse ligger langt unna "sann verdi". Det fins da to muligheter:

- 1) "Sann verdi" er feil.
- 2) Instrumentene viser feil.

Vit.ass. E. Lindeberg ved Institutt for Fysikalsk kjemi, NTH mente at metoden for å beregne "sann verdi" var betryggende, og standardavvikene tyder ikke på at det har skjedd feil ved fortytningene. Det ble hele tida brukt ionebyttet vann med ledningsevne lavere enn $1 \mu S$.

Ut fra egne erfaringer mente Lindeberg at de økte verdiene, skyltes at man parallellt med den elektrolytiske motstanden i væskeprismet mellom elektrodene, fikk en kapasitiv motstand (kapasistans) som skyldes at elektroden virker som en elektrisk kondensator. Dermed blir den samlede motstanden

som blir målt lavere, og derved ledningsevnen høyere.

Så vidt vites har ikke instrumentene noen innebygd korreksjon for dette fenomenet. Det er imidlertid teknisk mulig, men krever en del tilleggsutstyr, og vil være vanskelig å utføre ved feltarbeid.

Man bør derfor ved måling av svake elektrolytter gå ut fra at man får en for høy verdi. Tabell 3 kan gi et anslag om hvor mye, men målingene er egentlig for få til at det er riktig å angi eksakte korreksjonsfaktorer.

Godtas en feilmargin på 20%, er man i alle tilfeller på trygg grunn.

TEST AV INSTRUMENTER MED FASTE MOTSTANDER

Tre instrumenter ble prøvd med faste motstander, for å vise nøyaktighet uten at man behøvde å ta i betraktning kapasitans i elektrodene.

2 Norma, benevnt Norma F 10 (identisk med den som ble brukt ved de andre kalibreringsforsøkene) og en annen målebro, benevnt Norma F 11; samt det før omtalte Radiometer.

Målingene ble gjort med motstandsdekade for verdiene 100Ω - $500k\Omega$, og faste motstander for $1M\Omega$ og $12M\Omega$. Alle hadde en toleranse på $\pm 1\%$.

For å få bedre nøyaktighet ble de to Norma koblet til en tonegenerator med frekvens 1kHz, istedet for å bruke krystallene som gir dårligere stabilitet.

Resultatene er gjengitt i tabell 4.

For de to Norma holder avvikene seg stort sett under $\pm 2\%$ for motstand mindre enn $20k\Omega$. Mellom 20 og $60k\Omega$ (som er høyeste mulige måleverdi) øker avvikene, slik at målinger i dette området bør unngås.

Tabell 4. Målt (ohmsk) resistans med ulike instrumenter.

Motstand OHM	Norma F 10	Avvik %	Norma F 11	Avvik %	Radio- meter	Avik %
100	99	-1,00	105	5,00	102	2,00
200	198	-1,00	201	0,50	204	2,00
300	298	-0,67	304	1,33		
400	398	-0,50	407	1,75	403	0,75
500	496	-0,80	511	2,20	505	1,00
1,00k	0,99k	-1,00	0,99k	-1,00	1,01k	1,00
2,00k	1,96k	-2,00	1,99k	-0,50	2,00k	0,00
3,00k	2,97k	-1,00	3,01k	0,33		
4,00k	3,95k	-1,25	4,04k	1,00	4,03k	0,75
5,00k	* 4,95k	-1,00	* 5,09k	1,80	5,05k	1,00
5,00k	**4,95k	-1,00	** 5,00k	0,00		
6,00k	5,90k	-1,67	5,95k	-0,83		
7,00k	6,85k	-2,14	6,95k	-0,71		
8,00k	7,85k	-1,88	7,95k	-0,63		
9,00k	8,85k	-1,67	8,95k	-0,56		
10,0k	9,90k	-1,00	9,95k	-0,50	10,0k	0,00
20,0k	19,5k	-2,50	20,0k	0,00	20,0k	0,00
30,0k	29,0k	-3,33	29,5k	-1,67		
40,0k	38,5k	-3,75	39,0k	-2,50	40,0k	0,00
50,0k	47,5k	-5,00	47,5k	-5,00	50,0k	0,00
60,0k	56,0k	-6,67	55,0k	-8,33		
100k					100k	0,00
200k					200k	0,00
400k					400k	0,00
500k					500k	0,00
1,00M					1,00M	0,00
12,0M					11,1M	-7,50

*, ** se kommentarer i teksten.

Målingene merket * i tabell 4 er gjort med fast motstand 1000Ω innkoplet, og de merket ** med fast motstand 5000Ω innkoplet.

Radiometer holdt seg innenfor et avvik på $\pm 2\%$ i området $100\Omega - 5k\Omega$ (tilsvarer $0,2-10$ mS), og med ikke noe avvik i området $10k\Omega - 1M\Omega$ (tilsvarer $1-100$ μ S). For $12M\Omega$ (tilsvarer $0,083$ μ S) ble avviket (ikke uventet) ganske stort.

Radiometer vil være et svært pålitelig instrument ved måling ved lave elektrolyttkonsentrasjoner hvis man fant en metode for å korrigere feilkilden forårsaket av kapasistans i elektroden.

KONKLUSJON

Ledningsevnen endrer seg betydelig med temperaturen. I gjennomsnitt øker den ca 2% pr. $^{\circ}\text{C}$. Ved omregning av χ fra en temperatur til en annen, viser følgende formel seg å være ganske pålitelig for temperaturer mellom 15°C og 25°C

$$\chi_{t_2} = \chi_{t_1} \cdot 1,021^{t_2 - t_1} \quad t_2, t_1 \in [15, 25]$$

For å finne χ_{20} ved hjelp av Norma blir dette:

$$\chi_{20} = \frac{1}{R_t \cdot K} \cdot 1,021^{20-t} \quad t \in [15, 25]$$

der R_t er målt motstand, og K er elektrodekonstanten inngravert på elektrod-en.

Med en feilmargin på $\pm 3\%$ kan alle instrumentene brukes i området $100-2000\mu$ S.

For lavere verdier bør instrumentene kalibreres spesielt. Norma bør ikke brukes for $\chi < \text{ca } 35 \mu\text{S}$ (tilsvarer $R_t = 20k\Omega$).

Nøyaktigheten for målinger $>2000\mu$ S ble ikke undersøkt, da dette uhyre sjeldent er aktuelt å bruke for målinger i naturen.

PRAKTISKE RÅD

Ved målinger på myr, ligger ledningsevnen oftest i området $10-100\mu$ S, jfr. Sjørs (1950) s. 252 og 254. Det var nettopp innen dette området kalibreringsforsøkene ga størst usikkerhet. Det er da nærliggende å komme med følgende råd:

1. Bruk bare ett bestemt instrument ved alle målinger.
2. Prøv å få kalibrert dette i det aktuelle området med kjente standardløsninger.
3. Eller søk å finn fram til korreksjonsfaktorer ved forsøk.
4. Vær forsiktig med å trekke konklusjoner utfra målingenes absolutte verdi, men benytt de ved sammenligninger. (Feilprosenten får da mindre betydning).
5. Vær forsiktig med å sammenligne egne målinger med andre sine målinger, da disse sine instrumenter kan ha en helt annen feilvisning enn ditt eget.
6. Prøv å foreta alle målinger ved ca 25°C.
7. Bruk et nøyaktig termometer til å måle temperaturen du foretar målingene ved.
8. Husk å korrigere for pH, jfr. Sjørs (1950).
9. Mål alltid ledningsevne før pH-målinger i samme løsning.

Bruk av Norma målebro anbefales ikke da den er tungvint og lunefull i bruk, og den bør som tidligere nevnt ikke brukes når R_t blir større enn ca. 20k Ω (dvs. x blir mindre enn 35 μ S).

Delta er praktisk og lettvint i bruk og anbefales der det ikke er påkrevd med aller høyeste presisjon. Den gir x_{25} direkte. (Bruk av x_{25} later til å være mer vanlig enn x_{20} , i allfall i engelsk litteratur).

Delta bør kalibreres jevnlig (f.eks. en gang i året) for å være pålitelig.

Radiometer viste seg å være et meget godt laboratorieinstrument. De samme rådene som er nevnt gjelder imidlertid også for dette.

LITTERATUR

- (1). Handbook of Chemistry and Physics, 33 ed. p. 2149.
- (2). Sjørs, H. 1950. On the relation between vegetation and electrolytes in north swedish mire waters, OIKOS 2:2 p. 241-258.
- (3). Hewlett-Packard: HP-19C/HP-29C. Applications Book. Singapore 1977. p. 102-106.
- (4). Andersson, F. 1967.Handledning i växtekologisk fält- og laboratorie- metodik, Lund.
- (5). Monk, C.B. 1961. Electrolytic Dissosiation. London, 320 pp.

1978

1. Elven, Reidar. Vegetasjonen ved Flåtisen og Østerdalsisen, Rana, Nordland, med vegetasjonskart over Vesterdalen i 1:15 000. Saltfjellet/Svartisen-prosjektet. Botanisk delrapport nr. 3.
2. Elven, Reidar. Botaniske undersøkelser i Rien-Hyllingen-området, Røros, Sør-Trøndelag.
3. Aune, Egil Ingvar & Kjerem, Odd. Vegetasjonsundersøkingar i samband med planene for Saltdal-, Beiar-, Stor-Glomfjord- og Melfjordutbygginga. Saltfjellet/Svartisen-prosjektet. Botanisk delrapport nr. 4.
4. Holten, Jarle. Verneverdige edellauvskogar i Trøndelag.
5. Aune, E.T. & Kjerem, O. Floraen i Saltfjellet/Svartisenområdet. Saltfjellet/Svartisen-prosjektet. Botanisk delrapport nr. 5.
6. Aune, E. I. & Kjerem, O. Botaniske registreringar og vurderingar. Saltfjellet/Svartisen-prosjektet. Botanisk sluttrapport.
7. Frisvoll, Arne A. Mosefloraen i området Borrsåsen - Bergøya - Nedre Tynes ved Levanger.
8. Aune, E. I. Vegetasjonen i Vassfaret, Buskerud/Oppland med vegetasjonskart i 1:10 000.

1979

1. Moen, Berit Forbord. Flora og vegetasjon i området Borrsåsen - Bergøya - Kattangen.
2. Gjærevoll, Olav. Oversikt over flora og vegetasjon i Opdal kommune, Sør-Trøndelag.
3. Torbergsen, Edd Magne. Myrundersøkelser i Oppland i forbindelse med den norske myrreservatplanen.
4. Moen, Asbjørn & Selnes, Morten. Botaniske undersøkelser på Nord-Fosen, med vegetasjonskart.
5. Kofoed, Jan-Erik. Myrundersøkingar i Hordaland i samband med den norske myrreservatplanen. Supplerande undersøkingar.
6. Elven, Reidar. Botaniske verneverdier i Røros, Sør-Trøndelag.
7. Holten, Jarle Inge. Botaniske undersøkelser i øvre Sunndalen, Grødalen, Lindsien og nærliggende fjellstrøk. Botaniske undersøkelser i 10-årsverna vassdrag. Delrapport 1.

1980

1. Aune, Egil Ingvar, Hatlelid, Svein Aage & Kjerem, Odd. Botaniske undersøkingar i Kobbelv- og Hellemo-området, Nordland, med vegetasjonskart 1:100 000.
2. Gjærevoll, Olav. Oversikt over flora og vegetasjon i Trollheimen.
3. Torbergsen, Edd Magne. Myrundersøkelser i Buskerud i forbindelse med den norske myrreservatplanen.
4. Aune, Egil Ingvar, Hatlelid, Svein Aage & Kjerem, Odd. Botaniske undersøkingar i Eiterådalen, Vefsn og ved Krutvatnet, Hatfjelldal.
5. Baadsvik, Karl, Klokk, Terje & Rønning, Olaf I. (red.) Fagmøte i vegetasjonsekologi på Kongsvoll, 16.-18.3.1980.
6. Aune, Egil Ingvar & Holten, Jarle Inge. Flora og vegetasjon i vestre Grødalen, Sunndal kommune.
7. Sæther, Bjørn, Klokk, Terje & Taagvold, Harald. Flora og vegetasjon i Gaulas nedbørfelt, Sør-Trøndelag og Hedmark. Botaniske undersøkelser i 10-årsverna vassdrag. Delrapport 2.

1981

1. Moen, Asbjørn. Oppdragsforskning og vegetasjonskartlegging ved Botanisk avdeling, D.K.N.V.S., Museet.
2. Sæther, Bjørn. Flora og vegetasjon i Nesåas nedbørfelt, Nord-Trøndelag. Botaniske undersøkelser i 10-årsverna vassdrag. Delrapport 2.
3. Moen, Asbjørn & Kjølvik, Lucie. Botaniske undersøkelser i Garbergselva/Rotla-området i Selbu, Sør-Trøndelag, med vegetasjonskart.
4. Kofoed, Jan-Erik. Forsøk med kalibrering av ledningsevneålere.
5. Baadsvik, Karl, Klokk, Terje & Rønning, Olaf I. (red.). Fagmøte i vegetasjonsekologi på Kongsvoll 15.-17.3.1981.