

Vandbalance og kvælstofbalance ved optimal planteproduktion

Water-balance and nitrogen-balance by optimal plant-production

2. Teknik og metoder

2. Techniques

F. Bennetzen

INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1. Sammen drag	174
2. Summary	174
3. Indledning	174
4. Teknik i forbindelse med vandbalancen	175
4.1. Tensiometeret	175
4.1.1. Konstruktion af type I	175
4.1.2. Nedsætning og brug af type I	176
4.1.3. Konstruktion af type II	177
4.1.4. Nedsætning og brug af type II	177
4.1.5. Valg af tensiometer type	178
4.2. Drænastrømningsmåling	178
5. Teknik udviklet i forbindelse med N-balancen	179
5.1. Automatisk prøvetager til drænvand	179
5.2. Udstyr til ekstraktion af jordvæske i marken	179
5.2.1. Konstruktion	180
5.2.2. Frostsikring	181
5.2.3. Andre udførelser af ekstraktionsudstyret	182
5.2.4. Nedsætning af ekstraktionsudstyret	182
5.2.5. Brug af ekstraktionsudstyret	182
5.2.6. Afprøvning af udstyret	183
5.2.7. Nylonmaterialets uheldige egenskaber	184
5.2.8. Vurdering af ekstraktionsmetodens anvendelighed	185
5.3. Teknik til rod- og stubundersøgelser	187
6. Konklusion	188
7. Litteratur	188

1. Sammendrag

I beretningen gives en beskrivelse af de metoder og den teknik, som er taget i brug for at opstille vandbalance og kvælstofbalance for en mark under optimal dyrkning.

Der er beskrevet to tensiometertyper. Type I er især egnet til undersøgelser af planternes roddybde og bestemmelse af tidspunktet for vanding. Type II består af et sæt tensiometre til 12 dybder. Denne type er meget nøjagtig og derfor særlig egnet til potentialmålinger i vandbevægelsesundersøgelser.

Til bestemmelse af drænastrømning er udviklet et anlæg, som på magnetbånd registrerer data om afstrømningsmængde og -intensitet samt nedbør. Anlægget er ved at blive udbygget til at modtage informationer fra tryktransducertensiometre om jordens hydrauliske potential.

For bestemmelse af næringsstofudvaskning er der konstrueret et vakuum-ekstraktionsudstyr til udtagning af prøver af jordvandet i marken. Vandprøven suges ud af jorden gennem en porøs keramikkop og trykkes til jordoverfladen med trykluft. Udstyret anvendes fra 0,2 til 30 m dybde.

Det er konstateret, at nogle kunststoffer – specielt nylon – men også polyethylen og polypropylen, kan afgive nogle kvælstofforbindelser, som kan forstyrre ammoniumanalyserne.

Til bestemmelse af rod- og stubmasse er der udviklet et udstyr, som kan udtage en jordprøve i naturlig lejring. Prøvens længde er 55 cm, og diameteren er 6,5 cm.

Nøgleord: Tensiometre, drænastrømningsmåling, vakuume-kstraktionsudstyr til jordvand, rodprøveudtager.

2. Summary

In this paper is given a description of instruments which are developed and constructed in connection to the investigations on water-balance and nitrogen-balance in this project.

There is given a description of two types of tensiometers. Type I (fig. 1) is special fit for investigations of the plants root depth and for determination of the time for irrigation. Type II (fig. 2) consists in a set of tensiometers with 12 depths. This type is very precise and therefore particular suitable for hydraulic potential measurements for determination of soil water movement.

A system for measuring water discharge from tile drains is constructed (fig. 4). The system receives informations on water discharge, precipitation and is prepared for receiving informations from pressure-transducertensiometers. Data registration takes place on a magnetic tape recorder.

A suction unit for extracting capillary soil water and ground water in situ has been developed (fig. 5 and 6). The main part of this unit consists of a porous ceramic cell connected via some tubes and valves to a vacuum pump and a compressor. – The water is sucked into the ceramic cell and pressed up to the collecting bottle with compressed air. The unit is used for water extraction in depths from 0.2 to 30 m below soil surface.

In order to determine the amount of roots and stubbles a soil sampler to undisturbed samples has been developed (fig. 8). The sample has a diameter of 6.5 cm and a length of 55 cm. The separation of roots and soil particles takes place in a washing system. Before washing the samples are treated with natriumpyrophosphate in a vacuum tank.

Key words: Tensiometers, drain-water discharge measuring system, vacuum-extractor for soil water, root-sampler.

3. Indledning

I beretning nr. 1385 (Bennetzen 1978a) er baggrunden for projektet omtalt, og forsøgsarealerne og forsøgsplanen er beskrevet.

Denne beretning handler om de metoder og den teknik, der er taget i anvendelse for at kunne

opstille vandbalance og kvælstofbalance for en mark både i og uden for planternes vækstsæson.

Princippet i de fleste af de anvendte metoder er velkendt, men en del af den anvendte teknik er udviklet i forbindelse med projektet. – Udvikling af speciel teknik var nødvendig, for det første

fordi nogle af målingerne og udtagning af vandprøver skulle foretages i stor dybde i jorden, for det andet fordi målingerne skulle foretages systematisk og i nogle tilfælde kontinuerligt over længere tid.

Det er især den udviklede teknik, som får en grundig behandling i de efterfølgende afsnit. Gennemgangen er delt i to hovedafsnit, således at den del, der vedrører vandbalancen, omtales i hovedafsnit 4, og den del, der vedrører kvælstofbalancen, omtales i hovedafsnit 5.

4. Teknik i forbindelse med vandbalancen

Vandbalancen opstilles efter denne velkendte ligning med få modifikationer:

$$E_a = N - \Delta R - A$$

hvor E_a er aktuel fordampning, N er nedbør og vanding, ΔR ændring i rodzonens vandindhold og A er afstrømning gennem dræn og nedsivning til grundvandet. Den detaljerede behandling af ligningens enkelte led bliver givet sammen med forsøgsresultaterne i den efterfølgende beretning. Her gennemgås de konstruktioner, der er lavet i forbindelse med bestemmelse af ligningens to sidste led. Ændring i rodzonens vandindhold (ΔR) bestemmes ved ugentlige målinger af jordens vandindhold efter neutronspreddningsmetoden, som er beskrevet af bl.a. *Haahr* (1963).

Rodzonens dybde gennem vækstsæsonen bestemmes indirekte ved måling med tensiometre, som desuden giver oplysninger om jordvandets tilgængelighed og vandets bevægelsesretning. Tensiometerets konstruktion gennemgås nedenfor.

Den del af afstrømningen (A), som siver til grundvandet, bestemmes dels ud fra ændringen i jordens vandindhold og dels som differens. Den del af afstrømningen, som strømmer via drænsystemet, bestemmes ved opsamling i en brønd og udpumpning gennem en vandmåler, som beskrevet af *Hansen og Pedersen* (1975). Til bestemmelse af afstrømningsintensiteten er der udviklet et specielt anlæg.

4.1. Tensiometeret

Tensiometeret har, siden det blev udviklet af *Richards* (1942), været anvendt i mange udførelser

især inden for forskning, men også inden for praktisk jordbrug i forbindelse med vanding.

I princippet består tensiometeret af en porøs lerkop, som via et rør står i forbindelse med et manometer. Ved brug fyldes koppen og røret med vand, og tensiometeret anbringes i jorden med koppen i den dybde, man ønsker at måle. Der er således etableret forbindelse mellem lerkoppens og jordens porer, og der vil hurtig indstille sig en ligevægt mellem jordens poretryk og vandtrykket i tensiometeret. Trykket er et mål for vandets binding i jorden og skyldes jordens kapillære kræfter. Det betegnes som jordens kapillær- eller trykpotential. Tensiometerets måleområde strækker sig fra et lille overtryk til et vakuum på ca. 850 cm vandsøjle. Ved større vakuum slipper der luft ind i lerkoppen. Måleintervallet dækker det område, hvor der foregår vandbevægelse af kvantitativ betydning og det dækker ligeledes det optimale fugtighedsområde for planternes vandforsyning.

Der er blevet fremstillet to typer tensiometre. Type I med et U-rørsmanometer efter samme princip som beskrevet af *Højendahl* (1970) og *Myhr* (1971) og type II, som er et fler-dybde tensiometer med I-rørsmanometer. En lignende er beskrevet af *Gibbs og Turner* (1963), *van Bavel* (1968) og *Højendahl* (1970).

De anvendte keramikopper er af amerikansk fabrikat og findes i handelen i Danmark. Kopperne har en porestørrelse på $2,9 \mu\text{m}$, svarende til en luftindtrængningsværdi på 1 atm. - Luftindtrængningsværdien for en porøs keramikkop eller plade er det tryk, der kræves for at presse luft gennem koppen eller pladen, efter at den er blevet vandmættet. Efter at trykket, P , er bestemt, er porestørrelsen, D , beregnet efter ligningen:

$$D = \frac{2,87}{P}$$

hvor D = Porediameteren, μm
 P = Trykket, atm.

4.1.1. Konstruktion af type I

Opbygningen af type I fremgår af fig. 1. Materialet er gennemsigtigt plexiglas bortset fra manometeret, der er af polypropylen (PP) og beskyttel-

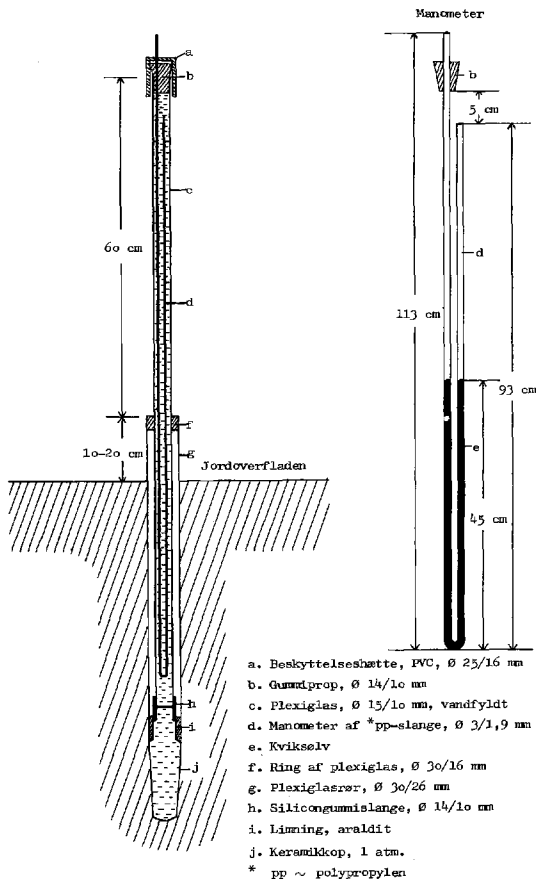


Fig. 1. Tensiometer, type I.

seshætten, der er af PVC. – Stammen i tensiometeret er et Ø 15/10 mm plexiglasrør, der er forbundet med keramikkoppen med et slangestykke af silicongummi. Rørets længde afpasses efter måledybden, således at det er ca. 70 cm plus måledybden i cm under terræn. Keramikkoppen er 7 cm lang og konisk med en diameter på 30 mm foroven og 22 mm forneden. For at beskytte tensiometeret er den nederste del forsynet med et plexiglasrør Ø 30/26 mm, hvis længde er måledybden plus 10–20 cm. Nederst er røret limet sammen med keramikkop og silicongummislange med araldit. Øverst er der pålimet en støttering af plexiglas Ø 30/16 mm. Der er anvendt en speciel plexiglaslim. Det er vigtigt ved limning at opvar-

me emnerne til 60–70°C i ca. 2 timer for at undgå spændingskorrosioner. Har man rådighed over en drejebænk, kan støttingen friktionssvejses på.

Manometeret består af U-formet PP-slange Ø 3/1,9 mm med grene på 93 og 113 cm. Den længste gren er ført op gennem en gummiprop, som fastholder manometeret og lukker tensiometeret foroven. Manometeret justeres i proppen, således at den korte gren sidder 5 cm under proppen. Proppen er beskyttet mod vejrligets påvirkning med en hætte af PVC. Manometeret er fyldt med kviksølv til 45 cm over bunden. Kviksølvet kan fyldes i manometeret med en injektionssprøjte.

På tensiometerstammen er limet en skala, som viser tensionen i cm vandsøjle. Skalaen er trykt på selvklæbende, gennemsigtig polyesterfolie. Før påklæbning af skalaen nulstilles tensiometeret ved at anbringe det i vand til op midt på keramikkoppen. Skalaen påsættes således, at 0-punktet sidder i samme niveau som kviksølvoverfladen i den korte manometergren.

4.1.2. Nedsætning og brug af type I

Før nedsætning af tensiometeret fyldes det med vand. Det er vigtigt, at der også fyldes vand over kviksølvet i den korte manometergren. Det er bedst at anvende destilleret vand, der er evakueret for luft for at undgå kalkafsetninger samt luft i tensiometeret. Hvis jorden tørrer ud, vil der slippe luft ind gennem keramikkoppen, og tensiometeret må efterfyldes med vand.

Luftbobler i den korte manometergren fjernes bedst ved at blæse i den lange gren – f. eks. med en gummiblæser – mens den korte gren er under vand i tensiometeret.

Ved nedsætning af tensiometeret må der anvendes et bor eller en stålspid, der har nøjagtig samme form og dimension som keramikkoppen og røret over, idet det er meget vigtigt, at der er god kontakt med jorden.

Ved at foretage en nulstilling af tensiometeret opnår man, at det, der aflæses på skalaen, er tensionen i cm vandsøjle uanset tensiometerets længde og måledybden.

Der er blevet konstrueret tensiometre i forskellige længder til brug i dybder fra 20 cm til 300 cm under terræn.

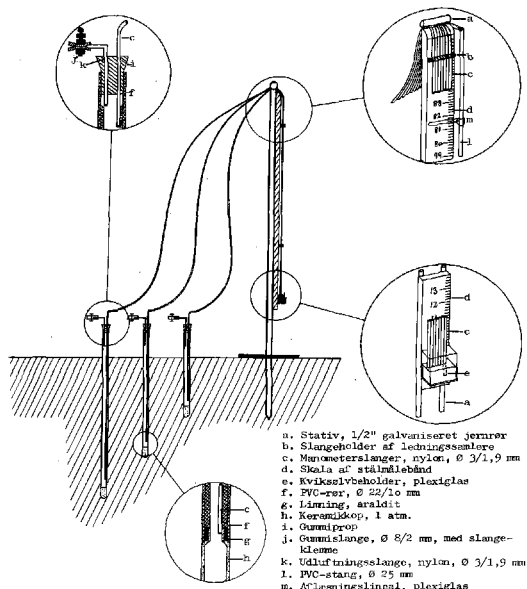


Fig. 2. Tensiometer, type II.

4.1.3. Konstruktion af type II

Konstruktionen af flerdybde tensiometeret, type II er vist i fig. 2. Selve tensiometeret er af PVC-rør Ø 22/10 mm. Den øverste ende er boret ud til 18 mm Ø til gummiproppen, og den nederste ende er boret ud til keramikoppen. Keramikoppen limes i med araldit. Rørets længde afpasses efter måledybden. Keramikoppen er cylindrisk, 50 mm lang og 22 mm i diameter. Tensiometeret er foroven lukket med en gummipropp med huller for manometerslange og udluftningslange. Både manometerslangen og udluftningslangen er af nylon Ø 3/1,9 mm. Der kan ikke anvendes polypropylen, idet det ikke er diffusionstæt. På udluftningslangen er presset et lille stykke gummislange, der lukkes med en slangeklemme. Manometerslangene samles på et stativ. Slangelængden afpasses efter afstanden fra stativet. Stativet er fremstillet af 1/2'' galvaniseret jernrør, hvorpå der er skruet et brædt med en skala af stålmålebånd med mm-inddeling. Manometerslangene fastholdes på skalaen af to sæt ledningssamlere. Slangeenderne stikker ned i en kviksølbeholder, som er anbragt på en hylde under skalaen med bunden i niveau med skalaens 0-punkt.

4.1.4. Nedsætning og brug af type II

Ved nedsætningen anvendes samme teknik som ved type I. Der bores et hul til den ønskede dybde, og tensiometeret presses ned i hullet. Det er vigtigt, at der anvendes et bor eller en stålpids, der har nøjagtig samme form og dimensioner som keramikoppen. Tensiometrene anbringes i en række i god afstand fra stativet, således at man helt undgår at træde i afgrøden under aflæsningen i løbet af vækstsæsonen.

Efter nedsætningen fyldes tensiometeret med destilleret, udluftet vand. Proppen sættes på plads, og der blæses i udluftningslangen med en gummiblæser. Herved fyldes manometerslangen med vand, hvilket er vigtigt for korrekt funktion. Der efterfyldes med vand, og tensiometeret er klar til brug.

I undersøgelser, hvor det er meget vigtigt at undgå at beskadige afgrøden, er tensiometeret konstrueret således, at vandpåfyldning og udluftning kan foretages ude fra aflæsningsstativet. I stedet for én udluftningslange er der ført 2 slanger igennem gummiproppen (fig. 2, i). Slangerne er ført over til aflæsningsstativet, og slangeenderne er samlet med en dobbelt slangestuds. Ved vandpåfyldning og udluftning pumpes der vand

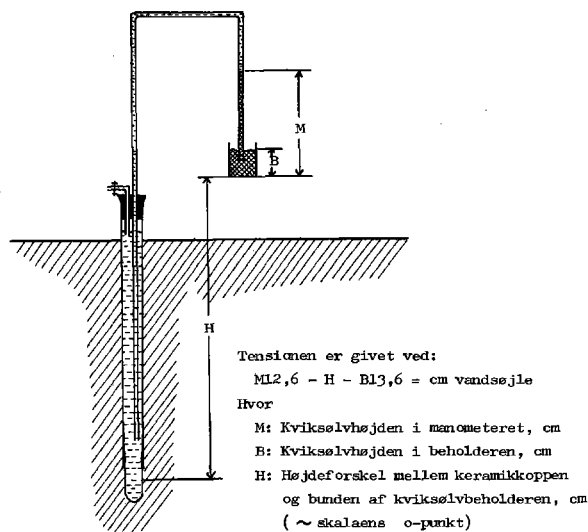


Fig. 3. Diagram af et tensiometer, type II.
Diagram of a tensiometer, type II.

gennem den ene udluftningsslange (f.eks. med en stor sprøjteflaske med gummiblæser), indtil der løber vand ud af den anden udluftningslange. Denne lukkes med en finger, og vandet pumpes nu gennem manometerslangen. Når manometerslangen er vandfyldt, samles de to udluftnings-slangere igen på den dobbelte slangestuds, og tensiometeret er klar til brug.

Som nævnt er aflæsningsskalaen inddelt i mm. Der skal derfor foretages en omregning for at finde tensionen i cm vandsøjle. I fig. 3 er vist et diagram af tensiometeret, og beregningen af tensionen er anført. Det bemærkes, at måledybden skal regnes fra midten af keramikkoppen.

Fler-dybde tensiometeret er konstrueret til 12 dybder og har været anvendt fra 10–240 cm dybde.

4.1.5. Valg af tensiometerstype

Begge tensiometer typer har vist sig at fungere tilfredsstillende, når der sørges for: 1. at skabe god kontakt mellem keramikkoppen og jorden, 2. at undgå luftbobler i manometerslangen.

Type I er især velegnet til målinger, hvor der ikke kræves den helt store nøjagtighed, f.eks. ved

bestemmelse af roddybde og vandingstidspunkt. Tensiometeret er let at nedsætte og arbejde med. Aflæsningsusikkerheden er forholdsvis stor, idet der anvendes et U-rørsmanometer, hvor stigningen i den ene gren aflæses. Det vil sige, den halve forskel mellem de to kviksvølvoverflader. Der er endvidere en vis risiko for »nul-punktsfejl«, f.eks. hvis manometeret forskydes i proppen eller proppen ikke trykkes lige langt ned hver gang.

Type II er især velegnet, hvor det drejer sig om nøjagtige målinger, f.eks. ved potentialmålinger i vandbevægelsesundersøgelser. Tensiometeret kan være lidt vanskeligere at anbringe end type I på grund af de mange løse slanger. Til gengæld er tensiometeret let at bruge, når det er anbragt. Aflæsning af 12 tensiometre foregår på samme skala. Aflæsningsusikkerheden er lille på grund af I-rørsmanometeret, og der er ingen risiko for »nul-punktsfejl«.

4.2. Drænafstrømningsmåling

Drænafstrømningen måles i princippet som beskrevet af Hansen og Pedersen (1975) ved at lede drænvandet ind i en brønd og pumpe det ud gennem en vandmåler (vandur), fig. 4.

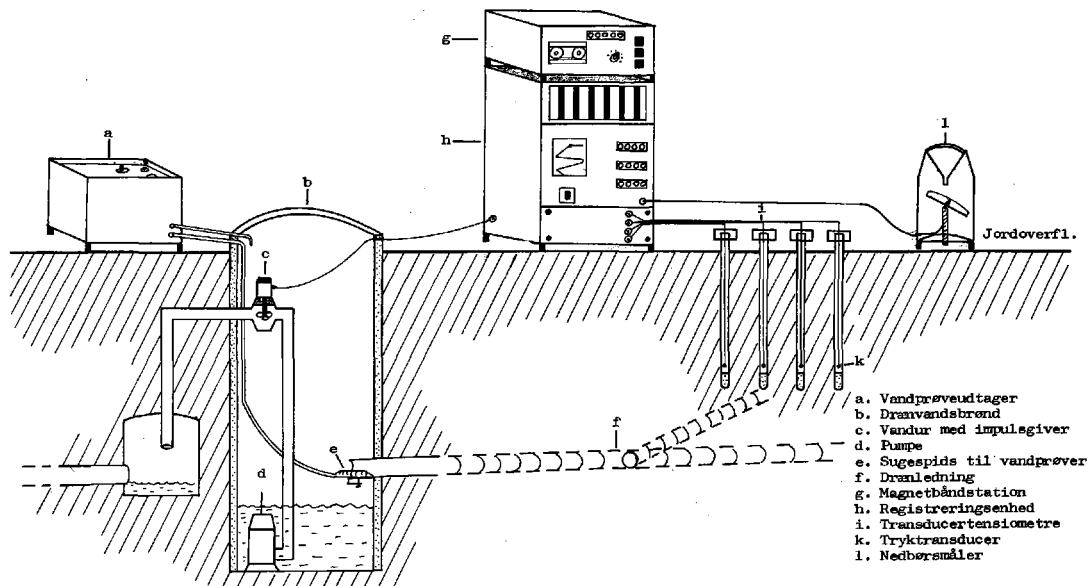


Fig. 4. Station til drænafstrømningsundersøgelser.
Station for measuring drain water discharge.

Til vandbalanceopgørelsen på uge- eller månedsbasis aflæses vandurets m³-tæller manuelt.

For at få et fuldstændigt billede af afstrømningsforløbet under forskellige nedbørs- og afstrømningsituationer er der opbygget en afstrømningsstation, som vist i fig. 4. Dataopsamlingen sker på magnetbånd, som direkte kan aflæses i forsøgsstationens EDB-anlæg. Anlægget kan modtage resultater kontinuerligt. Indlæsningsfrekvensen på magnetbåndet er variabel.

Stationen er beregnet til at modtage data om:

1. Afstrømning fra dræn
2. Nedbør
3. Jordvandets mulighed for bevægelse (jordens hydrauliske potential)

ad. 1. På vanduret er monteret en elektronisk impulsgiver. Impulserne konverteres og summeres i anlægget, således at afstrømningsintensiteten f.eks. i liter pr. time indlægges på bånd. Som kontrol udskrives en intensitetskurve, og en tæller viser antal liter efter sidste indlæsning.

ad. 2. Anlægget modtager signaler fra en ned-

børsmåler af vippekarstypen (fra *C.F. Casella & Co.*, London). Signalerne konverteres og summeres i anlægget, og indlæsning på bånd sker sammen med afstrømningsresultaterne. Som kontrolforanstaltning er der en tæller, som viser sum nedbør i mm.

ad. 3. For at finde frem til, hvilke jordlag afstrømningsvandet fortrinsvis passerer under forskellige situationer, er det nødvendigt at måle de hydrauliske potentialgradienter. Potentialet kan måles med tensiometre, og det er derfor planlagt at ombygge tensiometeret, således at trykket overføres til et elektrisk signal med en tryktransducer. Anlægget er forberedt til at modtage signaler fra sådanne transducertensiometre. Tensiometrene er endnu ikke færdigudviklet, og en detaljeret beskrivelse vil følge i en senere beretning.

5. Teknik udviklet i forbindelse med N-balancen
Kvælstofbalancen opstilles efter følgende ligning:

$$N_{\text{tilført}} - N_{\text{høstet}} - N_{\text{udvasket}} - \Delta N_{\text{uorganisk}} - \Delta N_{\text{organisk}} = 0$$

Ligningens to første led kan bestemmes direkte. Sidste led bestemmes som differens. Ligningens 3. led omfatter både udvaskning med drænvand og nedvaskning til grundvand. Størrelsen af 3. led bestemmes ved at måle afstrømningsmængden og vandets koncentration af kvælstof. Ændring i jordens uorganiske N-fraktion (4. led) bestemmes ud fra jordprofilens vandindhold og vandets kvælstofkoncentration.

5.1. Automatisk prøvetager til drænvand

For at finde sammenhængen mellem afstrømningsintensiteten og kvælstofkoncentrationen er der udviklet en automatisk prøveudtager til drænvand (fig. 4, a). Prøveudtageren har en kapacitet på 24 prøver a 250 ml og en variabel frekvens fra 1 prøve pr. time til 1 prøve pr. uge. Start og stop kan ske automatisk.

Vandprøven tages direkte i drændløbet (fig. 4, e), og før udtagningen skylles slanger og ventiler igennem med vand fra drænledningen.

5.2. Udstyr til ekstraktion af jordvæske i marken

Det var nødvendigt at finde en metode til at udtage prøver af jordvandet i marken, både fra planternes rodzone, fra den ikke vandmættede zone og fra grundvandet. Udtagningen skulle ske systematisk over flere år. Mindste udtagingsdybde er 20 cm, og største dybde er 30 m.

Der blev valgt en metode, hvor jordvæsken suges ind i porøse keramikopper af samme type, som anvendes til tensiometre. Princippet i metoden – isolering af jordvæske ved sugning – er velkendt og har været anvendt i mange forskellige udformninger (*Wagner 1962, Czeratzki 1971, El Bassam 1972, Linner 1972, Duke og Haise 1973*).

MacLeod (1964) og Nielsen (1970) har i karforsøg anvendt sintrede glasfiltre i stedet for keramikopper. De anfører, at keramikopperne besidder en vis adsorptionsevne over for kationer og fosfationer, mens adsorptionen af nitrat og andre anioner er ubetydelig. Der vil dog ret hurtigt indtræde en ligevægt, hvorefter betydningen af

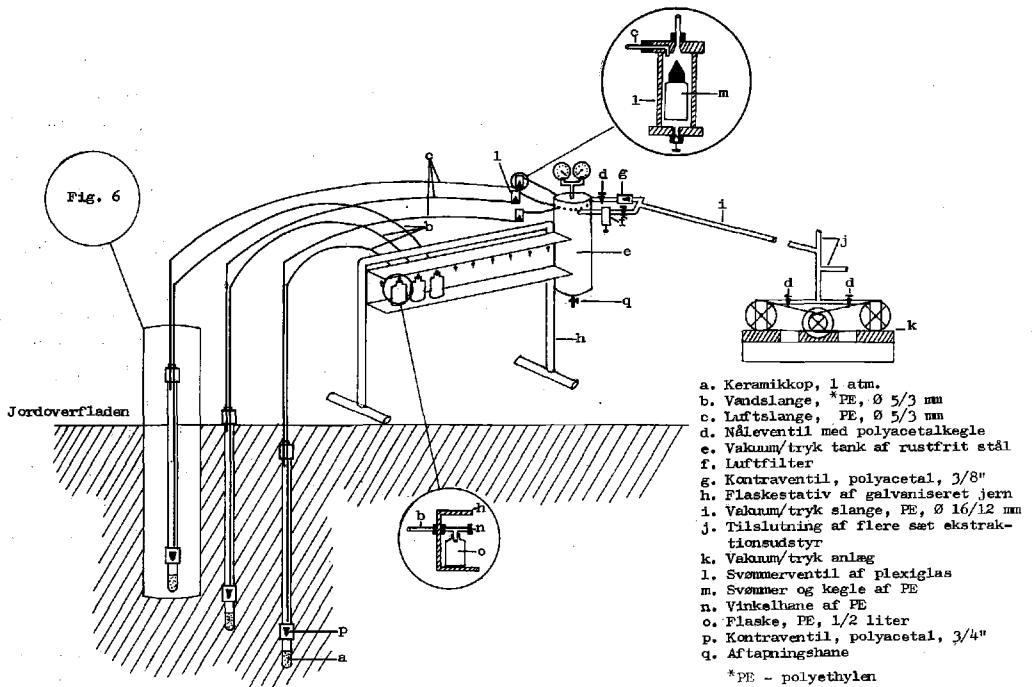


Fig. 5. Ekstraktionsudstyr til udtagning af jordvandsprøver i marken.

Vacuum-extractor for soil water.

denne kationadsorption reduceres væsentligt (El Bassam 1972).

I dette projekt er der anvendt keramikkopper af amerikansk og tysk fabrikat. Alle de anvendte kopper skulle efter fabrikanternes opgivelser have en luftindtrængningsværdi på 1 atmosfære, svarende til en porøse størrelse på $2,9 \mu\text{m}$ (se afsnit 4.1.: tensiometeret). Det viste sig imidlertid at være nødvendigt at afprøve og sortere kopperne, idet denne luftindtrængningsværdi varierede en del. Er værdien for lav, vil kopperen ved sugningen indtage luft. Er værdien for høj, vil det medføre, at det tager meget lang tid at opnå en tilstrækkelig vandmængde til analyse.

Da en del af vandprøverne udtages i større dybde end 10 m, kan det ikke lade sig gøre at suge vandet op. Udstyret er derfor indrettet således, at vandprøverne, efter at de er udsuget af jorden, trykkes op til jordoverfladen med trykluft. I fig. 5 er vist en skitse over ekstraktionsudstyrets opstilling i marken.

5.2.1. Konstruktion

Den del af konstruktionen, som vandet skal passere, er lavet af kunststof. Der anvendes overvejende polyethylen (PE) og polypropylen (PP). I de første konstruktioner blev der anvendt nylon 6 og nylon 11. Nylonprodukterne viste sig imidlertid at besidde en del uheldige egenskaber, hvilket vil blive omtalt nedenfor.

Den del af ekstraktionsudstyret, som sidder i jorden, er vist i fig. 6. Keramikkoppen er limet sammen med to PP-rørstykker, som er skubbet ind i hinanden, således at de passer til koppers skuldre. Der kan også anvendes et PP-rør Ø 28/15 mm, der bores eller drejes ud. Der limes med araldit. Rørstykkerne er skruet sammen med en 3/4" kontraventil. Gevindet pakkes med teflon pakbånd. Selve vandbeholderen består af et PP-rør Ø 28/22 mm, 140 cm langt (svarende til et volumen på 0,53 liter) med 3/4" rørgvind i begge ender. Nederst er røret skruet sammen med kontraventilen, og det lukkes foroven med en prop af

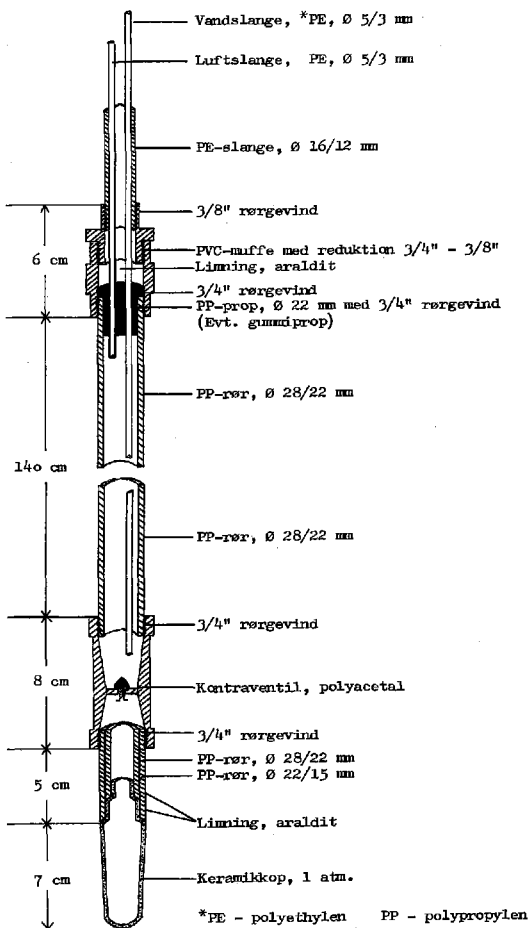


Fig. 6. Del af ekstraktionsudstyr med materialeangivelser og dimensioner.

Part of a vacuum-extractor.

PE. Proppen er drejet med en krave, hvori der er skåret 3/4" rørgvind. Prop og rør er holdt sammen af en 3/4" muffe. Gevindet er pakket godt med teflon pakbånd. Gennem proppen er ført to slanger, Ø 5/3 mm. Vandslangen er ført ned til kontraventilen, og luftslangen er kun ført lige gennem proppen. Slangerne limes fast i proppen med et par dråber cyanakrylat lim. For at undgå utætheder mellem slanger og prop er der lagt ca. 1 cm araldit lim oven på proppen (der kan evt. anvendes en gummiprop). Vandslangen og luftslangen er beskyttet af en tyk PE-slange, Ø 16/12

mm, der er ført til jordoverfladen. Slangen er via et reduktionsstykke 3/4"-3/8" skruet i muffen.

PP og PE er ligesom nylon meget vanskeligt at lime. Det er vigtigt, at limfladerne før limningen behandles enten med en bunsenbrænder eller med krom-svovlsyre. Cyanakrylat limen er en montagelim, der binder meget hurtigt, men limen har ingen udfyldningsevne. Araldit lim har derimod en god udfyldningsevne, men lang hærningstid.

Vandslangen, b, (bogstaverne refererer til fig. 5) er ført over til en vandhane, n, som sidder fastskruet i en hylde på flaskestativet, h. Luftslangen, c, er ført via en specialfremstillet svømmerventil, 1, til vakuum/tryk tanken, e. Flaskestativet og hylde er fremstillet af galvaniseret jern og vakuum/tryk tanken af rustfrit stål. Tanken er forsynet med en aftapningshane for kondensvand, q, samt vakuummeter og manometer. Tilgangen fra vakuum/tryk anlægget er delt i to rør. Et til trykluft med luftfilter, f, og et til vakuum, begge med nåleventiler. Kontraventilen, g, sørger for at luften fra kompressoren ledes gennem filteret.

Vakuum/tryk anlægget, k, består af en lille kompressor og en vakuumpumpe, som styres af en vakuumstat. Dette gør det muligt at holde et bestemt undertryk i ekstraktionsudstyret, selv om der skulle være små utætheder. Vakuum/tryk anlægget er opbygget således, at det kan klare flere ekstraktionsanlæg samtidig. I nærværende projekt er der tilkoblet fire anlæg a 13 dybder på et vakuum/tryk anlæg. Afstanden til det fjerneste ekstraktionsanlæg er 800 meter. Den anvendte vakuum/tryk slange, i, er af PE, Ø 16/12 mm.

5.2.2. Frostsikring

Da den største del af nedsviningen foregår i vinterhalvåret, skal udstyret kunne modstå vintrens vejrlig. Alle de anvendte rør og slanger kan tåle at fryse, selv om der er vand i dem, men der kan selvfølgelig ikke udtages vandprøver, når det fryser.

Et enkelt anlæg er blevet frostsikret, således at der kan udtages vandprøver, selv om det fryser. Omkring flaskestativ og vakuum/tryk tank er bygget en isoleret trækasse. Alle slanger og rør

over jorden er isoleret med rock-wool, som er beviklet med plastik tape. Både i trækassen og langs rør og slanger er der trukket varmekabler. Varmetrådene er af konstantan, som er isoleret med bly og plastik. Kablerne er øvrigt af samme type, som anvendes i cementgulve. De forsynes med strøm fra nettet.

5.2.3. Andre udførelser af ekstraktionsudstyret

Det omtalte ekstraktionsanlæg er konstrueret stationært med el-drevet kompressor og vakuumpumpe. Da det drejer sig om mange vandprøver, er der lagt vægt på, at det skal være let og hurtigt at udtage prøverne i marken.

Til brug i mindre dybder til kortvarige undersøgelser er der konstrueret nogle lette anlæg uden flaskestativ, vakuum/tryk tank og det stationære vakuum/tryk anlæg. I stedet for vakuum/tryk anlægget anvendes en håndpumpe eller en mobil pumpe med benzinmotor. Disse lette anlæg har også været anvendt med kun en slange, vandslangen, b, på figur 5. Kontraventilen, p, fig. 5 fjernes, og vandslangen føres helt ned i keramikoppen. I stedet for at forbinde den anden ende af vandslangen med hanen, n, føres den gennem en gummiprop ned i en flaske. Luften suges ud af flasken, og vandprøven vil efterhånden sive op i flasken. Disse lette anlæg er meget følsomme over for utætheder.

På meget svær lerjord kan man komme ud for, at den hydrauliske ledningsevne er så lav, at det tager for lang tid at udsuge vand nok til en analyse. Der anvendes da nogle større keramikopper end de, der er vist på fig. 5 og 6. Kopperne er 30 cm lange, cylindriske med en diameter på 4 cm.

5.2.4. Nedsætning af ekstraktionsudstyret

Ved nedsætning af udstyret er især to ting vigtige. For det første skal der være god kontakt mellem jorden og keramikoppen. For det andet skal der lukkes helt tæt omkring røret ned til koppen for at hindre, at der siver vand ned langs røret.

Der anvendes tre metoder til nedsætningen, afhængig af dybde og jordtype.

1. Til nedsætningen i jorden over grundvandspejlet fremstilles en stålspids ca. 50 cm lang med nøjagtig samme form og dimensioner som

keramikoppen og den nederste del af røret. Spidsen trykkes i jorden til den ønskede dybde med en hydraulisk presse, der er monteret på en landbrugstraktor. Efter at have fjernet spidsen anbringes ekstraktionskoppen i hullet. Hulrum omkring rør og slanger fyldes med materiale fra hullet og bentonit*. Metoden har været anvendt ned til 9 m på lerjord og ca. 2 m på sandjord.

2. I grundvandszonen på sandjorden falder hullet sammen. Der anvendes i stedet for stålspidsen et 1,5" jernrør, der er skruet sammen for hver meter. Forneden er røret lukket med en løstsiddende prop af PE. Røret presses med den hydrauliske presse i jorden til 25 cm under den ønskede udtagningsdybde. Ekstraktionskoppen føres ned i røret, til keramikoppen er i den ønskede dybde. Jernrøret trækkes op, og proppen bliver siddende 25 cm under keramikoppen. Sandet vil hurtigt falde sammen og slutte tæt omkring koppen. Den øverste del af hullet lukkes med bentonit*. – Metoden har været anvendt ned til 6 m dybde.

3. Ved nedsætningen i stor dybde er det nødvendigt først at bore et hul. I grundvandet på sandjord kan der uden vanskelighed anbringes flere kopper i samme hul, idet sandet hurtigt falder sammen omkring keramikopperne. På lerjord er det sikrest kun at anbringe en kop i hvert hul. Der bores da til en meter over den ønskede dybde. Derefter trykkes et hul, der passer til keramikoppen, i bunden af boringen. Efter anbringelse af koppen lukkes hullet med materialet fra boringen og til sidst med bentonit*. – Metoden har været anvendt ned til 30 m på lerjord og 10 m på sandjord.

**Bentonit* er en lerart. Den anvendte type er ungarsk og består af ren montmorillonit, som er i stand til at adsorbere kationer. Den her anvendte bentonit er besat med Na-ioner, hvilket medfører, at den kvælder stærkt og er praktisk taget vandtæt.

5.2.5. Brug af ekstraktionsudstyret

For at opnå ligevægt omkring keramikopperne og for at fjerne forureninger fra konstruktionen er det nødvendigt at suge en del vandprøver gennem

udstyret, før vandet sendes til analyse. Denne gennemskylning er blevet foretaget med få dages mellemrum gennem 3 uger. Undertrykket i udstyret holdes på 600–750 cm vandsøjle af en vakuumpumpe med vakuumstat. Der udtages vandprøver i profilen for hver 20 cm i de øverste lag, og intervallerne øges gradvist med dybden. Prøvernes størrelse og den tid det tager for at samle en prøve varierer med jordens vandindhold. Er jorden vandfyldt, tager det 8–10 timer at opsamle 0,5 liter. Er jorden ved at udtørre, kan det tage 1 uge at opsamle 100 ml. Hvis tensionen i jorden overstiger 600–750 cm vandsøjle, svarende til pF 2,8–2,9, kan der ikke udsuges vand. Prøverne udtages systematisk med faste tidsintervaller – sædvanligvis en uge.

De små bogstaver i dette afsnit refererer til fig. 5. Når der sættes vakuum på udstyret gennem slangerne, i og c, åbnes kontraventilerne, g og p, og vandet vil trænge ind gennem keramikoppen, a. Hvis der er meget vand i jorden, vil røret over keramikoppen hurtigt fyldes med vand, og vandet vil stige op i luftslangen, c, til svømmerventilen, l, som straks lukker. Når vandprøven skal udtages, sendes der trykluft ud gennem luftslangen, i. Kontraventilen, g, lukker, og først når nåleventilen før luftfilteret, f., åbnes, strømmer luften ind i tanken, e. Svømmerventilen, l, åbner, og luften strømmer ud gennem slange, c. Kontraventilen, p, lukker, og vandprøven vil strømme gennem slange, b, til flasken, o, når vinkelhanen, n, åbnes.

Det beskrevne stationære anlæg er beregnet til kontinuerlig drift i flere år på samme sted. Der er lagt vægt på, at anlægget kører driftsikkert, og at det er hurtigt at udtage 90 vandprøver, som der er tale om i dette projekt.

5.2.6. Afprøvning af udstyret

Keramikkopperne er fremstillet af brændt ler og besidder derfor en vis ionbytningskapacitet. For at finde frem til, om denne ionbytningskapacitet har nogen kvantitativ betydning, blev der gennemført en laboratorieafprøvning. Fra hver af tre opløsninger med forskellig næringsstofkoncentration blev der udtaget vandprøver med tre keramikopper. I tabel 1 er vist nogle resultater af

Tabel 1. Laboratorieafprøvning af keramikopper. Vandprøverne er suget gennem keramikopperne fra en beholder. Tallene er gennemsnit af tre næringsstofkoncentrationer.

Laboratory test of the ceramic cups. The water is sucked through the ceramic cups. The figures are average of three nutrient concentrations.

Stof	ppm	
	Fra vandbeholderen	Gennem keramikoppen Gns. af 3 kopper
Na	22,7	22,1
K	2,9	2,1
NH ₄ -N	0,03	0,08
Ca	67,0	66,2
Mg	4,6	5,0
NO ₃ -N	2,4	2,3
SO ₄	32,0	27,8
Cl	36,3	37,4
HCO ₃	207	188
P	0,04	0,02

vandanalyserne. Tallene er angivet i ppm og er gennemsnit af tre keramikopper og tre koncentrationer.

For de fleste stoffer er den skete koncentrationsændring ved passage gennem keramikoppen ubetydelig. Na, Ca, NO₃ og Cl er næsten uændrede. Der er adsorberet lidt K og SO₄ og afgivet lidt Mg. Da forsøget blev gentaget efter 14 dages henstand med keramikopperne i vandet, var SO₄-koncentrationen steget lidt efter passagen gennem kopperne. HCO₃ er faldet lidt, og P-koncentrationen er i gennemsnit halveret.

NH₄-analyserne måtte i første omgang kasseres på grund af forureninger. En undersøgelse viste, at en del af forureningen kom fra de anvendte kunststoffer. De anførte NH₄-tal er fra en senere undersøgelse, hvor kun keramikopperne indgik. Det fremgår, at NH₄-koncentrationen er steget en del. Efter udtagning af flere vandprøver nærmede koncentrationen sig udgangsopløsningens NH₄-koncentration.

For Ca og SO₄ var der en tendens til, at koncentrationen i vandprøven steg ved lav og faldt ved høj koncentration i udgangsopløsningen.

Resultaterne er overensstemmende med undersøgelser, foretaget af *El Bassam* (1972). Han

har for det første undersøgt, hvor meget næringsstof keramikopperne kan afgive. Kopperne blev fyldt med destilleret vand, og det gennemstrømmende vand blev analyseret. I de første 3 til 6 vandprøver steg indholdet betydeligt for såvel kationer som anioner. Efter 6. vandprøve er det kun sulfat, der afgives i betydelig omfang. El Bassam har for det andet suget vand med forskellig næringsstofkoncentration gennem en keramikop og for hver liter foretaget analyse. Resultatet var, at koppen kunne optage og afgive små mængder kationer, samt anionerne fosfat og sulfat. Nitrat passerede uhindret gennem kopperne. For at undgå gener af koppernes ionbytnings anbefaler El Bassam, at kopperne vaskes før nedsætning, og at de første 3 vandprøver efter nedsætningen bortkastes.

Grover og Lamborn (1970) har ligeledes undersøgt keramikoppers evne til at adsorbere og afgive ioner. Der anføres, at hvis kopperne vaskes med en 1 n HCl opløsning og derefter skylles med destilleret vand, så reduceres det antal vandprøver, det er nødvendigt at suge gennem kopperne for at opnå ligevægt. F.eks. skal der suges 5 vandprøver gennem kopperne for at opnå samme koncentration af P i vandprøven, som i udgangsopløsningen. Antallet reduceres til 2 ved at anvende keramikopper, der er vasket med HCl.

Konklusionen er, at det er vigtigt, at de første 4 til 6 vandprøver, der udtages efter at keramikopperne er nedsat i jorden, bortkastes. Der vil herefter være opnået ligevægt mellem jordvæsken og keramikoppen, og betydningen af ionbytnings er ringe.

5.2.7. Nylonmaterialets uheldige egenskaber

Som nævnt anvendtes der i de første konstruktioner nylon. Nylonmaterialet er stabilt, let at arbejde og besidder en stor fysisk styrke, som er ønskelig ved nedsætning af rørene i jorden. Nylon optager en del vand, men for type 11 er det så lidt, at det ingen betydning har.

Det viste sig, at nylonmaterialet besidder den uheldige egenskab, at det afgiver NH_4 eller i hvert fald et stof, som kemisk reagerer som ammonium. – Nylon er et polyamid og indeholder derfor kvælstof, men ikke som ammonium. En fore-

spørgsel på Danmarks tekniske Højskole, Århus Universitet, BASF i Tyskland og nylonleverandøren gav et enstemmigt svar: nylon kan rent kemisk betragtet ikke afgive ammonium, men ved nylonfremstillingen er polymerisationen ikke 100 pct. Der vil stadig findes 0,3 pct. af udgangsmaterialet, som er caprolactam. Det blev samtidig bemærket, at det ikke er usandsynligt, at caprolactam i analysen vil reagere som ammoniumionen. For at undersøge dette blev nogle vandprøver fra nylonudstyret analyseret efter fire forskellige metoder. Alle metoder viste samme NH_4 -koncentration i vandprøverne.

Af hensyn til det ekstraktionsudstyr, som er konstrueret af nylon, er det af interesse at finde en metode til analysemessigt at adskille ammonium fra den kvælstofforbindelse, nylonrør afgiver, og ligeledes finde, om kvælstofafgivelsen fortsætter efter længere tids anvendelse af nylonmaterialet.

Der blev derfor gennemført et henstandsforløb med både nylon og polyethylen på Statens Plan-teavls-Laboratorium. Rørstykker af nylon og PE blev hensat dels i destilleret vand og dels i 0,01 M CaCl_2 . Efter 3 uger blev vandet analyseret for NH_4 . Der fandtes en betydelig kvælstofafgivelse fra både nylon og PE, mellem 0,2 og 0,4 mg N pr. 100 g plastmateriale. Det var en overraskelse, at der var kvælstoffrigørelse fra polyethylen, som er en ren kulbrinteforbindelse. Nylon- og PE-rørene blev herefter udvasket gennem 3 måneder og igen hensat i 3 uger. Vandanalyserne viste nu, at nylonmaterialet stadig afgav kvælstof i samme mængde som før, mens polyethylenet praktisk taget ikke mere afgav kvælstof.

Forsøg på at identificere kvælstofforbindelsen som en anden end ammonium lykkedes ikke.

Andersen (1977) nævner, at det er sandsynligt, at det drejer sig om kvælstofholdige antioxidanter eller blødgørere, som i vid udstrækning tilsættes kunststoffer.

Der er også den mulighed, at der foregår en mikrobiologisk nedbrydning af nylon. Nogle indledende undersøgelser tyder på, at visse mikroorganismer kan leve på nylon uden tilførsel af næringsstoffer. En del af forklaringen ligger måske her.

Det er tilsyneladende et vanskeligt problem at

løse, og da det er ret perifert i forhold til nærværende projekt, slippes tråden her. Men der skal opfordres til, at det undersøges, hvilke stoffer disse meget anvendte kunstprodukter kan afgive. Det gælder ikke mindst PE, som – ud over at være meget brugt på laboratorier – er særdeles almindelig i vores hverdag.

Ovennævnte erfaringer giver følgende konklusion. Ammoniumanalyserne i vandprøverne fra nylonmaterialet kasseres. Det må stærkt frarådes at anvende nylonmateriale i forbindelse med kvælstofanalyser. Hvis polyethylen anvendes i forbindelse med kvælstofanalyser, skal det først skylles gennem længere tid.

5.2.8. Vurdering af ekstraktionsmetodens anvendelighed

Vurderingen vil blive foretaget ved at besvare nedennævnte fire spørgsmål:

1. Svarer den jordvæske, der udtages med ekstraktionsudstyret, i kemisk henseende til væsken i jordens porer?
2. Udtages jordvæsken fra de store eller de små porer eller både og?
3. Har de porer, der ekstraheres vand fra, en kvantitativ betydning for vandets bevægelse i jorden, og er det de porer, planterødderne optager vand fra?
4. Hvor stor et jordvolumen udtages vandprøven fra?

ad. 1. Ekstraktionsmetoden bygger på, at der er kapillær forbindelse mellem jordens porer og porerne i keramikkoppen. Ved at suge i koppen skabes en gradient, og vandet bevæger sig gennem koppens porer på samme måde, som bevægelsen sker i jordens porer. Koncentrationen i den isolerede jordvæske må antages at være udtryk for en middelkoncentration, idet der til staidighed vil findes koncentrationsgradienter på grund af planternes ionoptagelse og på grund af forskellig bevægelseshastighed i små og store porer i jorden. Efter at der er opnået ligevægt mellem jordvæsken og keramikkoppen, således at der kan ses bort fra ionadsorption i keramikkoppen porer, antages det, at den isolerede jordvæske er uændret. Betragtningen gælder kun, hvis de kræfter, der anvendes ved ekstraktionen, ikke ændrer systemet i kendelig grad. Da det maksi-

male undertryk, der anvendes ved ekstraktion, imidlertid aldrig overstiger 0,8 atm., skulle det i denne forbindelse være uden betydning. Under planternes vandforbrug dannes der trykgradienter af helt andre dimensioner (op til 15 atm.).

Ovennævnte slutninger er overensstemmende med de resultater, *Dutt* (1962) og *Nielsen* (1970) har anført.

ad. 2. For bevægelse af jordvæske gælder det generelle, at den sker gennem de porer, der byder mindst modstand, uanset om bevægelsen skyldes planternes vandoptagelse eller isolering af jordvæske. Det vil sige, at vandet fortrinsvis stammer fra de største af jordens vandfyldte porer. I planternes rodzone og i den ikke vandmættede zone over grundvandet ligger vandindholdet i sommerhalvåret omkring markkapacitet eller derunder. Ved markkapacitet ligger tensionen i de fleste jorde på 50 til 100 cm vandsøjle, svarende til pF 1,7–2,0. Heraf kan porediameteren beregnes. Da jordens porer ikke er cylindriske rør, indføres ækvivalent porediameter, som er diameteren af en pore med samme kapillærvirkning som jordporen (*Aslyng* 1976). Indsættes værdierne ved 20°C i ligningen for kapillær vandstigning i cylindriske rør fås:

$$d = \frac{3000}{h}$$

hvor h = stighøjde (eller tensionen)
i cm vandsøjle
d = porediameter i μm

De største vandfyldte porer ved markkapacitet har altså en ækvivalent porediameter på 30 til 60 μm . Det største undertryk, der anvendes ved vandekstraktion, er 750 cm vandsøjle. Når tensionen i jorden overstiger dette tryk, kan der ikke mere udsuges vand. Tensionen 750 cm vandsøjle svarer til, at kun porer med en ækvivalent diameter mindre end 4 μm er vandfyldte. Dette betyder, at størstedelen af den isolerede jordvæske i den ikke vandmættede zone stammer fra porer med en ækvivalent diameter på 4 til 60 μm .

I nogle perioder af året med megen overskudsnedbør ligger jordens vandindhold over markkapacitet, i visse perioder kan jorden være vand-

mættet, og forholdene er som i grundvandet. Under disse betingelser vil den største del af den isolerede vandprøve stamme fra de største af jordens porer, svarende til porer større end 30 til 60 μm .

ad. 3. Når jordens vandindhold ligger på markkapacitet eller derunder, foregår vandbevægelsen meget langsom, og nedsivning af kvantitativ betydning er hørt op. Der opstår dog til stadighed trykforskelle, som medfører vandbevægelse, enten på grund af planternes vandoptagelse eller på grund af nedbør. Såvel under denne situation som under nedsivningssituationen i vinterhalvåret er det de største af de vandfyldte porer, der har den største kvantitative betydning for vandbevægelsen, altså de samme porer som hovedparten af en vandprøve stammer fra.

Vedrørende planternes vandoptagelse kan nævnes, at den ekstraherede jordvæske kommer fra alle de porer, hvor rodhår eller rødder kan vokse ind i, idet rodhårslængden f.eks. hos kornartene er 12 til 16 μm , rodhårslængden er ca. 1 mm. Diameteren på de tyndeste rødder er omkring 120 μm (Nielsen 1970).

ad. 4. En eksakt angivelse af, hvor stort et jordvolumen en vandprøve stammer fra under forskellige fugtighedsforhold, kræver en lang kompliceret udredning. I det følgende gives en størrelsesorden for det jordvolumen, der påvirkes, når prøveudtagningen sker ved et vandindhold i jorden svarende til markkapacitet. Det antages, at det jordvolumen, som påvirkes, er kugleformet. Samtidig bemærkes det, at der under markforhold er mange afvigelse herfra. For det første er jorden ikke homogen. For det andet er vandhastigheden større over keramikoppen end under på grund af gravitationspotentialet. Forskellen i hastigheden mod keramikoppen over og under er mindre end 10 procent, hvis det er inden for en radius på 30 cm. For det tredje er keramikoppen ikke kugleformet.

Som eksempel betragtes sandjorden i Jyndevad i 40 cm dybde. Vandindholdet ved markkapacitet er ca. 15 volumen pct. Ca. halvdelen af dette vand findes i porer med en diameter mindre end 4 μm . Disse porer kan ikke tømmes ved det anvendte vakuum på max. 0,75 atm. Vandhastigheden i

disse små porer er mindre end 1 cm pr. uge i nærheden af keramikoppen. (Hastigheden er bestemt ud fra det anvendte vakuum og hydraulisk ledningsevne for ikke vandmættet jord). Hydraulisk ledningsevne for ikke vandmættet jord er beregnet ud fra retentionskurven og hydraulisk ledningsevne for vandmættet jord (Benetzen 1978 c). Metoden er beskrevet af Olesen (1970).

Selv om der efterhånden vil indstille sig en ligevægt mellem små og store porer, regnes der med, at den overvejende del af en vandprøve udtaget inden for en uge stammer fra porer større end 4 μm . Det vil sige, at det kun er ca. 7,5 volumenpct. vand i den betragtede jord som påvirkes. Beregnes, hvor mange liter vand de 7,5 volumenpct. svarer til i et kugleformet jordlegeme, findes let hvor stor andel en vandprøve på 0,5 liter udgør af dette vand. I figur 7 er afsat vandprøvens andel i pct. af jordkuglens vandindhold som funktion af jordkuglens radius. Der er indtegnet kurver for både 7,5 og 15 volumenpct. vand i jorden. – Ved en kugleradius på knap 12 cm svarer vandprøven netop til de 7,5 volumenpct. vand. Disse 7,5 volumen pct. vand befinder sig i porer af forskellig størrelse – 4 til 70 μm i diameter – og dermed med forskellig vandhastighed. Det betyder, at en del af vandprøven vil komme fra større afstand end 12 cm fra keramikoppen. Ved en jordkugleradius på 25 cm udgør vandprøven 10 pct. af 7,5 volumenpct., og ved en kugleradius på 35 cm er vandprøveandelen under 5 pct. af de 7,5 volumenpct. Den del af en vandprøve, som kommer fra større afstand end 25–30 cm fra keramikoppen er under de nævnte forhold ubetydelig. Ved højere vandindhold i jorden end markkapacitet vil vandprøven stamme fra en jordkugle med radius under 25 cm. Vandindhold mindre end markkapacitet betyder, at en jordkugle med radius større end 25 cm påvirkes for at opnå en vandprøve på 500 ml. Vandhastigheden vil imidlertid hurtigt blive så lav, at det ikke er muligt at opnå en vandprøve på 500 ml i løbet af en uge. – I en lerjord vil det påvirkede jordvolumen også omtrent have kugleform med en radius på mindre end 25 cm. Rigtignok er vandindholdet større, men andelen af porer med lav vandhastighed er også større.

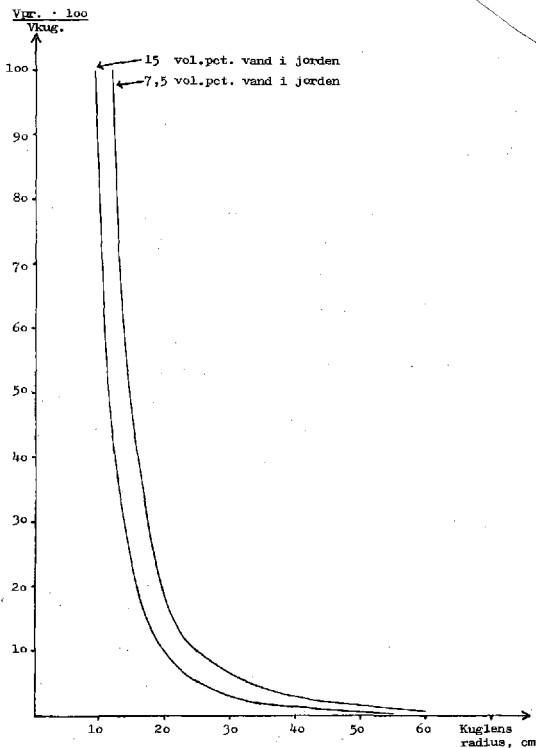


Fig. 7. Forholdet mellem en vandprøve (Vpr.) på 0,5 liter og vandindholdet (Vkug.) i et kugleformet jordlegeme ved varierende kugleradius. Ved henholdsvis 7,5 og 15 vol. pct. vand i jorden.

The relation between a water sample (Vpr.) of 0.5 litre and the water content (Vkug.) in a ball-shaped soil volume by different ball-radius – and by respectively 7.5 and 15 per cent water by volume in the soil.

5.3. Teknik til rod- og stubundersøgelser

I forbindelse med kvælstofbalancen er det af interesse at undersøge, hvor stor en mængde lednedbrydeligt organisk stof i form af rod og stub, der er tilbage på marken efter vækstsæsonens afslutning. Stubmængden bestemmes ved at samle alt materiale på jordoverfladen og de øverste 2 cm af jorden på 6 til 8 prøveflader à $\frac{1}{2}$ m² pr. forsøgslad. Materialet tørres og sigtes, og der bestemmes tørstof, sand og N. – Rodmængden bestemmes ved at udtage jordprøver i naturlig lejring med en rustfri stålcyliner, der er 7 cm i diameter og 70 cm lang, fig. 8. Nederst er cylinderen forstærket med en spids af specialhærdet stål, g. Spidsens indvendige diameter er 6,4 cm. I cylinderen er der

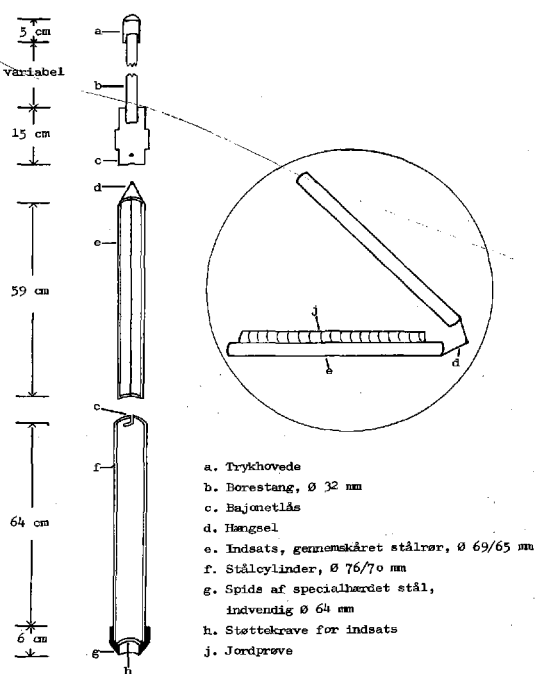


Fig. 8. Cylinder til udtagning af jord- og rodprøver. Sampler for soil and roots.

en indsats af et gennemskåret stålør, e, som er sat sammen med et hængsel i den øverste ende, d. Indsatsens udvendige diameter er 6,9 cm, således at den ligger løst i stålcyliner og støtter på en krave i stålørrets spids, h. Indsatsens indvendige diameter er 6,5 cm, svarende til 1 mm større end stålspidsens indvendige diameter. Det sikrer for det første, at jordprøven ikke presser indsatsen fast i stålcyliner, for det andet at jordprøven ikke tabes, når cyliner trækkes op af jorden, og for det tredje nedsætter det friktionen under prøvetagningen.

Cylinderen trykkes i jorden med en hydraulisk presse, som er monteret på en landbrugstraktor. Efter at cyliner er trukket op af jorden, tages den af trykhovedets bajonetlås, c, og indsatsen med jordprøven tages ud. Indsatsen kan åbnes som et storkenæb, og jordprøven i naturlig lejring ligger fri tilgængelig, fig. 8, j. Prøven deles i stykker af 10 cm længde og dybfryses.

Adskillelse af jord- og rodmasse foregår ved vaskning i specielle vaskekasser. Rødderne spu-

les ud af jordprøven af en sprinkler, der sidder i bunden af vaskekassen. Før vaskningen tilsættes jordprøverne natriumpyrofosfat, og de bliver udsat for en vekslende behandling mellem dybfrysning, optøning, vakuum og normal atmosfære for at adskille jordpartiklerne fra rødderne. Metoden er beskrevet i detaljer af *Schuurman og Goede-waagen* (1971).

6. Konklusion

Det apparatur, der er konstrueret i forbindelse med projektet, har fået en detaljeret gennemgang i denne beretning. Behandlingen af de anvendte metoder er begrænset til den del, der er naturligt knyttet til omtalen af teknikken. Den resterende metodegennemgang bliver først præsenteret i forbindelse med publicering af resultaterne i den efterfølgende beretning.

Vedrørende tensiometrene kan konkluderes, at begge de beskrevne typer har vist sig at fungere tilfredsstillende både på ler- og på sandjord. Type II – flerdybde tensiometeret – har en del fordele frem for type I, når det gælder målenøjagtighed. Hvor der stilles store krav om nøjagtige målinger, må type II derfor anbefales.

Stationen til dataregistrering i afstrømningsundersøgelser er stadig under udvikling. Anlægget i dets nuværende udformning har gjort det muligt at finde sammenhængen mellem nedbørsintensitet og afstrømningsintensitet fra drænsystemer og sammenhængen mellem afstrømningsintensitet og vandets næringsstofkoncentration. Den udvidelse af anlægget med tryktransducertensiometre, som er forberedt, er nødvendig for at forklare disse sammenhænge.

Med udstyret til ekstraktion af jordvæske er det muligt at udtage uændrede prøver af jordvandet under markforhold. Man må selvfølgelig holde sig for øje, at hver keramikkop kun repræsenterer et begrænset jordvolumen. Skal man have eksakte værdier for en mark, er det nødvendigt med flere keramikopper i hver dybde fordelt over marken på grund af jordvariationen. For at registrere forskelle på grund af forskellige behandlinger eller registrere et nedslivningsforløb, er det vigtigt, at der er god dækning med keramikopper i dybden, hvorimod mange kopper i hver dybde let bliver

uoverkommeligt analysemæssigt, og det er heller ikke så påkrævet.

Det konstruerede udstyr er let at betjene, og det er hurtigt at udtage de 90 vandprøver pr. uge, der i projektet er tale om. Den foretagne frostsikring af et anlæg har vist sig at være effektiv, men også ret kostbar. De anvendte kunststoffer kan tåle at fryse, selvom der er vand i rør og slanger. Vandprøverne kan da udtages, blot solen kan optø vandet i slangerne om dagen. Vigtigheden af drift i vinterhalvåret skal understreges, idet den største del af nedslivningen foregår i denne periode.

Der blev anvendt nylonmateriale i de første konstruktioner af ekstraktionsudstyret. Det medførte nogle store vanskeligheder med ammoniumanalyserne på grund af afgivelsen af kvælstofforbindelser for nylonmaterialet. Polyethylen (PE) og polypropylen (PP) viste sig også at kunne afgive kvælstofforbindelser formodentlig i form af tilsætningsstoffer (antioxidanter, blødgørere o.l.). Det lykkedes ikke at identificere nogle af kvælstofforbindelserne. Det skal frarådes, at der anvendes nylonmateriale i forbindelse med kvælstofanalyser. Ved anvendelse af PE og PP er det vigtigt, at der før brug foretages en grundig gennemskylning med vand.

Der skal fremsættes en generel opfordring til, at der igangsættes undersøgelser af, hvilke stoffer der kan afgives fra ovennævnte meget anvendte kunststoffer.

Den beskrevne cylinder til udtagning af jordprøver til rodundersøgelser har vist sig at være hurtig og let at arbejde med. Cylinderen kan udmærket anvendes tre gange i samme hul. Herved opnås en prøve i naturlig lejring fra 0 til ca. 165 cm dybde.

7. Litteratur

- Andersen, K.S.*, 1977. Personlig meddelelse. Kemisk Institut, Århus Universitet
- Aslyng, H.C.*, 1976. Klima, jord og planter. DSR forlag, KVL pp 368
- Bennetzen, F.*, 1978a. Vandbalance og kvælstofbalance ved optimal planteproduktion. I. Introduktion om planteneringsstoffer og vandforurening med beskrivelse af forsøgsarealerne. Tidsskr. f. Planteavl
- Bennetzen, F.*, 1978c. Vandbalance og kvælstofbalance ved optimal planteproduktion. III. Modeller og resultater. Tidsskr. f. Planteavl, 82, 191–220.

- Czeratzki, W.*, 1971. Saugvorrichtung für kapillar gebundenes Bodenwasser. *Landbauforschungen Völkenrode* 21, 13–14
- Duke, H.R. og Haise, H.R.*, 1973. Vacuum extractors to assess deep percolation losses and chemical constituents of soil water. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 37, 963–964
- Dutt, G.R.*, 1962. Prediction of the concentration of solutes in soil solutions for soil systems containing gypsum and exchangeable Ca and Mg. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 26, 341–343
- El Bassam, N.*, 1972a. Aussagewert der chemischen Zusammensetzung einer durch Saugvorrichtung gewonnenen Bodenlösung. *Landbauforschung Völkenrode*, 22, 37–40
- El Bassam, N.*, 1972b. Mobile Einrichtungen zur Entnahme von Wasserproben aus dem Boden. *Landbauforschung Völkenrode*, 22, 159–161
- Gibbs, F. og Turner, F.*, 1963. A multi-cell field tensiometer. Military engineering experimental establishment. England. Test report no. 835 (upubliceret)
- Grover, B.L. og Lamborg, R.E.*, 1970. Preparation of porous ceramic cups to be used for extraction of soil water having low solute concentrations. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34, 706–708
- Haahr, V.*, 1963. Radioaktive isotopers anvendelse til jordbundsfysiske målinger. Anvendelse af neutronspredning til måling af jordens vandindhold. *Grundföbättring* 16, 295–315
- Hansen, L. og Pedersen, E.F.*, 1975. Drænvandsundersøgelser 1971–74. *Tidsskr. f. Planteavl*, 79, 670–688
- Højendahl, K.*, 1970. Tensiometeret – et redskab til løbende bestemmelse af jordens fugtighed under vegetation. *Horticultura*, 24, 16–20
- Linner, H.*, 1972. Utrustning för uttagning av markvätska i fält. *Grundföbättring*, 25, 49–51
- MacLeod, L.B.*, 1964. A method for extracting soil solution from an active soil-plant system. *Can. J. Soil Sci.*, 44, 367–370
- Myhr, E.*, 1971. Et nyt tensiometer. *Markvann. Nordisk symposium om markvann, Hurdal* s. 76–81
- Nielsen, N.E.*, 1970. Studier af en transportkinetik til beskrivelse af planters optagelse af næringsstoffer fra jord. *Licentiaafhandling KVL 1970*, pp 240
- Olesen, S.E.*, 1970. Evaporation og vandtransport i relation til jordens overfladestruktur og vandindhold. *Licentiaafhandling KVL 1970*, pp 75
- Richards, L.H.*, 1942. Soil moisture tensiometer – materials and construction. *Soil Science* 55, 241–248
- Schuurman, J.J. og Goedewaagen, M.A.J.*, 1971. Methods for the examination of root systems and roots. *Wageningen 1971* pp. 86
- Van Bavel, C.H.M., Stirk, G.B. og Brust, K.I.*, 1968. Hydraulic properties of a clay loam soil and the field measurement of water uptake by roots. I. Interpretation of water content and pressure profiles. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32, 310–316
- Wagner, H.G.*, 1962. Use of porous ceramic cups to sample soil water within the profile. *Soil Sci.* 94, 379–386

Manuskript modtaget den 25. november 1977.