

# Förstudierapport

TIF083C - Avancerad Elektrisk Mätteknik.  
Våren 2022

Laborationsnamn: Snabba förlopp

Uppgiftsnummer: 1

Antal sidor (totalt): 8

Antal ord (totalt): 1281

Studentnamn: Jonatan Haraldsson

KursID: Y15. Email: jonhara@student.chalmers.se

Studentnamn: Tim Pagrell

KursID: Z16. Email: pagrell@student.chalmers.se

Information: Har förstuderat samtliga uppgifter.

Förstudieinlämning: 2022-05-09

Teoripresentation: 2022-05-16

# Time-domain reflectometry som metod för mätning av fukthalt i odlingsjord

TIF083, Experimentell fysik, del C

Jonatan Haraldsson (jonhara)   Tim Pagrell (pagrell)

Chalmers tekniska högskola, Teknisk fysik

## Sammandrag

I denna förstudierapport förklaras teorin bakom hur Time-domain reflectometry (TDR) kan användas vid mätning av fukthalt i odlingsjord, men också hur fukthalten kan mätas med alternativa metoder. Det beskrivs hur mätproberna inom TDR är utformade för att fukthalten ska kunna mätas. Med utgångspunkt i tidigare forskning behandlar förstudien även några av både TDR:s och de alternativa metodernas för- och nackdelar. Vidare redogörs för en möjlig försöksupställning och tillvägagångssätt för att experimentellt mäta fukthalt med TDR. Under experimentet används en trebent mätprob, vilken kopplats till ett instrument för TDR-mätning.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>TDR i jordbruket</b>	<b>1</b>
2.1	Grunderna bakom TDR . . . . .	1
2.2	Att mäta fukthalt i odlingsjord med TDR . . . . .	1
2.3	Probens design . . . . .	2
2.4	För- och nackdelar med TDR-metoden för fuktmätning . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Alternativa sätt att mäta fuktigheten i jorden</b>	<b>3</b>
3.1	Termogravimetrisk analys . . . . .	3
3.2	Elektromagnetiska sensorer . . . . .	3
<b>4</b>	<b>Genomförande av fuktmätning</b>	<b>4</b>
4.1	Uppställning . . . . .	4
4.2	Utförande . . . . .	5

# 1 Inledning

Time-domain reflectometry, TDR, är en mätteknik för att karaktärisera egenskaper hos elektriska ledare eller material i en omgivning kring ledaren. En vanlig applikation för TDR-tekniken är att lokalisera kabelbrott eller andra defekter i svåråtkomliga kablar. Detta eftersom tekniken endast kräver en öppen kabelände för att mätningar ska kunna genomföras. En annan tillämpning av TDR-tekniken är att mäta fuktnivåer i jord, vilket är en viktig parameter vid odling av åkermark. Sedan 1980 då TDR för fuktmätning först tillämpades har metoden blivit alltmer populär [1].

I denna teoriuppgift förklaras hur TDR-tekniken används i fuktmätare, hur mätproberna fungerar samt vilka svårigheter, för- och nackdelar som finns med TDR. Även alternativa metoder för att studera vattenhalten i odlingsjord presenteras och fördelar samt nackdelar med dessa beskrivs.

## 2 TDR i jordbruket

I följande avsnitt förklaras teorin bakom TDR-metoden, hur den kan användas inom jordbruket för att mäta fukthalt, mätprobens design samt för- och nackdelar med metoden. Exempel på jordbruk som använder sig av TDR-teknik är *Fall Creek Farm & Nursery* i Paarl, Sydafrika [2] och *The Grand Farm* i Fargo, USA [3].

### 2.1 Grunderna bakom TDR

När en elektrisk signal skickas genom en ledare har den en utbredningshastighet  $v = (\epsilon\mu)^{-1/2}$ , vilken beror på ledarmaterialets permittivitet  $\epsilon$  och permeabilitet  $\mu$ . Att signalen först når ledarens ände vid tiden  $t = v/\ell$ , där  $\ell$  är ledarens längd, gör att exempelvis spänningsdelning inte kan tillämpas [4]. Då signalen i ledaren träffar ett medium med skild impedans kommer signalen i stället delvis transmittas och delvis reflekteras. Hur mycket av signalen som transmittas respektive reflekteras beskrivs av  $\rho = (Z_L - Z_0)/(Z_L + Z_0)$ , där  $Z_L$  är impedansen i det nya mediet,  $Z_0$  ledningens karakteristiska impedans, och  $\rho$  reflexionskoefficienten [4]. Inom TDR-tekniken studeras tiden mellan en sänd signal och dess reflexion samt den reflekterade signalens tecken och amplitud i förhållande till den sända signalen [1]. Från dessa parametrar ges information om materialen i eller kring ledaren.

### 2.2 Att mäta fukthalt i odlingsjord med TDR

Att skicka en elektrisk puls i en ledare för att utforska materialegenskaper används vanligen för att identifiera diskontinuiteter i kablar. Signalen kan dock också transmittas genom en prob med oskyddade elektroder, se figur 1, för att undersöka materialegenskaper hos den omgivande materialen. Ett användningsområde för detta är inom jordbruket där det är önskvärt att mäta egenskaper såsom vattenhalt i odlingsjorden. Probens elektroders ändrar agerar i sammanhanget speglar och låts reflektera signalen tillbaka till mätinstrumentet som jämför tiden mellan skickad och mottagen signal. Utifrån tiden  $t$  och probens längd  $L$  kan propagationshastigheten i elektroden bestämmas enligt  $v = 2L/t$ , och utifrån detta även jordblandningens permittivitet:

$$\varepsilon_b = (c/v)^2 = (ct/2L)^2, \quad (1)$$

där  $c$  är ljusets hastighet. Eftersom vatten och jord-mineraler har avsevärt olika dielektriska konstanter,  $\varepsilon_v = 81$  och  $\varepsilon_j = 3-5$ , bär jordblandningens permittivitet information om just vattenhalt. Vidare kan jordens vatteninnehåll  $\theta$  beräknas enligt

$$\theta = (\sqrt{\varepsilon_b} - (2 - n))/8, \quad (2)$$

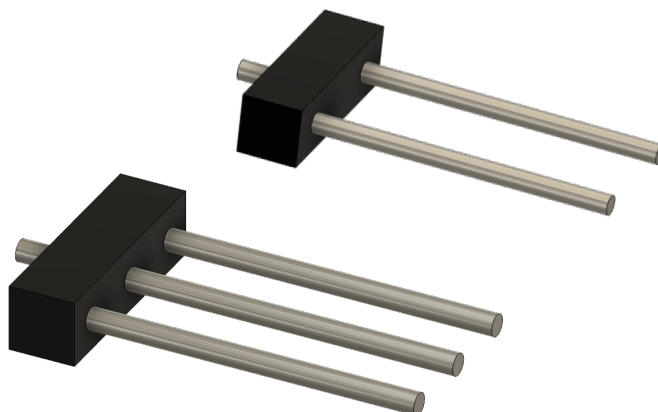
där  $n$  är markens porositet. Om  $n$  är okänd kan  $\theta$  istället bestämmas från

$$\theta = -5,3 \times 10^{-2} + 2,92 \times 10^{-2} \varepsilon_b - 5,5 \times 10^{-4} \varepsilon_b^2 + 4,3 \times 10^{-6} \varepsilon_b^3, \quad (3)$$

vilket är en anpassad formel från tidigare forskning som fungerar då  $\theta < 0,5$ . [1]

### 2.3 Probens design

Enligt [1] har probens design betydelse för den insamlade datan, där det främst är antalet ben som påverkar resultatet. Den enklaste proben har två elektroder och har fördelen att den har minimal påverkan på jorden, men som avvägning kan producera en obalanserad signal. Problemet med signalbalans kan dock åtgärdas med en balun (anpassningsenhet) vilken reducerar informationsförlusten i proben. Prober kan också ha tre eller fler elektroder, vilka medför större markstörningar men undviker den extra anpassningsenheten då signalen blir mer balanserad med fler ben. Se figur 1 för illustrationer av en två- och en trebent prob. Enligt [5] är även elektrodernas längd en viktig parameter; för långa ben är svåra att hantera och kan lida av signalförlust, och för korta ben kan begränsa mätningens noggrannhet. I journalen rekommenderas elektrodslängder större än 15 cm.



Figur 1: I figuren visas två modeller av mätprober, där enda skillnaden är antalet elektroder. På probens ovansida finns en BNC-kontakt, vilken kan kopplas till en pulsgenerator och ett oscilloskop.

Det finns även exempel på mer invecklade prober som används för att mäta fukthalt i odlingsjord. Ett exempel på detta är en dolk-liknande prob som presenteras i [6], som designades med snabba, enkla mätningar och hållfasthet i åtanke.

## 2.4 För- och nackdelar med TDR-metoden för fuktmätning

I jämförelse med andra metoder är TDR enligt [1] en mätmetod med hög noggrannhet och som dessutom är säker för användaren. Det hävdas i [7] att TDR-instrumentet i regel ej behöver omkalibreras för olika jordtyper och att mättiden är kort, vilket gör att mätningar kan tas ofta. Utöver fuktnivån gör TDR-metoden det möjligt att samtidigt mäta andra storheter som konduktivitet. TDR kan dock ge osäkra resultat om jorden är stenig eller om salthalten är för hög. Vidare är handhållna TDR-instrument inte optimala för daglig användning, vilket är ett problem som bland annat [6] försökt lösa med deras probdesign. I [7] framförs också att signalen från en TDR-proben inte bör transporteras långa sträckor i kablar, då detta kan göra att signalen blir svårare att tolka. En maximal sträcka mellan mätprob och TDR-instrumentet på 20-30 m med en RG-8 koaxialkabel rekommenderas. Slutligen framgår det av [8] att TDR-metodens användning inom jordbruket begränsas av dyra sensorer samt att metoden kräver en avancerad signalanalysator.

## 3 Alternativa sätt att mäta fuktigheten i jorden

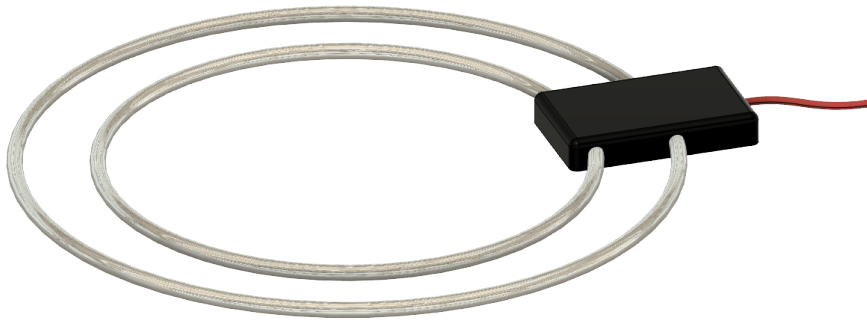
I avsnittet presenteras ytterligare metoder för mätning av fukthalt i odlingsjord samt några av dess för- och nackdelar.

### 3.1 Termogravimetrisk analys

Det hävdas i [5] att en alternativ och dessutom vanligt förekommande metod för att mäta fuktigheten i odlingsjord är termogravimetrisk analys (TGA). För metoden krävs att ett stycke odlingsjord med känd massa värms upp till 105 °C och genom att analysera hur odlingsjordens massa ändrats efter uppvärmning erhålles information om jordens vatteninnehåll med relativt hög noggrannhet. Nackdelar med TGA är exempelvis att samma jord endast kan mätas en gång samt att jord som genomgått en mätning ej åter kan brukas. Enligt [9] är metoden även tidskrävande, då jorden kan behöva torkas i ugnen under en hel dag. På grund av metodens höga noggrannhet används dock termogravimetrisk analys för kalibrering av andra mätinstrument [5].

### 3.2 Elektromagnetiska sensorer

En annan metod för att studera vattenmängden i marken som liknar TDR-mätningar till utförandet är användningen av en elektromagnetisk sensor, se figur 2. Mätningen utgörs av elektromagnetiska vågor mellan de två cirkulära elektroder, och amplituden på den elektriska signal som sensorn producerar beror på jordens fuktighet. Den elektromagnetiska sensorn begravs i jorden på valfritt djup, men för att göra detta behöver man gräva ett hål där sensorn ska ligga. Detta leder till att man stör jorden som ska undersökas, och således kan det dröja flera månader innan jorden återgår till naturliga förhållanden och representativa mätningar kan genomföras. [5]



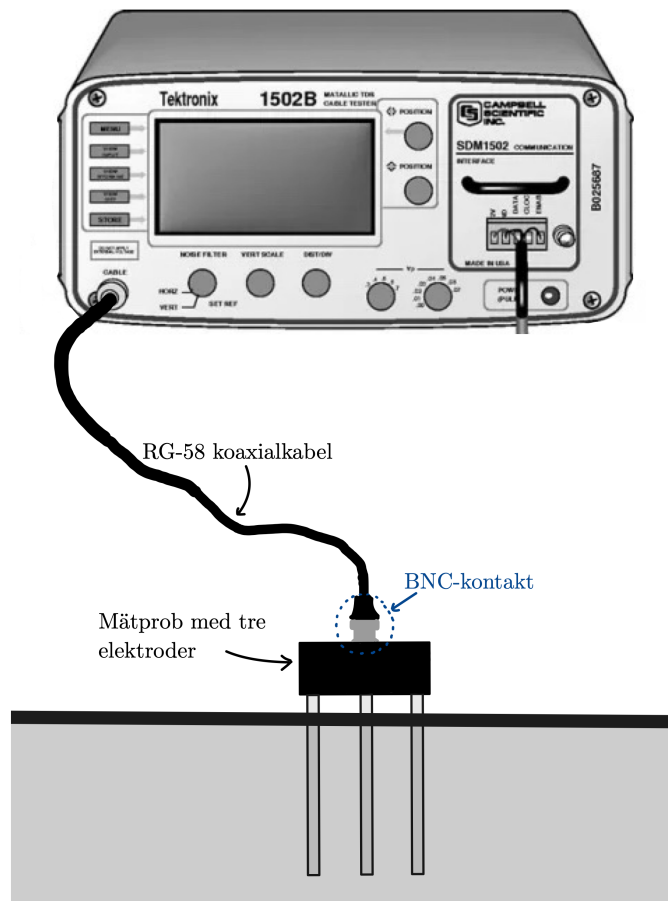
Figur 2: I figuren visas en modell av den elektromagnetiska sensorn Virrib<sup>®</sup>. Instrumentet utgörs av två cirkulära elektroder.

## 4 Genomförande av fuktmätning

I följande avsnitt föreslås en möjlig försöksuppställning och tillvägagångssätt för att mäta fukthalten i odlingsjord med TDR.

### 4.1 Uppställning

Vid ett teoretiskt genomförande av en fuktmätning med TDR skulle uppställningen som visas i figur 3 kunna användas. Mätproben i uppställningen har tre elektroder där varje elektrod har längden 20 cm, vilken vid mätning, enligt teorin presenterad i avsnitt 2.3, bör ge en balanserad signal med tillräcklig noggrannhet. Proben kopplas via en RG-58 koaxialkabel in i en *Tektronix 1502B* TDR kabeltestare och är helt nedtryckt i odlingsjorden. Odlingsjorden, för vilken fukthalten ska mätas, har även känd porositet  $n$ .



Figur 3: Figuren visar en schematisk bild över försöksuppställningen. Mätproben har sänkts ner i odlingsjorden och till den har TDR-instrumentet *Tektronix 1502B* kopplats med en BNC-kabel med känd längd av typen RG-58 ( $Z_0 = 50 \Omega$ ).

## 4.2 Utförande

Med försöksuppställningen som presenteras i föregående avsnitt färdig påbörjas en TDR-mätning och tiden mellan skickad och mottagen reflekterad signal antecknas. Från TDR-instrumentet skickas en puls och instrumentet visualiserar sedan signalen som funktion av tiden, vilket gör att en tidsskillnad mellan inträde och utgång från proben kan avläsas. Denna tidsskillnad används för att beräkna jordblandningens permittivitet enligt ekvation 1, och därefter beräknas vattenhalten med ekvation 2.



## Referenser

- [1] Jones, S.B., Wraith, J.M., Or, D., *Hydrological Processes*, vol **16**, nr 1, januari 2002, pp 141-53. doi 10.1002/hyp.513.
- [2] "Helping Fall Creek Farm & Nursery, South Africa", Van Walt, 2022-01-24. [Online]. Tillgänglig: <https://www.vanwalt.com/projects/helping-fall-creek-farm-nursery/>. [Hämtad: 2022-05-09].
- [3] S. Wieland, "Earthscout soil study at Grand Farm in Fargo, ND," EarthScout, 2021-07-21. [Online]. Tillgänglig: <https://www.earthscout.com/2021/07/09/earthscout-soil-study-at-grand-farm-in-fargo-nd/>. [Hämtad: 2022-05-09].
- [4] Bengtsson, L., "Föreläsning snabba förlopp", *Chalmers*, 15, okt, 2021 [video]. Tillgänglig via studentplattform.
- [5] Walker, J.P., Willgoose, J.D. and Kalma, J.D., *Journal of Hydrology*, **293**, 2004, s 85-89. doi 10.1016/j.jhydrol.2004.01.008
- [6] Majcher et al., "Application of a dagger probe for soil dielectric permittivity measurement by TDR", *Measurement*, vol. 178, 2021. doi 10.1016/j.measurement.2021.109368.
- [7] Wraith, J. M., Robinson, D.A., Jones, S.B. and Long, D.S., *Computers and electronics in Agriculture*, vol **46**, nr 1-3, mars 2005, s 239-61. doi 10.1016/j.compag.2004.11.009
- [8] Hardie, M., "Review of Novel and Emerging Proximal Soil Moisture Sensors for Use in Agriculture", *Sensors*, vol **20**, nr 23. doi 10.3390/s20236934.
- [9] Tanriverd, C., "Using TDR in the Agricultural Water Management", *KSU. Journal of Science and Engineering*, vol **8**, januari 2005, s 108-115.