

Om Forholdet mellem Drainledningers indbyrdes Afstand og deres Dybde. Delacroix's Forsøg og Theori.

Af Kand. polyt. D. Hannemann,
Sekretær i det kgl. Landhusholdningssekskab.

Naar der falder Regn paa en tør Jordbund, saa vil Jorden suges Vandet i sig, til den har optaget saa meget, som dens Partiklers Adhæsion til Vandet tilstede. Ler har større Adhæsion til Vandet end Sand og vil derfor kunne optage mere Vand, inden det er mættet. Naar Regnen vedbliver, efterat Jordbunden saaledes er mættet, saa vil der vedblive at synke mere Vand ned i Jorden, men dette Overskud af Vand holdes ikke længere fast af Jorden, men vil løbe fra, saasnart det faaer Lejlighed dertil, f. Ex. ved en i Jorden nedlagt Drainledning. Det Overskud af Vand i en overmættet Jord, som saaledes kan løbe fra, kan man kalde det frie Grundvand, i Modsatning til det bundne Vand, som holdes fast af Jordbunden. Graver man Huller i en med Vand overmættet Jordbund, saa vil det frie Vand stille sig til en vis Højde i Hullerne, og man kan saaledes finde Højden af det underjordiske Vandspejl. Der vil kun løbe Vand i en Drainledning, naar denne ligger dybere end det underjordiske Vandspejl.

Hvis Jordbunden ikke frembød Modstand mod Vandets Bevægelse, saa vilde Grundvandspejlet stille sig vandret, og

efterhaanden som Drainledningen bortførte det tilstedeværende Grundvand, vilde Grundvandspejlet synke, men vedblive at danne et vandret Plan. Paa Grund af Jordbundens Modstand mod Vandets Bevægelse vil Forholdet imidlertid blive anderledes; Grundvandspejlet vil synke stærkest lige over Drainledningen og saaledes stille sig skraat, og, alle øvrige Forhold lige, vil Grundvandspejlet stille sig desto mere skraat, jo større Modstand Jordbunden frembyder mod Vandets Bevægelse, altsaa mere skraat i Leerbund end i Sandbund. De ældste bekjendte Forsøg, som konstaterer dette Faktum, ere anstillede af Engländeren Clutterbuck og beskrevne i Journal of the Royal agricultural society of England, vol. VI 1845. Han anbragte en Række Borehuller imellem to parallelle Drainledninger og maalte Højden af Vandspejlet i disse Huller umiddelbart efter stærkt Regn og 1, 2, 3 Døgn osv. efter Regnen, hvorved han fandt at Grundvandspejlet dannede en krum opadbuet Flade, som efterhaanden, som Grundvandet løb af, sank mere og mere og blev fladere og

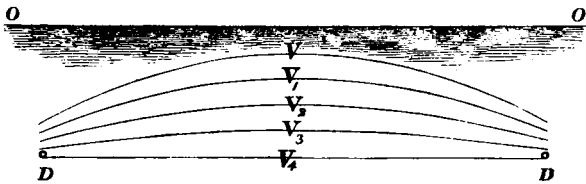


Fig. 1.

fladere; sml. Fig. 1, hvor OO betegner Jordoverfladen, DD de to Drainledninger, og V, V₁ V₂ V₃ V₄ forskjellige Stillinger af Grundvandspejlet.

Den gængse Forestilling, som man danner sig om Grundvandspejlets Form mellem to parallelle Drainledninger, er imidlertid en anden, nemlig at det danner to Skraaplaner, der udgaaende fra Ledningerne støde sammen paa deres højeste Sted midt imellem disse (se Fig. 2); saaledes er ogsaa Fremstillingen i Vincents fortrinlige Vejledning i Draining. I denne Fore-

stilling der er to Fejl, idet 1) det er overseet, at Vandspejlet ogsaa lige over Drainledningerne maa staa over dem for at Vandet kan trænge ind i dem, og 2) de anstillede Observationer vise, at Grundvandspejlet mellem to parallelle Drainledninger stiller sig ikke som to Straaplaner, men som en krum opadbuget (cylindrisk) Flade. Smidlertid fremgaaer dog selv af denne

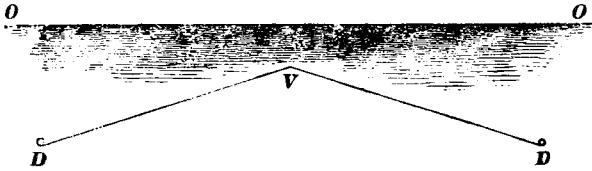


Fig. 2.

mindre korrekte Forestilling, at naar Grundvandspejlets højeste Punkt i alle forskjellige Tilfælde ikke maa nærme sig Jordoverfladen mere end en vis given Minimumsaffstand, saa vil man 1) for samme Slags Jord kunne forøge Ledningernes indbyrdes Afstand, naar man forøger Ledningernes Dybde under Jordoverfladen; 2) for forskjellig Slags Jord kunne med ens Dybde give Ledningerne størst Afstand i den lettest gennemtrængelige Jord, som kræver mindst Hældning af Vandspejlet, og med ens Afstand kunne give Ledningerne ringest Dybde i den lettest gennemtrængelige Jord. Vincent angiver, at medens Grundvandspejlet paa den vaade Aarstid gennemsnitlig ikke maa komme Jordoverfladen nærmere end omtr. 2 Fod, saa kan det i overordentlige Tilfælde, navnlig ved Tøbrud, uden Skade naa Jordoverfladen midt imellem Drainledningerne, og fastsætter derefter følgende Regel: For hver Fod Dybde gives Ledningerne i stærk Lerbund 12 Fod indbyrdes Afstand, i lettere Jordbund indtil 24 Fod indbyrdes Afstand; i den allerstærkeste Jordbund lægges Ledningerne lidt tættere.

Den i Drainingsfaget meget ansete belgiske Ingeniør Leclerc gaaer ud fra følgende Erfaringsaffstande mellem Ledningerne for 3,8 Fod Dybde:

| Jordbundens Bæffaffenbed. | Ledningernes indb. Affftanbe. |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Kent grovt Sand | 51 indtil 57 Fob |
| Jernholdigt grovt Sand | 41 — 48 — |
| Veret Sand | 38 — 45 — |
| Sandigt Ler | 35 — 45 — |
| Tørvejorb | 35 — 45 — |
| Mulbet fint Sand. | 32 — 38 — |
| Dyndjorb | 29 — 38 — |
| Almindeligt Ler | 29 — 35 — |
| Kalkjorb | 25 — 35 — |
| Stærkt Ler | 25 — 29 — |
| Formbart Ler (Pottemagerler). | 19 — 22 — |

Det maa her bemærkes, at en faadan Tabel, selv om den er rigtig, dog ikke uden videre kan overføres paa andre Lande. For felvsamme Slags Jorb maa Affftanben gøres beffto mindre, jo fførre Regnmængben og jo mindre Jorbampningen er, og jo mere Regnmængben er ophobet paa enkelte Eiber af Varet.

Forat beffemme Ledningernes indbyrbes Affftanbe for andre Dybber end 3,8 Fob, angiver Veclerc følgende Regel: Det Tal, fom angiver, hvormeget Ledningen ffal være dybere eller mindre dyb end 3,8 Fob, divideres med Grundvandspejlets relative Fald, og det dobbelte af Kvotienten henholdsvis lægges til eller trækkes fra den vedkommende Affftanb i Tabellen. ffulbe f. Ex. Ledningernes indbyrbes Affftanb være 32 Fob for 3,8 Fob Dybbe, og heiber Grundvandspejlet 9 Procent, faa vil man for 4,8 Fob Dybbe faa en Affftanb lig

$$32 + 2 \cdot \frac{4,8 - 3,8}{0,09} = 32 + 22 = 54 \text{ Fob. For Grundvands-}$$

spejlets relative Fald i forffjellig Jorbubnb angiver Veclerc følgende Tal, uden dog at oplyfe, hvorebees han er kommen til dem: i Kribtbubnb $\frac{1}{3}$ indtil $1\frac{1}{2}$ Procent; i let Mulbjorb $2\frac{1}{2}$ til 3 Procent; i gult ffjort Ler 8 Procent; i gult stærkt Ler 9 Pro-

cent; i blaat fejgt Ler 14 til 15 Procent. (Traité de drainage, 3^{me} édition, page 72.)

Den franste Ingeniør Delacroix har den Fortjeneste at have anstillet flere Rækker Observationer i drainet Jord af forskjellig Art for at finde Grundvandspejlets Stilling paa forskjellige Aarstider og dets Sammenhæng med Regnmængden, og saaledes komme til Erkjendelse om den fysiske Virkning af nogle af ham udførte Drainingsarbejder; og han har søgt af sine Sagtagelser at ulede en Theori for Sammenhængen mellem parallelle Drainledningers indbørdes Afstand og deres Dybde. Resultaterne af hans Arbejde ere nedlagte i et interessant lille Skrift, betitlet: *Faits de drainage* (Paris 1859, 84 Sider). Jeg skal tillade mig at meddele et Udtog af dette, om end langtfra udtømmende, saa dog værdifulde Arbejde, og derefter undertaste Observationerne og Theorien en sammenlignende Analyse. Det vil herved ikke kunne undgaaes at anføre en Mængde Talstørrelser, for hvilke jeg udbeder mig de ærede Læseres Taalmodighed.

Delacroix har forestaaet Drainingsarbejderne paa den kejserlige Domaine Lamotte Beuvron, som ligger midt i det for sin Ufrugtbarhed sørgelig bekendte Landskab Sologne, syd for Staden Orleans. Egnens geognostiske Hovedkarakter er følgende: Det øverste Lag af omtr. $\frac{3}{4}$ Fod Tykkelse bestaaer af løst, muldblandet Sand, derunder mere eller mindre tykke Lag af leret Sand, og underst fejgt Ler, som paa Steder kommer meget nær til Jordoverfladen. Af Vandløb gjenennem dette Landskab mærkes Beuvron, som løber mod Vest og falder ud i Loirefloden lidt Syd for Staden Blois. Engvandsanlæg have været forsøgte i stor Maalestok af den tidligere Ejer, Vicomte d'Hervilly, i Aarene 1847—49, med en Bekostning af over 10,000 Rd., men mislykkedes totalt paa Grund af den kolde og sure Undergrund. Paa de samme Jorder er Draining senere med god Virkning kommen i Anvendelse.

Maaden, hvorpaa Delacroix anstillede sine Undersøgelser over Drainingsens Virkning paa Grundvandspejlet, er følgende. I en

Linie, vinkelret mod de Drainledninger, hvis Virkning skulde undersøges, borede han Huller lodret i Jorden, lidt dybere end Drainledningerne, og anbragte deri 2 Tommer vide Blikrør, der vare lukkede i den nederste Ende og gjennemborede med Smaahuller i Siden. Mellem to parallelle Drainledninger anbragtes saaledes 5 Rør med deres øverste Ende nøjagtig i samme Niveau, og saaledes stillede, at det midterste Borehul kom nøjagtig midt imellem Ledningerne, to Borehuller temmelig nær ved Ledningerne, og endelig to andre Borehuller midt imellem de tre nævnte, saaledes som hosstaaende Fig. 3 viser. Hver af de to

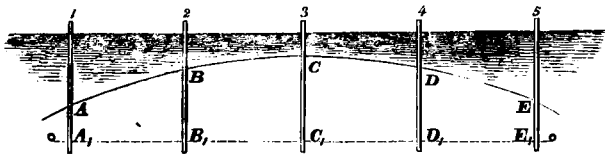


Fig. 3.

Drainledningers Dybde under Blikrørens Overende blev nøjagtig maalt, og Grundvandspejlets Stilling til forskjellige Tider arfarede ved at maale dets Afstand fra Rørens øverste Ende med en lille Stok. I Mellemtiden mellem Maalingerne vare Blikrørene dækkede med smaa Laag.

I de nedenfor angivne Tabeller ere Borehullerne numererede med 1 til 5 ligesom paa hosstaaende Figur, saaledes at Hullet Nr. 3 er det midterste. Ved Vandhøjden i Borehullerne forstaaes Størrelserne AA_1 , BB_1 , CC_1 , DD_1 , EE_1 , der regnes fra Drainledningernes Niveau. Vandhøjden lige over Ledningerne angives tilnærmelsesvis ved Højderne AA_1 og EE_1 . Ved Grundvandspejlets Totalfald forstaaes Forskjellen mellem Vandhøjden midt imellem Ledningerne og Vandhøjden lige over Ledningerne, altsaa $CC_1 - AA_1$ eller $CC_1 - EE_1$. Ved Grundvandspejlets relative Fald eller Fald pr. Længdeenhed forstaaes Totalfaldet divideret med det Halve af Ledningernes indbyrdes Afstand; dette Begreb bortseer aldeles fra Grundvandspejlets buede Form og for-

udsætter, at Grundvandspejlet mellem to Drainledninger bestaaer af 2 Skraaplaner (CA og CE).

Foruden Grundvandspejlets Stilling paa forskellige Tider maalte Delacroix endvidere den fra Drainledningerne udløbende Vandmængde ved Hjælp af en Beholder af bestemt Størrelse, der stillede under Udløbet, og hvori han lod Vandet løbe ud i 1 Minut ved hver Observation, som foretoges een Gang hvert Døgn, idet han tillige til Sammenligning maalte den faldne Regnmængde ved Hjælp af en almindelig lille Regnmaaler, omtrent $\frac{1}{3}$ Fod i Kvadrat.

Den hele Række nævnte Iagttagelser anstilledes paa 5 forskellige Steder, af hvilke det ene (Bourg de Lamotte Beuvron) her udelades, fordi Jordbunden over Ledningerne bestod af Lag af forskjellig Bestaffenhed og altsaa var usikkert til fundamentale Forsøg, og fordi Grundvandspejlet der kun iagttoges i Forhold til en enkelt isoleret Drainledning. Der er nemlig Grund til at antage, at i Forhold til en enkelt Ledning vil Grundvandspejlets Form nærme sig et Skraaplan, medens Formen bliver anderledes mellem to Ledninger, hvor hver Vandpartikel har Lejlighed til Aflob til 2 Sider, og hvor den kombinerede Virkning giver Grundvandspejlet en krum Skikkelse, der, som senere hen vil blive viist, meget nærmer sig til at danne en Cylindersflade med cirkelformet Tværsnit.

1. Terre des Rez. Jordbunden er leret Sand. Drainledningernes indbyrdes Afstand var her 25 Metre (henved 80 Fod), deres Dybde omtrent 3 Fod under Jordoverfladen. Terrænet modtager ikke andet Vand end det derpaa faldende Regnvand. De 5 Boringer vare stillede i en indbyrdes Afstand af 6 Metre fra hinanden, saaledes at de to, som vare nærmest ved Drainledningerne (Nr. 1 og Nr. 5), vare $\frac{1}{2}$ Meter fra disse. I de nedenfor anførte Tabeller over Vandhøjderne i Borehullerne ere de franste Maal bibeholdte, fordi Observationerne ikke lade sig overføre til danske Maal uden at indføre en anden, større eller mindre, Grad af Nøjagtighed i Udtrykkene, end den originale. I Forbigaaende bemærkes, at 0,10

Metre ere lig 0,32 danske Fod. Efter Delacroix's Jagttagelser vare Stillingerne af Grundvandspejlet i Vinteren 1857—58, udtrykte i Metre, saaledes:

Tab. I. Maanedlige Middelhøjder af Grundvandspejlet:

| | Borehul Nr. 1. | Nr. 2. | Nr. 3. | Nr. 4. | Nr. 5. |
|-----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|
| December 1857 . | 0,20 | 0,30 | 0,32 | 0,32 | 0,17 |
| Januar 1858 . . | 0,05 | 0,11 | 0,11 | 0,09 | 0,05 |
| Februar — . . | 0,13 | 0,16 | 0,19 | 0,16 | 0,10 |
| Marts — . . | 0,18 | 0,30 | 0,32 | 0,28 | 0,16 |

I Maanederne April og Maj 1858 befandt Grundvandspejlet sig stadig under Drainledningernes Niveau. Vandspejlhøjderne ere regnede fra den ved Borehullet Nr. 1 liggende Ledning; den anden Ledning, ved Nr. 5, laa 0,09 Meter højere, saa at man altsaa maa trække 0,09 fra Højderne for Nr. 5 for at faa den omtrentlige Vandhøjde lige over den ved Nr. 5 liggende Ledning.

Den observerede Afløbsmængde af Vand fra Kørene var størst i Marts, derefter kommer December, saa Februar, saa Januar. Midt imellem Ledningerne var Vandhøjden ligeledes størst i Marts, mindst i Januar, og Vandspejlets Totalfald viste sig ligeledes størst i Marts (0,14 til 0,16 Meter), mindst i Januar (0,06 Meter). Den højeste Stilling af Vandspejlet i de nævnte Maaneder var saaledes:

Tab. II. Maxima for Højderne af Grundvandspejlet.

| | Borehul Nr. 1. | Nr. 2. | Nr. 3. | Nr. 4. | Nr. 5. |
|-----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|
| December 1857 . | 0,27 | 0,52 | 0,52 | 0,45 | 0,27 |
| Januar 1858 . . | 0,20 | 0,36 | 0,38 | 0,32 | 0,22 |
| Februar — . . | 0,22 | 0,38 | 0,41 | 0,38 | 0,28 |
| Marts — . . | 0,30 | 0,62 | 0,63 | 0,54 | 0,30 |

Paa de Dage, da Grundvandspejlet stod højest, viste sig ogsaa den største Afløbsmængde for Drainledningerne.

Til nøjere Burdering af Betydningen af disse Tal vil

det være nødvendigt at kjende de faldne Regnmængder. Regnhøjderne paa og Afløbet fra det observerede Terrain vare, udtrykte i danske Fod, saaledes:

| | Regnhøjde. | Bortført af Drainledningerne |
|---------------------|------------|---------------------------------|
| December 1857 . . . | 0,07 Fod | 0,03 Fod. |
| Januar 1858 | 0,04 — | 0,01 — |
| Februar — | 0,05 — | 0,01 — |
| Marts — | 0,10 — | 0,04 — |
| April — | 0,11 — | 0,00 — |
| Maj — | 0,18 — | 0,00 — |

3 Maanederne December, Januar og Februar var Regnhøjden næppe halv saa stor som Middelregnhøjden for disse Maaneder i Kjøbenhavn; i Marts var den næsten lig vor Middelregnhøjde for Marts; i April og Maj var den større end vor Middelregnhøjde for disse Maaneder, men den faldne Regn bortgik aldeles ved Fordampning.

Efterat have givet disse Tabeller, bortseer Delacroix aldeles fra Vandhøjderne i Borehullerne Nr. 2 og Nr. 4, betragter Grundvandspejlet som bestaaende af to Skraaplener, og sætter som Vandspejlets relative Fald (pente par mètre) følgende. *)

| | Maanedlige Middelfald pr. Længdeenhed. | Maxima af Fald pr. Længdeenhed. |
|-----------------|---|------------------------------------|
| December . . . | 0,0108 | 0,0200 |
| Januar | 0,0048 | 0,0136 |
| Februar | 0,0060 | 0,0148 |
| Marts | 0,0120 | 0,0264 |

2. Terre de la Brossinière. Grunden er her stærkt Ler, som kun vanskelig lader Vandet trænge igjennem. Den

*) Delacroix dividerer Totalsfaldet ikke med Afstanden mellem Borehullerne Nr. 1 og 3 eller 3 og 5, men med Drainledningernes halve indbyrdes Afstand $12\frac{1}{2}$ Metre. Et Par Regnespejl ere indløbne for ham i Kvotienterne.

blev drainet i Vinteren 1855—56. Observationerne af Grundvandspejlet angives fra December 1857 til Maj 1858. Drainledningerne vare anbragte i omtr. $3\frac{1}{4}$ Fods Dybde og i 10 Metres (32 Fod) indbyrdes Afstand. Boringerne anbragtes i i 2,1 Metres indbyrdes Afstand, saaledes at Borehullerne Nr. 1 og Nr. 5 vare 0,2 Meter fra hver sin nærliggende Ledning. Følgende vare de observerede maanedlige Middelhøjder for Grundvandspejlet, regnede fra Ledningen tilvenstre ved Boring Nr. 1; Ledningen tilhøjre laa 0,13 Meter højere end denne, og der maa altsaa trækkes 0,13 Meter fra de angivne Højder i Borehullet Nr. 5 for at erfare de omtrentlige Vandhøjder lige over den nærliggende Ledning paa højre Side.

Tab. III. Maanedlige Middelhøjder af Grundvandspejlet.

| | Borehul Nr. 1. | Nr. 2. | Nr. 3. | Nr. 4. | Nr. 5. | |
|-----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| December 1857 . | 0,28 | 0,60 | 0,75 | 0,71 | 0,31 | Meter. |
| Januar 1858 . . | 0,25 | 0,67 | 0,68 | 0,48 | 0,26 | — |
| Februar — . . . | 0,26 | 0,67 | 0,69 | 0,62 | 0,28 | — |
| Marts — . . . | 0,23 | 0,59 | 0,66 | 0,63 | 0,24 | — |
| April — . . . | 0,25 | 0,67 | 0,72 | 0,67 | 0,26 | — |
| Maj — . . . | 0,27 | 0,80 | 0,81 | 0,79 | 0,42 | — |

Delacroix har maalt Afløbsmængden af Vand fra det drainede Terrain i hver Maaned, men da Udløbet laa fjernt og tillige modtog Vand fra andre Forder, maasse endog fra Forder af en anden Kvalitet, som gave Vandet fra sig i en anden Tidsfølge, kan jeg ikke tillægge disse Maalinger videre Betydning, ikke engang som Proportionaltal af Afløbet fra selve det observerede Stykke Ford. Sammenligner man Grundvandspejlets Stillinger med de tidligere angivne Regnhøjder for de nævnte Maaned, saa finder man at Vandspejls højden omtrent stiger og falder med Regnhøjden; dog var Vandspejls højden forholdsvis stor i December, vistnok paa Grund af den ringe Fordampning i denne Maaned. I April og Maj har Fordampningen ikke kunnet bortfjerne den faldne Regn fra denne stærke

Jord, saaledes som fra den lette Jord i Terre des Rez. Grundvandspejlets Form viser sig aabenbart som en krum Flade, men desuagtet er Delacroix saa stærkt hildet i den Hypothese, at Grundvandspejlet skal danne Straaplaner, at for det Par Maxima af Grundvandspejlets Stilling, som han angiver, overspringer han aldeles Vandhøjden i Borehullerne Nr. 2 og Nr. 4, og nævner blot Højden ved Ledningen og midt imellem Ledningerne.

Tab. IV. Maxima for Højderne af Grundvandspejlet.

| | Borehul Nr. 1. | Nr. 3. | Nr. 5. |
|---------------------|----------------|--------|------------|
| December 1857 . . . | 0,28 | 0,88 | 0,88 Meter |
| Maj 1858 . . . | 0,84 | 0,95 | — |

Bed efter Delacroix's Maade at dividere Grundvandspejlets Totalfald med det halve af Ledningernes indbyrdes Afstand, faaes følgende relative Fald:

| | Maanedlige Middelfald pr. Længdeenhed. | Maxima af Fald pr. Længdeenhed. |
|---------------------|---|------------------------------------|
| December 1857 . . . | 0,091 | 0,100 |
| Januar 1858 . . . | 0,085 | |
| Februar — . . . | 0,084 | |
| Marts — . . . | 0,085 | |
| April — . . . | 0,093 | |
| Maj — . . . | 0,093 | 0,122 |

Delacroix har ogsaa anstillet Sagttagelser over Grundvandspejlets Stilling paa to andre Steder af samme Ejendom, nemlig Terre des Hauts Noirs og Pré du Château; jeg skal i Henseende til disse indskrænke mig til at henvise Læserne til hans interessante lille Bog, idet jeg ikke anseer Sagttagelserne paa disse to Steder for stikfede til deraf at ulede Love for Grundvandspejlets Form. Drainledningernes Dybde var paa førstnævnte Sted 3,2 Fod og deres indbyrdes Afstand 10 Metre (32 Fod); deres Dybde paa sidstnævnte Sted 2 $\frac{1}{2}$ Fod

og indbyrdes Afstand 11 Metre (35 Fod). Jordbundens Befkaffenhed var begge Steder Grus og lerholdigt Sand. For en faa let Jordbund er det en paafaldende ringe Afstand, som Delacroix har valgt for Ledningerne, og det er tydeligt at se, at man her befinder sig overfor hans første famlende Forsøg i Drainingsfaget (fra 1854—55). Tæge vi til Sammenligning en os tidligere bekjendt Maaned, Marts 1858, faa viser Grundvandspejlets Middels-Totalfald for denne Maaned sig i Pré du Château kun 0,025 Meter, og i Terre des Hauts Noirs kun 0,045 Meter, og paa sidstnævnte Jord er endog Grundvandspejlet i December 1857 og Januar og Februar 1858 sunket ned under Drainledningernes Niveau. For faa ringe Fald faa Observationsfejlene forholdsvis altfor Indflydelse, og der viser sig ogsaa paafaldende Anomalier, navnlig i den ældre Del af Observationerne; men i Delacroix's Tabeller for Grundvandspejlets Stillinger i disse to Marker kan man dog gennem Tilfældighedernes forstyrrende Taage tydelig skimte Bekræftelse af den Anskuelse af Grundvandspejlets Form, som forekommer mig at ligge i samtlige givne Data, og som jeg nedenfor skal tillade mig at fremsætte.

Den Theori, som Delacroix opstiller for Sammenhængen mellem Drainledningers Dybde og indbyrdes Afstand, er følgende. Han gaaer ud fra den Hypothese, at Grundvandspejlet mellem to parallelle Drainledninger bestaaer af to Straaplaner, som støde sammen paa deres højeste Sted midt imellem Ledningerne og hælde hen imod disse; han betragter Grundvandspejlets relative Fald som uafhængig af Ledningernes indbyrdes Afstand og blot afhængig af Jordbundens Sammensætning og af Regnforholdene; han betragter Grundvandspejlets Højde lige over Ledningerne som uafhængig af disses Dybde under Jordoverfladen og blot afhængig af Jordbundens Sammensætning og af Regnforholdene; endelig udleder han følgende Regel for Beregning af Drainledningers indbyrdes Afstand,

naar deres Dybde er given*): Fra den valgte Dybde (d) for Ledningerne trækker man saavel den Dybde (d_1), hvori man anseer det for passende at holde Grundvandsspejlets øverste Punkt under Jordoverfladen, som ogsaa Grundvandspejlets ved Forsøg fundne Højde (h) lige over Ledningerne; den udfomne Forskiel divideres med Vandspejlets relative Fald (f), og det Dobbelte af den udfomne Kvotient er da den søgte Afstand (a) mellem de parallelle Drainledninger for den givne Dybde. Formlen bliver altsaa denne:

$$a = 2 \frac{d - d_1 - h}{f} \dots \dots \dots (1).$$

Af denne Formel følger

$$d_1 = d - h - \frac{af}{2} \dots \dots \dots (2).$$

hvorved man skulde kunne beregne, hvormeget Grundvandspejlets højeste Punkt vil nærme sig Jordoverfladen, naar Ledningernes Dybde og indbyrdes Afstand i en bestemt Slags Jord ere givne.

Et Par Exempler ville nærmere oplyse den givne Regel. Antag, at man i en leret Sandbund som den i Terre des Rez (og med lignende Regnforhold) vil lægge Drainledninger i 4 Fod Dybde og ønsker at vide, hvor langt man tør lægge Ledningerne fra hinanden; antag tillige, at Jordens Ejer stiller den Fordring, at Grundvandet selv efter stærk Regn ikke maa komme Jordoverfladen nærmere end $\frac{3}{4}$ Fod, saa har man $d = 4$ Fod, $d_1 = 0,75$ Fod, og i Senhold til Tab. II, Maximum for Marts Maaned, $h = 0,80$ Meter eller omtr. 1 Fod, $f = 0,0264$; og man faaer da ifølge Ligning (1):

$$a = 2 \frac{4 - 0,75 - 1}{0,0264} = \frac{4,50}{0,0264} = 170 \text{ Fod.}$$

Vil man vide, hvor nær Middelvandspejlet i Marts Maaned vil naa Jordoverfladen for 4 Fod Dybde og 170 Fod Afstand mellem Ledningerne, saa har man: $d = 4$, $a = 170$,

*) Den her fremsatte Regel forudsætter Jordoverfladen horizontal i Retning vinkelret paa Ledningerne.

og ifølge Tab. I $h = \frac{0,18 + 0,07^*)}{2} = 0,125$ Meter eller $0,4$ Fod,

og $f = 0,012$, og faaer altsaa ifølge Ligning (2)

$$d_1 = 4 - 0,4 - \frac{170 \cdot 0,012}{2} = 2,58 \text{ Fod.}$$

Dette maa ansees for en rigelig Middeldybde, saa at altsaa de 170 Fod Afstand ingenlunde er for stor for de igivne Forhold, hvis Formlen for Beregningen er rigtig.

For 5 Fod Dybde vilde man i samme Jord faa

$$a = 2 \cdot \frac{5 - 0,75 - 1}{0,0264} = \frac{6,50}{0,0264} = 246 \text{ Fod.}$$

Vi kunne tage endnu et Exempel, nemlig at finde Ledningernes Afstand for 4 Fod Dybde i stærk Verbund, som den i Terre de la Brossinière, med lignende Regnorhold. Man har da givet $d = 4$ og $d_1 = 0,75$ Fod som i forrige Exempel, og i Henhold til Tab. IV, Maximum for Maj Maaned, $h = 0,34$ Meter = $1,1$ Fod, $f = 0,122$, hvoraf faaes ifølge Ligning (1)

$$a = 2 \cdot \frac{4 - 0,75 - 1,1}{0,122} = \frac{4,30}{0,122} = 35 \text{ Fod.}$$

Hertil svarer følgende Dybde under Jordoverfladen for Middelsandspejlet i Maj Maaned, idet man har $d = 4$, $a = 35$,

og ifølge Tab. III $h = \frac{0,27 + 0,29^{**})}{2} = 0,28$ Meter = $0,9$ Fod,

og $f = 0,093$, altsaa ifølge Lign. (2)

$$d_1 = 4 - 0,9 - \frac{35 \cdot 0,093}{2} = 1,48 \text{ Fod.}$$

For 5 Fod Dybde vilde man i samme Jord faa

$$a = 2 \cdot \frac{5 - 0,75 - 1,1}{0,122} = \frac{6,30}{0,122} = 52 \text{ Fod.}$$

*) Det maa erindres, at der fra Sandspejls-højden i Koret Nr. 5, Tab. I, skal trækkes 0,09 Meter for at finde den omtrentlige Sandhøjde lige over den derved liggende Ledning.

***) Her maa erindres, at der fra Sandspejls-højden 0,42 ved Nr. 5 skal trækkes 0,18 Meter.

Den her fremstillede Theori af Delacroix seer ved flygtigt Gjennemsyn meget tiltalende ud; kun er det paafaldende store Afstande, som man kommer til for let leret Sandjord, og som vel ere istand til at vække nogen Mistro hos Praktikerne. En anden Omstændighed, som maa vække nogen Betænkelighed, er den lille Basis, som Theorien hviler paa; herved sigter jeg ikke blot til det korte Tidrum, hvori Forsøgene ere gennemførte, men fornemlig til den Omstændighed, at Forsøgsledningerne kun ere lagte i omtrent 3 Fod Dybde, og at naar man derfra vil udlede Forholdene for 4 eller 5 Fod Dybde, saa slutter man fra det mindre til det større, hvilket giver enhver Fejl i Observationen eller i Theorien en forøget Betydning. Hovedsagen er imidlertid, om den Hypothese, hvorpaa Theorien hviler, passer tilstrækkelig nøje med Erfaringerne, til at man tør slaa sig til Ro dermed, og efter min Mening viser dette sig ikke at finde Sted, naar man med Opmærksomhed nøje undersøger Tabellerne over Delacroix's Observationer af Grundvands-spejlet.

Ved Betragtning af Tab. I og II for den lette Jord i Terre des Rez og af Tab. III for den stærke Lerjord i Terre de la Brossinière, er det først paafaldende, at Vandspejls-højderne i Borehullerne Nr. 1 og Nr. 5 ere enten ligestore eller meget nær ligestore, skjøndt man skulde vente, at Højderne i Nr. 5 maatte være saameget større end i Nr. 1, som den ved Nr. 5 liggende Ledning er højere end den ved Nr. 1 beliggende, nemlig 0,09 Meter (0,29 Fod) for Tab. I og II, og 0,18 Meter (0,41 Fod) for Tab. III. Denne Niveauforskjel mellem Ledningerne er ikke heldig for fundamentale Observationer, hvoraf Love skulde udledes. Vandhøjden lodret over Ledningen ved Nr. 5 viser sig saaledes gennemgaaende meget mindre end Vandhøjden lodret over Ledningen ved Nr. 1 i begge de betragtede Lokalteter. Er dette et Ligevægtsfænomen? Eller har Jorden i begge Lokalteter været af lettere Bestaffenhed om Ledningen ved Borehullet Nr. 5 end om den ved Nr. 1? Eller har Ledningen ved Nr. 5 i begge Tilfælde været lettere tilgjængelig

for Vandet, havt større Stødfuger? Derom lader sig Intet udfige efter de Middeltal, som Delacroix har leveret.

Den næste paafaldende Uregelmæssighed er den, at Vandshøjderne i Rørene Nr. 2 og Nr. 4 ikke vise sig ligestore, men at Vandspejlet viser sig højest snart i det ene, snart i det andet af disse Rør, og Forskjellen bliver især betydelig i Tab. III for Verjorden i Terre de la Brossinière. Noget fyldestgjørende Forklaring deraf kan man ikke give efter de foreliggende Meddelelser.

En tredie Omstændighed sees tydeligt ved nøje Sammenligning af Tallene i de ovenstaaende Tabeller, nemlig at Differensen mellem Vandspejls-højderne i Borehullerne Nr. 3 og 2 eller Nr. 3 og 4 er stadig mindre end mellem Vandspejls-højderne i Borehullerne Nr. 2 og 1 eller Nr. 4 og 5, eller med andre Ord, at Grundvandspejlet ikke har stillet sig som to sammenstødende Skraaplaner, men som en krum opadbuet Flade. Det ligger nær at antage denne, indenfor de i Pragis forefaldende Grænser, for en Cylindersflade med cirkelbuet Tværnsnit, og det synes af Tabellerne at fremgaa som en Lov, at Cirkelbuen har større Radius i let end i stærk Jord, ligesom ogsaa, at den i samme Jordbund faaer desto mindre Radius, jo højere Grundvandspejlet stiger.

Ved at prøve, hvorledes den Antagelse, at Grundvandspejlets forskjellige Stillinger dannes af Cylindersflader, vil lade sig tilpasse paa Delacroix's Observationer, vil man altid komme til Afvigelser, som kunne hidrøre fra Tilfældigheder, saasom Uensartethed i Jordbundens Tæthed, tilfældige smaa Tilløb af Overfladevand til Borehullerne, eller af fremmed underjordist Tilløbssvand m. m. Naar kun Afvigelserne ere smaa, maa man betragte Tilpasningen som tilfredsstillende. Hvor store de forstyrrende Indflydelser kunne have været, kan man ingen Mening have om, naar man ikke kender de daglige Observationer, men kun de maanedlige Middeltal samt enkelte Maxima, men der er ingen Tvivl om, at de undertiden kunne løbe op til flere Centimetre. Uheldigt er det ogsaa, at man i Dela-

croix's Bog ingenlunde er sikret mod Følge, af hvilke flere let paaviselige findes, saa at man ikke altid er vis paa, at man har de rette Tal for sig. Medenfor har jeg forsøgt at angive omtrentlig de Vandspejls-højder i de forskjellige Rør, som man vilde have faaet i Tabellerne I, II og III under aldeles regelmæssige og uforstyrrede Forhold, samt den til Tværsnittets Cirkelbue i hvert Tilfælde svarende Radius, udtrykt i Metre.

Tab. I A. Maanedlige Middelhøjder for Grundvandspejlet.

| | Borehul Nr. 1. | Nr. 2. | Nr. 3. | Nr. 4. | Nr. 5. | Radius |
|---------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| December 1857 | 0,18 | 0,30 | 0,34 | 0,30 | 0,18 | 450 |
| Januar 1858 | 0,05 | 0,10 | 0,12 | 0,10 | 0,05 | 1029 |
| Februar — | 0,10 | 0,16 | 0,18 | 0,16 | 0,10 | 900 |
| Marts — | 0,16 | 0,28 | 0,32 | 0,28 | 0,16 | 450 |

Tab. II A. Maxima for Grundvandspejlets Højde.

| | Borehul Nr. 1. | Nr. 2. | Nr. 3. | Nr. 4. | Nr. 5. | Radius |
|---------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| December 1857 | 0,27 | 0,48 | 0,55 | 0,48 | 0,27 | 257 |
| Januar 1858 | 0,21 | 0,34 | 0,38 | 0,34 | 0,21 | 424 |
| Februar — | 0,22 | 0,37 | 0,42 | 0,37 | 0,22 | 360 |
| Marts — | 0,30 | 0,57 | 0,66 | 0,57 | 0,30 | 200 |

Tab. III A. Maanedlige Middelhøjder for Grundvandspejlet.

| | Borehul Nr. 1. | Nr. 2. | Nr. 3. | Nr. 4. | Nr. 5. | Radius |
|---------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| December 1857 | 0,28 | 0,67 | 0,80 | 0,67 | 0,28 | 22,4 |
| Januar 1858 | 0,25 | 0,61 | 0,73 | 0,61 | 0,25 | 24,2 |
| Februar — | 0,26 | 0,64 | 0,77 | 0,64 | 0,26 | 22,8 |
| Marts — | 0,23 | 0,59 | 0,71 | 0,59 | 0,23 | 24,2 |
| April — | 0,26 | 0,64 | 0,77 | 0,64 | 0,26 | 22,8 |

Det er klart, at de saaledes konstruerede Tabeller kun indeholde Tilnærmelsesværdier og ikke gjøre Krav paa at være absolut nøjagtige. Overensstemmelsen er for Tab. I og II ret god, for Tab. III mindre god, og her viser sig et ejendommeligt Fænomen, nemlig at Buen er noget fladtrykt i Midten, eller at de observerede Vandhøjder for Boringen Nr. 3 ere

væsentlig mindre end de beregnede Vandspejls-højder. Dette turde muligen finde sin Forklaring i at Vandspejlet stiger ganske nær op til Jordoverfladen, hvorved den tørrere og mere porøse Madjord faaer en forstyrrende Indflydelse, dels ved Haarrørs-kraften, dels ved Fordampning. Hvis Drainledningerne havde ligget en Fod dybere, vilde man have faaet renere Resultater.

Naar man fastholder, at Grundvandspejlet danner en krum opadbuuet Flade, saa vil man snart indse, at det af Delacroix opstillede Begreb: Grundvandspejlets relative Fald (pente par mètre), er grundfalsk, idet Delacroix tager Korden og dens Forlængelse istedetfor Vuen (se Fig. 4), men Kordens Stilling afhænger af

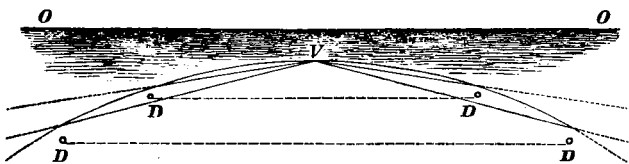


Fig. 4.

den Afstand mellem Drainledningerne, som tilfældig var anvendt ved Forsøget, og for en anden Afstand mellem Ledningerne vilde man for selsamme Krumningsradius have faaet en anden Hældning af Korden. Ved at holde sig til Delacroix's egne Observationer kommer man saaledes til det Resultat, at den Hypothese, hvorpaa hans Theori hviler, at Grundvandspejlet mellem to parallelle Drainledninger danner to Straaplaner, ikke engang giver tilnærmelsesvis rigtige, men ligefrem grundfalske Resultater.

Endnu en anden Fejl hos Delacroix bør mærkes. Medens han har Ret i, at i den lettere Jordbund vil, alle Forhold iøvrigt lige, Grundvandspejlet ikke stige saa højt lige over Ledningerne, som i den sværere Jord, der vanskeligere lader Vandet trænge igjennem til Ledningen, og derfor lader Vandet samle sig i større Højde, saa han har Uret i at ansætte Vandspejls-højden, lige over Ledningen, uafhængig af Ledningens Dybde.

Bed Forøgelse af Ledningens Dybde forøges Rækken af Modstande mod Vandets Bevægelse ned til Ledningen, og Vandhøjden lige over Ledningen maa derfor naa større Højde. Man kan derfor ikke sænke Grundvandspejlet lige saa meget dybere, som man forøger Ledningens Dybde. Vandspejls-højden lige over Ledningen maa stige efter en stærkere Progression end Ledningens Dybde, saa at der for hver Slags Jordbund bliver en vis Dybde, hvor Vandspejls-højden bliver lig Ledningens Dybde, eller hvor med andre Ord Ledningens Virkning paa Grundvandets Sænkning bliver lig Nul. Til Bestemmelse af den mathematiske Lov for nævnte Progression mangle endnu alle experimentale Data.

Det er unægtelig med en Følelse af Skuffelse, at jeg ved Undersøgelse af Delacroix's interessante og forventningvækkende Arbejde er kommen til det Resultat, at maatte forkaste hans Theori og anse hans Observationer for aldeles utilstrækkelige til direkte Anvendelse paa Beregning af Drainledningers passende indbyrdes Afstande for forskjellige Slags Jordbund og for vore Regnforhold. Delacroix kalder iøvrigt (Side 3) sit Arbejde for et Forsøg, hvis væsentligste Betydning er at opfordre Andre til at gjentage Forsøgene paa andre Steder og under andre Forhold. Jeg maa beklage, at mine Forretninger og min Stilling ikke give mig Lejlighed til at foretage lignende Forsøg som de her beskrevne, men det vilde være mig kjært, hvis nærværende Meddelelse maatte bidrage til, ikke blot hos de ærede Læsere delvis at opklare Forestillingen om visse dunkle Forhold ved Drainingen, men ogsaa at formaa dem, der ere heldigt nok stillede til, at de kunne anstille Observationer over Grundvandspejlet paa draineede Jorder, til ikke at forsømme Lejligheden til at iværksætte disse og saaledes bidrage til at klare Spørgsmaal, der have megen Betydning, saavel for Drainingens økonomiske, som for dens agronomiske Side.

Til Slutning skal jeg endnu tillade mig at anføre et Par Exempler paa, hvorledes Drainledninger's indbyrdes Afstand

vilde være at beregne, naar man kom til sikker Erkjendelse om, at Grundvandspejlets Tværnit kan betragtes som en Cirkelbue indenfor de i Praxis forefaldende Grænser, og kjendte de nødvendige Konstanter for forskjellige Slags Jord under vore Regnforhold, navnlig nævnte Cirkelbues Radius.

For Cirkelbuer har man approximativt følgende bekendte Formler, hvis Bogstavers Betydning oplyses af hestaaende

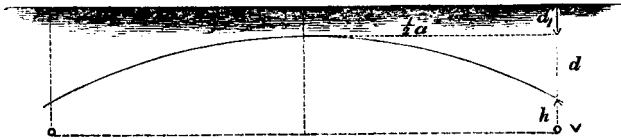


Fig. 5.

Fig. 5 og aldeles stemmer med deres Betydning i de tidligere givne Formler (1) og (2); r betegner Cirkelbuens Radius.

$$a = 2\sqrt{2r(d - h - d_1)} \dots \dots \dots (3)$$

$$d_1 = d - h - \frac{a^2}{8r} \dots \dots \dots (4).$$

Holdt vi os i de nedenstaaende Exempler, saalænge ikke nøjagtigere Oplysninger foreligge, foreløbig til Delacroix's Antagelse, at h er uafhængig af d , og sætte for Maximum af Grundvandspejlets Stilling i let sandig Verbund $r = 600$ Fod, $h = 1$ Fod, $d_1 = 0,75$ Fod, saa faaes

$$\text{for } d = 3 \text{ Fod, } a = 2\sqrt{2 \cdot 600 \cdot (3 - 1 - 0,75)} = 2\sqrt{1500} = 77 \text{ Fod,}$$

$$\text{for } d = 4 \text{ Fod, } a = 2\sqrt{2 \cdot 600 \cdot (4 - 1 - 0,75)} = 2\sqrt{2700} = 104 \text{ Fod,}$$

$$\text{for } d = 5 \text{ Fod, } a = 2\sqrt{2 \cdot 600 \cdot (5 - 1 - 0,75)} = 2\sqrt{3900} = 125 \text{ Fod.}$$

Sættes for Middeltstillingen af Grundvandspejlet i den vaadeste Maaned $r = 1200$ Fod, $h = 0,75$ Fod, saa faaes

$$\text{for } d = 3 \text{ Fod og } a = 77 \text{ Fod, } d_1 = 3 - 0,75 - \frac{77^2}{8 \cdot 1200} = 1,63 \text{ Fod,}$$

$$\text{for } d = 4 \text{ Fod og } a = 104 \text{ Fod, } d_1 = 4 - 0,75 - \frac{104^2}{8 \cdot 1200} = 2,13 \text{ Fod.}$$

$$\text{for } d = 5 \text{ Fod og } a = 125 \text{ Fod, } d_1 = 5 - 0,75 - \frac{125^2}{8 \cdot 1200} = 2,62 \text{ Fod,}$$

Det viser sig heraf, at den dybere Draining med den tilsvarende større Afstand mellem Ledningerne giver en dybere Middelfstilling af Grundvandspejlet, altsaa et bedre Resultat. Det viser sig endvidere af Exemplet, at de beregnede Afstande mellem Ledningerne ere meget nær det 25 dobbelte Beløb af Ledningernes Dybde, indenfor Grænserne 3 til 5 Fod Dybde.

Sætte vi endvidere for Maximum af Grundvandspejlets Stilling i stærk Verbund $r = 50$ Fod, $h = 1,25$ Fod, $d_1 = 0,75$ Fod, saa faaes

$$\text{for } d = 3 \text{ Fod, } a = 2\sqrt{2 \cdot 50 \cdot (3 - 1,25 - 0,25)} = 2\sqrt{100} = 20 \text{ Fod,}$$

$$\text{for } d = 4 \text{ Fod, } a = 2\sqrt{2 \cdot 50 \cdot (4 - 1,25 - 0,25)} = 2\sqrt{200} = 28 \text{ Fod,}$$

$$\text{for } d = 5 \text{ Fod, } a = 2\sqrt{2 \cdot 50 \cdot (5 - 1,25 - 0,25)} = 2\sqrt{300} = 35 \text{ Fod.}$$

Sættes for Middelfstillingen af Grundvandspejlet i den vaadeste Maaned $r = 65$ Fod, $h = 1$ Fod, saa faaes

$$\text{for } d = 3 \text{ Fod og } a = 20 \text{ Fod, } d_1 = 3 - 1 - \frac{20^2}{8 \cdot 65} = 1,28 \text{ Fod,}$$

$$\text{for } d = 4 \text{ Fod og } a = 28 \text{ Fod, } d_1 = 4 - 1 - \frac{28^2}{8 \cdot 65} = 1,5 \text{ Fod}$$

$$\text{for } d = 5 \text{ Fod og } a = 35 \text{ Fod, } d_1 = 5 - 1 - \frac{35^2}{8 \cdot 65} = 1,65 \text{ Fod.}$$

Ogsaa her viser sig Fordel ved den dybere Draining i større Afstand, men Grundvandspejlets Middelfsænkning bliver ikke saa stor som for den lettere Jord. Ligeledes viser sig ogsaa i dette Exempel, at de fundne Afstande blive meget nær Multipla af Ledningernes Dybder, nemlig disse multiplicerede med 7, indenfor Grænserne 3 til 5 Fod Dybde.

Man kommer saaledes ogsaa ad denne Vej til den gamle, i Praxis almindelig fulgte Regel, at sætte Ledningernes indbyrdes Afstande ligesvem proportionale med deres Dybder, og saalænge der ikke foreligger tilstrækkelige Undersøgelelsesdata til en skarpere videnskabelig Bestemmelse af Drainledningers indbyrdes Afstande for given Dybde og given Jordbund, vil man i Praxis for 3 til 5 Fod Dybde kunne hjælpe sig med at

multiplicere Ledningernes givne Dybde med bestemte Tal efter empirisk Skjøn for at finde deres indbyrdes Afstande.

Følgende Multiplikatorer for Dybderne

| | | | |
|------------------------------|----|-------|--------|
| i grovt Sand | 30 | Gange | Dybden |
| i leret Sand | 20 | — | — |
| i sandigt Ler | 15 | — | — |
| i Tørvejord | 12 | — | — |
| i muldet fint Sand | 10 | — | — |
| i Dyndjord | 9 | — | — |
| i almindeligt Ler | 9 | — | — |
| i stærkt Ler | 7 | — | — |

tillader jeg mig at henstille til de Herrer Praktikers Overvejelse. Kommer man engang saavidt, at man faaer tilstrækkelige Grundvandspejls-Observationer her i Landet at gaa ud fra, saa vil det være ønskeligt, samtidig at faa Sammensætningen af den observerede Jordbund bestemt ved Slemningsforsøg, for saaledes at faa fjernet en Del af den Ubestemthed, der ligger i Jordbundens Benævnelse.
