

Om Lovene

for

Vandets Bevægelse
i Jorden.

Af

A. Colding.

Vidensk. Selsk. Skr. 5 Række, naturvidenskabelig og matematisk Afd. 9 B. VIII.

Kjøbenhavn.

Bianco Lunos Bogtrykkeri ved F. S. Muhle.

1872.

Foruden de forskjellige Undersøgelser over flydende Legemers Bevægelse, som jeg Tid efter anden har udført og forelagt Videnskabernes Selskab, i hvis Skrifter de findes, har det længe ligget mig paa Sinde at udføre en særegen Række af Undersøgelser, for at komme til Kundskab om Lovene for Vandets Bevægelse i Jord af forskjellig Beskaffenhed og specielt for at bestemme Lovene for Vandbevægelsen i forskjellige Sand- og Gruuslag. Det var nemlig ved forskjellige Leiligheder blevet mig bestandigt klarere, at skjøndt de underjordiske Vandbevægelser foregaae overalt, og særligt spille en stor Rolle hos os, hvor Jordbunden er af den Beskaffenhed, at den regelmæssigt gennemstrømmes af en betydelig Deel af det Vand, som udgjør det atmosfæriske Nedslag, og hvor Agerbrugets Fremskridt og Landets Velstand for en ikke ringe Grad afhænger netop af disse Vandbevægelser i Jorden, — saa ere vi dog endnu kun meget lidt bekendte med de Love, hvorefter disse Strømninger foregaae.

I min tidligere Embedsstilling som Vandinspecteur og senere som Stadsingenieur har jeg ofte havt Grund til at beklage vor mangelfulde Kundskab til Lovene for Vandets Bevægelse i Jorden, fordi disse Vandbevægelser naturligviis have Indflydelse paa mange forskjellige Anlæg, hvoriblandt jeg blot skal nævne Vandværker til Steders Forsyning med Drikkevand. Ganske vist har jeg efterhaanden ved forskjellige Leiligheder, — og navnlig ved Iagttagelser, som jeg Tid efter anden har anstillet ved de artesiske Kilder, som Kjøbenhavns Commune har ladet udføre for at naae de af Conferentsraad Forchhammer paaviste vandførende Grønsandslag, — havt Leilighed til at samle endeel Erfaringer, som Tid efter anden have givet mig et klarere Blik paa de underjordiske Vandbevægelser, end jeg tidligere havde; men ligefuldt følte jeg dog bestandig, at en Mængde af de allervigtigste Spørgsmaal vare mig ganske uklare, som en Følge af, at jeg ikke tilfulde kunde gennemskue Forholdene. Mine Bestræbelser for ved Hjælp af Kildeboringerne at komme til Erkjendelse af de almindelige Love lykkedes mig, som sagt, kun til en vis Grad, og mine

Arbejder gav mig i ethvert Fald et mindre Udbytte end det jeg havde haabet at kunne naae derved; men spildt var Arbeidet dog ikke; thi foruden at det gav mig et klarere Blik paa Strømningsforholdene, ledte det mig til forskjellige Resultater, som vare af Vigtighed med Hensyn paa Kildeboringer, og det Følgende viser endog, at de nævnte Undersøgelser ved de artesiske Kilder vilde have været istand til at føre til fuld Erkjendelse af Lovene for Vandets Bevægelse i Jorden, hvis jeg ret havde kunnet tyde de vundne Resultater. De artesiske Boringer, der bl. A. ville være Selskabet bekendte af Forchhammers Meddelelser i Aaret 1852 *), skyldes ligefrem Forchhammers videnskabelige Forskninger over Danmarks Geologi, idet det var disse, som ledte ham til, i en Afhandling i Selskabets Skrifter, 5te Række, 2det Bind, »Om Midlerne til at bestemme Mængden af de organiske Bestanddele i Vandet«, at fremsætte følgende Paastand: »Den vestlige**) Deel af Damhuussøens Opland gaar næsten op til Ledøie Plantage og kommer derved ind i Grønsandsterrainet, da dette Sted ligger i en geognostisk Parallele, som falder imellem Brøndbyøster og Brøndbyvester, og det bliver derfor sandsynligt, at man der ved Boringer vilde kunne naae Grønsandlagets Vandleie, og skaffe sig derved et stadigt Tilløb af meget reent Vand, der vilde bidrage til at forbedre Damhuussøens Vand«.

Denne Tanke, — der syntes saa overraskende for Egnens Beboere, at de betænkeligt smilede ved Tanken om, at vi vilde udføre Kildeboringer i en Egn, hvor ingen Kilder fandtes, — gav Anledning til, at jeg i Aaret 1850, da jeg udarbejdede min Plan for Anlægget af det nu bestaaende Københavnske Vandværk, henlede Communalbestyrelsens Opmærksomhed paa Forchhammers Udtalelse og foreslog at udføre en Prøveboring paa det af Forchhammer betegnede Sted. Forslaget blev billiget af Communalbestyrelsen og sat i Værk af mig i Efteraaret 1851 under Forchhammers Veiledning saaledes, at den første Boring, kaldet Nr. I, der ligger Vest for Harrestrup By, allerede den 1ste December s. A. var saa vidt fuldført, at den gav 10000 Tdr. Vand i Døgnet. Dette slaaende Resultat havde til Følge, at tvende nye Boringer bleve satte i Arbeide, den ene, Nr. II, Nord for Harrestrup, den anden, Nr. III, Syd for samme By. Ved Boringen Nr. II traf vi meget uheldige Forhold, idet Jorden paa dette Sted fandtes at bestaae af særdeles fiint Flydesand, som kun vanskeligt tillod Vandet at trænge frem i Borehullet; men desto heldigere vare Forholdene ved Boringen Nr. III, hvor Arbeidet allerede den 20de December var saa vidt, at Kilden gav c. 9000 Tdr. Vand i Døgnet, og endnu inden Aarets Udgang endog 19000 Tdr., der strømmede op igjennem Borehullet med en overordentlig Kraft.

Ved denne Kilde foretog jeg en Undersøgelse, som jeg kortelig skal beskrive, fordi den blev af Betydning ved Valget af alle de følgende Kilders Plads i Terrainet. Da det

*) Oversigt over Vid. Selsk. Forhandlinger i Aaret 1852, S. 188.

**) I Afhandlingen staaer ved et Feiltryk »østlige«.

nemlig var mig af Vigtighed at komme til Kundskab om, hvor høit Kilden Nr. III kunde stige, naar dens Afløb standsede, forlængede jeg Foringsrøret op over Jorden ved at paasætte korte Rørstykker ovenpaa det i Jorden nedrammede Rør og maalte samtidigt Kildens Vandføring for hvert paasat Stykke Rør af 2 Fods Længde. Derved viste det sig naturligviis, at Vandføringen aftog efterhaanden som Vandet blev opstemmet i Foringsrøret; men det viste sig tillige, at det var umuligt directe at bestemme Stigehøiden ved at opstemme Vandet saa høit, at Kilden ophørte at give Vand, fordi Vandet strømmede ud gennem en Mængde Utætheder, samt banede sig Vei mellem Røret og Jorden. Jeg forsøgte da at udlede Kildens Stigehøide af den Maade, hvorpaa Vandføringen viste sig at aftage efterhaanden som Vandet opstemmedes i Foringsrøret, og kom derved til Erkjendelsen af en almindelig og meget vigtig Lov, som jeg senere fandt Bekræftelse paa ved alle Kilderne. Ved at sammenholde Resultaterne af de gjorte Iagttagelser, viste det sig nemlig, at Kildens Vandføring var proportional med den tabte Stigehøide, — hvorved jeg betegner Høiden fra Vandspeilet i Stigerøret til det Vandspeil, hvortil Kilden vilde stige, hvis den aldeles intet Afløb havde, — hvorved der dog maa gjøres et lille Fradrag i Trykhøide formedelst Rørledningens Modstand mod Vandstrømmens Bevægelse deri. Den saaledes fundne Lov for Vandets Bevægelse i de underjordiske Lag kan matematisk fremstilles:

$$H - H_1 - h = A \cdot Q, \dots \dots \dots (1)$$

idet H betegner den Høide over dagligt Vand i Stranden, hvortil Vandspeilet i Stigerøret vil indstille sig, naar Kildens Afløb standses, H_1 betegner Høiden over dagligt Vand af Vandspeilet i Stigerøret, naar Kildens Vandføring er Q (t. Ex. pr. Secund), medens Trykhøidetabet formedelst Ledningsmodstanden af Foringsrøret betegnes ved h og A betegner en Constant, som afhænger af Jordlagets Modstand imod Vandets Bevægelse i samme. Hvad Størrelsen h angaaer, da kan denne ifølge de bekjendte Love for Vandets Bevægelse i Rørledninger fremstilles i Fod ved:

$$h = \left(0,04 + 0,000288 \left(1 + \frac{1}{v} \right) \frac{l}{d} \right) v^2, \dots \dots \dots (2)$$

naar l og d betegne Rørledningens Længde og Diameter, og v betegner Strømhastigheden pr. Sec., udtrykt i Fod.

Som Exempel paa, hvorledes Formlen (1) stemmer med Naturforholdene, skal jeg sammenligne dens Resultater med Resultaterne af de første Maalninger, som udførtes den 20de December 1851. Ved at gaae ud fra den Vandstand, som fandt Sted i Stigerøret, da Boreredskaberne vare optagne, fandtes det, at den tilsvarende Vandføring udgjorde 0,425 Cubikfod pr. Sec.; ved derefter successivt at paasætte forskjellige Stykker Rør af 2 Fods Længde, hævede Vandspeilet i Stigerøret sig efterhaanden 2, 4, 6 indtil 8 Fod over den oprindelige Stand, medens de tilsvarende Vandmængder derved fandtes formindskede henholdsvis

til 0,361, 0,300, 0,226 og 0,157 Cubikfod pr. Sec. Betegne vi nu Kildens totale Stigehøide over den oprindelige Vandstand ved $(H - H_1) = z$ og bemærke vi dernæst, at Stigerørets Længde var $l = 41$ Fod, dets Diameter $d = \frac{5}{12}$ Fod, saa findes Strømhastigheden v i Stigerøret henholdsvis at have været: 3,20, 2,70, 2,25, 1,70 og 1,17 Fod pr. Sec. for de 5 undersøgte Stadier af Vandspeilet i Stigerøret. Bestemmes nu først Trykhøidetabet formedelst Modstanden i Stigerøret for hvert af disse 5 Tilfælde, finde vi ifølge Formlen (2), at disse Tab respective have været: $h = 0,79, = 0,57, = 0,41, = 0,25, = 0,12$ Fod Vandhøide, og naar disse Værdier for h efterhaanden indsættes i Formlen (1), erholdes følgende 5 Betingelsesligninger til Bestemmelse af Størrelserne z og A :

$$\left. \begin{aligned} z - 0,79 &= 0,425 \cdot A \\ z - 2,57 &= 0,361 \cdot A \\ z - 4,41 &= 0,300 \cdot A \\ z - 6,25 &= 0,226 \cdot A \\ z - 8,12 &= 0,157 \cdot A \end{aligned} \right\}$$

hvilke selvfølgelig alle skulle give overensstemmende Resultater, saavidt Iagttagelsesfeil tillade det, forudsat at Formlen (1) er paalidelig. Naar vi af disse bestemme Størrelserne z og A efter den approximerede Kvadratmethode*), erholdes:

$$z = 12,25 \text{ Fod} \quad \text{og} \quad A = 26,64,$$

og ved at indsætte den saaledes fundne Værdi for A i ovenstaaende 5 Ligninger faaes: $z = 12,11, = 12,19, = 12,40, = 12,27, = 12,30$ Fod, hvoraf Middeltallet er $z = 12,25$ Fod; Overensstemmelsen mellem disse 5 Tal viser ligefrem, at Formlen (1) er correct. Da dernæst Kildens Vandspeilsstand ved det første Forsøg var $H_1 = 47$ Fod o. d. V., saa fremgaaer let, at Grænsen for Stigehøiden af Kilden Nr. III var $H = 59\frac{1}{4}$ Fod o. d. V. — Efterat Boringen den 30te December var fuldendt, og Vandføringen, som allerede nævnt, var steget til c. 19000 Tdr. i Døgnet, fandtes Modstandscoefficienten A formindsket til 9,5.

Ved paa samme Maade at bestemme høieste Vandstand for Vandspeilet i Boringerne Nr. I og Nr. II fandtes den første Kilde at have en Stigehøide $H = 57,3$ Fod o. d. V. og den sidste Kilde at have en Stigehøide $H = 54$ Fod o. d. V.; men herved er dog at bemærke, at Stigehøiden for Vandet i Nr. II ikke tør betragtes som videre paalidelig, da Kilden kun førte lidt Vand, eftersom en mærkelig Deel af samme kan være afgivet til det sandede Jordsmon, som fandtes under Jordoverfladen.

Ved lignende Undersøgelser kom jeg efterhaanden til Kundskab om, hvilken Stigehøide Vandet omtrent maatte have paa forskjellige Punkter i det omhandlede Terrain og ved at sammenholde denne Stigehøide med Terrainhøiden kunde jeg da forud bestemme,

*) Videnskabernes Selskabs Oversigter for Aaret 1857, S. 52.

hvor der var Sandsynlighed for, at en ny Kildeboring vilde lykkes og hvor den af Mangel paa fornøden Stigehøide vilde mislykkes. Paa denne Maade havde jeg et Middel til at spare baade Uleilighed og Bekostninger ved nye Boringsforsøg paa Steder, hvor Vandet enten ikke vilde kunne stige til Jordoverfladen eller hvor det ialtfald ikke havde Stigehøide nok til at kunne give en kraftig Kilde. Til en vis Grad havde jeg saaledes lykkelig overvundet en af de Vanskeligheder, som var forbundet med at vælge Borestedet paa rette Sted; men dette gjaldt dog kun indenfor visse Grændser. Hvor man af særlige Grunde blev ledet til at begynde en Boring udenfor de Grændser, hvor Vandets Stigehøide ifølge de tidligere Boringer kunne betragtes som bekjendt, blev Udfaldet bestandig tvivlsomt. Dette var saaledes Tilfældet, da vi begyndte Boringen af Kilden Nr. IV paa Ballerup Mark, langt udenfor de Grændser, hvor Stigehøiden kunde betragtes som bekjendt; men da det efter Forchhammers Anskuelse var i den vestlige Deel af Damhuussøens Opland, at Kildeterrainet skulde søges, blev Boringen sat i Værk omtrent 2000 Alen Syd for Ballerup. Denne Boring lykkedes imidlertid saa vel, at uagtet Afløbet laae i en Høide af $64\frac{1}{2}$ Fod o. d. V., var Kilden alt i Marts Maaned 1852 saa vandrig, at den daglig gav omtrent 10000 Tønder Vand med en Maximums-Stigehøide af 68,7 Fod o. d. V. Anderledes stillede derimod Forholdene sig ved den følgende Boring Nr. V paa Riisby Mark, hvor Terrainet er beliggende i en Høide af 63 Fod o. d. V.; thi efter at vi fra medio April til medio Juni 1852 havde gjenneboret de egentlige Jordlag samt et 30 Tommer tykt Flintlag i Saltholmskalken, naaede vi omtrent i en Høide o. d. V. af 30 Fod til et i Saltholmskalken værende vandførende Lag, som havde en bestemt Vandreisning af 56 Fod o. d. V., eller 7 Fod under Jorden. Fra medio Juni til medio Juli blev Boringen ført ned i Kalken til en Dybde af c. 24 Fod under dagligt Vande, og imidlertid aftog Vandreisningen jævnt omtrent $\frac{3}{4}$ Fod. Boringen Nr. V gav altsaa intet Vand og var for saa vidt mislykket; men ikke desto mindre har denne Boring, som vi skulle see, havt en ganske særegen Betydning for de artesiske Kilder.

I Begyndelsen af Juni Maaned 1852 blev Boringen Nr. VI paabegyndt ved Smedebæksbro ved Veien fra Skovlunde til Eiby, og alt efter Forløbet af faa Dage gav denne Boring saa meget Vand, at jeg derefter ifølge Formlen (1) kunde bestemme Kildens omtrentlige Stigehøide, hvilken derved fandtes at kunne anslaaes til c. 11 Fod over Jorden. Der var altsaa Anledning til at vente et godt Resultat af en fortsat Boring paa det valgte Sted, og da Boringen henimod Slutningen af Juli Maaned var fuldendt til en Dybde af 17 Fod under dagligt Vande, viste den sig at have en Vandføring af c. 15000 Tdr. i Døgnet og en Stigehøide af indtil 48 Fod o. d. V. eller $8\frac{1}{2}$ Fod over Jorden.

Da det dernæst, ved Sammenligning med Stigehøiderne for Kilderne Nr. III og Nr. VI, viste sig, at Grundvandets Overflade havde Fald imod Øst fra Nr. III imod Nr. VI, ligesom Jordsmonnet, der har et saadant Fald fra Vest til Øst, at Overfladevandet har sit

naturlige Løb ned imod Damhuussøen gennem de derværende Vandløb, saa ledtes jeg videre til at antage, at der gik en stadig Strøm af Vand under Jorden i samme Retning som i det ovenover liggende Vandløb; da det derhos maatte ansees som sandsynligt, at Stigehøiden for det underliggende Vandløb overalt var høiere end Jordsmonnet langs Vandløbet til Damhuussøen, saa førtes Tanken hen paa at begynde Boringen Nr. VII ved Hanevadbroen paa Veien fra Islemark til Skovlunde. Allerede efter faa Dages Forløb fandtes Boringen Nr. VII at give c. 1500 Tdr. Vand, og da jeg derefter, ifølge (1), bestemte Vandets Stigehøide, fandt jeg denne at være $5\frac{1}{2}$ Fod over Jorden eller 41,5 Fod o. d. V. Boringen blev derfor fortsat, og i Midten af September havde Kilden en Vandføring af c. 10000 Tdr. daglig, samt en Stigehøide indtil 40 Fod o. d. V. Ved dette Tidspunkt havde vi med Boringen naaet til en Dybde af 69 Fod under daglig Vande; men Kildeboringen fortsattes endnu videre indtil 87 Fod under daglig Vande, uden at Vandføringen tiltog.

Imidlertid blev i Slutningen af Juli Maaned en ny Boring paa Skovlunde Mark, Syd for Aalebroen ved Frederikssunds Landevei, paabegyndt; Terrainet laae $53\frac{1}{4}$ Fod o. d. V. Efter gennem Leer at have naaet til en Dybde af 50 Fod under Overfladen, gav Boringen lidt Vand, hvoraf jeg paa sædvanlig Viis bestemte Kildens Stigehøide = $55\frac{1}{2}$ Fod eller $2\frac{1}{4}$ Fod over Jorden. Paa Grund af denne lille Stigehøide blev Boringen strax standset og et nyt Borested Nr. VIII valgt paa Herløv Mark, Sydost for den opgivne Boring i en Afstand af omtrent 800 Alen derfra, paa et Terrain, hvis Høide kun var 39,5 Fod o. d. V., medens Stigehøiden, efter den nys nævnte Boring og Kilden Nr. VII, maatte antages at være omtrent 50 Fod o. d. V. Efter et Par Ugers Arbeide havde vi gennem Leer og Sand naaet til en Dybde af 36 Fod, og den borede Kilde havde da en Vandføring af c. 4000 Tdr. daglig, samt en Stigehøide af 10 Fod over Jorden eller 49,5 Fod o. d. V. Forsaavidt var der altsaa virkelig Anledning til at vente en rig Kilde paa dette Sted, og i Midten af Februar 1853 beløb dens Vandføring sig virkelig ogsaa til mellem 9 og 10 Tusinde Tønder daglig; men da det, uagtet al anvendt Flid, ikke var muligt at komme igennem et mægtigt Flydesandslag, maatte Boringen tilsidst opgives, fordi Borehullet pakkede sig fuldt af Sand, som efter kort Tids Forløb standsede Vandføringen.

De samme Betragtninger, som havde ført til et heldigt Resultat ved den artesiske Kilde Nr. VII, førte naturligt videre til at udføre en Kildeboring endnu længere mod Øst, og i Slutningen af Juli 1852, — faa Dage efter at de første Forsøg til en Boring Nr. VIII bleve foretagne, — blev Boringen Nr. IX sat i Værk ved Slotsherrensbro, Nord for Damhuussøen, paa et Punkt, hvis Høide over daglig Vande var 29,5 Fod. Efter kort Tids Forløb var et Leerlag af $38\frac{1}{2}$ Fods Tykkelse gjennemboret, og efter derpaa gennem Kalk, Steen og Gruus at have naaet 41,5 Fods Dybde, kom der Vand, som gav 550 Tdr. daglig med en Stigehøide af $31\frac{1}{3}$ Fod o. d. V. eller kun $3\frac{1}{3}$ Fod over Udløbshøiden, som laae 28 Fod o. d. V. Boringen blev imidlertid fortsat gennem Kalk og Flint til en Dybde af

248 Fod eller 218 Fod under daglig Vande, og først sluttet i Begyndelsen af Januar 1853. Efterhaanden som Arbeidet skred frem, voxede nemlig Vandføringen saaledes, at den i Slutningen af October, da Boringen havde en Dybde af c. 160 Fod og da Vandstanden var c. 31,1 Fod o. d. V., omtrent beløb sig til 1250 Tønder i Døgnet; den 6te December bestemtes Kildens Stigehøide = 34,5 Fod o. d. V., og Boringen, som da havde naaet en Dybde af 220 Fod, gav 2600 Tdr. Vand daglig; den 15de Decbr., da Boringen havde en Dybde af 229 Fod, naaede Kilden sin største Vandføring, nemlig 2900 Tdr. i Døgnet, medens Vandføringen den 11te Januar 1853, da Boringen sluttedes i en Dybde af 248 Fod, kun var 2800 Tdr. daglig. Fra den Tid aftog Vandføringen stadig og udgjorde den 16de Decbr. s. A. kun 1300 Tdr. daglig.

Grunden til denne Variation af Vandføring for Kilden Nr. IX var mig oprindelig langtfra klar, da jeg antog, at den forøgede Vandmængde, som viste sig under Boringen, havde sin Grund deri, at den artesiske Boring efterhaanden passerede nye vandførende Lag, og at derimod den senere Aftagelse i Vandføring beroede paa en deelvis Tilstopning enten af Borehullet eller af de samme omgivende vandførende Lag. Ved de jævnlige foretagne Maalninger af Kildernes Vandføring og Stigehøide blev det mig imidlertid efterhaanden klart, at Kilden Nr. IX ikke var enestaaende i den Henseende, men at tværtimod samtlige Kildeboringer varierede paa lignende Maade baade med Hensyn til Vandføring og Stigehøide. Ved Observation af Vandstanden i Boringen Nr. V viste det sig navnlig, at medens Vandspeilet den 10de Juni 1852 stod 56 Fod o. d. V., faldt Vandstanden derefter i Aarets Løb bestandigt mere og mere indtil den 2den Novbr., da dets Høide var 53,6 Fod o. d. V. Fra den Tid steg Vandspeilet igjen og naaede den 15de December sin høieste Stand, nemlig 56,5 Fod o. d. V.; fra 7de Juni 1853, da Vandstanden var 54,7 Fod, faldt den igjen bestandigt indtil 18de Januar 1854, da den kun var 52,4 Fod o. d. V. Derpaa hævede Vandstanden sig lidt indtil Midten af Februar, men faldt saa igjen saaledes, at den i Juni samme Aar var 52,8 Fod o. d. V. Forandringen af Vandstanden i Nr. V i Løbet af de to Aar tydede altsaa paa, at de artesiske Kildeboringer havde formindsket den i Jorden værende Vandmængde gjennemsnitlig med 1,6 Fod aarlig. Ved at sammenligne Vandstanden i Nr. V med Vandstanden i Nr. IX fremgik endvidere, at medens Nr. V fra Slutningen af October til 15de December 1852 steg 3 Fod, saa steg Vandstanden i Kilden Nr. IX omtrent 3,3 Fod, og denne Omstændighed førte mig paa den Tanke, at den observerede Tilvæxt i Vandføring for sidstnævnte Kilde maaskee udelukkende eller væsentligst havde sin Grund i den forøgede Vandrigdom i Jorden og deraf følgende Stigehøide. For at prøve, hvorvidt denne Formodning var rigtig, forsøgte jeg ved Hjælp af Formlen (1) at bestemme, hvor meget Stigehøiden for Nr. IX maatte have voxet, naar Forøgelsen af Vandføringen alene skulde hidrøre derfra, og ved til den Hensigt at gaae ud fra Maalningen den 6te December 1852 og derefter at sætte $H = 34,5$ Fod, $H = 28$ Fod og $Q = 2600$ Tdr.

Vand i Døgnet, fandt jeg Størrelsen $A = 0,0025$. Ved nu at indsætte denne Værdi for A i Formlen (1) erholdt jeg følgende Ligning til Bestemmelse af Stigehøiden for Nr. IX:

$$H = 28,0 + 0,0025 \cdot Q,$$

idet det lille Tryktab h , som hidrørte fra Modstanden i Foringsrøret, kunde betragtes som forsvindende.

Ved i denne Ligning, ifølge Maalningerne i October, at sætte $Q = 1250$ Tdr. i Døgnet, fandt jeg den tilsvarende Stigehøide at skulle være $H = 31,125$ Fod, og Observationen gav, at den var $= 31,1$ Fod. Det var altsaa klart, at fra det Øieblik vi naaede Dybden 155 Fod ved Boringen af Nr. IX, havde vi gjennemboret det vandførende Lag, og at den senere gjennemborede Dybde af c. 100 Fod kun tilsyneladende havde forøget Kildens Vandføring.

Men efter at jeg paa denne Maade var kommet til Erkjendelse af, at Stigehøiden forandrede sig, kunde jeg ogsaa gjøre det omvendte Regnestykke, nemlig at bestemme Stigehøiden af en Kilde fra Tid til anden ved Hjælp af den Vandføring, som blev observeret. Ved for Kilden Nr. IX at udføre denne Regning, fremkommer følgende Oversigtstabel over Kildens Vandføring og Stigehøide:

Observations-Dagen.	Vand- føring i Døgnet (observeret).	Kildens Stige- høide over daglig Vande.	Boringens Dybde.	Observations-Dagen.	Vand- føring i Døgnet (observeret).	Kildens Stigehøide over daglig Vande.
	Tdr.	Fod.	Fod.		Tdr.	Fod.
10de August 1852 . . .	650	31,36 (observeret)	46	21de Juli 1853	1700	32,25 (beregnet)
21de Septbr. — . . .	1000	31,12 —	108	16de Aug. —	1550	31,9 —
15de til 29de Oct. — . .	1250	31,1 —	155 til 170	23de Septbr. —	1550	31,9 —
2den Novbr. — . . .	1300	31,25 (beregnet)	176	21de Octbr. —	1450	31,6 —
19de — — . . .	1850	32,6 —	206	17de Novbr. —	1400	31,5 —
2den Decbr. — . . .	2300	33,8 —	217	16de Decbr. —	1300	31,25 —
6te — — . . .	2600	{ 34,5 — observeret Stigehøide = 34,5 Fod o. d. V.	220	15de Febr. 1854	1750	32,4 —
15de — — . . .	2900	35,5 —	229	16de Marts —	1350	31,4 —
11te Januar 1853 . . .	2800	35,0 —	248	19de April —	1250	31,1 —
1ste April — . . .	2600	34,0 —	—	16de Mai —	1200	31,0 —
3die Juni — . . .	2200	33,5 —	—	15de Juni —	1150	29,9 —
30te — — . . .	2000	33,0 —	—			

Da Størrelsen A , som indgaaer i Formlen (1), betegner den Trykhøide, som behøves for at drive 1 Tønde Vand i Døgnet gennem det vandførende Sandlag ind i Foringsrøret, saa er det tydeligt, at A kun beholder samme Værdi, saalænge Sandlaget beholder samme Tæthed, hvilket Sidste Erfaring desværre har viist kun finder Sted i en forholdsviis kort Tid. Under Udførelsen af en Kildeboring river nemlig det frembrydende Kildevand en Mængde Sand, forskjelligt efter Terrainets Beskaffenhed, med sig ind i Borehullet, hvilket da opskylles gennem Foringsrøret. Derved fremkommer der en forholdsviis let Udvei for Vandet i de Boringen nærmest omgivende Dele af det vandførende Lag, og dette giver sig tilkjende ved en forholdsviis stor Vandføring af Kilden; men efterhaanden som Kilden vedbliver at strømme, river Vandet nye Sandpartikler med sig henimod Borehullet, hvilke da igjen fylde de oprindelige Tomheder med Sand, og desto hurtigere, jo mindre Sandkornene ere og jo større Kildens Vandføring er. Derved voxer efterhaanden den Modstand, som Sandlaget ytrer imod Vandets Bevægelse, og dermed naturligt Størrelsen A , som indgaaer i Formlen (1); Følgen deraf er, at Vandføringen Q aftager. Men deraf følger videre, at naar vi beregne Kildens Stigehøide efter Formlen (1) under Forudsætning af at A har sin oprindelige Værdi, saa viser Stigehøiden sig aftagende i Tidens Løb, selv naar den i Virkeligheden har holdt sig uforandret. Det er saaledes egentlig kun en forholdsviis kort Tid, efter at Stigehøiden for Kilden er bestemt ved Observation paa den tidligere angivne Maade, at man kan være vis paa, at Stigehøiden nøiagtigt har den Størrelse, som beregnes efter Formlen (1) ved Hjælp af Vandføringen; hvad man derimod stedse vil kunne stole paa, er dette: at Stigehøiden til enhver Tid vil angive de Forandringer, som foregaae i Jorden paa Grund af Fugtighedsforholdene, skjøndt disse Forandringer i Reglen fremstille sig noget mindre end de i Virkeligheden ere. Af Hensyn til det saaledes Anførte har jeg indskrænket mig til for Kilden Nr. IX at anføre Resultaterne af de to første Aars Observationer, idet det tydeligt fremgik af Vandføringens gradvise Formindskelse, at væsentlige Tilsandinger fandt Sted og gjorde de følgende Observationer uskikkede til deraf at bestemme Kildens virkelige Stigehøide. I Aaret 1859 fandtes tilsidst bemeldte Kilde aldeles tilstoppet og standset.

Paa samme Maade som for Kilden Nr. IX har Formlen (1) givet mig Midler til at undersøge paa hvilken Maade Stigehøiden for hver af de andre artesiske Kilder har varieret i Tidens Løb, og specielt skal jeg henlede Opmærksomheden paa Kilderne Nr. I, III, VI og VII, der med Kilden Nr. IX alle ligge i en Linie fra Vest til Øst, og alle gaae ned til de vandførende Lag i Saltholmskalken.

Resultatet af disse Undersøgelser viser sig tydeligt, naar vi betragte den graphiske Fremstilling af de sidste 20 Aars Observationer, som findes paa den vedføjede Plan I, hvorpaa Observationstiden er afsat som Abscisse, medens de forskjellige Kilders Stigehøider ere afsatte som Ordinatorer. De tilsvarende Curver, som altsaa fremstille Høiden af det

underjordiske Vandspeil for hver af de omhandlede Boringer, vise os de Forandringer, som Jordens Vandrigdom har undergaaet i den forløbne Tid. Foruden de nævnte Kilders Stigehøider finder man tillige angivet Resultatet af de directe Maalninger over Vandstanden i Boringen Nr. V paa Riisby Mark, hvilken Boring siden de artesiske Kilders Anlæg har tjent som et Slags Vand-Barometer til at angive Jordens eller rettere de underjordiske Lags Vandrigdom. Som saadan har denne Boring været Vandvæsenet til stor Nytte; thi efter dens Vandstand have vi til alle Tider haft en nogenlunde klar Forestilling om, hvorledes Vandrigdommen i Jorden var, og hvorvidt vi som en Følge deraf kunde stole paa de artesiske Kilder med Hensyn til Kjøbenhavns Vandforsyning. Da Boringen Nr. V ikke var vandførende, fandt her ikke den Tilsanding Sted, som jeg foran har omtalt ved de vandførende Kilder; men i ethvert Tilfælde kan en Tilsanding af Boringen Nr. V ingen Indflydelse have haft paa Vandreisningen, der stedse havde Tid nok til at indstille sig efter Vandstanden i Jorden. I Løbet af en halv Snees Aar blev denne Boring stadigt benyttet som Vandstandsmaaler; men ved Begyndelsen af Aaret 1863 fandtes Borehullet tilstoppet af Jord, som var nedstyrtet deri, hvorfor de hidtil regelmæssigt udførte Vandstandsmaalninger maatte ophøre. Da det imidlertid efterhaanden blev mere og mere klart, at vi ikke kunde undvære vort Vand-Barometer, fordi vi uden dette ikke vidste, hvorvidt den Aftagen, som Kilderne i Aarene 1864—1866 viste, havde sin Grund i en virkelig Udtømmning af Jordens Vandrigdom gennem Kilderne eller i en Tilstopning af Kilderne, saa blev det besluttet ikke blot at Boringen Nr. V skulde istandsættes, men at der desuden i Nærheden af Kilden Nr. III paa et høiere liggende Sted skulde udføres en ny Boring, der ligesom Nr. V kunde tjene som Maalested for Vandreisningen i Jorden og som endnu mere directe end Nr. V kunde tjene som Vandstandsmaaler for Kilden Nr. III. Fra August 1867 findes derfor paa den medfølgende Plan I angivet de observerede Vandstandshøider baade for Nr. V og for Nr. III. Saavel de ligefrem observerede Vandstandshøider, som ogsaa de Høider, der ere beregnede ved Hjælp af de observerede Vandføringer af Kilderne, ere som sagt afsatte paa Planen ved Punkter, der ere forbundne med fuldt optrukne Linier. De punkterede Vandstandslinier, som findes paa Plan I, antyde derimod kun den sandsynlige Vandstandshøide for visse af Kilderne, hvor directe Maalninger mangle.

Naar vi sammenligne de saaledes bestemte Vandstandshøider, som findes angivne paa Plan I for de forskellige artesiske Boringer i Damhuussøens Opland, viser det sig tydeligt, at Grundvandspeilets Stand i Jorden i alt Væsentligt stiger og falder paa alle Punkter af det hele Terrain efter den samme Lov og navnlig saaledes, at alle Variationerne ere saa nær proportionale, at dersom directe Observationer havde manglet for nogle af Kilderne undtagen ved Begyndelsen og Enden af det betragtede Tidsrum, saa vilde man meget nær have kunnet construere hele den manglende Vandstandslinie proportionalt med den Vandstand, som samtidigt fandt Sted i Boringen Nr. V.

Paaviisningen af dette Forhold er naturligviis af stor Betydning, fordi det lærer os, at alle vore Kilder staae i underjordisk Forbindelse med hinanden saaledes, at den ene maa indvirke paa den anden. Men denne Erfaring viser paa den anden Side tillige, at de vandførende Lag, hvorfra de artesiske Kilder have deres Udspring, ere udstrakte under hele Damhuussøens Opland. Antage vi, hvad jeg troer kommer Sandheden temmelig nær, at de Grønsandslag, der danne Oplandet for de artesiske Kilder, have en Udstrækning af omtrent en Kvadratmil, ligesom Damhuussøens Opland, samt at der i middelfugtige Aar aarligt synker en Vandhøide af omtrent 6 Tommer ned til disse Lag, — hvilket, efter hvad jeg alt tidligere i 1860 i Tidsskrift for Landøkonomi har søgt at vise, er den Vandmængde, som i middelfugtige Aar løber ned til de vandførende Lag i Jorden, — saa kunne vi gjøre Regning paa, at det underjordiske Lag, hvorfra Kilderne have deres Udspring, i middelfugtige Aar gennemsnitlig har en Vandføring af circa 180000 Tønder daglig.

Dette er vistnok en betydelig Vandføring, men det maa ogsaa erindres, at det er hele det underjordiske Grønsandslags Middelvandføring, hvorom der her er Tale; at opsamle hele denne Vandmængde ved Hjælp af de artesiske Kilder i Damhuussøens Opland vilde aabenbart være forbundet med saa betydelige Omkostninger, at der ikke lettelig kunde blive Spørgsmaal derom. Men dertil kommer, at Grønsandslagenes Vandføring er meget variabel; størst om Vinteren og mindst om Sommeren, og derhos betydeligt større i vandrige end i vandfattige Aar. Vandstandsmaalningerne i Boringen Nr. V give os altsaa paa een Gang baade et Maal for Jordlagenes Vandholdighed og for de artesiske Kilders Vandrigdom, samt desuden et Middel til at bestemme, hvorvidt de Forandringer i Vandføring, som Kilderne Tid efter anden undergaae, ere begrundede i Forandringer af Grønsandslagenes Vandrigdom eller kun ere af lokal Oprindelse, foranledigede ved en deelviis Til-sanding af de paagjældende Kilder.

Siden Aaret 1854 er der foruden Maalningerne af Vandstanden i Boringen Nr. V kun udført faa paalidelige Maalninger til Bestemmelse af Stigehøiden ved de forskjellige Kilder, hvilket væsentligt har sin Grund deri, at det efterhaanden som de ældre Kilder sandede til blev nødvendigt at bore nye Kilder, som i Forbindelse med de ældre gjorde Bestemmelsen af Stigehøiden baade vanskelig og tvivlsom. I November 1857 fandt jeg dog Leilighed til at foretage en Bestemmelse af Stigehøiderne for Kilderne Nr. III og Nr. VI, og senere hen i December Maaned samt i den paafølgende Februar desuden en Bestemmelse af Stigehøiderne for Kilderne Nr. VII og Nr. VI, saaledes som angivet paa Plan I. Grundet paa disse Bestemmelser har jeg ved Hjælp af Vandspeilsstanden i Nr. V construeret Vandstandslinierne for Kilderne Nr. III, VI og VII for Tidsrummet fra Juni 1854 til November 1857, saaledes som det ved punkterede Linier er angivet paa Plan I, og det er min Overbeviisning, at de virkelige Vandstandslinier, hvis de ligefrem havde været maalte, meget nær vilde have stillet sig som de punkterede Linier angive. Fra 1857 til 1863

findes alene Høidebestemmelser for Vandstanden i Nr. V, og senere, da denne Boring tilstoppedes, gives der slet ingen Høidebestemmelser for Vandstanden paa det hele Terrain før i August Maaned 1867, da vi atter fik Vandstandsmaaleren Nr. V i Orden og tillige fik boret den nye Vandstandsmaaler i Nærheden af Kilden Nr. III. De derved observerede Vandstandshøider ere, som alt bemærket, angivne paa Planen, og disse Maalninger vise maaskee endnu tydeligere end de tidligere Angivelser, at Vandstanden paa de to Steder under sædvanlige Forhold varierer næsten ganske paa samme Maade. Da dernæst enhver extra Sænkning af Vandstanden ved Nr. III, fremkaldt ved Pumpning paa disse Kilder, sees at frembringe en tilsvarende Sænkning af Vandstanden Nr. V — en Sænkning, som vel ikke er saa stor som den Pumpningen fremkalder i den umiddelbare Nærhed af Nr. III, men dog er fuldkommen stor nok til at vise Virkningen af Pumpningen — saa er det derved ubestrideligt beviist, at Kilderne staae i directe Forbindelse med hinanden gjennem de vandførende Lag.

At Kildeboringerne baade indvirke paa hinanden og ved deres Vandføring have fremkaldt en blivende Formindskelse af Vandets Stigehøide i Jorden, kan tydeligt sees ved en Betragtning af Kilderne Nr. I og III, der bleve aabnede i Slutningen af Aaret 1851; thi Maalningerne af Stigehøiderne for disse Kilder vise fuldstændigt, at skjøndt Nr. III oprindeligt havde den høieste Vandstand, forandrede Forholdene sig efterhaanden saaledes, at Vandstanden i August 1852 var lige stor for Nr. I og Nr. III, samt at Vandstanden senere bestandigt har været mindre for Nr. III end for Nr. I. Oprindeligt synes altsaa Grundvandet fra Omegnen af Nr. III at have havt Fald og altsaa ogsaa Løb baade imod Øst og Vest; men ved Aabningen af de store Kilder ved Nr. III forandrede Forholdene sig saaledes, at Grundvandet fra Nr. I fik Fald imod Nr. III. Efter Forløbet af et Par Aar synes Kilden Nr. III at have naaet en saadan Stadighed, at Stigehøiden senere har holdt sig c. 3 Fod lavere end Vandstanden i Nr. V; thi endnu 7 Aar derefter finde vi denne Forskjel i Stigehøide for disse to Boringer. Efter Forløbet af et Par Aars Tid synes derfor alle Kilderne nogenlunde at være komne i Ligevægt igjen efter den Forstyrrelse, som fremkaldtes ved deres Frembrud, og siden den Tid finde vi Vandstanden i Jorden at have et temmelig stadigt Fald fra Vest imod Øst, fra Kilden Nr. I indtil Nr. IX ved Slotsherrens Bro, omtrent saaledes:

Fra Kilden Nr. I til Nr. III falder Vandspeilet c. $3\frac{3}{4}'$ paa 3000 Al. eller c. 1 : 1600
— — III — VI — c. 5' — 2400 — — c. 1 : 1000
— — VI — VII — c. 5' — 2600 — — c. 1 : 1000
— — VII — IX — c. 8' — 4500 — — c. 1 : 1100,

hvoraf med fuldstændig Sikkerhed følger, at der under hele Damhuussøens Opland gaaer en underjordisk Strøm fra Vest til Øst. Heraf drog jeg i sin Tid videre den Slutning, at den hele underjordiske Strøm sandsynligviis fulgte Grønsandslaget under det store Dalstrøg,

hvori Damhuussøen er beliggende, lige ned til Kallebostrand med Udløb i Nærheden af Flaskekroen, altsaa i fuldstændig Overeensstemmelse med Overfladevandets naturlige Løb til Stranden; men denne sidste Slutning var ikke rigtig; thi da vi under de senere Aars Mangel paa Vand forsøgte at bore Kilder i det nævnte Dalstrøg Syd for Damhuussøen for derved om muligt at opfange en Deel af det Vand, som efter Antagelsen løb underjordisk denne Vei ad Stranden til, fandtes det, at den formodede store Vandstrøm slet ikke fandtes i dette Dalstrøg, noget, som den ringe Vandføring i Forhold til Stigehøiden af Kilden Nr. IX maaskee alt burde have sagt mig. Men idet det herved er beviist, at Grundvandet ikke følger den nys betegnede Retning, opstaaer der Spørgsmaal om at bestemme ad hvilke andre Veie det naaer til Stranden, og Svaret paa dette Spørgsmaal kan neppe blive tvivlsomt, naar vi betænke, at de vandførende Grønsandslag strække sig i sydlig Retning lige til Kjøgebugt og Kallebostrand, og at det er en Erfaring fra en Mængde Boringer, som ere blevne udførte paa Terrainet mellem Damhuussøens Opland og Kjøgebugt, at de vandførende Lags Stigehøide er desto mindre, jo mere Boringerne nærme sig Strandbredden. Deraf følger nemlig tydelig, at Grundvandet i Jorden ikke blot, som vi have seet, har Fald imod Øst, men tillige har Fald imod Syd og at det resulterende Fald altsaa gaaer i en sydostlig Retning. Betænkes dernæst fremdeles, at Kilderne Nr. III, der ligge i en Afstand af c. 17000 Alen fra Kjøgebugt, have en Stigehøide af c. 50 Fod, vil det sees, at den underjordiske Strøm gjennemsnitlig har et Fald af omtrent 1:700 i sydlig Retning samtidig med, at Strømmen har et Fald af c. 1:1000 i østlig Retning, og det bliver derfor mere end blot sandsynligt, at Grundvandet fra Damhuussøens Opland maa have Aflob til Kjøgebugt og Kallebostrand igjennem Kildevæld i Stranden mellem Store-Veileaa og Flaskekroen.

Da Kjøbenhavn for en Deel er forsynet med Vand fra de artesiske Kilder, har det naturligviis stor Betydning for Staden at vide, hvorvidt man kan stole paa disse Kilder. For at komme til Klarhed desangaaende var det magtpaaliggende at vide, hvorledes de kildeførende Lags Vandrigdom afhænger af Regnmængden eller Nedslaget; thi at Kildernes Vandrigdom er afhængig af det atmosfæriske Nedslag, er ikke blot i og for sig klart, men fremgaaer ogsaa tydeligt, naar vi paa Plan I betragte Kildernes Stigehøider i de forskjellige Aar og derhos lægge Mærke til, hvorledes Regnmængden har varieret i disse Aar. En Mængde Forsøg, som jeg paa et tidligere Stadium, efter at Kildeboringerne vare sluttede, har udført for at finde den Lov, hvorefter Kildernes Vandrigdom afhænger af Regnmængden, forbleve imidlertid uden Resultat, da det ved nærmere Undersøgelse viste sig, at uagtet Stigehøiden for Nr. V i det Hele voxede med Nedslaget, saa varierede denne Høide dog ikke paa samme Maade som Nedslaget i Aarets Løb. Først efter at jeg i Aaret 1860 havde fuldført min tidligere omtalte Undersøgelse over Fugtighedsforholdene i Kjøbenhavns Omegn, klarede Forholdet sig væsentligt. I den nævnte Afhandling har jeg nemlig, foruden at give

en Oversigt over Resultaterne af forskellige Iagttagelser angaaende Nedslagets og Fordampningens Størrelse i Aarene 1848—1859, givet en Fremstilling af en Deel Resultater, som bleve vundne i Aarene 1852 til 1853 ved to Systemer af Drainledninger, der af Vandvæsenet vare blevne nedlagte for at komme til Kundskab om, hvorvidt man ved almindelig Draining af Markerne vilde kunne forskaffe sig en Vandmængde, der kunde komme Stadens Vandforsyning til Gavn.

Det ene af disse Systemer af Drainrør blev lagt paa 1 Tønde Land leret Jord i Nærheden af Damhuset, og bestod af trede paralleltløbende Drainledninger beliggende i 5 Fods Dybde og 40 Fods indbyrdes Afstand; det andet Drainrørsystem, der ganske blev udført paa samme Maade, blev lagt i Nærheden af Islehuus paa 1 Tønde Land sandet Jord. De maanedlige Vandmængder, som disse to Systemer af Drainrør have givet i Tidsrummet fra Januar 1852 til April 1854 kunne, naar de udtrykkes i Fod Vandhøide fordeelt paa Arealet af 1 Tønde Land, fremstilles i følgende Tabel, som tillige paa samme Maade angiver Nedslagets Størrelse for Damhuussøen.

Observationstiden.	Regnmængde.	Drainvandsmængde		Anmærkning.
		ved Damhuset.	ved Islehuus.	
	Fod.	Fod.	Fod.	
Januar 1852	0,25	0,22	0,09	I Novbr. og Decbr. 1851 var den samlede Regnmængde = 0,38 Fod. Drainvandsmængden i disse to Maanedner er vel ikke observeret, men antages omtrent at have udgjort for Damhuset 0,20 Fod og for Islehuus 0,10 Fod.
Februar —	0,26	0,43	0,12	
Marts —	0,06	0,14	0,06	
April —	0,07	0,06	0,02	
Mai —	0,26	0,02	0,01	
Juni —	0,24	0,00	0,00	
Juli —	0,03	0,00	0,00	
August —	0,15	0,00	0,00	
Septbr. —	0,25	0,00	0,00	
Octbr. —	0,33	0,00	0,00	
Novbr. —	0,41	0,15	0,03	
Decbr. —	0,34	0,46	0,25	
Januar 1853	0,23	0,43	0,26	
Februar —	0,12	0,12	0,09	
Marts —	0,11	0,10	0,08	
April —	0,28	0,24	0,15	
Mai —	0,13	0,11	0,05	
Juni —	0,08	0,00	0,00	
Juli —	0,25	0,00	0,00	

Observationstiden.	Regnmængde.	Drainvandsmængde		Anmærkning.
		ved Damhuset.	ved Islehuus.	
	Fod.	Fod.	Fod.	
August 1853	0,18	0,00	0,00	
Septbr. —	0,15	0,00	0,00	
Octbr. —	0,11	0,00	0,00	
Novbr. —	0,04	0,00	0,00	
Decbr. —	0,02	0,00	0,00	
Januar 1854	0,15	0,00	0,00	
Februar —	0,17	0,00	0,00	
Marts —	0,06	0,00	0,00	
April —	0,07	0,00	0,00	

Af denne Tabel kan, som jeg alt tidligere har gjort opmærksom paa, udledes:

1. At i Vinterhalvaaret (Novbr.—April) 18 $\frac{51}{52}$ var Drainvandsmængden fra Leerjorden ved Damhuset næsten lige stor med Regnmængden (1,02 Fod), medens den ved Islehuus kun var 0,39 af Regnmængden.
2. At Afløbsmængden ved begge Systemer af Drainrør i Sommerhalvaaret (Mai—Octbr.) 1852 var forsvindende lille, uagtet Regnmængden var = 1,26 Fod.
3. At Afløbsmængden i Vinterhalvaaret (Novbr.—April) 18 $\frac{52}{53}$ ved Damhuset atter var lige stor med Regnmængden (1,49 Fod), hvorimod den ved Islehuus kun udgjorde 0,57 af Regnfaldet.
4. At Afløbsmængden i Sommerhalvaaret (Mai—Octbr.) 1853 for begge Systemer af Drainrør atter var høist ubetydelig, skjøndt Regnmængden var = 0,90 Fod.
5. At i Vinterhalvaaret 18 $\frac{53}{54}$, da Regnmængden kun udgjorde 0,51 Fod, var Afløbsmængden for begge Systemer af Drainrør = 0.

Af disse Undersøgelser fremgaaer derfor, at ikke hele Vinterregnen afløber gennem Drainrørene, men at mere end $\frac{1}{2}$ Fod af Regnhøiden optages og holdes tilbage i Jorden; naar Drainingen ved Damhuset i de to første Vinterhalvaar har givet Vandmængder, der vare lige store med Regnmængderne, er dette et Tegn paa, at Oplandet i Virkeligheden har været større end den paaregnede Tønde Land, hvilket ogsaa i og for sig har Sandsynlighed for sig, da det kun var den nederste Deel af Marken, som blev drainet. Ved Islehuus, hvor hele Marken var horizontal, viser Forholdet sig at være heelt anderledes; men her maa det paa den anden Side antages for rimeligt, at en Deel Vand er løbet forbi Drainrørene ned i de dybere liggende Sandlag saaledes, at Drainvandsmængden har været mindre

end den Vandmængde, der virkelig løb ned i Jorden og derigjennem fandt Afløb. Hvad der imidlertid herved for Øieblikket er det meest lærerige, er dette, at de angivne Undersøgelser vise, at selv i meget fugtige Somre synker der næsten intet Vand ned til en Dybde af 5 Fod, men at hele Regnmængden fordamper og forsvinder saa at sige i Jordoverfladen. En Deel af Regnmængden forsvinder aabenbart paa denne Maade i alle Aarets Maaneder, og det er derfor ogsaa klart, at der efter den egentlige Vintertid bestandigt trænger mindre og mindre af den faldne Regn ned i Jorden lige indtil det Tidspunkt, da al dybere Nedtrængning af Grundvand standser, hvilket i Reglen skeer i Begyndelsen af Mai Maaned. Fra Mai til Octbr. er altsaa Nedtrængningen af Vand til de underjordiske vandførende Lag i Reglen ophørt og begynder først igjen i Novbr. Maaned, for derefter i Almindelighed at vedvare indtil Begyndelsen af Mai næste Aar. Heraf følger det for vore artesiske Kilder vigtige Resultat, at de underjordiske vandførende Lag, hvorfra disse Kilder have deres Udspring, i Reglen kun faae Tilgang af Vand fra Jordoverfladen paa de Tider (Novbr.—April), hvor Drainrørene give Vand, samt at disse Kilder vilde miste en Deel af deres nuværende Vandrigdom, dersom Damhuussøens Opland blev kunstigt drainet til en større Dybde end den, hvori Grundvandet nu staaer.

Det er altsaa Vinterhalvaarets Nedslag, som forsyner baade Drainledningerne og de kildeførende Lag med Vand, og Tidsrummet, hvori dette skeer, er i Reglen fra November til Begyndelsen af Mai. Da dette Nedslag for en stor Deel bestaaer af Snee, som kan henligge flere Maaneder paa Jorden uden at tøe, kan Mængden af Vand, som i Vintertiden synker i Jorden, dog vise sig fordeelt paa en ganske anden Maade end Nedslaget; en saadan Forskjel i Fordelingen viser sig derfor ogsaa som Regel, hvad enten vi sammenligne Nedslaget med Drainrørenes Vandføring eller med Kildernes Stigehøide. I November og December Maaneder, før Frosten indtræder, vise Kilderne i Almindelighed en rig Tilgang af Vand; senere hen derimod, naar Frosten forhindrer Nedslaget fra at synke i Jorden, standser Tilgangen til de vandførende Lag for en Tid indtil henimod Foraars-tøbrud, hvor en rigelig Tilgang af Vand atter viser sig. For bedre at kunne sammenligne Stigningen af Vandstanden ved Kilderne med de Mængder af Vand, som synke i Jorden og finde Afløb gjennem Drainrørene, har jeg paa Plan II, foruden Stigehøiden for Boringen Nr. V, angivet Mængderne af Drainvand, som i Aarene 1852 og 1853 bleve fundne at afløbe gjennem de to nævnte Systemer af Drainledninger, samt til yderligere Sammenligning mellem Kildernes og Drainledningernes Vandføring paa den ene Side og Nedslaget paa den anden, er tillige angivet de maanedlige Nedslag af Regn og Snee, som ere maalte ved Damhuussøen, idet jeg for Tydeligheds Skyld særligt har fremhævet den i Vinterhalvaaret faldende Regn- og Sneemængde, hvorfra Kilderne saavel som Drainledningerne modtage deres væsentligste Tilgang. Ved at betragte disse Forandringer i Jordens Vandstandshøide og sammenligne dem dels med de faldne Vandhøider, dels med Høiderne

svarende til de Vandmængder, som have fundet Afløb gennem begge Systemer af Drainledninger, viser der sig en saadan Overeensstemmelse, at der næppe kan være nogen Tvivl om, at det virkelig i alt væsentligt er Vinterregnmængden, som forsyner baade Drainledningerne og de kildeførende Lag med Vand. — Paa den første af disse Planer har jeg fremhævet de forskellige Tidsrum, i hvilke det har været nødvendigt at foretage Oppumpning af Vand fra de artesiske Brønde, hvilke Pumpninger ere udførte ved Kilderne Nr. III, VI & VII; naar vi derved lægge Mærke til, under hvilke Forhold det har været fornødent at forøge Vandmængden til Stadens Forsyning ved Hjælp af Pumpning paa Kilderne, viser det sig, at Nødvendigheden netop indtræder i de Aar, som følge efter vandfattige Vintre, fordi disse ere utilstrækkelige til at afgive saa stort et Quantum Overfladevand, som behøves til Søernes Fyldning, og da vandknappe Vintre tillige gjøre Jordlagene fattige paa Vand, vil Pumpning altsaa fortrinsviis indtræde, naar Jordlagenes Vandrigdom er forholdsviis lille og tillige er mindst at stole paa.

De saaledes paaviste Forhold ved de artesiske Kilder have givet mig Anledning til flere forskellige Betragtninger angaaende Vandrigdommen af de vandførende Lag, hvilke Betragtninger jeg dog ikke her skal gaae nærmere ind paa, fordi de endnu ikke kunne anstilles med den fornødne Grad af Sikkerhed. Derimod skal jeg fremhæve et Forhold, som Pumpningerne paa Kilderne i Aarene 1868, 69 og 70 mere bestemt har lagt for Dagen. Ved at betragte Vandstanden i de to Maalerør Nr. III og Nr. V findes det, at naar der ikke pumpes ved Nr. III, er Vandstanden ved Nr. V mellem 4 og 5 Fod høiere end ved Nr. III, og da Afstanden mellem disse Kildeboringer er c. 3500 Alen, saa vilde altsaa Vandspeilsfaldet i Jorden, hvis det var jævnt, under sædvanlige Forhold beløbe sig til c. 1:1400 fra Nr. V til Nr. III. Naar der derimod pumpes paa sidstnævnte Kilder, sænker Vandstanden sig ved begge Kildeboringer saaledes, at der fra Nr. V til Nr. III fremkommer et Vandspeilsfald af c. 10 Fod eller c. 1:700, hvilket da er ligestort med det tidligere paaviste Vandspeilsfald til Kallebostrand. Som en Følge deraf kan det antages, at under Pumpning paa Kilderne forandres Vandspeilsfaldet i Jorden saaledes, at Vandet erhoder samme Fald imod Nr. III fra et Punkt Vest for Nr. V, i Nærheden af Riisby, som det, hvorunder Grundvandet fra Nr. III sædvanligt strømmer til Stranden, naar der ikke pumpes paa Kilderne. Men derved bliver det aabenbart høist sandsynligt, at til daglig Brug, naar der ikke pumpes, modtager Nr. III ikke Vand fra Omegnen af Nr. V, men kun fra et Punkt, som er beliggende mellem disse to Maalesteder noget indenfor den sydvestlige Grændse for Damhuussøens Opland, idet Grundvandet fra Omegnen af Nr. V rimeligviis søger Kallebostrand. Ved Pumpning paa Kilderne forandres Forholdene derimod saaledes, at selv Grundvandet fra Strækninger, der ligge et godt Stykke udenfor Damhuussøens Oplands Grændser, drages hen imod de artesiske Brønde og derigjennem kommer Kjøbenhavns Vandforsyning til Gavn.

Uagtet de Erfaringer, som saaledes bleve samlede ved de artesiske Kilder, i det Hele vare vel skikkede til at give en rigtig Anskuelse angaaende de underjordiske Strømningsforhold, saa vare de dog ikke tilstrækkelige til at bibringe mig en saa klar Forestilling om Grundvandets Bevægelse, som behøvedes for paa tilfredsstillende Maade at kunne gjøre Rede for de Love, hvorefter Grundvandet bevæger sig i Jorden. Da der ikke faldt mig noget Middel ind, hvorved jeg vilde kunne bringe Sagen til Klarhed, forblev der bestandigt noget Utilfredsstillende for mig ved de Undersøgelser af Kilderne, hvorpaa jeg havde anvendt saa megen Tid. En lang Tid hengik derfor før jeg atter kom ind paa denne Række af Undersøgelser over Grundvandets Løb, og da ad en heel anden Vei end tidligere. Ved nemlig paany at tænke over denne Sag, faldt det mig ind, at afgjørende Forsøg over Lovene for Grundvandets Bevægelse i Jorden maatte kunne udføres paa en temmelig simpel Maade, nemlig ved at lade en given Vandmængde strømme gennem forskellige Sand- og Gruuslag, medens man observerer hvor stort det tilsvarende Vandspeilsfald er for hvert af de undersøgte Jordarter.

Jeg lod derfor i Aaret 1870 paa Vandværkspladsen opstille en af Træ dannet Maalekasse, som tilhørte Vandinspecteur Poulsen, der velvilligt overlod mig samme til Benyttelse. Kassen var udført af sammenpløiede 3 Tommers Planker og indvendigt udført med et tyndt Lag af Portlands-Cement. Den havde en indvendig Længde af c. $11\frac{1}{2}$ Fod, en Dybde af c. $16\frac{1}{2}$ Tomme og en indvendig Brede af 23 Tommer. Ved den indvendige Cementering var Bundfladen formet saaledes, at dens Flade krummede sig op og løb jævnt over i de lodretstaaende Sideflader uden skarpe Overgange; men Kassens indvendige Tværnsnitsareal var forøvrigt temmelig nær constant langs hele Længden og udgjorde c. $2,33 \square$ Fod. Denne Maalekasse, som forøvrigt var forarbejdet i et heelt andet Øiemed, var ved et Tværskillerum deelt i to Rum, hvoraf det ene havde en Længde af c. $10\frac{1}{2}$ Fod, medens det andet kun havde en Længde af c. 1 Fod. Begge disse Rum bleve satte i Forbindelse med hinanden saaledes, at det filtrerede Vand, som jeg i en stadig Strøm lod indstrømme fra Vandværket i den mindre Afdeling, flød derfra fuldkomment jævnt over til den større Afdeling, hvori Forsøgene anstilledes. I begge Ender af dette større Rum blev der nedlagt Smaasteen i en Længde af Kassen af omtrent 1 Fod, og mellem disse to Steenlag blev det Materiale, hvis Ledningsmodstand mod Vandets Bevægelse jeg vilde undersøge, anbragt i en Længde af c. $8\frac{1}{2}$ Fod. Det fra Vandværket tilstrømmende filtrerede Vand passerede altsaa fra det mindre Rum gennem Tværskillerummet ind i det tilstødende Steenlag, hvori det fordeelte sig saaledes, at det tilflød Forsøgsmaterialet fuldkommen eensformigt og jævnt. Efter at Vandet havde gennemstrømmet Forsøgsmaterialet, traadte det ud i det i Kassens anden Ende værende Steenlag, hvori Vandet fandt en let Udvei gennem et i Kassens Endeflade værende Afløbsrør, der var bevægeligt saaledes, at jeg ved at aabne en Hane paa Røret kunde lade Afløbet finde Sted i hvilken Høide jeg ønskede; dette Afløbsrør tjente da for-

øvrigt til at bestemme Størrelsen af den Vandmængde, som i en given Tid strømmede gennem det i Maalekassen anbragte vandførende Lag. Ved at give Maalekassen et større eller mindre Fald fra Indstrømningsbassinet til Udstrømningsrøret og ved derhos at maale Vandstandshøiden i de to Steenlag ved begge Ender af Forsøgsmaterialet kunde jeg bestemme Vandspeilshøiden i den undersøgte Jordart svarende til den stedfindende Vandføring. For at kunne holde constant Vandspeilshøide ved Indløbet, var det lille Bassin forsynet med et krumt Afløbsrør, der kunde stilles saaledes, at Vandspeilet i Bassinet stadigt holdtes i den Høide, som jeg ønskede, idet alt det overflødige Vand, som tilførtes, bortstrømmede gennem dette Afløbsrør. Da Maalekassens indvendige Brede, som angivet, var 23 Tommer, formindskedes Strømmens Tværsnitsareal med $0,16 \square$ Fod for hver Tomme Strømmens Vandspeil laae under Maalekassens Overkant, og Strømmens Tværsnitsareal s udtrykt i Qvadratfod kunde derfor bestemmes efter Formlen:

$$s = 2,33 - 0,16 \cdot n,$$

idet n betegner det Antal Tommer, Vandspeilet fandtes at ligge under Maalekassens Overkant.

Jeg har paa denne Maade udført Forsøg over Vandets Bevægelse, deels i almindelig reen skarp Filtersand, deels i almindelig skarp Gruus og endelig i bornholmsk Gruus og vil nu begynde med at give en Oversigt over de Resultater, som erholdtes ved Forsøgene med Filtersandet.

Imellem de to Lag af Smaasteen, som anbragtes i begge Ender af Maalekassen, blev altsaa Rummet fyldt med Filtersand i en Længde af 8,6 Fod, og efter at dette Sandlag var omhyggeligt nedlagt og jævnet, blev der paasat Vand, som efterhaanden gennemstrømmede Sandet fra den ene Ende af Maalekassen til den anden indtil det til sidst flød fuldkommen klart bort igjennem Maalerøret i Kassens nederste Ende. Sandets Fiinhed var saa stor, at der omtrent gik 80 Sandkorn paa en Længde af $1\frac{1}{2}$ Tomme. Ved alle de anstillede Forsøg over Vandets Bevægelse blev det iagttaget, at Apparatet var i fuldkommen jævn Gang før Maalningerne udførtes, og Resultaterne af de under disse Forhold foretagne Maalninger vare følgende:

Forsøg med Filtersand.

Forsøgets Nummer.	Forsøgets Dato.	Maalekassens Fald paa 8,6 Fod.	Vandstand i Sandlaget under Overkanten af Maalekassen.		Vandspeilsfald pr. løb. Fod.	Vandføring i Timen.
			Ved Indtrædelsen.	Ved Udtrædelsen.		
		Tommer.	Tommer.	Tommer.	Fod.	Cbfod.
1	23de April 1870	9 $\frac{3}{8}$	1 $\frac{7}{8}$	4 $\frac{1}{4}$	0,116	1,08
2	24de April —	9 $\frac{3}{8}$	2	9 $\frac{3}{4}$	0,169	1,22
3	25de April —	5 $\frac{3}{4}$	1 $\frac{5}{8}$	4 $\frac{3}{8}$	0,063	0,39
4	30te April —	5 $\frac{3}{4}$	2 $\frac{5}{8}$	10 $\frac{1}{8}$	0,110	0,72
5	6te Mai —	7 $\frac{3}{8}$	2	4 $\frac{3}{4}$	0,098	0,60
6	10de Mai —	7 $\frac{2}{8}$	2	8	0,128	0,97
7	11te Mai —	7 $\frac{2}{8}$	2 $\frac{1}{2}$	7 $\frac{3}{4}$	0,121	0,96
8	12te Mai —	7 $\frac{2}{8}$	2 $\frac{1}{8}$	6	0,108	0,81
9	13de Mai —	7 $\frac{2}{8}$	2	5 $\frac{3}{4}$	0,087	0,52
10	22de Mai —	1 $\frac{1}{4}$	2 $\frac{3}{8}$	5 $\frac{7}{8}$	0,086	0,19
11	28de Mai —	1 $\frac{1}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	9 $\frac{7}{8}$	0,074	0,52
12	29de Mai —	1 $\frac{1}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	9 $\frac{7}{8}$	0,074	0,52

For nærmere at bestemme Vandspeilsformen under det sidstnævnte Forsøg af 29de Mai, blev der i Sandet nedstukket trede Stykker halvtommige Jernrør i Midten af Maalekassen, i Afstandene 3', 5' 10" og 8' 2" fra Sandlagets Begyndelse. Ved i disse Rør at maale Vandstanden i Sandlaget samtidigt med at Vandstanden maales i Steenlagene ved Begyndelsen og Enden af Sandlaget, fandtes Vandstanden i Sandlaget under Maalekassens Overkant at være følgende:

Ved Indløbet i Sandet.	3 Fod fra Indløbet.	5,83 Fod fra Indløbet.	8,17 Fod fra Indløbet.	Ved Udløbet af Sandet, 8,6 Fod fra Indløbet.
2 $\frac{1}{2}$ Tom.	4 $\frac{3}{4}$ Tom.	6 $\frac{3}{4}$ Tom.	8 $\frac{3}{4}$ Tom.	9 $\frac{7}{8}$ Tom.

hvorefter Strømmens Tværnsnitsareal, bestemt ved Formlen $s = 2,33 - 0,16 \cdot n$, findes at have været henholdsvis:

$$1,93 \square \text{Fod.} \quad | \quad 1,57 \square \text{Fod.} \quad | \quad 1,25 \square \text{Fod.} \quad | \quad 0,93 \square \text{Fod.} \quad | \quad 0,75 \square \text{Fod.}$$

Jeg kommer i det Følgende tilbage hertil for at paavise, at den herved bestemte Vandspeilsform er en Parabel.

Under de med Maalekassen udførte Forsøg af 23de og 24de April var Kassen næsten fuldkommen tæt; men efter at denne derpaa var bleven løftet med den nederste Ende, viste Kassen sig at være noget utæt ved høi Vandstand, hvorimod den endnu fremdeles viste sig at være tæt, naar Vandstanden ikke holdtes for høit i den nederste Ende. Da jeg imidlertid betragtede Utæthederne for at være saa smaa, at de ikke vilde udøve nogen væsentlig Indflydelse paa Forsøgsresultaterne, tog jeg forøvrigt intet videre Hensyn til dem.

Den 22de Juli blev Filtersandet udtaget af Maalekassen, og denne i dets Sted fyldt med skarp Gruus af den Slags, som oprindeligt var nedlagt i Vandvæsenets Filtre umiddelbart under Sandlaget. Dette Gruus havde en saadan Størrelse, at 40 Korn tilsammen gennemsnitlig havde en Længde af $1\frac{1}{2}$ Tomme. Vand blev derpaa paasat, og til nøiagtig Bestemmelse af Vandstanden i Gruuslaget, der havde 8,6 Fods Længde mellem de tilstødende Smaasteenslag, blev der i Maalekassens Midterlinie nedsat 4 Stykker lodretstaaende Maalerør, hvis Overkant stod i Høide med Overkanten af Maalekassen. Det første af disse Rør (Nr. 1) blev nedstukket i Kassens øverste Ende ved Overgangen fra Steen- til Gruuslaget; det andet Maalerør (Nr. 2) blev nedstukket i Gruset 3,6 Fod fra det første; det tredie Maalerør (Nr. 3) blev nedstukket i Gruset 6,1 Fod fra Nr. 1 og det fjerde Maalerør (Nr. 4) i 8,6 Fods Afstand fra samme Rør. Med dette Apparat blev derefter udført følgende

Forsøg med almindeligt Gruus.

Forsøgets Nummer.	Forsøgets Dato.	Maalekassens Fald paa 8,6 Fod.	Vandstand i Gruuslaget under Maalekassens Overkant.				Vandspejlsfald pr. løb. Fod.	Vandføring i Timen.	Anmærkning.
			Maalerør Nr. 1	Maalerør Nr. 2.	Maalerør Nr. 3.	Maalerør Nr. 4.			
		Tom.	Tom.	Tom.	Tom.	Tom.	Fod.	Cbfod.	
13	23de Juli 1870 . . .	$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{4}$	$6\frac{3}{8}$	$8\frac{7}{8}$	0,079	3,70	Det ved Utæthederne foranledigede Vandtab blev her maalt saa omhyggeligt som muligt og medtaget i Beregningen.
14	— — . . .	$\frac{3}{4}$	$1\frac{5}{8}$	$3\frac{1}{2}$	$4\frac{5}{8}$	$4\frac{7}{8}$	0,039	2,15	
15	— — . . .	$\frac{3}{4}$	$1\frac{3}{4}$	$4\frac{3}{4}$	$6\frac{7}{8}$	$8\frac{7}{8}$	0,076	4,16	
16	26de Juli — . . .	$\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{8}$	4	$5\frac{7}{8}$	$8\frac{1}{8}$	0,065	4,11	
17	10de Aug. — . . .	$\frac{3}{4}$	$2\frac{3}{4}$	$4\frac{1}{4}$	5	$5\frac{1}{8}$	0,030	2,26	

Den 15de September blev det benyttede Filtergruus udtaget af Maalekassen og denne derefter fyldt med det almindeligt bekjendte grove, røde, bornholmske Gruus, som nu for Tiden danner Underlaget for Sandet i Vandvæsenets Filtre. Dette Gruus havde en saadan Størrelse, at den samlede Længde af 10 Korn gennemsnitlig udgjorde $1\frac{1}{2}$ Tomme. Af Mangel paa Materiale blev det til Undersøgelse bestemte Gruuslag kun givet en Længde

af 8 Fod; Resten af Kassen blev fyldt med Smaasteen. Midt i Forsøgsapparatet blev nedsat trende Maalerør for Vandstanden i Gruuslaget, nemlig et Rør ved den øverste Ende af Gruuslaget, et Rør 3,6 Fod fra Nr. 1 og det 3die Rør i 8 Fods Afstand fra Røret Nr. 1. Med dette Apparat blev der foretaget følgende

Forsøg med bornholmsk Gruus.

Forsøgets Nummer.	Forsøgets Dato.	Maalekassens Fald paa 8 Fod.	Vandstand i Gruuslaget under Maalekassens Overkant.			Vandspeilsfald pr. løb. Fod.	Vandføring i Timen.	Anmærkning.
			Maalerør Nr. 1.	Maalerør Nr. 2.	Maalerør Nr. 3.			
		Tom.	Tom.	Tom.	Tom.	Fod.	Cbfod.	
18	15de Septbr. 1870	$7\frac{7}{8}$	4	4	$4\frac{3}{8}$	0,013	15,25	Utæthedernes Vandtab medregnet.
19	16de Septbr. 1870	$7\frac{7}{8}$	$7\frac{1}{2}$	7	$6\frac{7}{8}$	0,0026	2,86	Under disse Forsøg fandt intet Vandtab Sted gennem Utætheder.
20	— —	$7\frac{7}{8}$	$7\frac{1}{2}$...	$6\frac{3}{4}$ à $6\frac{7}{8}$	0,0021	1,65	
21	— —	$7\frac{7}{8}$	$7\frac{7}{8}$...	$7\frac{1}{8}$	0,00065	0,45	
22	— —	$7\frac{7}{8}$	$5\frac{1}{2}$	$5\frac{5}{8}$	$6\frac{5}{8}$	0,0237	21,3	

Da det herved var blevet mig klart, at Maalekassen var fuldkommen tæt, naar Vandstanden i samme ikke overskred visse Grændser, besluttede jeg at gjentage Forsøgene med Filtersand ved en lavere Vandstand i Maalekassen. Det bornholmske Gruus blev derfor udtaget den 22de September og det tidligere benyttede Filtersand indbragt i Kassen i et Lag af $6\frac{1}{2}$ Fods Længde, medens Resten af Kassen fyldtes med Smaasteen. Et Maalerør blev anbragt ved hver Ende af det 6,5 Fod lange Sandlag til Bestemmelse af Vandstanden, og ved Hjælp af dette Apparat udførtes derefter følgende

Forsøg med Filtersand.

Forsøgets Nummer.	Forsøgets Dato.	Maalekassens Fald p. 6,5 Fod.	Vandstand under Maalekassens Overkant.		Vandspeilsfald pr. løb. F.	Vandføring i Timen.	Anmærkning.
			Maalerør Nr. 1.	Maalerør Nr. 2.			
		Tom.	Tom.	Tom.	Fod.	Cbfod.	
23	23de Septbr. 1870	$\frac{11}{16}$	$7\frac{1}{2}$	$9\frac{3}{8}$	0,033	0,194	Under disse Forsøg var Maalekassen fuldkommen vandtæt.
24	24de — —	7,3	$8\frac{1}{4}$	$9\frac{1}{4}$	0,107	0,581	
25	25de — —	7,3	$6\frac{5}{8}$	$9\frac{1}{4}$	0,127	0,706	
26	29de — —	7,3	$6\frac{5}{8}$	$9\frac{1}{8}$	0,125	0,620	
27	30te — —	7,3	$8\frac{1}{4}$	$9\frac{1}{4}$	0,106	0,46	
28	— — —	7,3	$9\frac{3}{4}$	$9\frac{1}{4}$	0,087	0,368	
29	— — —	7,3	$9\frac{1}{2}$	$9\frac{1}{4}$	0,091	0,387	

Naar de anførte 29 Forsøg ordnes i tre Grupper efter Forsøgs materialet og efter Vandspeilsfaldets Størrelse, samt naar Vandstrømmens eller rettere Sandlagets vandførende Tværnsnitsareal bestemmes tilligemed Strømmens Hastighed, idet vi tænke os hele Strømsprofilen som en heel sluttet Vandstrøm, saa finde vi som Middeltal for Bevægelsen igjennem Maalekassen følgende Resultater:

Ifølge Forsøgene med Filtersand.

Forsøgets Nummer.	Vandspeilsfald pr. løb. Fod.	Middel-Tværnsnitsareal af Strømmen.	Vandføring i Timen.	Strømhastighed i Timen.	Forhold mellem Hastigheden og Vandspeilsfaldet (∝ Hastighed i et lodret Rør, hvori Trykhøiden er = Sandlagets Tykkelse).	Anmærkning.
	Fod.	□Fod.	Cbfod.	Fod.		
2	0,169	1,39	1,22	0,88	5,2	Forsøgene Nr. 3, 5, 9 og 10, der vise de mindste Forholdstal, ere alle udførte ved høj Vandstand og ringe Vandspeilsfald. Vandføringen har derfor været forholdsvis lille, medens Vandspildet gennem Utæthederne paa Maalekassen har været forholdsvis stort, hvilket utvivlsomt er Grunden til de smaa Forholdstal. Ved derfor at udelade de 4 med * betegnede Forsøg, er Middelforholdstallet mellem Hastighed og Vandspeilsfald bestemt.
6	0,128	1,53	0,97	0,63	4,9	
25	0,127	1,06	0,06	0,67	5,2	
26	0,125	1,15	0,620	0,54	4,3	
7	0,121	1,51	0,96	0,63	5,2	
1	0,116	1,84	1,08	0,59	5,1	
4	0,110	1,31	0,72	0,55	5,0	
8	0,108	1,68	0,81	0,48	4,4	
24	0,107	0,93	0,581	0,63	5,9	
27	0,106	0,93	0,460	0,50	4,7	
5	0,098	1,77	0,60	0,34	5,4*	
29	0,091	0,83	0,387	0,46	5,0	
9	0,087	1,87	0,52	0,28	5,2*	
28	0,087	0,81	0,368	0,45	5,2	
11	0,074	1,34	0,52	0,40	5,4	
12	0,074	1,34	0,52	0,40	5,4	
3	0,063	1,85	0,39	0,21	5,3*	
10	0,036	1,66	0,19	0,115	5,2*	
23	0,033	0,98	0,194	0,20	6,0	
					Middel-Forholdstal . . .	

Ifølge Forsøgene med almindeligt Gruus.

Forsøgets Nummer.	Vandspeilsfald pr. løb. Fod.	Middel-Tværsnitsareal af Strømmen.	Vandføring i Timen.	Strømhastighed i Timen.	Forhold mellem Hastigheden og Vandspeilsfaldet (∝: Hastighed i et lodret Rør, hvori Trykhøiden er = Sandlagets Tykkelse).	Anmærkning.
	Fod.	□ Fod.	Cbfod.	Fod.		
13	0,079	1,50	3,70	2,47	31	
15	0,076	1,48	4,16	2,81	37	
16	0,065	1,51	4,11	2,72	42	
14	0,039	1,81	2,15	1,19	31	
17	0,030	1,70	2,26	1,33	44	
Middel-Forholdstal . . .					37	

Ifølge Forsøgene med bornholmsk Gruus.

22	0,0237	1,39	21,30	15,3	646	
18	0,013	1,66	15,25	9,2	708	
19	0,0026	1,18	2,86	2,4	923	
20	0,0021	1,19	1,65	1,4	667	
21	0,00065	1,13	0,45	0,4	616	
Middel-Forholdstal . . .					712	

Betragte vi nu de saaledes fremstillede Forsøgs Resultater, saa sees det ganske vist, at Forsøgene indbyrdes ikke stemme saa fuldkommen overeens, som ønskeligt vilde være, eftersom det heraf fremgaaer, at Forsøg med det samme Materiale under det samme Vandspeilsfald have givet Strømhastigheder, som ere mærkeligt forskjellige. Imidlertid er Overeensstemmelsen i det Hele dog saa stor, at det kan betragtes som aldeles utvivlsomt godtgjort ved disse Forsøg, at Vandets Strømningshastighed (v) for enhver Vandstrøm, som bevæger sig gennem et i Jorden værende eensartet vandførende Lag, er ligefrem proportional med den Høide (h), hvorigjennem Vandet falder, ∝: med Vandspeilsfaldet af den betragtede Strøm, og omvendt proportional med Længden (l) af den Vei, som Strømmen imidlertid gjennemløber. Den søgte Lov for Vandets Bevægelse gennem et eensartet Jordlag kan derfor ganske i Almindelighed fremstilles saaledes:

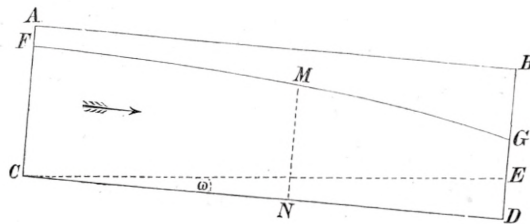
$$\frac{h}{l} = A \cdot v, \dots \dots \dots (3)$$

idet A er en Størrelse, som voxer med det vandførende Lags Tæthed, og som nærmere beseet viser sig at fremstille det Vandspeilsfald, som er nødvendigt for, at Strømmen skal bevæge sig med en Hastighed af 1 Fod i den valgte Tidseenhed, eller for at Strømmen skal have en Vandføring af 1 Cbfod pr. Kvadratfod af Strømprofilet.

Dette Resultat stemmer, som man seer, fuldkommen overens med Resultatet af Undersøgelserne ved de artesiske Kilder, som er fremstillet i Formlen (1), hvis Rigtighed saaledes yderligere bekræftes. — Efter Forsøgene betegner v Strømhastigheden i Timen, men det er tydeligt, at v ogsaa kan betegne Hastigheden i en hvilken som helst anden Tidseenhed, f. Ex. pr. Secund.

I Formlen (3) betegner altsaa $\frac{h}{l}$ det Fald, som det vandførende Lag maa have for at Strømmen skal gjenneumløbe Laget med constant Hastighed under Paavirkning af en drivende Kraft $g\frac{h}{l}$ pr. Masse-Eenhed af Strømmen. Men da $g\frac{h}{l} = g \cdot A \cdot v$, saa følger ligefrem, at $g \cdot A \cdot v$ fremstiller Reactionen pr. Masse-Eenhed af Strømmen, naar denne bevæger sig med Hastigheden v pr. Sec. og g betegner Tyngdekraften.

Betragte vi nu et eensartet vandførende Lag $ABCD$, hvis Bundflade CD er en Plan, og antage vi, at Vandet strømmer i Retning af Pilen fra C til D , idet $ABCD$ betegner et Længdesnit efter Strømretningen, samt forestille vi os, at Linien FMG betegner Vandspeilet af den betragtede Strøm, saa vil Vandstandshøiden i Afstanden $CN = l$ fra et vilkaarligt Tværsnit CF , som tages til Udgangspunkt for Længden l , være $NM = U$. Betegne vi det vandførende Lags Heldningsvinkel DCE med Horizontalplanen CE ved ω og anstilles dernæst en tilsvarende Betragtning, som den jeg tidligere har udført for at bestemme Vandspeilsformen af en fri Vandstrøm, som bevæger sig i en prismatisk eller cylindrisk Ledning*), saa erholdes følgende Ligning for Vandets Bevægelse i Jordlaget:



$$vdv = g \sin \omega \cdot dl - g \cos \omega \cdot dU - gAvdl, \dots \dots \dots (4)$$

hvor v betegner Strømhastigheden pr. Sec. svarende til Tværsnittet NM .

Antages først, overensstemmende med hvad der fandt Sted ved de nysomtalte Forsøg

*) Videnskabernes Selskabs Skrifter, 6te Bind, S. 1.

med Maalekassen, at Vandføringen er constant langs igjennem Laget, saaledes at der i en Tids-Eenhed strømmer lige store Vandmængder q gjennem alle Tværsnit paa Strømmen, saa er, for det vilkaarlige Tværsnit NM , den constante Strømningsmængde pr. Sec.:

$$q = B \cdot U \cdot V,$$

idet B betegner Strømbreden. Af denne sidste Ligning følger:

$$v = \left(\frac{q}{B}\right) \frac{1}{U} \quad \text{og} \quad dv = -\left(\frac{q}{B}\right) \frac{dU}{U^2},$$

som indsatte i Formlen (4) giver:

$$\begin{aligned} \left(\frac{q}{B}\right)^2 \cdot \frac{dU}{U^3} + g \sin \omega \cdot dl - g \cos \omega \cdot dU - gA \left(\frac{q}{B}\right) \frac{dl}{U} &= 0, \quad \text{hvoraf} \\ \left(\left(\frac{q}{B}\right)^2 - g \cos \omega \cdot U^3\right) dU + \left(g \sin \omega \cdot U^3 - gA \frac{q}{B} U^2\right) dl &= 0 \quad \text{og} \\ dl = \frac{g \cos \omega \cdot U^3 - \left(\frac{q}{B}\right)^2}{g \sin \omega \cdot U^3 - gA \left(\frac{q}{B}\right) \cdot U^2} \cdot dU &\dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

Naar denne Ligning integreres, erhoides:

$$\begin{aligned} l = \cot \omega \cdot (U - U_0) - \frac{q}{gAB} \left(\frac{1}{U} - \frac{1}{U_0}\right) + \frac{\sin \omega}{g \cdot A^2} \text{Log} \left(\frac{U}{U_0}\right) \\ + \left(\frac{\cos \omega}{\sin^2 \omega} \cdot A \left(\frac{q}{B}\right) - \frac{\sin \omega}{g \cdot A^2}\right) \text{Log} \left(\frac{U - \frac{A}{\sin \omega} \left(\frac{q}{B}\right)}{U_0 - \frac{A}{\sin \omega} \left(\frac{q}{B}\right)}\right) \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

hvor U_0 betegner Strømdybden for $l=0$, og Log fremstiller den naturlige Logarithme.

Den saaledes erhoidte Relation mellem Strømdybden U og Længden l af det vandførende Lag fremstiller altsaa den almindelige Ligning for det fri Vandspeil FMG ; men det vil let sees, at Formlen (5) i de fleste Tilfælde, som forekomme, med tilstrækkelig Nøiagtighed kan skrives:

$$dl = \cot \omega \cdot \frac{UdU}{U - \frac{A}{\sin \omega} \left(\frac{q}{B}\right)}, \dots\dots\dots (7)$$

eftersom Vandføringen pr. Secund $\left(\frac{q}{B}\right)$ sædvanligt er saa lille, at $\left(\frac{q}{B}\right)^2$ er forsvindende lille imod $g \cos \omega \cdot U^3$. Ved Integration af (7) erhoides:

$$l = \cot \omega (U - U_0) + \frac{\cos \omega \cdot A}{\sin^2 \omega} \left(\frac{q}{B}\right) \text{Log} \frac{1 - \frac{\sin \omega}{A} \left(\frac{B}{q}\right) \cdot U}{1 - \frac{\sin \omega}{A} \left(\frac{B}{q}\right) \cdot U_0} \dots\dots\dots (8)$$

Har det vandførende Lag en saa ringe Heldning, at $\frac{\sin \omega}{A} \left(\frac{B}{q}\right) U$ og $\frac{\sin \omega}{A} \left(\frac{B}{q}\right) U_0$ ere smaa imod 1, saa kunne vi udvikle $\text{Log} \left(\frac{1 - \frac{\sin \omega}{A} \left(\frac{B}{q}\right) \cdot U}{1 - \frac{\sin \omega}{A} \left(\frac{B}{q}\right) \cdot U_0} \right)$ i Række efter stigende

Potenser af $\sin \omega$, og finde derved, at Længden l mellem de to Tværnit, hvori Vanddybden er U_0 og U , kan fremstilles:

$$l = \frac{1}{2} \frac{\cos \omega}{A} \left(\frac{B}{q}\right) (U_0^2 - U^2) + \frac{1}{3} \frac{\cos \omega \cdot \sin \omega}{A^2} \left(\frac{B}{q}\right)^2 (U_0^3 - U^3) + \dots \dots \dots (9)$$

Af denne Ligning følger, at naar Lagets Heldning mod Horizontalen er lille, saa er tilnærmelsesviis:

$$l = \frac{1}{2A} \left(\frac{B}{q}\right) \cdot (U_0^2 - U^2),$$

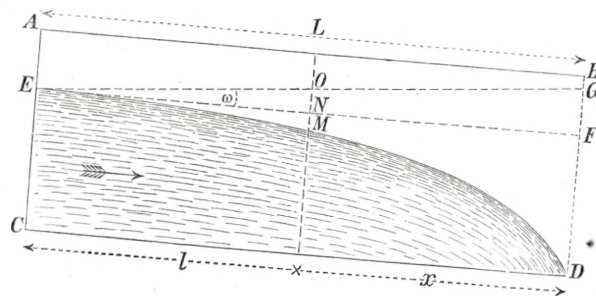
hvoraf Vanddybden:

$$U = \sqrt{U_0^2 - 2A \cdot \left(\frac{q}{B}\right) l}, \dots \dots \dots (10)$$

der viser, at naar en constant Strøm af Vand gjenneumløber et vandførende Lag, som kun har en ringe Heldning, saa vil Vandspeilet i dette Lag have Form af en Parabel af 2den Grad, hvis Axe er beliggende i Ledningens Bundflade. Sætte vi $l = L - x$ og bestemmes L af Ligningen: $U_0^2 = 2A \left(\frac{q}{B}\right) \cdot L$, saa kan Formlen (10) skrives:

$$U = \sqrt{2A \left(\frac{q}{B}\right) \cdot x},$$

der viser, at Vandspeilsformen kan fremstilles ved Linien *EMD* i den hosstaaende Figur.



Ville vi sammenligne dette Resultat med hvad Forsøgene med Filtersand m. m. have givet, saa bemærkes først, at Formlen (10) kan skrives:

$$A \frac{q}{B \left(\frac{U_0 + U}{2} \right)} = \frac{U_0 - U}{l},$$

hvor $B \frac{U_0 + U}{2}$ betegner Strømmens Middeltværsnitsareal. Størrelsen $\frac{q}{B \left(\frac{U_0 + U}{2} \right)}$ betegner altsaa Strømmens Middelhastighed i Overensstemmelse med den ved Forsøgene udførte Bestemmelse, og da dernæst $\frac{U_0 - U}{l}$ fremstiller Vandspeilsfaldet i Laget paa Eenhed af Længde, saa fremgaaer heraf, at Formlen (10) er i fuld Overensstemmelse med den af Forsøgene afledede Formel (3), naar Laget er horizontalt. Har Laget Fald i Strømmens Retning, viser Formlen (9), at Længden l bliver noget større for samme Vandspeilsfald ($U_0 - U$) og at Vandspeilet som Følge deraf bliver noget fladere end naar Laget er horizontalt, hvilket ogsaa ligefrem ligger i Sagens Natur. For at undersøge, hvorvidt den ved Formlen (10) bestemte Vandspeilsform stemmer med Erfaring, ville vi betragte de Undersøgelser, som bleve udførte den 29de Mai for at bestemme den stedfindende Vandspeilsform i det Tilfælde, hvor det vandførende Lag næsten var horizontalt.

Ved at multiplicere Ligningen (10) med Maalekassens Brede $B = 1,917$ Fod, samt ved endvidere i denne Ligning, ifølge Forsøget Nr. 12 af 29de Mai, at indsætte $A = \frac{1}{5,4}$ og $q = 0,52$ Cbfod, findes Strømmens Tværsnitsareal i Afstanden l fra Indløbet at være:

$$B \cdot U = \sqrt{(BU_0)^2 - 0,37 \cdot l};$$

Sætte vi nu Tværsnitsarealet ved Indløbet $(B \cdot U_0) = 1,93$ □ Fod, samt i Overensstemmelse med Forsøgene efterhaanden:

$$l = 0 \quad = 3, \quad = 5,83, \quad = 8,17, \quad = 8,6 \text{ Fod,}$$

kunne vi beregne de tilsvarende Tværsnitsarealer af Strømmen. Disse Arealer findes at være:

$$(BU) = 1,93, \quad = 1,61, \quad = 1,25, \quad = 0,84, \quad = 0,74 \text{ □ Fod,}$$

medens Forsøgene have givet følgende Tværsnitsarealer:

$$BU = 1,93, \quad = 1,57, \quad = 1,25, \quad = 0,93, \quad = 0,75 \text{ □ Fod;}$$

Overensstemmelsen mellem de beregnede og de observerede Størrelser er her saa stor som det kunde ventes, og det Anførte afgiver derfor Vidnesbyrd om, at Formlen (8) er i Overensstemmelse med Naturforholdene. Naar det vandførende Lags Heldning ikke er saa lille, at Formlen (8) lader sig udvikle i Række, som angivet i Formlen (9), saa kunne vi foreløbig bemærke, at dersom vi fra Punktet E i Indløbet drage to rette Linier, den ene

EOG horizontalt, den anden *ENF* \neq med Ledningens Retning, altsaa under Vinklen ω med *EOG*, saa er hele Vandspeilsfaldet paa Længden l fremstillet ved:

$$OM = H = l \cdot \operatorname{tg} \omega + (U_0 - U);$$

sætte vi da for Kortheds Skyld $\frac{\sin \omega}{A} \cdot \left(\frac{B}{q}\right) = a$, kan Formlen (8) skrives:

$$a \cdot H = \operatorname{Log} \frac{1 - a \cdot U}{1 - a \cdot U_0}, \dots \dots \dots (8a)$$

hvoraf a kan bestemmes, naar H , U og U_0 ere observerede; er a bestemt, findes let det vandførende Lags Modstandscoefficient A .

Betragte vi t. Ex. Forsøgsrækken med Filtersand Nr. 2, hvor Ledningens Fald var størst, see vi, at hele Faldet af Vandspeilet var $9\frac{5}{8}'' + 7\frac{3}{4}'' = 17,375''$, altsaa $H = \frac{17,375}{12} = 1,448$ Fod; endvidere var $U_0 = 14,58'' - 2'' = 1,05'$ samt $U = 14,58'' - 9,75'' = 0,40'$ og, benytte vi den brigg. Logarithme, saa haves for denne Forsøgsrække:

$$0,629 \cdot a = \log \left(\frac{1 - 0,4 \cdot a}{1 - 1,05 \cdot a} \right),$$

hvilken Ligning tilfredsstilles ved $a = \frac{\sin \omega}{A} \left(\frac{B}{q}\right) = 0,80$. Nu var i det betragtede Tilfælde $\sin \omega = 0,0933$ og $\left(\frac{B}{q}\right) = \frac{1,917}{1,22} = 1,57$, følgelig $\sin \omega \cdot \left(\frac{B}{q}\right) = 0,1465$, og deraf følger:

$$\frac{1}{A} = \frac{0,80}{0,1465} = 5,4$$

eller netop samme Værdi, som blev fundet ved det Forsøg Nr. 12, vi nylig omtalte.

Betragte vi derefter t. Ex. Forsøget med almindeligt Gruus Nr. 15, hvor Vandspeilets hele Fald H paa 8,6' Længde var $0,75'' + 7,125'' = 7,875'' = 0,656'$, hvor $U_0 = 14,58'' - 1,75'' = 12,83'' = 1,07'$ og $U = 14,58'' - 8,875'' = 5,705'' = 0,475'$, saa haves:

$$0,285 \cdot a = \log \frac{1 - 0,4754 \cdot a}{1 - 1,07 \cdot a},$$

hvilken Ligning tilfredsstilles ved at sætte $a = 0,125 = \frac{\sin \omega}{A} \left(\frac{B}{q}\right)$. Da $\sin \omega = 0,0073$ og $\left(\frac{B}{q}\right) = \frac{1,917}{4,16} = 0,461$, saa følger videre $\frac{1}{A} = \frac{0,125}{0,00337} = 37$, hvilket netop ligeledes er den samme Værdi, som tidligere er udledet af selve Forsøget. Indføre vi Værdien 0,125 for $a = \frac{\sin \omega}{A} \cdot \left(\frac{B}{q}\right)$ i Formlen (8 a) tilligemed $1 - aU_0 = 0,86625$, erholdes:

$$H = l \cdot \operatorname{tg} \omega + (U_0 - U) = 18,41 \cdot \log \left(1 - \frac{U}{8} \right) + 1,148 \quad \text{eller}$$

$$0,0073 \cdot l = U + 0,078 + 18,41 \cdot \log \left(1 - \frac{U}{8} \right).$$

Ved heri i Overeensstemmelse med Forsøgene at sætte $l = 3,6'$, findes Strømdybden $U = 0,86$ Fod, medens Forsøget gav $0,82$ Fod; ved fremdeles i Overeensstemmelse med Forsøgene at sætte $l = 6,1$ Fod, findes Strømdybden $U = 0,69$ Fod, medens Forsøget gav $U = 0,64$ Fod. Afvigelsen er saaledes paa intet Punkt større end at den kan tilskrives Observationsfeil, og Formlen (8) tør derfor betragtes som correct.

Vi have i det Foregaaende behandlet Vandets Bevægelse i et Jordlag under den Forudsætning, at alle Tværnit paa Strømmen have lige Vandføring for lige Brede af Strømmen, altsaa under Forudsætning af, at Vandføringen $\left(\frac{q}{B}\right)$ er uafhængig af den af Strømmen gjennemløbne Længde l . Et saadant Tilfælde forekommer imidlertid kun sjeldnere i Naturen, hvorimod det hyppigst forekommende Tilfælde er det, hvor den underjordiske Strøm, som bevæger sig gennem et vandførende Lag, stadigt under Strømmens Løb forøges derved, at Regnvandet fra Overfladen trænger ned i Jorden til det vandførende Lag. — Under visse Omstændigheder og navnlig paa visse Tider af Aaret, kan det da indtræde, at Tilgangen af Vand fraoven er standset, saa at Strømmen har en constant Vandføring $\left(\frac{q}{B}\right)$, ja det Tilfælde kan endog forekomme, at Jorden fraoven udtørres saa stærkt, at en Opsugning af Vand fra det underliggende vandførende Lag kan finde Sted; men i ethvert Tilfælde, hvad enten Lagets Vandtilgang er positiv, Nul eller negativ, ville vi regne Jorden at være eensartet, og Tilgangen at være lige stor for lige store Arealer af det omhandlede Terrain. Under disse Forhold ville vi nu søge at bestemme Lovene for Vandets Bevægelse i Jorden, idet vi dog alene ville indskrænke os til at betragte det særlige Tilfælde, hvor Jordoverfladen er saa nær horizontal, at vi kunne forudsætte, at den i Jorden nedtrængende Deel af Regnmængden synker lodret ned indtil den naaer det vandførende Lag.

Betegnes det vandførende Lags Brede ved B og dets Strømningsmængde for et bestemt Punkt af Strømmen ved q_0 Cubikfod pr. Sec. samt den Deel af Regnmængden, som synker i Jorden pr. Sec., ved r , udtrykt i Fod Vandhøide, saa vil den Regnmængde, som tilstrømmer det vandførende Lag, pr. \square Fod Overflade pr. Sec. være r Cubikfod, og den Forøgelse i Vandmængde, som tilflyder den underjordiske Strøm af Bredden B , idet den gjennemløber Veien l , vil da være udtrykt ved $r.B.l$ Cubikfod pr. Sec. Betegne vi Strømmens Vandføring efter at den har gjennemløbet Veien l ved q , saa have altsaa, naar det forudsættes, at Tilløb og Åfløb holde hinanden i Ligevægt:

$$\left. \begin{array}{l} q = q_0 + r.B.l \\ \text{eller } U.v = U_0.v_0 + r.l, \end{array} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

forudsat at U og v henholdsvis betegne Strømdybden og Strømhastigheden efter at Veien l er gennemløbet og U_0 og v_0 betegne Strømdybden og Strømhastigheden svarende til $l = 0$.

Under disse Omstændigheder ville vi først betragte Vandbevægelsen i et Grønsandsgruuslag, hvorigennem det fra de øvre derpaa hvilende Jordlag ligeligt nedsynkende Regnvand føres bort til Stranden, — saaledes som Tilfældet er med det hele Terrain, som strækker sig fra Kallebostrand op under Damhuussøens Opland. Vi ville dernæst antage, at det vandførende Grønsandslag overalt har samme Tykkelse U_0 og at dette vandførende Lag gennem hele dets Længde til Stranden er fyldt med Vand.

Naar nu Vandstandens Fald paa Længden l betegnes ved h , kan den drivende Kraft i Afstanden l fremstilles ved $g \frac{dh}{dl}$ og da Modstandskraften, som foran viist, er lig gAv , kan Ligningen for Vandets Bevægelse som bekjendt skrives:

$$v dv = \left(g \frac{dh}{dl} - gAv \right) dl = gdh - gAv \cdot dl.$$

Men ifølge (11) er

$$l = \frac{U_0}{r} (v - v_0), \quad dl = \frac{U_0}{r} \cdot dv \quad \text{og} \quad gAv \cdot dl = gA \frac{U_0}{r} v dv,$$

hvorfor Ligningen for Vandets Bevægelse kan skrives:

$$\left(1 + gA \frac{U_0}{r} \right) v dv = gdh.$$

Da imidlertid den i Secundet nedsynkende Regnhøide r stedse er en overordentlig lille Størrelse, kan denne Ligning med tilstrækkelig Nøjagtighed skrives:

$$A \frac{U_0}{r} \cdot v dv = dh,$$

hvoraf ved Integration erholdes:

$$A \frac{U_0}{r} \left(\frac{v^2 - v_0^2}{2} \right) = h.$$

Ved at borteliminere Hastigheden v ved Hjælp af Ligningen (11), nemlig:

$$v = v_0 + \frac{r}{U_0} \cdot l$$

erholdes følgende Ligning for Strømmens frie Vandspeil:

$$h = A \left(v_0 l + \frac{r}{2U_0} \cdot l^2 \right), \dots \dots \dots (12)$$

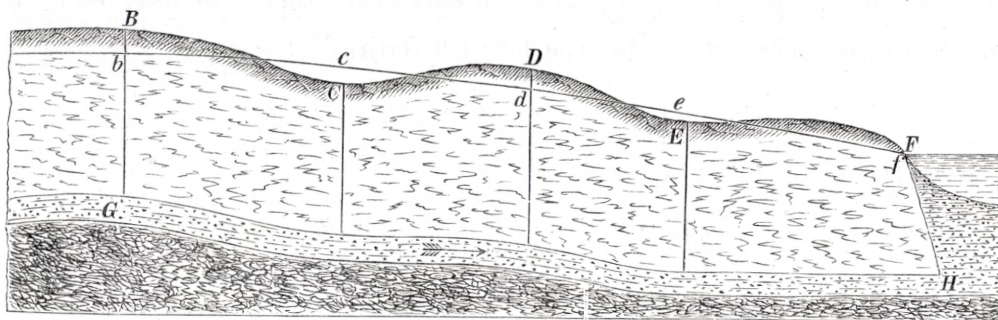
der, som man seer, er Ligningen for en Parabel, hvis Axe er vertikal og hvis Toppunkt ligger paa det Sted i Terrainet, hvor Hastigheden $v = 0$ og hvor altsaa Vandskjellet for de

underjordiske Strømme findes, hvorfra Vandet bevæger sig til begge Sider; thi dersom vi ville flytte Coordinaternes Begyndelsespunkt til det Punkt af Vandspeilet, som svarer til $v = 0$, saa kunne vi sætte Afstanden fra det nye Begyndelsespunkt til det Punkt, hvor Hastigheden er v , lig y og Faldet paa denne Afstand lig x ; vi have da

$$l = y - \frac{U_0}{r} \cdot v_0 \quad \text{og} \quad h = x - A \frac{U_0}{2r} \cdot v_0^2,$$

hvorved Ligningen (12) reduceres til:

$$x = \frac{Ar}{2U_0} \cdot y^2.$$



Betegner *BCDEFGH* et Længdesnit igjennem Terrainet fra Vandskjellet ved *B* til Stranden ved *F* og *GH* det vandførende Grønsandslag, samt forudsættes det, at en Boring ved *B* har viist, at Grønsandslagets Vandstandshøide er ved *b*, saa vil den frie Vandstandshøide langs hele Linien fra Vandskjellet til Stranden være beliggende i en Parabelbue *bcdef*, hvis Toppunkt er i *b*. Paa alle de Steder, hvor denne Vandspeilslinie ligger over Jordoverfladen, vil en artesisk Boring give et Kildevæld, saasom ved *C* og *E*; paa de Steder derimod, hvor Parablen ligger under Jordoverfladen, saasom ved *B* og *D*, kan man kun erholde en Vandstandsmaaler for Grundvandet eller en Brønd.

Lad os til Exempel betragte Grønsandsterrainet fra Damhuussøens Opland ned til Kallebostrand og ifølge det, som tidligere er anført om Kilderne, antage, at den Vandstrøm, som passerer Harrestrupkilden Nr. III, bevæger sig i sydøstlig Retning omtrent under Brøndbyøster indtil Sandholmene i Kallebostrand ved Avedøre, hvor Udstrømningen i Stranden sandsynligviis foregaaer, saa kunne vi gjøre Regning paa, at den artesiske Kilde i Brøndbyøster, hvis oprindelige Afløb laae i en Høide af 35 Fod o. d. V. og hvis Stigehøide omtrent var 38 Fod o. d. V., angiver Grønsandslagets Vandstandshøide paa dette Punkt. Forudsætte vi nemlig, at samtidigt hermed var Vandstandshøiden for Kilden Nr. III = 60 Fod o. d. V. og at der altsaa til Brøndbyøster Kilde var et Vandstandsfald af 22 Fod paa en Længde af

20 000 Fod, samt fra dette Punkt ud til Avedøre-Holme paa en Længde af omtrent 18 000 Fod et Fald af 38 Fod, saa haves efter Formlen (12) følgende Ligninger:

$$22 = Av_0 \cdot 20\,000 + \frac{Ar}{2U_0} \cdot 400\,000\,000 \quad \text{og} \quad 60 = Av_0 \cdot 38\,000 + \frac{Ar}{2U_0} \cdot 1\,444\,000\,000,$$

hvoraf $Av_0 = 0,000567$ og $\frac{Ar}{2U_0} = 0,000000267$, følgelig $\frac{Av_0}{\frac{Ar}{2U_0}} = 2 \frac{U_0 v_0}{r} = 21\,250$.

Da nu Afstanden fra Kilden Nr. III op til Vandskjellet er udtrykt ved $\frac{U_0 v_0}{r} = 10\,600$ Fod = 5300 Alen, saa følger videre, at det underjordiske Vandskjel omtrent falder sammen med Grændsen for Damhuussøens Opland nær Ballerup. Ved dette Grændsepunkt er Grundvandspeilets Høide over Vandstanden ved Nr. III fremstillet ved $\frac{AU_0 v_0^2}{2r}$ og da

$$\left(\frac{Ar}{2U_0}\right) \left(\frac{U_0 v_0}{r}\right)^2 = \frac{AU_0 v_0^2}{2r},$$

saa følger let, at denne Høideforskjel beløber sig til 3 Fod og at Grundvandspeilet ved Skjelgrændsen maa sættes = 63 Fod o. d. V. Tage vi nu Vandstanden i Skjelgrændsen til Udgangspunkt, og betegne Vandstanden over dagligt Vande i Afstanden y fra Udgangspunktet ved H , langs en Linie over Harrestrup og Brøndbyøster til Avedøre-Holme i Kallebostrand, saa er Stigehøiden H , bestemt ved Ligningen:

$$H = 63 - 0,000000267 \cdot y^2,$$

den Høide, som fandt Sted før Kilderne i Damhuussøens Opland bleve aabnede eller paa en Tid, da Stigehøiden for Kilden Nr. III var 60 Fod o. d. V. Gaae vi derimod ud fra den nuværende Vandstandshøide for Kilden Nr. III, nemlig 54 Fod o. d. V., haves ifølge (12) følgende Ligning:

$$54 = \left(Av'_0 + \frac{Ar}{2U_0} l\right) l,$$

naar v'_0 betegner den nuværende Hastighed i det vandførende Lag i det Øieblik Vandet har passeret Kildeterrainet Nr. III og vi som foran have $l = 38\,000$ Fod og $\frac{Ar}{2U_0} = 0,000000267$. Som en Følge heraf er altsaa under de nuværende Forhold $Av'_0 = 0,000405$, medens vi før Kilderne bleve borede ovenfor have fundet $Av_0 = 0,000567$; tage vi Forholdet mellem disse tvende Udtryk, finde vi $\frac{v'_0}{v_0} = 0,71$, og heraf viser det sig da, at Strømhastigheden og dermed ogsaa Vandføringen af Grønsandslaget, efter at Kilderne i Damhuussøens Opland ere aabnede, kun beløber sig til 71 pCt. af den oprindelige Vandføring. Regne vi nu, at disse Kilders Vandføring ialt beløber sig til c. 30,000 Tønder daglig, finde vi Lagenes totale Vandføring at maatte sættes = 100 000 Tdr., hvoraf c. 70 000 Tønder daglig strømmer

ad Stranden til. Det ligger i Sagens Natur, at vi ikke tør betragte denne Bestemmelse af den underjordiske Vandføring som meget paalidelig, da den bl. A. forudsætter, at Grønsandslagene have constant Tværnsitsareal, men da denne Bestemmelse dog vistnok i ethvert Fald nærmer sig til hvad der virkeligt finder Sted, viser den, at Forudsætningen ikke kan være meget urigtig. Fra Kilderne Nr. III ned til Stranden kunne vi altsaa under de nuværende Forhold fremstille Vandets Stigehøide o. d. V. ved Formlen:

$$h = \left(Av'_0 + \frac{Ar}{2U_0} l \right) l,$$

idet $Av'_0 = 0,000405$ og $\frac{Ar}{2U_0} = 0,000000267$. Soges t. Ex. Trykhøidetabet h paa Veien fra Harrestrup Kilder, hvor Stigehøiden er 54 Fod o. d. V., til Brøndbyøster, svarende til Afstanden $l = 20000$ Fod, finde vi dette Tab $h = 18\frac{3}{4}$ Fod; Stigehøiden af Brøndbyøster Kilde bliver altsaa for nærværende Tid $= 35\frac{1}{4}$ Fod o. d. V., der synes at stemme godt med hvad der virkelig finder Sted.

Efter disse Betragtninger over Strømforholdene i vandførende Jordlag, som ere heelt fyldte med Vand, ville vi paany undersøge Vandbevægelsen, som finder Sted i et eensartet Jordlag, der kun deelviis er fyldt med Vand, som strømmer hen over en plan Flade, dog med den Forskjel fra det tidligere, at medens vi før forudsatte, at Strømmen i alle Tværnsitsarealer havde samme Vandføring, ville vi nu forudsætte, at Laget overalt har en Vandtilstrømning af r Cubikfod pr. Sec. fra hver Qvadratfod Overflade.

Betegne vi Strømnybden ved U og Strømhastigheden ved v , efterat Længden l er gennemløbet, samt ved U_0 og v_0 Værdierne af U og v svarende til $l = 0$, saa havens ifølge (11):

$$Uv = U_0 v_0 + rl,$$

og da baade U og v varierer med l , saa havens tillige

$$\frac{1}{r}(Udv + v.dU) = dl.$$

Multipliseres denne Ligning med gAv og adderes til den tidligere fremstillede Ligning (4) erholdes:

$$\left(1 + \frac{gA}{r} U \right) vdv + g \left(\cos \omega + \frac{A}{r} v^2 \right) dU = g \sin \omega . dl.$$

For Simpelheds Skyld ville vi her kun betragte det Tilfælde, hvor det vandførende Lag er horizontalt; thi i saa Fald er $\sin \omega = 0$ og $\cos \omega = 1$, hvorved ovenstaaende Ligning antager følgende Form:

$$\frac{v dv}{1 + \frac{A}{r} . v^2} + g \frac{dU}{1 + g \frac{A}{r} . U} = 0.$$

Naar denne Ligning multipliceres med $2\frac{A}{r}$ og derpaa integreres erholdes:

$$\left(1 + \frac{A}{r}v^2\right)\left(1 + g\frac{A}{r}U\right)^2 = C,$$

hvor C er en arbitrær Constant, som bestemmes derved, at for $U = U_0$ er Strømhastigheden $v = v_0$.

Herved erholdes følgende Ligning for Vandets Bevægelse:

$$\left(1 + \frac{A}{r}v^2\right)\left(1 + g\frac{A}{r}U\right)^2 = \left(1 + \frac{A}{r}v_0^2\right)\left(1 + g\frac{A}{r}U_0\right)^2,$$

og da r er en overmaade lille Størrelse, kunne vi, særdeles naar U og U_0 ikke ere ganske ubetydelige, udelade det første Led i ethvert af Udtrykkene $\left(1 + g\frac{A}{r}U\right)$ og $\left(1 + g\frac{A}{r}U_0\right)$ i Sammenligning med det andet Led, dette er derimod ikke tilladt i Factorerne $\left(1 + \frac{A}{r}v^2\right)$ og $\left(1 + \frac{A}{r}v_0^2\right)$, fordi Størrelserne v og v_0 selv ere meget smaa. Med den Grad af Tilnærmelse, som følger af denne Forandring, antager ovenstaaende Ligning følgende Form:

$$U^2 + \frac{A}{r}U^2v^2 = U_0^2 + \frac{A}{r}U_0^2v_0^2.$$

Sætte vi dernæst i Formlen (11) for Kortheds Skyld:

$$Uv = r\lambda, \text{ idet } r\lambda = U_0v_0 + r\lambda, \dots \dots \dots (13)$$

saa sees det let, at ovenstaaende Ligning for Grundvandets Bevægelse kan skrives:

$$U^2 + Ar \cdot \lambda^2 = \left(1 + \frac{A}{r}v_0^2\right)U_0^2,$$

hvilken Ligning kan skrives under følgende Form:

$$\frac{U^2}{\left(1 + \frac{A}{r}v_0^2\right)U_0^2} + \frac{\lambda^2}{\frac{\left(1 + \frac{A}{r}v_0^2\right)U_0^2}{A \cdot r}} = 1, \dots \dots \dots (14)$$

der kan betragtes som Ligningen for det frie Grundvandspeil, hvorunder Strømmen bevæger sig frem i Jorden.

Af Formlen (14) fremgaaer, at Grundvandspeilet har Form af en Ellipse, hvis ene Axe (λ) er horizontal, beliggende i Strømmens Retning, og hvis anden Axe (U) staaer lodret paa den første.

Betegne vi denne Vandspeils-Ellipses tvende Halvaxer ved U_1 og L_1 , saa viser Formlen (14), at disse Axer ere:

$$U_1 = U_0 \sqrt{1 + \frac{A}{r} v_0^2} \quad \text{og} \quad L_1 = \frac{U_0 \sqrt{1 + \frac{A}{r} v_0^2}}{\sqrt{A \cdot r}},$$

hvis indbyrdes Forhold, udtrykt ved:

$$\frac{U_1}{L_1} = \sqrt{A \cdot r},$$

alene er afhængig af Jordlagets Modstandscoefficient (A) samt af den Mængde Regn (r), som synker ned igjennem Jorden til det vandførende Lag, hvori det afflyder under den elliptiske Vandspeilsform.

Med Hensyn til Størrelsen A , som vi have seet fremstiller det vandførende Lags Modstandshøide paa Længde-Eenhed af Strømmen, naar Strømmens Vandføring, for Eenhed af Tværsnit i Eenhed af Tid, er 1 Cubikfod, skal jeg gjøre opmærksom paa, at denne Størrelse ogsaa kan opfattes paa en anden Maade. Betragt vi nemlig Formlen (3) i det Foregaaende, og betegne vi ved W den Vandmængde, som i en Tids-Eenhed gennemstrømmer hver \square Fods Tværsnitsareal af Strømsprofilen, naar Strømmen bevæger sig under saadanne Forhold, at Trykhøidetabet h og Længden l , som Strømmen gennemløber, ere lige store, saa er $A \cdot W = 1$. Et saadant Forhold finder Sted, naar Vandet bevæger sig fraoven lodret nedad i Tyngdens Retning, og ved Forsøg over Vandføringen, anstillede i den angivne Retning, vil det derfor være muligt at bestemme Modstandscoefficienten A ved Hjælp af Størrelsen W , ifølge Formlen $A = \frac{1}{W}$. Den heromhandlede Størrelse W ville vi kalde Jordens Vandledningsevne.

Indføres Værdien $A = \frac{1}{W}$ i foranførte Udtryk for Forholdet mellem Vandstands-ellipsens tvende Halvaxer, erholdes:

$$\frac{U_1}{L_1} = \sqrt{\frac{r}{W}},$$

hvoraf kan udledes, at Vandspeilsformen bliver en liggende Ellipse, naar $r < W$; en Cirkel, naar $r = W$ og en staaende Ellipse, naar $r > W$.

Det første Tilfælde er det hyppigst forekommende, da Jordens Vandledningsevne sædvanligt er meget større end Mængden af Vand, som trænger ned og bortstrømmer gennem de vandførende Lag i Jorden. Er Jordlaget meget kompakt, saa er dets Vandledningsevne kun lille og for samme Vandføring r maa derfor Vandspeilsformen nærme sig desto mere til Cirkelformen jo større Jordlagets Tæthed er. Naar en kompakt Jordmasse

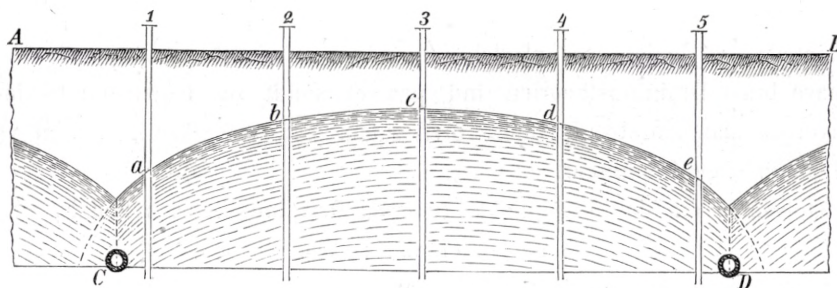
er dækket med et Sandlag, der er gjennemtrængt med Vand, vil endog det Tilfælde kunne fremtræde, at Vandspeilsformen er en staaende Ellipse.

Den ved Formlen (14) fremstillede Lov for Vandets Bevægelse i et eensartet Jordlag, som fraoven for hver Qvadratfod Overflade modtager ligemeget Tilløbsvand i lige Tid, finder, som alt antydtes, særlig Anvendelse paa de sædvanlige Drainingsanlæg, som mere og mere benyttes i Landbruget, for at bortlede den overflødige Fugtighedsmængde i Jorden, som i høi Grad er skadelig for Plantevæksten. Saavidt mig bekjendt have kyndige Landmænd kun een Mening om Jordernes Draining, og det er denne, at Drainingen er en af den nyere Tids største Forbedringer i Agerbruget, og som derfor fortjener alle Landmænds udeelte Opmærksomhed. Herom troer jeg, som sagt, at man fortiden er enig; men angaaende Maaden, hvorpaa Drainingen bør udføres, hersker der fortiden stor Meningsforskjel, som væsentlig har sin Grund deri, at man mangler sikker Kundskab til Lovene for Vandets Bevægelse i Jorden. Dette fremgaaer tydeligt af en Afhandling i Tidskrift for Landøkonomi, 4de Bind, Side 81—102, der er forfattet af Landhuusholdnings-Selskabets Secretair, Cand. polyt. D. Hannemann og har til Overskrift: »Om Forholdet mellem Drainledningers indbyrdes Afstand og deres Dybde. Delacroix's Forsøg og Theori«.

Ved at gjennemlæse denne Afhandling — som giver en klar Fremstilling af Drainingsteoriens nuværende ufuldkomne Stilling og meget bestemt paaviser Ønskeligheden og Vigtigheden for Landvæsenet af at faae alle de herhenhørende Spørgsmaal saavidt muligt fuldstændigt bestemte ved Forsøg, at den uhyggelige Uklarhed, der for Tiden hersker angaaende Drainledningernes rigtige Afstand og Dybde, derved kunde bringes til at forsvinde — fik jeg Lyst til at forsøge, om det ikke skulde kunne lykkes at skaffe Klarhed ind i dette dunkle Capitel af Hydrodynamiken; det var denne Tanke, som nærmest gav mig Anledning til Udførelsen af de foran beskrevne Forsøg over Vandets Bevægelse i forskjellige Jordlag. Om det er lykkedes mig nogenlunde fuldstændigt at naae Maalet, hvortil jeg sigtede, vil bedst sees af det Følgende, men i ethvert Fald er det mit Haab herved at have bragt Drainingsteorien ind paa et solidt og fuldstændigt videnskabeligt Grundlag, hvorpaa man kan bygge videre med samme Grad af Sikkerhed, som ved Vandets Bevægelse i almindelige Ledninger.

Til Oplysning om det Standpunkt, hvorpaa Drainingsteorien hviler, skal jeg efter Hr. Hannemanns Afhandling fremhæve følgende: Naar der falder Regn paa en tør Jordbund, indsuger Jorden Vandet indtil den har optaget saa meget, som dens Partikler kunne fastholde. Vedbliver Regnen, vil Vandet vedblive at synke ned i Jorden, og dette Vand, der ikke bindes af Jordpartiklerne, vil bortløbe saasnart det faaer Leilighed dertil, f. Ex. gennem Drainrør i Jorden. Er Jorden overmættet med Vand, saa indstiller dette sig som frit Grundvand i Modsætning til det bundne Vand, der fastholdes af Jord-

partiklerne. Ved at grave eller bore Huller ned i Jorden kan man finde Grundvandspeilets Beliggenhed, og Erfaring viser, at en Drainledning kun giver Vand, naar Ledningen ligger dybere end det underjordiske Grundvandspeil. Hvis Jordbunden ikke frembød nogen Modstand mod Vandets Bevægelse, saa vilde Grundvandspeilet stedse staae vandret; men paa Grund af Jordbundens Modstand mod Vandets Løb, maa Grundvandspeilet staae lavest lige over Drainledningen og have Fald fra begge Sider af Ledningen henimod samme, et Fald, som maa være desto stærkere, jo større Jordmodstanden er. De ældste Forsøg, som ere udførte for at komme til Kundskab om Grundvandspeilets Beliggenhed mellem parallelle Drainledninger, angives at være udførte i England af en Mr. Clutterbuck for omtrent 25 Aar siden, og ved disse Forsøg blev det tydeligt paaviist, at Grundvandspeilet staaer som en Hvælving, der er spændt fra Drain til Drain, og at denne Hvælving staaer desto højere jo større den faldne Regnmængde er. Forfatteren gjør herved opmærksom paa, at uagtet det saaledes ved Erfaring er godtgjort, at Grundvandspeilets Form er en Cylinderflade, saa betragter man dog stedse Vandspeilet som om det var sammensat af tvende Skraa-planer, der vare sammenstødende foroven midt imellem Drainledningerne og havde et jævnt Fald ned imod Ledningerne. — En fransk Ingenieur, Delacroix, har senere i Aarene 1857—1858 anstillet flere Rækker af Forsøg med drainet Jord af forskjellig Art og til forskjellig Aarstid for at komme til Kundskab om, hvorledes Vandstanden afhænger af Regnmængden, og ved Hjælp af disse Forsøgsrækker har han udviklet en almindelig Theori for parallelle Drainledninger indbyrdes Afstand i Forhold til deres Dybde. Delacroix anstillede sine Undersøgelser over Draineringens Virkning paa Grundvandspeilet i en Linie vinkelret mod de Drainledninger, hvis Virkning skulde undersøges. Langs denne Linie borede han Huller lodret ned i Jorden, lidt dybere end Drainrørene, 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 5 Rør, hvis øverste Ender nøiagtigt befandt sig i samme Niveau og forøvrigt vare stillede saaledes, at et af disse Rør, bemærket i hosstaaende Figur ved Nr. 3, stod nøiagtigt midt mellem begge Drainrørene C og D. Han

anbragte dernæst et Rør paa hver Side, saaledes som Nr. 1 og Nr. 5, temmelig nær ved Ledningerne, og et andet Rør, Nr. 2 og Nr. 4, paa hver Side af Nr. 3 midt imellem de saaledes stillede Maalerør. Linien *AB* i hosstaaende Figur betegner Jordoverfladen og *abcde* Grundvandspeilets Beliggenhed mellem de to Drainledninger *C* og *D*.

Delacroix anstillede nu ved Hjælp af dette Apparat Observationer over Vandstanden paa 5 forskellige Strækninger, som havde forskellig Undergrund; men Hr. Hannemann anfører kun Resultatet af de to af disse Forsøgsrækker, fordi han nærer Tvivl om, at man med Held vil kunne benytte Iagttagelserne fra de tre andre Strækninger, da de ikke ere foretagne med eensartet Grund o. dl. Som en Følge heraf vil ogsaa jeg indskrænke mig til at omtale Resultaterne af de to af Hr. Hannemann fremhævede Forsøgsrækker, og gjør det saa meget mere, som jeg troer, at de angivne tvende Rækker ere istand til at belyse Forholdene tilstrækkelig tydeligt.

I. Delacroix's første Forsøgsrække blev udført ved en Jordbund bestaaende af leret Sand; det drainede Areal udgjorde 2,22 Hectare eller 4 Tønder Land. Drainledningernes indbyrdes Afstand var her 25 Metre og deres Dybde omtrent 1 Meter under Jordoverfladen. Terrainet modtog ikke andet Vand end det Regnvand, som faldt derpaa. De 5 Blikrør vare stillede i indbyrdes Afstand af 6 Metre fra hinanden, saaledes at de to Rør, som stode nærmest ved Drainrørene, nemlig Nr. 1 og Nr. 5, kun vare fjernede $\frac{1}{2}$ Meter fra Drainrørene. De i efterfølgende Oversigts-Tabel angivne Høider af Grundvandet fremstille for ethvert af de fem forskellige Blikrør den af Delacroix observerede Vandstand over Niveauet af Drainrøret *C*, som laa 0,09^m lavere end Drainrøret *D*.

Oversigt over Grundvandets maanedlige Middelstand i Vinteren 1857—1858.

Maalerør.	Nr. 1.	Nr. 2.	Nr. 3.	Nr. 4.	Nr. 5.	Regnhøide.	Drainvandsmængden	
							pr. Maaned.	pr. Døgn.
	Meter.	Meter.	Meter.	Meter.	Meter.	Fod.	Fod.	Fod.
December 1857	0,20	0,30	0,32	0,23	0,17	0,07	0,026	0,00084
Januar 1858	0,05	0,11	0,11	0,09	0,05	0,04	0,007	0,00023
Februar —	0,13	0,16	0,19	0,16	0,10	0,05	0,009	0,00032
Marts —	0,18	0,30	0,32	0,28	0,16	0,10	0,038	0,00123
April —	Grundvandspeilet under Drainrørene					0,14	0,000	0,00000
Mai —	—	—	—	—	—	0,18	0,000	0,00000

Til denne Oversigtstabel er knyttet den Bemærkning, at Mængden af Afløbsvand fra Drainrørene var størst i Marts, næststørst i December, derefter fulgte Februar og saa

endelig Januar. Vandhøiden midt imellem Ledningerne var ligeledes størst i Marts, mindst i Januar. Til Oversigt over den høieste Stand af Grundvandspeilet i de nævnte Maaneder anføres dernæst:

Maalerør.	Nr. 1.	Nr. 2.	Nr. 3.	Nr. 4.	Nr. 5.	Drainvands- mængden pr. Døgn.
	Meter.	Meter.	Meter.	Meter.	Meter.	Fod.
December 1857	0,27	0,52	0,52	0,45	0,27	0,00207
Januar 1858	0,20	0,36	0,38	0,32	0,22	0,00104
Februar —	0,22	0,38	0,41	0,38	0,23	0,00104
Marts —	0,30	0,62	0,63	0,54	0,30	0,00480

og hertil er føiet den yderligere Oplysning, at paa de Dage, da Grundvandet stod høiest, viste det sig, at Afløbsmængden fra Drainrørene var størst.

II. Delacroix's anden Forsøgsrække blev udført ved en Jordbund, som bestod af stærk Leer, der kun vanskeligt tillod Vandet at trænge igjennem. Jorden blev drainet i Vinteren 1855—56 og det drainede Areal havde en Udstrækning af 20 Hectarer eller 36 Tønder Land. Observationerne over Grundvandspeilets Stand ere udførte fra December 1857 til Mai 1858, altsaa i det samme Tidsrum som den første Forsøgsrække. Niveauet af Drainrøret *C*, hvorfra Vandstandshøiderne ere bestemte, laae 1,12^m under Jordoverfladen og Drainledningen *D*, som laae 0,99^m under Jordoverfladen, laae altsaa 0,13^m over Niveauet af *C*. Drainledningernes indbyrdes Afstand var 10 Metre og den indbyrdes Afstand mellem Maalerørene var 2,4 Meter; Afstanden mellem Drainrørene og de nærmest liggende Maalerør Nr. 1 og Nr. 5 var 0,2 Meter.

De maanedlige Middelhøider af Grundvandspeilet vare følgende:

Maalerør.	Nr. 1.	Nr. 2.	Nr. 3.	Nr. 4.	Nr. 5.
	Meter.	Meter.	Meter.	Meter.	Meter.
December 1857	0,28	0,60	0,75	0,71	0,31
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
Mai —	0,27	0,80	0,81	0,79	0,42

Af de største Vandstandshøider ere følgende anførte:

December 1857	0,28	—	0,83	—	0,38
Mai 1858	0,34	—	0,95	—	—

Da Afløbsmængderne fra Drainrørene kun ere anførte af Delacroix ved Hjælp af Forholdstal og da Hr. Hannemann ikke tillægger disse Tal nogen videre Betydning, fordi de maalte Vandmængder tildeels skyldtes andre Jorder af forskjellig Qvalitet, ere Forholdstallene udeladte. Hr. Hannemann giver dernæst en Fremstilling af den Theori, som Delacroix har udledet af sine Forsøg til Bestemmelsen af Forholdet mellem Drainedningernes Dybde og indbyrdes Afstand og fremhæver atter derved, at Delacroix, uagtet han selv har paaviist, at Grundvandspeilet danner en jævn krum Flade, dog baserer sin Theori paa den Forudsætning, at Grundvandspeilet mellem tvende parallelle Drainedninger er dannet af tvende Skraaplaner, som skjære hinanden midt imellem Ledningerne og have Fald ned imod disse. Ved Fremstillingen af sin Theori seer Delacroix nemlig bort fra den Krumning, som Vandspeilet har fra Midten af Ageren indtil Drainrørene og tager kun Hensyn til Grundvandspeilets relative Fald — hvorved han forstaaer Forholdstallet mellem Vandspeilets hele Fald paa Strækningen fra Midten af Ageren indtil Drainedningerne og Længden af denne Strækning. Dette Forholdstal, som betegnes ved f , betragter Delacroix som værende uafhængigt af Ledningernes indbyrdes Afstand og kun afhængigt af Jordens Beskaffenhed og af Regnmængden, og betragter paa lignende Maade Grundvandspeilets Høide h lige over Drainedningerne som uafhængig af Ledningens Dybde under Jordoverfladen og som alene afhængig af Jordbundens Beskaffenhed og Regnmængden. Betegnes Drainedningernes Dybde under Jorden ved D og Dybden til Grundvandet midt i Ageren ved d , saa er Vandstanden over Drainedningernes Niveau midt i Ageren $= D - d$, medens Vandstanden over Drainedningerne er h . Det hele Fald, som Vandspeilet har fra Midten af Ageren hen til Drainrøret, er følgende $= D - d - h$ og naar Afstanden mellem de to Drainrør betegnes ved a , kan Længden, hvorpaa Grundvandspeilet har Faldet $(D - d - h)$, fremstilles ved $\frac{a}{2}$. Grundvandets relative Fald f vil da være udtrykt ved:

$$f = 2 \cdot \frac{D - d - h}{a},$$

hvoraf den søgte Afstand mellem Drainedningerne bestemmes efter Formlen:

$$a = 2 \cdot \frac{D - d - h}{f},$$

naar Modstandscoefficienten f , svarende til de forskjellige Slags Jord, er bekendt ifølge Erfaring.

Delacroix's Drainingstheori har, saavidt mig bekendt, hidtil været betragtet som temmelig paalidelig, og det er paa Grundlag af den foranførte Formel for Drainedningernes indbyrdes Afstand, at den største Deel af den nyere Tids Drainingsanlæg ere udførte. Vanskeligheden ved at benytte denne Formel har væsentligt havt sin Grund i, at man kun

meget ufuldstændigt kjendte det relative Fald f for forskjellige Arter af Jord, og ingen Midler havde til paa en let og fyldestgjørende Maade at bestemme dens Størrelse for en given Jordart.

Gjennem en Række af Betragtninger, som jeg dog her ikke behøver nærmere at gennemgaae, men som væsentligt ere støttede paa det Factum, at det frie Grundvandspeil mellem Drainledninger har Form af en Cylinderflade og ingenlunde maa betragtes som tvende sammenstødende Skraaplaner, søger nu Hr. Secretair Hannemann at paavise, at ligesom Delacroix's Drainingsformel er bygget paa urigtige Forudsætninger, saaledes er det ogsaa sandsynligt, at man ved at følge denne Formel vil kunne blive ledet til fuldkommen falske Resultater. Forfatteren forkaster derfor Delacroix's Theori og kommer sluttelig gjennem nogle Betragtninger over Delacroix's Forsøgsresultater til den Antagelse, at indtil fuldstændigere Undersøgelser foreligge vil man rimeligviis komme Sandheden nærmest ved at bestemme Drainledningernes indbyrdes Afstande (a) efter den ældre Methode — nemlig proportionalt med Drainledningernes Dybde D , ved Hjælp af Formlen:

$$a = n \cdot D,$$

hvori n er et givet Tal, som afhænger af Jordens Beskaffenhed og foreløbigt kan ansættes saaledes for:

	n	n
Stærk Leer	= 7	Sandet Leer = 15
Muldet fiint Sand	= 10	Leret Sand = 20

Den hele Drainingstheori staaer altsaa, som man heraf vil see, paa meget svage Fødder; men paa Grund af Drainingens store Betydning ligger netop deri en stor Opfordring til at forsøge at afhjælpe Mangelen, og det er dette, som jeg i det Følgende skal gjøre, idet jeg støtter mig til de foran fremstillede Love for Vandets Bevægelse i Jorden.

Vi ville da tænke os, at en horizontal Mark, der har en eensartet Jordbund, er drainet ved Hjælp af parallelle Ledninger paa den Maade, som det var udført ved de af Delacroix undersøgte Strækninger, samt at Terrainet ikke har andet Tilløb af Vand end det, som hidrører fra det paa Stedet faldende Regnvand, der forudsættes ligeligt fordeelt over hele Arealet. I dette Tilfælde ere altsaa Forholdene netop saadanne, som Formlen (14) forudsætter, og naar vi nærmere betragte Tilstanden mellem tvende Drainledninger, som optage Vandet fra den mellemliggende Grund, vil det være umiddelbart indlysende, baade at Grundvandet i Jorden vil tilstrømme hver af disse Ledninger fra Midten af Ageren og at Strømmens Begyndelseshastighed i Midten af Ageren er $v_0 = 0$. Betragte vi derfor en hvilkenksomhelst af disse Strømme, der gaae fra Midten af Ageren henimod en Drainledning, for deri at udtømme sig, saa er det klart af Formlerne (13) og (14), at Ligningen for Strømmens frie Vandspeil kan skrives:

$$\frac{U^2}{U_0^2} + \frac{l^2}{l_0^2} = 1, \quad l_0 = \frac{U_0}{\sqrt{A \cdot r}}, \dots \dots \dots (1b)$$

hvoraf ligefrem fremgaaer, at Grundvandspeilet mellem tvende parallelløbende Drainledninger er en Cylinderflade, hvis Tværnsnit er en Ellipse. Fra Midten af Ageren strømmer altsaa Grundvandet lodret henimod Drainledningerne under en Vandspeilse ellipse, hvis ene Axe er horizontal og beliggende i Strømmens Bundplan, og hvis anden Axe — sædvanligviis den lille Axe — er beliggende i den lodrette Grændseplan, som adskiller de to Strømme, der fra Midten af Ageren bevæge sig til modsatte Sider. U_0 , der er Vandstandsellipsens halve Vertikalaxe (lille Axe), betegner altsaa Strømdybden eller Vandspeilshøiden over Strømmens Bundplan midt imellem Drainrørene; medens $l_0 = \frac{U_0}{\sqrt{A \cdot r}}$, der er Vandstandsellipsens halve Horizontalaxe, der sædvanligt er Ellipsens halve store Axe, gaaer i Strømmens Retning fra dennes Begyndelsespunkt lodret paa Drainledningen. Størrelserne U og l ere de løbende Coordinater til Vandstandsellipsen, idet Centrum (Midtpunktet mellem Drainrørene) er Coordinaternes Begyndelsespunkt.

Ved nu at betragte Delacroix's Forsøg, kunne vi let bestemme Forholdet $\left(\frac{U}{U_0}\right)$ for hvert af de 5 Punkter, hvori Maalerør vare anbragte, naar vi gaae ud fra, at Strømmen, som bevæger sig henimod Drainledningerne, forned er begrændset af den Horizontalplan CD , som svarer til Drainledningernes Bundlinier. Ganske vist kan det tænkes, at Drainingsdybden kan afvige lidt fra denne Flade; men nogen stor Feil ville vi dog næppe begaae ved at betragte CD som Grændsen for Strømmen. Med denne Forudsætning findes, ifølge Delacroix's Forsøg med et Jordsmon af leret Sand, følgende Værdier af Forholdet $\left(\frac{U}{U_0}\right)$:

Maalerøret.	Nr. 1.	Nr. 2.	Nr. 3.	Nr. 4.	Nr. 5.	
December 1857	{ Middelværdi	0,60	0,937	1	1,000	0,531
	{ Maximumsværdi	0,520	1,000	1	0,866	0,520
Januar 1858	{ Middelværdi	0,455	1,000	1	0,820	0,455
	{ Maximumsværdi	0,527	0,947	1	0,842	0,580
Februar —	{ Middelværdi	0,684	0,843	1	0,843	0,526
	{ Maximumsværdi	0,537	0,927	1	0,927	0,561
Marts —	{ Middelværdi	0,563	0,937	1	0,875	0,500
	{ Maximumsværdi	0,476	0,984	1	0,857	0,476

Ved nærmere at betragte denne Tabel vil man finde, at denne ikke giver nogen Anledning til at antage, at Forholdet $\left(\frac{U}{U_0}\right)$ er afhængigt af Fugtighedsgraden, eftersom dette viser sig at variere mellem de samme Grændser i de tørre Maaneder (Januar og Februar) som i de fugtige Maaneder (Marts og December), og det vil tilmed sees, at Middelværdien af Forholdet $\left(\frac{U}{U_0}\right)$ er ved Maalningerne Nr. 1 og Nr. 5 for Januar og Februar = 0,540, og for Marts og December = 0,526, altsaa meget nær ligestør i begge Tilfælde. Heller ikke vil man finde nogen større Afvigelse mellem de Værdier, der svare til Maalerøret Nr. 1 og de Værdier, der svare til Nr. 5, end at det tør antages, at Forskellighederne ere tilfældige, især da Middelværdien af alle de fundne Forholdstal svarende til Nr. 1 er 0,548, medens Middelværdien af alle Forholdstallene ved Nr. 5 er 0,518, hvilken sidste kun er lidt mindre end den for Nr. 1.

Efter alt hvad vi hidtil vide, ere vi derfor berettigede til at betragte alle Forskellighederne mellem de observerede Forhold $\left(\frac{U}{U_0}\right)$ for de to Maalerør Nr. 1 og Nr. 5 som havende deres Grund i tilfældige Omstændigheder og Observationsfeil; af samme Grund kunne vi derfor ogsaa betragte alle de tilsyneladende Afvigelser mellem Værdierne for $\left(\frac{U}{U_0}\right)$, der ere fundne ved Observation i Maalerørene Nr. 2 og Nr. 4, som Observationsfeil.

Men idet vi antage dette, er det klart, at vi ville komme Sandheden nærmest ved for Forholdet $\left(\frac{U}{U_0}\right)$ at tage Middeltallet af samtlige observerede Forholdstal svarende til den samme Værdi af l . Ved paa denne Maade at bestemme de sandsynligste Værdier, svarende til den af Delacroix undersøgte Jordart, finde vi:

$$\begin{aligned} \text{at til } l = 12^m \text{ svarer } \frac{U}{U_0} &= 0,533, \text{ samt} \\ \text{--- } l = 6^m \text{ --- } \frac{U}{U_0} &= 0,903. \end{aligned}$$

Ved at benytte den første af disse Bestemmelser, vil det være let ved Hjælp af Formlen (15) at finde Ellipsens store Halvaxe $l_0 = 14\frac{1}{8}$ Meter, og naar denne Værdi indsættes, kan nævnte Formel (15) for den betragtede Jordart fremstilles saaledes:

$$\frac{U^2}{U_0^2} + \frac{l^2}{(14\frac{1}{8})^2} = 1, \dots\dots\dots (15 a)$$

som for $l = 6^m$ giver $\left(\frac{U}{U_0}\right) = 0,905$, der næsten falder sammen med den observerede Middelværdi $\left(\frac{U}{U_0} = 0,903\right)$, som ovenfor er anført; det kan derfor vistnok betragtes som

afgjort, at Loven for Vandets Bevægelse i den betragtede Jordbund er fremstillet ved Formlen (15 a).

For imidlertid saa fuldstændigt som muligt at kunne komme til Erkjendelse af, hvor nøie denne Formel stemmer overeens med de ved Forsøgene fundne Vandstandshøider, har jeg sammenstillet de beregnede og de observerede Resultater i efterfølgende Tabel, idet jeg er gaaet ud fra de Vandstandshøider (U_0), som ere observerede midt imellem Drainledningerne i Maalerøret Nr. 3. Naar disse Værdier benyttes, og vi derefter efterhaanden sætte $l = 6^m$ og $l = 12^m$, kunne vi let beregne alle de tilsvarende Værdier af U ved Hjælp af Formlen (15 a), der kan skrives:

$$U = U_0 \sqrt{\left(1 + \frac{l}{14\frac{1}{6}}\right) \left(1 - \frac{l}{14\frac{1}{6}}\right)}.$$

Paa denne Maade fremkommer følgende Oversigtstabel:

Observationstiden.	De maanedlige Middelhøider af Grundvandet.					De største Høider af Grundvandet.					
	Maalerøret.	Nr. 1.	Nr. 2.	Nr. 3.	Nr. 4.	Nr. 5.	Nr. 1.	Nr. 2.	Nr. 3.	Nr. 4.	Nr. 5.
December 1857	{ observeret	0,20 ^m	0,30 ^m	0,32 ^m	0,32 ^m	0,17 ^m	0,27 ^m	0,52 ^m	0,52 ^m	0,45 ^m	0,27 ^m
	{ beregnet	0,17	0,29	0,32	0,29	0,17	0,276	0,47	0,52	0,47	0,276
Januar 1858.	{ observeret	0,05	0,11	0,11	0,09	0,05	0,20	0,36	0,38	0,32	0,22
	{ beregnet	0,058	0,10	0,11	0,10	0,058	0,20	0,34	0,38	0,34	0,20
Februar —	{ observeret	0,13	0,16	0,19	0,16	0,10	0,22	0,38	0,41	0,38	0,23
	{ beregnet	0,10	0,17	0,19	0,17	0,10	0,22	0,37	0,41	0,37	0,22
Marts —	{ observeret	0,18	0,30	0,32	0,28	0,16	0,30	0,62	0,63	0,54	0,30
	{ beregnet	0,17	0,29	0,32	0,29	0,17	0,33	0,57	0,63	0,57	0,33

En Sammenligning mellem de saaledes beregnede Vandstandshøider og de directe observerede Grundvands høider vil formeentlig sætte det udenfor al Tvivl, at de beregnede Værdier ere fuldt saa paalidelige som de observerede, og at Formlen (15 a) tør betragtes som correct.

Jordens Modstandscoefficient A kunne vi bestemme ved Hjælp af den sidste af Formlerne (15), der kan skrives:

$$A = \left(\frac{U_0}{l_0}\right)^2 : r.$$

Naar vi nemlig heri ifølge Delacroix's Forsøg med leret Sand efter de maanedlige Middeltal for December, Januar, Februar og Marts sætte:

$$\begin{aligned} \left(\frac{U_0}{l_0}\right)^2 &= 0,000511, & 0,000061, & 0,000180, & 0,000511 & \text{og} \\ r &= 0,000035, & 0,000096, & 0,000013, & 0,000051, & \text{saa finde vi} \\ A &= 14,6, & 6,4, & 13,9, & 10,0. \end{aligned}$$

Sætte vi dernæst efter Maximumsbestemmelserne:

$$\begin{aligned} \left(\frac{U_0}{l_0}\right)^2 &= 0,001347, & 0,000718, & 0,000741, & 0,001600 & \text{og} \\ r &= 0,000086, & 0,000043, & 0,000043, & 0,000200, & \text{saa finde vi} \\ A &= 15,6, & 16,7, & 17,2, & 8,0. \end{aligned}$$

Overensstemmelsen mellem alle disse Værdier for Modstandscoefficienten A er tydelig nok ikke stor; men dertil maa først bemærkes, at vi ikke kunde vente nogen stor Overensstemmelse af Middelværdierne, netop fordi de ere Middeltal istedetfor de virkelig sammenhørende Værdier af $\left(\frac{U_0}{l_0}\right)^2$ og r . Hvad Maximumsforsøgene derimod angaae, stemme Forsøgene for December, Januar og Februar upaaklageligt overeens, medens Martsforsøget er væsentligt afvigende. Det er ganske vist vanskeligt at sige, hvorfra denne Afvigelse fra de tre foregaaende Maaneder stammer, men jeg er tilbøielig til at antage, at det betydelige Vandafløb i Marts er begrundet i en Trykfeil hos Delacroix, især da han angiver den Regnmængde, som fremkaldte Maximumsafløbet i December, til 12^{mm} Vand, og den Regnmængde, som fremkaldte Maximumsafløbet i Marts, til kun $10,4^{\text{mm}}$ Vandhøide. Som en Følge heraf antager jeg, at vi ikke ville komme langt fra Sandheden ved for den undersøgte Jordart at sætte Modstandscoefficienten $A = 16,5$.

Indføre vi denne Værdi for A tilligemed $l_0 = 14\frac{1}{8}^{\text{m}}$ i den anden Formel (15), finde vi Vanddybden midt i Ageren (i Blikrøret Nr. 3) som Function af den Vandhøide r , som i Timen afledes gennem Drainledningerne, udtrykt ved

$$U_0 = 57,5 \cdot \sqrt{r},$$

hvoraf fremgaaer, at vi ville være istand til for et givet System af Drainledninger at bestemme dets Vandføring r ved blot i Midten af Ageren at observere Vandstanden U_0 .

Naar vi dernæst for Delacroix's 2den Forsøgsrække, som er udført ved en Jordbund af stærk Leer, bestemme Forholdet $\left(\frac{U}{U_0}\right)$ ganske paa samme Maade som for leret Sand, saa kan Resultatet af Forsøgene fremstilles i følgende Tabel:

Maalerøret.		Nr. 1.	Nr. 2.	Nr. 3.	Nr. 4.	Nr. 5.
December 1857	{ Middelværdi	0,373	0,800	1	0,917	0,413
	{ Maximumsværdi	0,337	—	1	—	0,458
Januar 1858	Middelværdi	0,367	0,985	1	0,706	0,382
Februar —	—	0,377	0,971	1	0,900	0,406
Marts —	—	0,350	0,894	1	0,955	0,362
April —	—	0,347	0,931	1	0,931	0,361
Mai —	{ Middelværdi	0,333	0,988	1	0,975	0,518
	{ Maximumsværdi	0,355	—	1	—	—

Ved de her fremstillede Forholdstal for $\frac{U}{U_0}$ viser der sig lige saa lidt noget Tegn til en Forandring med Fugtighedsgraden som i den foregaaende Forsøgsrække. Ganske vist forekommer der ogsaa her væsentlige Afvigelser mellem de for samme Afstand l fundne Værdier af Forholdet $\frac{U}{U_0}$; men Forskjellighederne, nærmere eftersete, ere dog af den Natur, at de maa tilskrives Observationsfeil og andre Tilfældigheder. Naar vi derfor her, ligesom i det Foregaaende, tage Middelværdien af alle de for samme Afstand l fundne Forholdstal som den sandsynligste Værdi for $\frac{U}{U_0}$, finde vi for $l = 4,8^m$, $\frac{U}{U_0} = 0,383$ og for $l = 2,4^m$, $\frac{U}{U_0} = 0,915$. Indføre vi de to første Værdier for l og $\frac{U}{U_0}$ i Formlen (15), findes Ellipsens store Halvaxe $l_0 = 5,2^m$, og naar denne indsættes for l_0 i nævnte Formel (15), erholdes Ligningen

$$\frac{U^2}{U_0^2} + \frac{l^2}{(5,2)^2} = 1 \dots\dots\dots (15 b)$$

svarende til den omhandlede Jordarts Grundvandspeil. Sætte vi heri $l = 2,4^m$, finde vi $\frac{U}{U_0} = 0,89$, som vel er lidt mindre end den Værdi 0,915, vi ovenfor have fundet som Middeltal af alle Forsøgene; men den er dog ikke mere afvigende derfra, end at vi kunne betragte Forskjellen som hidrørende fra Observationsfeil. For imidlertid at erholde et fuldstændigt Overblik over, hvorledes Formlen (15 b) stemmer med Delacroix's Observationer, sammenstiller jeg i den efterfølgende Tabel de beregnede Vandhøider (U) med de observerede, ligesom tidligere udført for den første Forsøgsrække.

1. Oversigt over Grundvandets maanedlige Middelhøider.

Maalerør.		Nr. 1.	Nr. 2.	Nr. 3.	Nr. 4.	Nr. 5.
December 1857	{ observeret	0,28 ^m	0,60 ^m	0,75 ^m	0,71 ^m	0,31 ^m
	{ beregnet	0,29	0,67	0,75	0,67	0,29
Januar 1858	{ observeret	0,25	0,67	0,68	0,48	0,26
	{ beregnet	0,26	0,60	0,68	0,60	0,26
Februar —	{ observeret	0,26	0,67	0,69	0,62	0,28
	{ beregnet	0,27	0,61	0,69	0,61	0,27
Marts —	{ observeret	0,23	0,59	0,66	0,63	0,24
	{ beregnet	0,25	0,59	0,66	0,59	0,25
April —	{ observeret	0,25	0,67	0,72	0,67	0,26
	{ beregnet	0,28	0,64	0,72	0,64	0,28
Mai —	{ observeret	0,27	0,80	0,81	0,79	0,42
	{ beregnet	0,31	0,72	0,81	0,72	0,31

2. Oversigt over Grundvandets største Høider.

December 1857	{ observeret	0,28	—	0,83	—	0,38
	{ beregnet	0,32	—	0,83	—	0,32
Mai 1858	{ observeret	0,34	—	0,95	—	—
	{ beregnet	0,37	—	0,95	—	0,37

Overeensstemmelsen mellem de beregnede og de observerede Vandhøider viser sig ogsaa her at være meget tilfredsstillende, idet de Afvigelser, som findes, tydeligt sees at have særlige Oprindelser, eftersom de observerede Værdier, som afvige meest fra de beregnede, stemme lige saa lidt med de øvrige Observationer som med Beregningen.

Af Delacroix's Undersøgelser over Grundvandspeilets Form kunne vi nu i Henhold til det Foregaaende drage følgende Resultater:

1. Naar et eensartet, horizontalt beliggende Terrain er drainet til en given Dybde ved Hjælp af parallelle Drainledninger, der ere beliggende i givne Afstande fra hinanden, saa har Grundvandspeilet mellem hver 2 Ledninger Form af en Cylinder, hvis Tværsnit sædvanligt er en liggende Ellipse. Centrum for denne Vandspeils-Ellipse er beliggende midt imellem begge Drainrør og dens horizontale Axe, der ligger i Drainrørens Niveau og har Længden $2l_0$, er uafhængig af Jordens Fugtighedsgrad.

2. Vandspeils-Ellipsens vertikale Halvaxe (U_0), som fremstiller Grundvandets Høide over Drainledningernes Niveau midt imellem Drainrørene, er derimod afhængig af Fugtighedsgraden og voxer navnlig med Kvadratrodten af den i Jorden nedtrængende Vandmængde r .
3. Paa et hvilket-somhelst andet Punkt mellem de to Drainrør i Afstanden l fra Midten af Ageren, er Grundvandstanden U over Drainledningernes Niveau stedse proportional med U_0 .

Af Forsøgene kan dernæst udledes, at hvis Grundvandet fra Ageren kunde indstrømme i Drainledningerne uden at noget Overtryk dertil var fornødent, vilde Drainrørene findes beliggende ved Endepunkterne af den store Axe; men da Vandet skal drives igjennem Drainledningerne og deres Stødfuger ind i Ledningerne, behøves der til Udførelsen af dette Arbeide en extra Trykhøide, og denne Omstændighed nødvendiggjør, at Drainledningernes indbyrdes Afstand bliver mindre end $2l_0$. For tydeligt at indsee Nødvendigheden heraf bemærkes, at Forholdet ved Drainledningerne ganske svarer til hvad der vilde finde Sted, hvis Grundvandet kunde indstrømme i disse Rør uden Modstand og der umiddelbart foran den frie Udmundning befandt sig et Stigbord, som hemmede Vandstrømmens uhindrede Udløb. En saadan Forhindring vil nemlig medføre, at der bag samme maa findes en Trykhøide, som er istand til at drive Vandstrømmen gjennem den stedfindende Stigbordsaabning, medens Vandspeilsformen selvfølgelig beholder sin elliptiske Form uforandret lige indtil det Punkt, hvor Forhindringen findes.

Det Overtryk, som behøves for at drive den samme Vandmængde gjennem Drainledningerne, afhænger naturligviis af disses Beskaffenhed, og Afstanden, hvori Drainrøret maa ligge indenfor Endepunktet af Ellipsens (store) Axe, er derfor afhængig af Drainrørenes Modstand. Naar Mængden af Drainvand stiger for et givet System af Ledninger, stiger ogsaa Grundvandspeilet og dermed den Trykhøide, hvorved Vandet drives ind i Ledningen. Ifølge Delacroix's Forsøg er altsaa Vandstands-Ellipsens Horizontalaxe uafhængig af Grundvandets Høide over Drainledningernes Niveau; hvorimod den er afhængig af Drainledningernes indbyrdes Afstand (a). Efter hans Forsøg med leret Sand finder man for denne Jordart Forholdet $\frac{a}{l_0} = 1,76$, medens Forsøgene med stærk Leer angive Forholdet $\frac{a}{l_0} = 1,92$; der viser sig altsaa en saa ringe Afgang for disse to meget forskellige Jordarter, at vi vist næppe regne meget feil, naar vi betragte Forholdet som constant og sætte:

$$\frac{a}{l_0} = 1,8.$$

Gaae vi ud herfra og betegne vi dernæst Drainrørenes Dybde under Jordoverfladen ved D , samt Afstanden fra Jordoverfladen, hvortil Grundvandspeilet i det Høieste kan tillades

at stige i Jorden, ved d , saa er det tydeligt, at den sidste af Formlerne (15) kan skrives under følgende Form:

$$a = 1,8 \cdot \frac{D-d}{\sqrt{A \cdot r}}, \dots \dots \dots (16)$$

som aabenbart fremstiller den søgte Lov, hvorefter Drainledningernes indbyrdes Afstand afhænger af Drainrørens Dybde, Grundvandets Høide, Drainvandsmængdens Størrelse samt Jordens Modstandscoefficient. Med Hensyn paa de i denne Drainingsformel forekommende Størrelser, skal det bemærkes, at a , D og d tænkes givne i Fod, at A betegner Trykhøidetabet pr. løb. Fod, naar Strømhastigheden er 1 Fod i Timen, og at r betegner den største Regnmængde, udtrykt i Fod Regnhøide, som Drainledningerne skulle aflede i Timen. Med Hensyn til Delacroix's Forsøg med leret Sand skal derhos bemærkes, at den største Regnhøide, som fandt Sted under disse Maalninger, beløb sig til omtrent $\frac{3}{4}$ Linie i 24 Timer, og at det dertil svarende Grundvandspeil kun stod 1,2 Fod under Jordoverfladen.

Regne vi derimod, som jeg troer man almindeligt gjør her hos os, at Drainingsanlægget i 24 Timer skal kunne aflede en Vandhøide af 3 Linier eller $\frac{1}{4}$ Tomme Regn uden at Vandstanden i Jorden derved maa stige høiere end til en given Afstand d under Jordoverfladen, saa kan Regnhøiden, som skal afledes i 24 Timer, sættes = 0,0208 Fod; den Regnhøide, som Systemet skal aflede i Timen, bliver altsaa $r = \frac{0,0208}{24} = 0,0009$ Fod. Naar denne Værdi indsættes i Formlen (16) og vi derhos bemærke, at Jordens Vandledningsevne $W = \frac{1}{A}$, vil det sees, at Drainingsformlen kan fremstilles saaledes:

$$a = 60 \cdot \sqrt{W} \cdot (D-d) \dots \dots \dots (16 a)$$

Sætte vi nu i Henhold til de tidligere angivne Forsøg

for bornholmsk Gruus	$W = 712$,	findes dertil	$a = 1600 (D-d)$;
for almindeligt Gruus	$W = 37$,	—	$a = 365 (D-d)$;
for almindeligt Filtersand	$W = 5,1$,	—	$a = 135 (D-d)$;
for leret Sand	$W = \frac{1}{16,5}$	—	$a = 15 (D-d)$.

Da der, saavidt mig bekjendt, ikke fortiden foreligge Resultater af andre og flere Forsøg over Vandledningsevnen af forskjellige Jordarter, og da jeg ikke selv har havt Leilighed til at fortsætte Forsøgene, har jeg foreløbigt maattet indskrænke mig til Fremstillingen af de foranstaaende 4 Formler, hvoraf vel egentlig kun de to sidste kunne have Betydning for den praktiske Draining, eftersom det ikke er sandsynligt, at man vil udføre Drainingsanlæg i reen Gruus.

Som man vil have bemærket, er Bestemmelsen af en given Jordarts Vandledningsevne W temmelig omstændelig, hvad enten den udføres paa den af mig angivne Maade

eller ved Hjælp af Iagttagelser anstillede ved alt udførte Drainingsanlæg; men da det aabenbart er af særdeles Vigtighed for Landmanden at kunne bestemme Vandledningsevnen W af en given Jordart, som agtes drainet, for derved at blive istand til at angive i hvilken Afstand Drainledningerne bør lægges, har jeg udtænkt en Methode, som er forholdsviis simpel og let anvendelig og som dog efter de Prøver, som jeg har anstillet, synes at give meget tilfredsstillende Resultater. Methoden, der, som sagt, med Lethed vil kunne benyttes af enhver Drainingsmester, er grundet paa det Forhold, at naar en Jordmasse er begrændset af en lodretstaaende cylindrisk eller prismatisk Overflade, og Jorden ved at holdes befugtet af et tyndt Vandlag udsættes for en Gjennemstrømning af Vand fra oven nedad, saa vil Trykhøidetabet h for den gjennemløbende Vandstrøm paa ethvert Punkt af den gjennemløbne Bane noiagtigt være ligestort med Længden l af den Vei, som Strømmen har gjennemløbet, og at under disse Omstændigheder er den i Timen pr. \square Fod gjennemstrømmende Vandmængde ligestor med Jordens Vandledningsevne W .

For at bestemme Vandledningsevnen af en given Jordart, behøver man derfor blot at nedlægge Prøver af Jorden i nogle større Urtepotter, som i Bunden ere forsynede med gode vandtrækkende Lag af Smaasteen, saaledes som det sædvanligt finder Sted ved Blomsterpotter. Ved at nedsætte disse saaledes fyldte Urtepotter i Vand indtil Jorden er fuldstændig gjennemblødt og ved derefter at holde dem jævnt overgydte med Vand saalænge indtil Jorden er fuldstændig sammensunken og gjennemtrængt af Vand, lader Vandledningsevnen W sig let bestemme ved fra Tid til anden at observere hvormeget Vand der løber gennem Jorden i en Time. Ved jævnligt at maale den gjennemløbne Vandmængdes Størrelse, findes det, at denne efterhaanden bliver mindre og mindre indtil en bestemt Grændse; er denne Grændse funden, er det kun fornødent at udtrykke den gjennemløbne Vandmængde i Cubikfod og dividere det fundne Tal med Urtepottens indvendige Middelareal eller Lysning, udtrykt i Qvadratfod, for derved at erholde det Forholdstal, som fremstiller Jordens Vandledningsevne W ; naar da samtlige Prøver omtrent give samme Værdi for W , vil Middeltallet af dem alle næppe afvige meget fra den søgte Vandledningsevne. Paa denne Maade har jeg foretaget Forsøg med det tidligere undersøgte Filtersand og fundet Sandets Vandledningsevne efterhaanden at aftage fra 5,7 til 5,1 Cubikfod i Timen, altsaa ganske samme Værdi for W , som jeg tidligere fandt ved mine Forsøg med Maalekassen. Jeg skal fremdeles angive Resultaterne af nogle andre Forsøg, som jeg har udført paa denne Maade. Med en sandet Muldjord foretog jeg følgende Forsøg:

Efter at Jorden var gjennemfugtet gav det 1ste Forsøg	$W = 0,84$	Cbf. pr. Time,
Det 2det Forsøg, der udførtes 6 Timer efter det første Forsøg, gav	$W = 0,50$	— —
— 3die — — — 21 — — —	$W = 0,34$	— —
— 4de — — — 4 Dage — — —	$W = 0,26$	— —
— 5te — — — 7 — — —	$W = 0,21$	— —
— 6te — — — 39 — — —	$W = 0,111$	— —

og det viser sig tydeligt heraf, at Vandledningsevnen convergerer imod en Grændse, der kan betragtes som Jordens naturlige Vandledningsevne.

Ved tvende Forsøg med sandet Leer fandtes efter Forløbet af en Maanedes Tid

$$W = 0,0016 \text{ Cbf. pr. Time.}$$

Ved Forsøg med flint Flydesand fandt jeg $W = 0,0025$ — —

Ved en anden Prøve af lignende Sand fandt jeg $W = 0,0060$ — —

Ved et Forsøg med almindelig Urtepottejord fandtes $W = 0,0175$ — —

De specielle Drainingsformler, svarende til disse Jordarter, vilde herefter blive følgende:

For den førstnævnte sandede Muldjord $a = 20 (D-d)$

— den undersøgte Urtepottejord $a = 8 (D-d)$

— de to Prøver af Flydesand $\left\{ \begin{array}{l} a = 5 (D-d) \\ a = 3 (D-d) \end{array} \right.$

— — — sandet Leer $a = 2,5 (D-d)$.

Herved skal kun sluttelig bemærkes, at disse Bestemmelser nærmest ere anførte som Exempler paa Methodens Anvendelighed til Bestemmelse af en given Jordarts Vandledningsevne, og at det vil være meget at anbefale, i hvert forekommende Tilfælde først at bestemme Jordens Vandledningsevne før man lægger Planen for sit Drainingsanlæg.

Sur les lois du mouvement de l'eau dans les couches terrestres.

Par M. A. Colding.

Les lois du mouvement de l'eau dans les conduites ordinaires ouvertes et fermées, et en partie aussi dans les courants libres, ont, à cause de leur grande importance pour beaucoup d'entreprises, été l'objet de recherches très approfondies, qui ont conduit à ce résultat que non seulement nous pouvons aujourd'hui distinguer assez clairement ces lois des courants, mais aussi que les connaissances ainsi acquises nous ont mis en état de comprendre d'autres phénomènes naturels analogues qui auparavant étaient pour nous obscurs ou peut-être entièrement inconnus.

Mais il y a une tout autre classe de courants sur lesquels je désire appeler l'attention, parce que nous n'en avons presque aucune connaissance, bien qu'ils jouent dans la nature un rôle très considérable.

Je veux parler des courants qui se produisent dans les diverses couches terrestres aquifères. Ce que nous savons à ce sujet se borne en effet à ceci :

1°. qu'il pénètre une plus grande quantité de pluie dans les terrains légers et sablonneux que dans les terrains compactes et argileux, parce que la résistance que la terre présente au mouvement de l'eau est moindre dans un terrain poreux que dans un terrain compacte.

2°. que l'eau qui pénètre dans la terre continue ordinairement de descendre jusqu'à ce qu'elle rencontre une couche de sable ou de gravier aquifère par laquelle elle se rend dans la mer, soit directement en vertu de la pesanteur, qui la pousse constamment vers le bas des pentes, soit indirectement en se déversant d'abord dans un lac ou autre réservoir analogue pour s'écouler ensuite dans la mer, lorsqu'elle ne s'évapore pas en route.

3°. que l'eau des couches terrestres forme des courants coulant à un certain niveau, dont on peut déterminer la position en forant ou en creusant des puits dans le terrain.

Mais ce que nous connaissons surtout des eaux souterraines, c'est le dommage qu'elles peuvent causer aux constructions, comme l'action pernicieuse qu'elles peuvent

exercer sur l'état sanitaire, tant de l'homme et des animaux que des plantes, et, à cet égard, il serait très désirable que les lois du mouvement de l'eau dans l'intérieur de la terre fussent mieux connues qu'elles ne l'ont été jusqu'à présent. Toutefois, ce n'est pas seulement l'éloignement des eaux souterraines qui joue un rôle important dans la vie journalière, mais aussi les moyens de les recueillir d'une manière convenable et en quantité suffisante pour des fins très diverses, en particulier pour des établissements industriels et des usages domestiques, pour approvisionner d'eau potable des propriétés isolées ou des villes etc. Il est donc évident qu'une connaissance complète des lois du mouvement de l'eau dans les différentes couches terrestres, serait à beaucoup d'égards d'une grande utilité.

J'ai en conséquence pensé que le présent travail sur le mouvement de l'eau dans la terre pourrait avoir un intérêt général, les résultats auxquels je suis arrivé étant tous basés sur des recherches directes.

Pendant 300 ans, Copenhague a été approvisionné d'eau par quelques lacs qui se trouvent dans le voisinage de la ville, et dont le plus important est celui de Damhus. Ce lac, qui mesure 5 à 6 millions de pieds carrés, est situé dans un bassin d'une étendue 100 fois plus grande environ, et d'où affluent pendant l'hiver les eaux qui servent en été à l'approvisionnement de la ville. Pour augmenter et améliorer l'eau de Copenhague, notre célèbre compatriote, le professeur Forchhammer, proposa de forer quelques puits artésiens dans le bassin du lac de Damhus, ses recherches géologiques lui ayant donné tout lieu de croire que, dans le calcaire de Saltholm, qui chez nous repose sur la craie et s'étend dans tous les environs de Copenhague, devaient se trouver des couches de sables verts très aquifères. Il supposait qu'on pourrait ainsi procurer à Copenhague des sources d'une eau très pure qui, par les pentes naturelles du terrain, iraient se déverser dans le lac de Damhus, et ses prévisions se réalisèrent si bien que ces forages artésiens ont fourni plus tard par jour à la ville 150,000 pieds cubes d'une eau d'excellente qualité.

Comme on ne pouvait obtenir une source jaillissante qu'en effectuant le forage en un point où le plan d'eau souterrain fût plus élevé que la surface du sol, et que le débit de la source, toutes conditions égales, devait croître avec la hauteur de ce plan au-dessus du sol, il était important de pouvoir au préalable déterminer cette hauteur en divers points du bassin du lac. Dans ce but, j'essayai, en allongeant successivement le tube dans les puits déjà forés, de faire monter l'eau jusqu'à la hauteur où le débit cessait. Cela ne me réussit pas, parce que l'eau se frayait un passage entre la terre et le tuyau de forage; mais, dans mes tentatives pour porter le niveau de la source à la limite de sa hauteur d'ascension, j'en vins à constater une loi pour le décroissement du débit avec la pression, loi qui me permit de déterminer indirectement la hauteur cherchée. Je trouvai en effet que le débit de la source, pour un niveau donné dans le tuyau, était proportionnel à la distance verticale comprise entre ce niveau et le plan d'eau souterrain qui indique la plus grande hauteur d'ascension de la source, et correspond par suite à un débit égal à zéro. En désignant par H et H_1 les hauteurs respectives du plan d'eau souterrain et du terrain au-dessus du niveau de la mer, et en faisant abstraction de la résistance de l'eau dans les tuyaux et de la perte de pression qui en résulte, on trouve que la perte de pression $(H - H_1)$ est liée au débit Q de la source par la loi simple qui suit:

$$H - H_1 = C.Q \dots \dots \dots (1)$$

où C est une constante qui dépend de la résistance de la couche aquifère au mouvement de l'eau.

En déterminant ensuite pour les divers puits artésiens la hauteur d'ascension maximum ou la hauteur comprise entre la surface du sol et le plan d'eau souterrain, je reconnus que le plan limite des hauteurs d'ascension des différentes sources n'était pas un plan horizontal, mais un plan incliné vers le Sud-Est, direction que doivent par conséquent suivre les eaux souterraines dans leur marche vers la mer à travers les couches aquifères. Après avoir pendant longtemps observé les hauteurs d'ascension des sources, je constatai en outre que le plan limite dont il s'agit était un plan variable qui remontait et descendait proportionnellement à la quantité d'eau qui pénètre dans la terre jusqu'à la profondeur où l'on place d'habitude les drains, lesquels, comme on sait, ne donnent généralement de l'eau que pendant les six mois d'hiver. L'eau souterraine augmente donc dans cette période, et diminue au contraire dans la saison d'été, d'où il suit que pendant l'hiver les couches aquifères reçoivent plus d'eau qu'elles n'en écoulent, tandis que c'est l'inverse en été.

Pour obtenir des lois du mouvement de l'eau dans la terre une connaissance plus approfondie que celle que m'avait procurée le forage des puits artésiens, j'entrepris plus tard une série de recherches sur le mouvement de l'eau dans diverses couches de sable et de gravier que je disposais dans une conduite ouverte, et faisais traverser par une quantité d'eau plus ou moins grande. Dans chaque expérience, je déterminais le débit de la couche par pied carré de la section transversale du courant, ainsi que la perte de pression correspondante par unité de longueur du courant, et j'arrivai ainsi à reconnaître la remarquable loi que voici du mouvement de l'eau dans la terre, à savoir que la vitesse du courant est proportionnelle à la perte de pression. Si l'on désigne la perte de pression par unité de longueur par $\frac{h}{l}$, et la vitesse du courant ou le débit de la couche par unité de la section transversale, par v , la loi en question peut être exprimée par la formule:

$$\frac{h}{l} = Av \dots \dots \dots (2)$$

A étant une grandeur qui croît avec la densité ou la résistance de la couche aquifère, et qui représente la pente par unité de longueur, nécessaire pour produire dans l'unité de temps une vitesse de 1 pied, et un débit de 1 pied cube par pied carré de la section du courant. Qu'il y ait accord entre les formules (1) et (2), c'est ce qu'il est facile de voir, mais la dernière seule explique complètement pourquoi la loi déjà connue concernant les rapports entre la hauteur d'ascension et le débit de l'eau dans les puits artésiens, doit être une loi naturelle.

Après avoir reconnu cette loi générale du mouvement de l'eau dans la terre, j'ai essayé de l'appliquer à la solution de diverses questions, parmi lesquelles je mentionnerai les suivantes:

1. Lorsqu'une couche de sable est traversée par un courant qui y pénètre par son extrémité supérieure, et qu'elle est complètement saturée d'eau, il est évident que le débit croît avec la pente; mais, en appliquant la formule (2), on trouve que le débit croît proportionnellement à cette quantité.

2. Lorsqu'une couche de sable, reposant sur une couche horizontale imperméable à l'eau, est traversée par un courant qui coule sur cette dernière couche, on trouve à l'aide de la formule (2) que la surface de la nappe d'eau souterraine prend la forme d'une parabole du 2^e degré, dont l'axe est horizontal et situé dans le lit du courant. C'est ce que j'ai vérifié par des expériences directes.

3. Il arrive rarement que l'eau de pluie pénètre en un point isolé jusqu'aux couches aquifères; au contraire, elle se répand en général d'une manière assez uniforme sur toute l'étendue du terrain où ces couches sont situées. Il est donc d'un grand intérêt pour le forage des puits artésiens de pouvoir déterminer la forme que prend la surface de la nappe d'eau souterraine en s'écoulant vers la mer, lorsque l'eau afflue également de tous les points du terrain aux couches aquifères. En supposant la couche aquifère homogène dans toute son étendue, on trouve par la formule (2) que la nappe d'eau souterraine, dans sa marche vers la mer, prend la forme d'une parabole du 2^e degré dont l'axe est vertical, et correspond au point du terrain où se trouve la ligne de partage des eaux. C'est ce que j'ai eu l'occasion de vérifier pour les puits artésiens des environs de Copenhague.

4. Lorsque la nappe d'eau souterraine s'écoule d'un terrain homogène par des drains disposés à une certaine profondeur en lignes parallèles, et que l'eau de pluie afflue également de tous les points, l'expérience montre que la surface liquide entre 2 lignes de drains successives prend une forme convexe dont le point le plus élevé correspond au milieu de la distance entre les drains. Or il résulte de la formule (2) que la surface de l'eau entre les drains a la forme d'une ellipse dont l'un des axes (ordinairement le grand axe) est horizontal et placé au niveau des drains, tandis que l'autre est vertical et situé au milieu des deux drains par lesquels s'écoule l'eau du terrain intermédiaire.

La formule (2) montre en outre que si l'on désigne le demi-axe vertical de l'ellipse (la charge d'eau sur les drains) par d et le demi-axe horizontal par l , le rapport entre ces deux demi-axes dépend en partie de la perméabilité du sol, c'est-à-dire la hauteur d'eau W qui, dans l'unité de temps, pénètre perpendiculairement dans la terre lorsque celle-ci est complètement saturée, en partie de la hauteur de pluie r qui correspond à la quantité d'eau fournie dans le même temps par les drains, et peut s'exprimer par l'équation

$$\frac{l}{d} = \sqrt{\frac{W}{r}}.$$

En comparant mes résultats avec ceux des expériences de M. Delacroix sur le drainage dans les terres sablonneuses et argileuses, on trouve que la théorie est entièrement d'accord avec la nature, lorsque la distance a des drains entre eux est égale à 0,9 du grand axe ($2l$) de l'ellipse, ou lorsque $a = 1,8l$.

Entre la hauteur de l'eau au milieu des drains, et l'écartement des drains entre eux, on doit donc avoir la relation:

$$a = 1,8 \sqrt{\frac{W}{r}} \cdot d \dots \dots \dots (3)$$

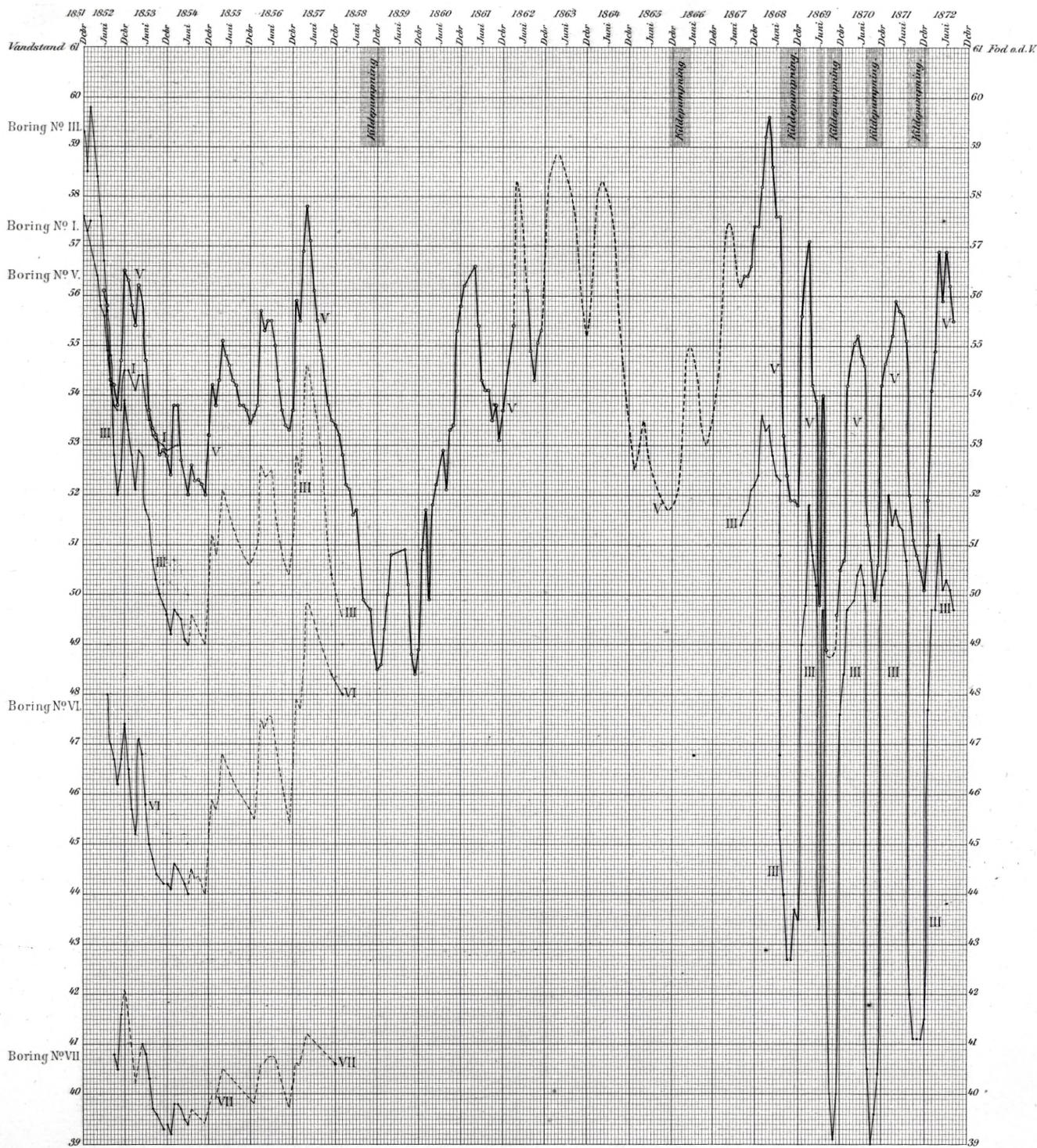
En supposant que la plus grande hauteur de pluie que les drains puissent débiter par heure soit de 0,0009 pied, la formule des drains deviendra

$$a = 60 \sqrt{W} \cdot d \dots \dots \dots (4)$$

Etant donnée la profondeur des drains, ainsi que la hauteur d'eau maximum (d) qu'on peut laisser sur les drains sans que la végétation en souffre, l'intervalle (a) entre les drains peut se calculer par la formule (4); si l'on a eu soin au préalable de déterminer par quelques expériences la perméabilité (W) du sol.



K.D. Vid. Selsk. Skr. 5te Række, naturv. og math. Afd. 9de B. VIII. A. Colding: om Vandets Bevægelse i Jorden.



K.D. Vid. Selsk. Skr. 5te Række, naturv. og math. Afd. 9de B. VIII. A. Colding, om Vandets Bevægelse i Jorden.

