. CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING

NOTA 336, d.d. 26 mei 1966

Verslag van een 14-daags bezoek aan Oost-Canada

Ir. Ph. Th. Stol

Op 24 en 25 februari 1966 werd in Montreal het Fifth Canadian Hydrology Symposium gehouden met als onderwerp 'Statistical Methods in Hydrology'. In het volgende verslag worden in het kort enkele indrukken en ervaringen, opgedaan tijdens het Symposium, de discussies en de daarna afgelegde bezoeken, vastgelegd.

De eerste dag van het Symposium was gewijd aan algemeen toegepaste analyse methoden. Speciaal werd hierbij aandacht besteed aan toepassing van transformaties tot linearisering van frequentie-verdelingen, correlatie- en regressie-rekening en de toepassing van de theorie van extreme waarden. Zie (1 t/m 6).

De tweede dag kwamen de meer moderne technieken ter sprake zoals het gebruik van verdelings-vrije methoden, analyse van tijdreeksen en de toepassing van de theorie van de stochastische processen. Zie (7 t/m 13).

Tijdens de afgelegde bezoeken zijn vele van deze onderwerpen nader bediscussieerd waarbij speciaal aandacht besteed werd aan de mogelijkheden van toepassing en de hulpmiddelen die voor het uitvoeren van de bijbehorende rekenwerkzaamheden werden gebruikt (14 t/m 23).

Van belang zijnde literatuur in verband met het voorgaande is in de referentie-nummers (24) en volgende opgenomen.

Een van de punten die men bij toepassing van statistische methoden in de hydrology steeds voor ogen moet houden is de omstandigheid dat de waarnemingen veelal niet met het oogmerk verzameld zijn er statistiek op toe te passen (6, SLIVITZKY p3). Bovendien is het de vraag of de waarnemingsreeks de juiste parameter is voor het verschijnsel dat men bestuderen wil. Een van de mogelijkheden om uit een hoeveelheid waarnemingsmateriaal een kansverdeling af te leiden is het uitzetten op waarschijnlijkheidspapier eventueel na het toepassen van een geschikte transformatie. Maar daarnaast kan voor numerieke doeleinden gebruik gemaakt worden van
het gemiddelde, de scheefheid en kurtosis waarna de gevonden waarden gesubstitueerd worden in reeksen van het Gram - Charlier - Edgeworth type. Hiermede is de kansverdeling dan uitgedrukt in een veelterm op basis van afgeleiden van de normale verdeling, (1, ANDERSON), (24, KENNEY and KEEPING dl II p108) en (25, KENDALL and STUART dl 1 p159) en geschikt gemaakt voor numerieke behandeling.

Speciaal voor de verdeling van neerslaghoeveelheden wordt door verschillende auteurs het gebruik van de derde machtswortel van de neerslag aanbevolen teneinde de verdeling te lineariseren (2, KENDALL). Zowel voor korte als voor lange perioden en voor verschillende klimaatstypen blijkt deze transformatie goed te voldoen (26, STIDD). Tevens blijkt het mogelijk een bundel curven te berekenen door op deze wijze getransformeerde gegevens voor verschillende tijdvakken gezamenlijk te bewerken, waarmede het voordeel verkregen wordt dat het aantal graden van vrijheid aanmerkelijk groter is dan bij bewerking per tijdvak of per maand (15, 27, CAVADIAS)

Een andere benadering, welke meer rekenwerk vereist, doch 'best fits precipitation series' (2, KENDALL, p-9-) wordt verkregen met de Incomplete Gamma-verdeling. Het vergelijken van beide laatste methoden onder Nederlandse omstandigheden kan van belang zijn voor het verkrijgen van aansluiting bij numerieke bewerkingen (28, BARGER and THOM; 29 THOM en 47, STOL).

Nagegaan dient hier te worden welke periode lengten gebruikt kunnen worden. Voor jaarlijkse gegevens werd geen verschil in aanpassing gevonden tussen normale, log-normale met 2 respectievelijk 3 parameters en gamma-verdelingen met 2 respectievelijk 3 parameters (6, SLIVITZKI p7). Dit onderzoek werd uitgevoerd door MARKOVIC (39).

Als eenvoudige en efficiënte methode voor het verkrijgen van een eerste overzicht over het basismateriaal werd door verschillende inleiders de grafische analyse wel genoemd (o.a. 3, SOLOMON). CAVADIAS (30) toont echter aan dat de genoemde methode namelijk die welke werkt met het correleren van achtereenvolgens overgebleven residuen en de zogenaamde coaxial-method niet steeds ten volle rekening houden met inter-correlaties reden waarom van deze twee de iteratieve coaxial-method nog de voorkeur verdient.

Het toepassen van transformaties verdient meer aandacht dan gewoonlijk hieraan gegeven wordt. Afhankelijk van de toegepaste transformatie kan een verdachte correlatie in de variabelen optreden. In sommige gevallen kan een correlatie ingevoerd worden die hoge waarden kan aannemen. Bijvoorbeeld indien x_1 en x_2 niet gecorreleerd zijn dan zal indien $\frac{\sigma x_1}{\bar{x}_1} = \frac{\sigma x_2}{\bar{x}_2} = \frac{\sigma x_3}{\bar{x}_3}$ tussen de getransformeerde variabelen. $z_1 = \frac{x_1}{x_3}$ en $z_2 = \frac{x_2}{x_3}$ de correlatie 0,5 zijn. Vele voorbeelden van gebruikelijke transformaties en de daarbij geïntroduceerde correlatie worden gegeven door (31, BENSON, 1965 p37 and 39).

In het genoemde geval zijn alleen gevolgtrekkingen van waarde die betrekking hebben op de variabelen z_1 en z_2.

Bij de grafische analyse werd tevens genoemd het gebruik van double-mass curves (3). Bij deze analyse worden gesommeerde grootheden uitgezet - waarmede een gevoelige wijze van weergave wordt verkregen tegen het optreden van systematische afwijkingen. In twijfel gevallen kan verschil in richting getest worden met een door WEISS and WILSON (32) beschreven statistische test. Bij het vaststellen van een verandering in de richting - dus verhouding - tussen gesommeerde grootheden zal nader onderzoek uit moeten wijzen welke van de variabelen de afwijking teweeg heeft gebracht. Een dergelijke techniek kan met voordeel in het Delta-onderzoek worden toegepast waar afvoergegevens van verschillende gemalen vergeleken moeten worden en niet steeds zeker is of het waarnemingsmateriaal over de reeks van jaren homogeen is. Bovendien valt te testen of de noodgedwongen toepassing van verschillende berekeningsmethoden over de loop der jaren een systematisch verschil in uitkomsten heeft gegeven of niet (33, 34, STOL).

Zijn grote gebieden het onderwerp van onderzoek dan is het slechts zelden het geval dat de benodigde gegevens zonder meer beschikbaar zijn. Veel onderzoek wordt in Canada gedaan gericht op 'extension' van hydrologische gegevens, 'transposition' en het empirisch, dus snel en met eenvoudige middelen vaststellen van samenhangen (4).

Veelal dienen deze drie methoden gezamenlijk en dooreen verweven toegepast te worden indien uitspraken verwacht worden van afvoeren van stroomgebieden zonder dat gegevens uit het gebied zelf beschikbaar zijn. Vaak zal blijken dat een beter resultaat verkregen wordt met uit langjarige reeksen meteorologische waarnemingen (neerslag) afgeleide afvoerfrequenties dan met extrapolatie van korte reeksen afvoergegevens (35, KRESGE and NORDENSON).

In samenhang hiermee kan afhankelijk van de omvang van de hoeveelheid rekenwerk onderscheid tussen de volgende methoden gemaakt worden, (4), en wel

1. frequentie - analyse
2. simulatie door gebruik van meteorologische gegevens en
3. synthese van afvoergegevens door het gebruik van Monte Carlo-methoden waarbij door het genereren van toevalsgetallen zowel rekening met systematische als toevallige afwijkingen wordt gehouden.

Een eerste inleiding over dit laatste onderwerp werd gehouden door YEVDJEVICH (14) die aantoonde dat het op de genoemde wijze mogelijk is nieuwe frequentie-verdelingen af te leiden respectievelijk langere reeksen gegevens te genereren waarvan aan de McGill University, (15) en bij de Water Resources Branch (19) en Canada Geological Survey (20) verschillende voorbeelden werden bestudeerd, waarop later nog teruggekomen wordt. Opgemerkt moet worden dat het op deze wijze niet mogelijk is nauwkeuriger schattingen voor gemiddelde en spreiding van de frequentie-verdeling te verkrijgen daar het gehele systeem met alle reeds beschikbare informatie tot stand is gekomen. Voor de meer gebruikelijke eerste methode wordt speciaal verwezen naar DALRYMPLE (36).

Een tweetal voorbeelden uit de bijdrage van BRUCE and CLARK (4) toont aan dat in een uitgestrekt gebied van onderzoek veelal noodzakelijker wijze naar eenvoudige snel te ontwikkelen en toe te passen methoden (formules)moet worden gezocht.

Zo wordt voor afvoergebieden te New Brunswick en Gaspé Peninsula de volgende betrekking gegeven (37, COLLIER)

$$\text{Log MAF} = 2.37 \times 10^{-5}\ \text{DA} + 0.8384\ \text{Log DA} + 6.2 \times 10^{-5}\ \text{E}$$

$$- 2.23 \times 10^{-3}\ \text{C} + \text{Log}\ (100 - 2\text{L}) - 0.357$$

waarin

MAF	=	mean annual flood	(cfs)
DA	=	drainage area	(mi^2)
E	=	average elevation of drainage basin	(ft)
C	=	proportion of drainage basin lying above the outlets of lakes or reservoirs	(%)
L	=	proportion of drainage area covered by lakes or reservoirs	(%)

Een voorbeeld van het berekenen van de afvoer uit neerslaggegevens wordt gegeven in de betrekking (38, GLASSPOOLE)

$$Q = 0.18\ P_{wp} + 0.51\ P_{sp} + 0.73\ P_{wc} + 0.13\ P_{sc} - 13.0$$

Q = annual yield of the Thames River (in)
P_{wp} = precipitation for winter of the previous year
P_{sp} = precipitation for summer of the previous year
P_{wc} = precipitation for winter of the current year
P_{sc} = precipitation for summer of the current year

terwijl voor gebieden met een meer gematigde hoeveelheid neerslag (20 to 60 in) niet lineaire betrekkingen zoals

$$Q = a\,(P - b)^2$$

$$Q = a\,P^h$$

$$Q = b \log P - a$$

'may yield useful results' (4, BRUCE and CLARK p8 - 9).

Speciaal geldt dit wanneer de hydroloog voornamelijk geïnteresseerd is in de mate van statische samenhang tussen de variabelen (6, SLIVITZKI p9). Niet vergeten mag worden dat een hoge correlatie coëfficiënt in dit type onderzoekingen nog geen garantie is dat een zinvolle samenhang is gevonden (40).

Het toepassen van de theorie der extreme waarden op overschrijdingen kan geschieden zonder kennis van de oorspronkelijke(initiële)verdeling. Een belangrijk resultaat van deze theorie is dat de kans dat de grootste van n voorbije waarnemingen in N = n toekomstige waarnemingen niet overschreden zal worden 50% bedraagt,terwijl de kans dat niet meer dan 1 overschrijding optreedt naar 75% convergeert. (5, GUMBEL p2) en (7, KEEPING p8). Deze methoden zijn vooral van belang wanneer het gaat om het aantal overschrijdingen van een gegeven waarneming en niet om de grootte ervan.

Met betrekking tot de extreme waarden zelf bestaan er slechts drie typen (asymptotische) verdelingen van extreme waarden. De theorie voor de asymptotische verdelingen blijft geldig indien enkele elkaar in grootte opvolgende waarnemingen afhankelijk zijn. Zowel de zogenaamde tweede als de derde verdeling zijn slechts door een logarithmische transformatie aan de eerste gebonden. De te verrichten keuze wordt vergemakkelijkt door het gebruik van het juiste extreem-waarschijnlijkheidspapier.

Aangezien hier gebruik gemaakt wordt van een theoretische verdeling die onder verschillende typen van de initiële verdeling - die dus niet in detail bekend behoeft te zijn - geldig is kan extrapolatie naar langere herhalingsperioden, binnen zekere nader te berekenen risico-grenzen, meer zinvol worden uitgevoerd. Met name leidt de veelal toegepaste regel dat de ontwerpnorm 2 x zo groot moet zijn als de grootste waargenomen waarde tot een te lange herhalingsperiode, namelijk het kwadraat van de waarde behorend bij de grootste waarde.

Een vaak meer efficiënt gebruik van de beschikbare gegevens kan gemaakt worden door meer moderne methoden toe te passen. Speciaal werd de aandacht gevestigd op parameter vrije methoden waarbij het niet noodzakelijk is een specifieke verdeling aan te nemen terwijl bij het aanwezig zijn van persistentie - tot uitdrukking gebracht in de auto-correlatie-coëfficiënt - de theorie van de analyse van tijdreeksen met vrucht kan worden toegepast (6) en (22, BALEK).

Een van de voorbeelden van gebruik van parameter vrije methoden werd gegeven bij de Water Resources Branch, (19) en (41). Alvorens bewerkingen op een tijdreeks toe te passen wordt als routine getoetst op het aanwezig zijn van

1. het voorkomen van groepen waarnemingen met eenzelfde orde van grootte;
2. het voorkomen van groepen waarnemingen met eenzelfde trend;
3. het voorkomen van enigerlei trend over de gehele reeks van waarnemingen.

Indien een van deze toetsen positief uitvalt kan het waarnemingsmateriaal bijvoorbeeld homogeen gemaakt worden door splitsing in zomer- en winterperiode, door bewerking per seizoen of per maand, door splitsing naar meteorologische oorzaken zoals splitsing van afvoer in neerslag- en smeltwater-afvoer (11).

Over het algemeen vereisen parameter vrije toetsen slechts een geringe hoeveelheid rekenwerk en zijn zij onder ruime voorwaarden toepasbaar. Speciaal wordt niet het normaal-verdeeld-zijn van de te toetsen variabele voorondersteld. Als nadeel kan slechts genoemd worden het feit dat het onderscheidend vermogen van de toets wat geringer is wat echter juist verband

houdt met het feit dat slechts weinig veronderstellingen gedaan behoeven te worden.

De bijdrage van STAMMERS (8) geeft een duidelijk en beknopt overzicht van de toepassing van 'multivariate' technieken. Naar de auteur (22) duidelijk aangeeft blijft bij toepassing steeds de nodige waakzaamheid en voorzichtigheid geboden vooral waar het normaal-verdeeld zijn van de bestudeerde grootheid respectievelijk van de afwijkingen ten opzichte van de aangenomen betrekking betreft. Slechts zelden (lees: eigenlijk nooit) zal men over voldoende gegevens beschikken om deze aanname te testen. Bovendien kan het resultaat strijdig zijn met een logische fysische interpretatie, doordat bepaalde parameters bijvoorbeeld negatieve waarden aannemen of boven 100%(volume) uitgaan.

Van de door CAVADIAS (27) en CAVADIAS en LYONS (30) sterk gepropageerde analytische correlatie methoden worden door Stammers de mogelijkheden meer afgewogen en overwogen en door MORTON*) (13) zeer sceptisch bekritiseerd, waarbij het geen verwondering behoeft te wekken dat in de genoemde volgorde het interesse gebied van genoemden verschuift van een theoretische naar een praktische benadering.

Het algemeen bekende regressie-model (8 p1) is van waarde voor het ontwikkelen van een formule teneinde een grootheid (bv. y) te kunnen voorspellen. uit (een of meer variabelen) x. Ook wanneer de te voorspellen variabele niet normaal verdeeld is kan een kleinste kwadraten oplossing verkregen worden die als voorspellings-formule kan dienen zonder dat echter een betrouwbaarheidsgebied berekend kan worden. In dat gevalwordt gesproken van kleinste kwadraten regressie en is de uit te voeren bewerking tamelijk formeel en kan geen statistische toets toegepast worden.

In het correlatie-model wordt echter een aantal variabelen met een gemeenschappelijke kansverdeling beschouwd. Rekenkundig zijn de verschillen met het vorige model slechts gering, hier wordt echter gevraagd naar de verwachtingswaarde van y onder voorwaarde dat x gegeven is. Het model gaat dus

---

*) Engineer-in-Charge with the great Lakes-St. Lawrence Study Office of the Water Resources Branch, Cornwall, Ontario

uit van voorwaardelijke verwachtingen, gebaseerd op een andere definitie van het kansveld. Bij de beoordeling van de resultaten valt het onderscheid tussen beide modellen echter op. In het eerste geval vindt toetsing plaats op basis van een F-toets, in het tweede geval op basis van een t-toets. (8 p.5) en (7, KEEPING p1) zie voorts (46, KENDALL and STUART dl II p300).

De interpretatie van de uitkomsten dient met zorg te geschieden. Regressie-coëfficiënten met een teken tegengesteld aan wat op fysische gronden verwacht werd kunnen zoals reeds gezegd voorkomen. Berekening van partiële correlatie-coëfficiënten kan een inzicht geven in een mogelijk storende samenhang tussen de verklarende variabelen, die al of niet toevallig kan zijn.

Ook bij het toepassen van de zogenaamde stapsgewijze regressie, waarbij aan het model achtereenvolgens nieuwe verklarende variabelen worden toegevoegd tot een optimale betrekking is verkregen, worden vaak veranderingen in de regressie coëfficiënten van reeds opgenomen variabelen geconstateerd die niet op fysische gronden te verklaren zijn. Op theoretische gronden, anders dan van statistische aard, dienen dergelijke modellen te worden verworpen. Zie ook (13 p.7 e.v.).

Onderzoek naar een 'optimale oplossing' kan wellicht beter uitgevoerd worden met de zogenaamde 'Principal Component Analysis'. In hydrologische toepassingen kunnen bijvoorbeeld de gemiddelde afvoer, helling van het terrein, hoogteligging, invloed van zijrivieren, lengte van rivieren, dichtheid van rivierenstelsel, neerslag en dergelijke op hun onderlinge samenhangen worden onderzocht (42, WONG). Een recent voorbeeld van toepassing van deze methode bij klimaats-klassificatie werd gegeven in het Tijdschrift Kon.Ned. Aardr.Gen. van oktober 1965 (49, STEINER, 1965) terwijl een dergelijke techniek toegepast werd bij het Plant Research Institute (16), teneinde een empirische formule voor de verdamping te vinden, afgeleid uit een aantal reeksen meteorologische gegevens zoals maximum temperatuur, temperatuur traject, windsnelheid, straling enz. Door middel van zogenaamde voorwaartse selectie kan een 'optimale' reeks variabelen verkregen worden. De formule van Penman diende als basis en de beste benadering hiervoor werd gezocht. Als belangrijkste veranderlijken werden gevonden maximum temperatuur, verschil tussen maximum en minimum dagelijkse temperatuur, straling en dauwpunt. Hiermede werd een correlatie-coëfficiënt van 0,80 bereikt in het basismateriaal en een van 0,83 in een test-reeks (50,51, BAIER, 1965).

Naast de vorengenoemde technieken waarin nog steeds aangenomen wordt dat

y uit (een aantal variabelen) x berekend kan worden staat een andere benadering waarbij y niet berekenbaar is maar tevens door een 'kans-mechanisme' bepaald wordt (10, CAVADIAS; 9, MATALAS; 14, YEVDJEVICH). In dit geval is y dus een stochastische variabele waarvan de verdeling afhangt van (een of meer variabelen) x.

De volgende veronderstellingen dienen te worden gemaakt:

1. De kansverdeling van x (t) is onafhankelijk van t
2. De verwachtingswaarde van x (t) is onafhankelijk van t
3. De autocovariantie is onafhankelijk van t
4. De gemeenschappelijke kansverdeling van alle beschouwde over 1 tot en met k tijdseenheden verschoven reeksen (k reeksen) is onafhankelijk van het beginpunt.

Wordt aan 1 tot en met 4 voldaan dan heet het proces stationair. Wordt slechts aan 1 tot en met 3 voldaan dan zwak (pseudo) stationair.

Het is nu mogelijk de bijdrage aan de totale variantie van de tijdreeks van elke component in een harmonische analyse vast te stellen (12). Er worden net zolang componenten afgesplitst totdat slechts toevallige afwijkingen overblijven, wat bijvoorbeeld geconstateerd kan worden met de eerder genoemde parameter vrije toetsen (19, 41). Door nu toevalsgetallen te genereren en deze aan het te berekenen systematische gedeelte toe te voegen wordt een nieuwe tijdreeks ontwikkeld (12 p6) waarin alle elementen aanwezig zijn en welke voor voorspelling uitermate geschikt is (9, MATALAS p8). Deze nieuwe reeks heeft dan veelal vele malen de lengte van de oorspronkelijke reeks en kan dienen voor het afleiden van nieuwe kansverdelingen (14).

De grondgedachte van bovengenoemde methode is de aanname dat hydro-meteorologische verschijnselen uiteindelijk veroorzaakt worden door gebeurtenissen die van astronomische aard zijn. Een super-positie van cyclische functies, vertroebeld door locale invloeden en topografische verschillen, veroorzaakt het verschijnsel dat waargenomen wordt (9, MATALAS p7). Ook perioden die niet samenhangen met de seizoencyclus kunnen voorkomen namelijk wanneer de omvang, topografie en dergelijke van een gebied in het geding is zoals wel bij meren voorkomt. Mogelijk kan het waarnemingsmateriaal uit het Benelux tunnel onderzoek, dienen tot het opdoen van ervaring met genoemde methoden (44, STOL).

Het gebruik van voortschrijdende gemiddelden voor het elimineren van een

trend dient veelal afgeraden te worden. Op deze wijze namelijk kan een cyclische fluctuatie in de toevalscomponent van de tijdreeks ontstaan (9, p46).

Onderscheid dient te worden gemaakt tussen twee problemen: het bepalen van het proces en het voorspellen van tockomstige uitkomsten. Het eerste probleem is boven reeds ter sprake gekomen, van het tweede probleem werd door BALEK (22) een voorbeeld gegeven. Toegepast werd de methode van de lineaire extrapolatie. Door het uitvoeren van een regressie-berekening van de tijdreeks op dezelfde, doch dan over 1, 2, ... , k dagen verschoven reeks worden regressie-coëfficiënten verkregen waarmede nieuwe te verwachten waarden kunnen worden voorspeld. De berekening kan worden getoetst door bij de afleiding van de coëfficiënten slechts gebruik te maken van een gedeelte van het beschikbare cijfermateriaal. Het overige wordt gebruikt voor toetsing van het resultaat. Het gegeven voorbeeld (43) van de rivier de Vltava te Praag laat zien dat deze methode een redelijk goede voorspellingsmogelijkheid biedt hoewel de correlatie-coëfficiënt tussen berekende en gemeten waarden voor verschillende alternatieven niet veel hoger komt dan tussen .50 en .60.

Een van de problemen waarvoor men zich in Canada geplaatst ziet is het bepalen van afvoer tengevolge van smeltwater (11). In een model tot berekening van dit fenomeen zijn onder andere opgenomen de potentiële hoeveelheid smeltwater, de lucht-temperatuur, neerslagintensiteit, bos-bedekking, windsnelheid, dauwpunt, potentiële hoeveelheid smeltwater beschikbaar voor afvoer zonnestraling, enz. De benodigde formules werden ontwikkeld door het U.S. Corps of Engineers en het U.S. Weather Bureau, en bevat lineaire en product termen. De nauwkeurigheid van de bewerking, die bestaat uit het doen van een keuze uit 6 formules afhankelijk van de bos-bedekking, en van perioden met respectievelijk zonder neerslag, werd nagegaan door herhaalde berekening voor verschillende niveaus van enkele variabelen. De gegeven formules bleken slechts weinig afhankelijk van kleine verschillen en geven de beschreven effecten goed weer. Een berekening van de fouten voortplanting lijkt echter gewenst daar hiermede meer inzicht in de onderlinge samenhang van veranderingen in de variabelen op afwijkingen wordt verkregen.

Bij het bezoek aan prof. CAVADIAS (15) en de Water Resources Branch (19) waarvan hij tevens adviseur is, werd nader ingegaan op de bewerkingen die uitgevoerd worden in het kader van het onderzoek naar de peilen in de grote meren. Het verloop van het onderzoek wordt in een International Joint Comittee (Canada + U.S.A.) maandelijks besproken en vastgelegd. Het Ontario meer dient als studie-object en met als basis een waarnemingsreeks van 65 jaar werd een model opgesteld waarmee een reeks van 600 jaar gesimuleerd werd.

Het volgende voorbeeld geeft een indruk van de sterk empirische werkwijze.

Wordt het peil (Level) van het Supenior meer op tijdstip i voorgesteld door L_s (i) dan kunnen, steeds voor de eerste van elke maand, de peilen onderling gebonden gedacht worden door de betrekking

$$L'_s (i) = a + b_1 L_s (i - 1)$$

De residuen (e) worden berekend door de berekende waarden L' van L af te trekken en dus

$$L_s (i) - L'_s (i) = e_s (i)$$

Deze reeks blijkt auto correlatie te vertonen die geëlimineerd kan worden met bijvoorbeeld deze reeks

$$e'_s (i) = a + b_1 e_s (i - 1) + b_2 e_s (i - 2) + b_3 e_3 (i - 3) + \ldots$$

door te bepalen hoever teruggegaan moet worden voor het verkrijgen van een random reeks δ uit

$$e_s (i) - e'_s (i) = \delta_s (i)$$

Het volgende punt van onderzoek is de reeks δ_s (i) te correleren met neerslag gegevens (P) en een term voor wateraanvulling (R) volgens het, nog niet doorgerekende schema,

$$\delta'_s (i) = a + b P_s (i - 1) + \ldots + c R_s (i - 1) + \ldots$$

Aangezien het peil in het volgend meer (Lake Huron mede bepaald wordt door het peil in het eerste meer wordt voorgesteld de volgende betrekking toe te passen

$$L_H (i) = a L_s (i - 1) + b + \varepsilon$$

waarin ε een toevalsterm vertegenwoordigt. Vervolgens voor Lake Erie

$$L_E (i) = a L_H (i - 1) + b L_s (i - 1) + c + \varepsilon$$

Het lijkt niet uitgesloten dat een verschuiving van L_s over twee tijdvakken meer zinvol zal blijken terwijl de mening (19) dat tussen de peilen op de meren een persistentie tot 3 à 4 jaar bestaat tot een geheel andere conceptie moet voeren (45 p8)

Behalve in de hydrologie, bij bestudering van tijdreeksen, heeft de theorie der 'serial correlation' toepassing gevonden in geologisch onderzoek. (20, 48 AGTERBERG 1965). In dit geval wordt de theorie toegepast op afzettingen van mineralen en wordt een kritieke afstand bepaald waarbinnen analyse resultaten in hoge mate onderling gecorreleerd zullen zijn. Voor het verkrijgen van een overzicht over een gebied dienen de monsters (boorpunten) dus gekozen te worden op afstanden groter dan de kritieke.

Bij al deze technieken wordt gebruik gemaakt van I.B.M.-standaard-programma's. Een groot voordeel hiervan is dat ook de meest ge-avanceerde methoden in brede kring besproken worden en de resultaten onderling vergeleken kunnen worden doordat de lay-out identiek is en de van belang zijnde uitkomsten daardoor steeds op dezelfde plaats in de uitkomsten lijst voorkomen. Het is misschien goed op dit voordeel eens de aandacht te vestigen. Vooral voor werkers die door de aard van hun werkzaamheden, niet in de techniek van de bewerking zelf geïnteresseerd zijn (kunnen zijn) betekent dit het snel verwerven van een inzicht in het ter beschikking staande cijfermateriaal.

Elk departement en elke grote instelling heeft zijn eigen computerfaciliteiten waarvan alle onderafdelingen gebruik kunnen maken. Een strenge

scheiding bestaat steeds tussen de groepen operateurs en programmeurs. De programmeurs stellen hun programma's aan de operateurs ter beschikking die voor verdere bewerking zorgen. Zelf bedienen de programmeurs nooit de apparatuur ook niet in het test-stadium. Zo is bijvoorbeeld de werkindeling bij de Data Processing Services van het Department of Agriculture (18) de volgende: Een werkdag is ingedeeld in drie werkperioden, in de ochtenduren worden routine programma's doorgewerkt en programma's getest waarvan de vermoedelijke machinetijd minder dan 1 uur bedraagt, in de tweede periode worden de langere programma's verwerkt en in een derde periode de eventueel geheel nieuw te testen programma's en de werkzaamheden die meer dan 3 uur per object zullen vergen. De afdeling heeft ongeveer 120 vaste gebruikers en werkt met 24 programmeurs waarvan ongeveer de helft buiten Ottawa gestationeerd zijn. Verder werken op de afdeling 20 à 25 ponsters.

Wetenschappelijk advies voor zover het de toe te passen statistische methoden betreft wordt gegeven door de Statistical Research Services (17), welke werkt met een staf van 8 leden, wat gevoeld wordt als een te kleine bezetting waar ongeveer 800 onderzoekers geacht worden van de afdeling gebruik te zullen maken.

Geleidelijk aan schakelt men over op een I.B.M. 360 computer die zelf de inkomende programma's aan de hand van een code voor omvang, benodigde tijd, subroutines en dergelijke een optimale werkaflevering waarborgt. Eventueel kunnen door een telexverbinding opdrachten worden gegeven en resultaten worden teruggeseind. Programma's waarvan de bestede tijd de opgegeven tijd met bijvoorbeeld een factor 2 overschrijdt worden weer naar achter in de reeks opdrachten teruggeschoven en als laatste bewerkt. Men verwacht dit systeem van werken omstreeks september 1966 te kunnen realiseren.

De gevolgde wijze van werken heeft het nadeel dat het niet mogelijk is problemen met een heuristische techniek te benaderen. Steeds zal enige tijd verlopen tussen het verstrekken van de opdracht en de beoordeling van de deel-uitkomsten zodat procedures waarbij aan de machine de beslissing voor de volgende stap genomen kan worden nu 2 à 3 dagen tijd vergen alvorens een volgende stap tot uitvoer kan worden gebracht. Een à-priori programmeren van alle mogelijkheden is vaak nauwelijks mogelijk wanneer met een bepaalde formule nog niet een grote ervaring, verkregen met gegevens onder zeer veel verschillende omstandigheden, is opgedaan. Om deze redenen, een tekort schieten aan communicatie, gaf het bepalen van de parameters in de Manning-formule

in eerste instantie geen bevredigende oplossing daar de optimale parameter waarden juist buiten de ruimte van opgegeven combinaties lag.

Bij de bezochte instellingen bestaat slechts weinig ervaring met niet lineaire vereffeningsmethoden. Men kent het probleem doch evenzeer de complexiteit ervan. Voor uitgebreide berekeningen toe te passen op grote gebieden wordt aan de standaardmethoden vaak de voorkeur gegeven vanwege de eenvoud van berekening, en de snelheid waarmee gewerkt kan worden.

Een voorbeeld van het samengaan van een computer-model met een analoog model werd gegeven bij Acres and Co (23). Hierbij tracht men het probleem op te lossen dat modellen voor grondwaterstromingen tengevolge van capillaire verschijnselen in het gebruikte medium niet goed op schaal te brengen zijn. Een oplossing werd gezocht in het toepassen van een visceuze vloeistof die door openingen (orifices)stroomt. Het model was opgebouwd uit kubusjes met uitstroomopeningen in de zij-, boven- en onderkanten. Bij het twee-dimensionale model zijn de voor- en achterkanten uiteraard dicht. Een berekening van hetgeen in het model plaats vindt kan op een computer gesimuleerd worden aangezien het systeem mathematisch uit een eindig aantal differentie-vergelijkingen is opgebouwd die zich goed voor een numerieke behandeling lenen.

Interessanter is mogelijk de voorgestelde verdere ontwikkeling waarbij aan de bouw van een drie-dimensionaal model gedacht wordt waarbij de randvoorwaarden willekeurig gekozen kunnen worden en de mogelijkheid bestaat verschillende verticale- en horizontale doorlatendheden te simuleren en eventuele atmosferische verschillen na te bootsen (52, Acres and Co, 1963).

De algemene indruk werd verkregen dat in vele onderdelen van het onderzoek correlatie- en regressie methoden respectievelijk autocorrelatie- en autoregressie-methoden met meer vertrouwen toegepast worden dan bij ons het geval is. De noodzaak grote gebieden op beperkte termijn te moeten bestrijken speelt hierbij een grote rol. In het gebied van onderzoek, dat wil zeggen het gebied waarin een werk uitgevoerd moet worden, ontbreken vaak alle gegevens en door middel van extrapolatie in tijd en afstand moet getracht worden de benodigde gegevens te verkrijgen.

Met referentie tot dit soort problemen kan melding gemaakt worden van enkele recente publicaties verschenen bij de Meteorological Branch te Toronto (21). Hierin worden onder andere behandeld: Extreme neerslaghoeveelheden (54), Probable maximum rainfall (het bepalen van een omhullende als begren-

zing van mogelijke extreme toestanden (55), verband tussen netwerk dichtheid en verbreiding van neerslaghoeveelheden, (56) en zie ook (57).

De bepaling van wat te verwachten maximale hoeveelheden zijn is gebaseerd op de betrekking

$$P_T = \bar{P} + K\, S_N$$

waarin P_T = neerslag voor de gevraagde herhalingsperiode, $\bar{P}$ = steekproef gemiddelde, S_N = standaard afwijking van een steekproef bestaand uit N gegevens en K een factor onafhankelijk van de geografie, neerslaghoeveelheid en dergelijke, die van 2 - 7 kan variëren, doch opgevat kan worden als een stochastische grootheid (53, HERSCHFIELD).

Zoals reeds is vermeld bij het overzicht van de op het symposium behandelde onderwerpen wordt bij de verdere ontwikkeling van de toepassing van statistische methoden gebruik gemaakt van multivariate analysis en methoden van beschrijving door middel van stochastische processen. Bij dit type onderzoekingen wordt gebruik gemaakt van praktisch alle eerder besproken methoden zodat reeds een goed inzicht in het ter beschikking staande materiaal is verkregen. Dat bij de simulatie respectievelijk het vervaardigen van hypothetische reeksen waarnemingsuitkomsten geen nieuwe elementen ingevoerd worden en veelal de totaal aanwezige informatie reeds is verbruikt werd eerder al besproken en bij het interpreteren van de uitkomsten zal hiermede rekening gehouden moeten worden.

PROGRAMMA 5TH CANADIAN HYDROLOGY SYMPOSIUM 24 - 25 FEBRUARY 1966

Statistical Methods in Hydrology

I. COMMONLY-USED METHODS OF ANALYSIS, 24 FEBRUARY '66

1 ANDERSON, D.V. Revieuw of Basic Statistical Concepts in Hydrology
2 KENDALL, G.R. Probability Distribution of a Single Variable
3 SOLOMON, S. Statistical Association between Hydrologic Variables
4 CLARK, R.H. and J.P. BRUCE. Extending Hydrologic Data
5 GUMBEL, E.J. Extreme Value Analysis of Hydrologic Data
6 SLIVITZKY, M. Appraisal of Methods of Analysis

II. RECENT CONCEPTS AND TECHNIQUES IN STATISTICAL HYDROLOGY, 25 FEBRUARY '66

7 KEEPING, E.S. Distribution - free Methods in Statistics
8 STAMMERS, W.N. The Application of Multivariate Techniques in Hydrology
9 MATALAS, N.C. Some Aspects of Time Series Analysis in Hydrologic Studies
10 CAVADIAS, G. River flow as a Stochastic Process
11 ERICKSON, O.M. and J.A. MCCORQUODALE, Application of Computers to the Determination of Snowmelt Runoff
12 ETHIER, G.A. The use of Synthetic Flows for Water Power Studies
13 MORTON, F.I. The Applicability of Statistical Methods to Hydrologic Problems

BEZOCHTE INSTELLINGEN VAN 23 FEBRUARI TOT EN MET 9 MAART '66

14 Ecole Polytechnique, Montreal Lecture by Prof. V.M. Yevdjevich Civil Engineering Section Colorado States University Fort Collins, Colorado 80521 U.S.A. 'Stochastic Problems in Design of Reservoirs'
15 Mc Gill University, Montreal, P.Q. Graduate School of Business and Civil Engineering Department Prof. G.S. Cavadias
16 Department of Agriculture, Ottawa 4, Ontario Research Branch, Agrometeorology Section G.W. Robertson, Head. Dr.W. Baier, Agrometeorologist (Plant-Weather Relationships)
17 Idem Statistical Research Services Dr. P.Robinson, Chief
18 Idem Data Processing Services Dr.K.H.Mackay, Head of Programming Section

19 Department of Mines and Technical Surveys, Ottawa 4, Ontario Water Resources Branch

20 R.H. Clark, Chief Hydraulic Engineer
Great Lakes Studies Division
H.B. Rosenberg
N.P. Persoage
R.L. Pentland, Engineers

21 Department of Mines and Technical Surveys, Ottawa 4, Ontario Geological Survey
Dr.F.D.Agterberg
Department of transport, Toronto 5, Ontario Meteorological Branch
Mr Boughner, Chief
B.S.V. Cudbird, Data Processing
J.P. Bruce, Hydrometeorology Department
G.R. Kendall, Climatology Department

22 University of Guelph, Guelph, Ontario School of Agricultural Engineering,
Prof. W.N.Stammers, Dept. of Engineering Science
Prof. H.D.Ayers, id.
Dr.J.Balek, Czechoslovak Academy of Sciences

23 H.G.Acres & Company Ltd., Niagara Falls, Ontario
O.M. Erickson, Head of Hydraulic Department
A.D.McConnell, Head of Geotechnical Department
P.J.Denison, Meteorologist
C.H.Atkinson, Engineer

TER SPRAKE GEKOMEN LITERATUUR

24 KENNEY, J.F. and E.S.KEEPING 1959. Mathematics of Statistics. Deel II. D. van Nostrand Company, Inc. Toronto

25 KENDALL, M.G. and A STUART 1958. The advanced theory of statistics Vol. 1. Distribution Theory Charles Griffin & Comp. Lt. London.

26 STIDD, C.K., 1953, Cube-root-normal precipitation distributions Transactions, American Geophysical Union, V34 Nr 1 pp 31 - 35

27 CAVADIAS, G.W. 1966. Statistical Association between Hydrologic variables Discussion of Solomon's Paper (3)

28 BARGER, G.L. and THOM, H.C.S., 1949. Evaluation of Drought Hazard, Agronomy Journal V41 - No 11 pp 519 - 526

29 THOM, H.C.S., 1958. A Note on the Gamma Distribution, Mon.Wea. Rev. V86, No.4, pp. 117 - 122

30 CAVADIAS, G.S., and R.O. LYONS, 1966. Applicability and Limitations of Graphical Regression Methods. Discussion of Solomon's Paper (3).

31 BENSON, M.A., Spurious Correlation in Hydraulics and Hydrology P. ASCE, Journal of the Hydraulic Division, July 1965, HY 4. Vol 91 Paper 4393

32 WEISS, L.L., WILSON, W.T. Evaluation of Significance of Slope Changes in Double Mass Curves, Trans. Am. Geo. Union, Vol. 34, Dec. 1953

33 STOL, PH.Th., 1965. Enkele resultaten van het onderzoek naar de afvoerfrequenties van het gemaal 'DE MOER' I.C.W. Nota 299.

_____, in bewerking, Idem met betrekking tot het gemaal 'GROENEWEGEN'

34 KRESGE, R.F., and T.J. NORDENSEN., 1955. Flood frequencies derived from River Forecasting procedures Proc. ASCE. Hydr. Div. Vol 81, separate 630, p1 - 16.

35 DALRYMPLE, T. 1960. Flood-frequency analysis, U.S. Geol. Surv. Water Supply Paper 1543 - A, Manual of Hydrology, Dt 3, Washington

36 COLLIER, E.P. Flood frequency Analysis for the New Brunswick-Gaspé Region. Report to be published by the federal Water Resources Branch

37 GLASSPOOLE, J. 1960. Rainfall and runoff, Thames Valley: 1884 - 1949, J. Inst. of Water Eng., V.14: 185 - 186

38 MARKOVIC, R.D. 1965. Probability functions of best fit to distributions of Annual Precipitation and Runoff. Hydrology Paper No.8 Colorado State University.

39 STOL, PH.TH. 1961. Een samenvatting van enkele resultaten van berekeningen met betrekking tot het vroegheidsonderzoek 1961 I.C.W. Nota 88

40 BRENNAN, L.M. 1966. Randomess Test. Description of 3 tests. Stencil Water Resources Branch, Ottawa

41 WONG, S.T., 1962 - 63. A multivariate statistical model for predicting mean annual flood in New England; Association of American geographers Annals, vol 52 - 53, p.p. 298 - 311

42 BALEK, J. and B. KROPAC, 1966. The application of stochastic theory to the long-term forecasting of mean annual runoff. Czechoslovak Academy of Sciences. Institute of Hydrodynamics

43 STOL, PH.TH. 1965. Een analyse van grondwaterstanden die beïnvloed worden door de getijde beweging. Stat. Neerl. jorg 19 nr.4 p.335 - 345

Water Resources Branch, 1964. Great Lakes Water Levels. Depth of Northern Affairs and National Resources. Ottawa.

46 KENDALL, M.G. and A. STUART. 1961. The advanced theory of statistics Vol II. Inference and Relationship. Charles Griffin & Comp. Lt. London.

47 STOL, PH. TH. 1965. Goodrich - and log-normal distributions and the cube-root transformation. A comparison. Lecture held at the Observatory Kow-Loon-Hong Kong. (ECAFE - Advisory Group).

48 AGTERBERG, F.P. 1965. The technique of serial correlation applied to continuous series of element concentration values in homogeneous Rocks. The Journal of Geology. Vol. 73, No 1 Jan. 1965 p 142 - 154

49 STEINER, D. 1965. A multivariate statistical approach to climatic regionalization and classification. Tijdschrift v.h. Kon.Ned.Aardr.Gen. oktober 1965 2e reeks deel 82 No 4 p 329 tot en met 347

50 BAIER, W. and GEO.W. ROBERTSON, 1965. Estimation of Latent Evaporation from Simple Weather Observation. Can. J.Plant Sci. Vol. 45, pp 276 - 284

51 _____ 1965. The Interrelationship of Meteorological Factors, Soil Moisture and Plant Growth. Int. J.Biometeor. Vol. 9, no. 1, pp. 5 - 20

52 ACRES, H.G. and Company Limited, 1963. The application of models and analogues in the study of groundwater hydrology. Acres, Niagara Falls, Canada.

53 HERSCHFIELD, D.M. 1961. Estimating the probable maximum precipitation. Journal of the Hydraulics Division. Proc. A.S.C.E. Vol 5 pp 99 - 116

54 MCKAY, G.A. 1965. Statistical Estimates of Precipitation Extremes for Prairie Provinces. Meteorological Branch, Can. Dept. of Transport

55 _____ , 1964. Statistical Estimates of Probable Maximum Rainfall in the Prairie Provinces. Idem

56 NEWTON-SMITH, W.H. and G.D.V. WILLIAMS: The Relationship between Rain Gauge Network Density and Areal Rainfall Estimates on the Prairies. Idem

57 CAFFEY, J.E., 1965. Inter-station Correlations in Annual Precipitation and in Annual Effective Precipitation. Hydrology Papers, Colorado State University. Fort Collins. Colorado.