

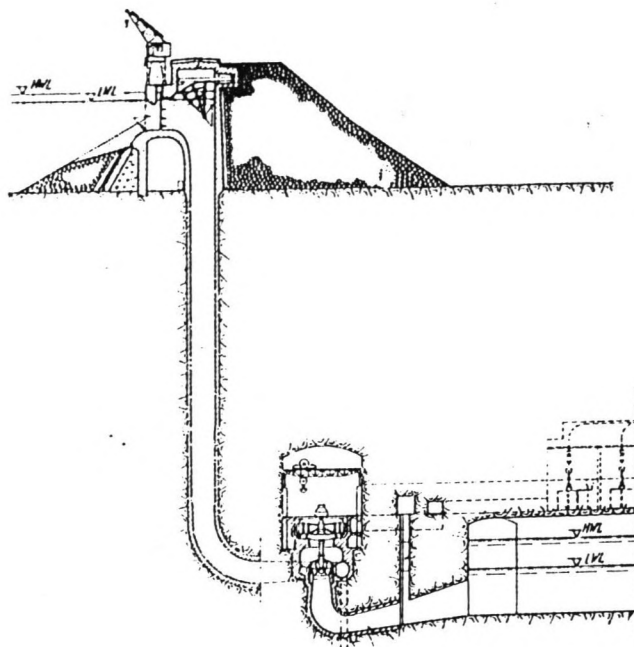
14.18.6

Projekt JAI-MARO Waterkrachtcentrale -Suriname-

Afstudeerontwerp

Mei 1988

R.D. Pherai



Deel B Ondergrondse centrale
 -Energieberekeningen-

TU Delft

Technische Universiteit Delft

Faculteit der Civiele Techniek

vakgroep Waterbouwkunde
vakgroep Civiele Bedrijfskunde

T.U. Delft

faculteit der Civiele Techniek
vakgroep: Waterbouwkunde,
Civiele Bedrijfskunde

Projekt JAI-MARO Waterkrachtcentrale

-Suriname-

*Deel B: Ondergrondse centrale
-Energieberekeningen-*

Afstudeerhoogleraren/begeleiders:

Prof. ir. A. Glerum
Ir. G.P. Bourguignon
Ir. F. Breeveld
Prof. ir. H. Wagenmaker
Ir. K. Oterdoom

Student: R.D. Pherai

Voorwoord

Dreigende energietekorten als gevolg van een steeds groeiende energiebehoefte in combinatie met slechte economische vooruitzichten hebben de Surinaamse overheid in het begin van de zeventiger jaren aangezet tot een serieuze inventarisatie en evaluatie van onder andere het hydro-energiepotentieel des lands. Als uitvloeisel van het Jai-kreek omleidingsproject voorziet het zogenoemde Jai-Maró project in de benutting van een deel van dat potentieel.

In het kader van afstudeerwerk aan de faculteit der Civiele Techniek van de T.U.Delft is het JAI-MARÓ project aan een nadere beschouwing onderworpen; waarvan de resultaten en conclusies in onderhavig rapport.

Het totale onderzoek is verricht onder verantwoording en begeleiding van de vakgroepen Waterbouwkunde (Prof. ir. A.Glerum) en Civiele Bedrijfskunde (Prof. ir. H.Wagenmaker) en bestaat uit de volgende deelstudies:

- ° Vooronderzoek (deel A)
- ° Ondergrondse centrale -energieberekeningen- (deel B)
- ° Ondergrondse centrale -globale dimensionering van enige onderdelen- (deel C)

De presentatie van de resultaten en conclusies van het onderzoek is in zoverre ongebruikelijk geschied dat er ten behoeve van het deelontwerp bij de vakgroep Civiele Bedrijfskunde geen apart rapport is samengesteld. Wat impliceert dat het deelontwerp is geïntegreerd in het hoofdontwerp. **De op het deelontwerp betrekking hebbende onderdelen zijn opgenomen in de delen A (hoofdstukken 2 en 3) en C (hoofdstuk 7).**

Gedurende het onderzoek en in de rapportagefase is door vele personen en instanties medewerking verleend. Zonder overige(n) tekort te doen wordt bijzondere dank uitgesproken aan:

- Ir. G.P.Bourguignon (vakgroep Waterbouwkunde)
- Ir. F.Breeveld (externe begeleiding en informatiebron)
- Ir. K.Oterdoom (vakgroep Civiele Bedrijfskunde)
- Ir. L.W.Boksteen (Stichting Jai-kreek & Phedra, Suriname)
- het Bureau ICE (International Civil Engineering) voor door haar bewezen diensten

Bijzonder veel dank ook aan mijn zwager de heer M.Ghiraw die binnen de rapportage vrijwel het algehele typewerk heeft verricht.

Delft, mei 1988

DEEL B ONDERGRONDSE CENTRALE
-ENERGIEBEREKENINGEN-

INHOUDSOPGAVE

pag.

LIJST VAN SYMBOLEN EN AFKORTINGEN
SAMENVATTING EN CONCLUSIES

HOOFDSTUK 5	ENERGIEBEREKENINGEN	1
5.1.	Algemeen	1
5.2.	Methoden en keuze	1
5.3.	Uitgangspunten	2
5.4.	Berekeningen	3
5.4.1.	Criterion voor de berekeningen	3
5.4.2.	Definities	3
5.4.3.	Opzet van de berekeningen	4
5.4.4.	De gereduceerde afvoersommatiekromme	4
5.4.5.	Bepaling van het primair vermogen	5
5.4.6.	Hogere vermogens in de kritieke periode	8
5.4.7.	Hogere vermogens in de volledige tijdreeks van 30 jaren	11
5.5.	Resultaten van de berekeningen	14
5.5.1.	Kritieke periode (1 september 1963 - 1 februari 1968)	14
5.5.2.	Volledige tijdreeks van 30 jaren (1 januari 1952 - 31 december 1981)	15
5.6.	Het vermogen $N = 60000$ kW	17
5.7.	De "rule curve"	19
HOOFDSTUK 6	HET TE INSTALLEREN VERMOGEN	21
6.1.	De N_{inst} . in combinatie met de meest economische eenheid	21
6.2.	Vaststelling turbinetype	22
6.3.	Ontwerpdebiet en ontwerpverval	22
LITERATUURLIJST		
BIJLAGEN		

LIJST VAN SYMBOLEN EN AFKORTINGEN

Symbool/Afkorting	Betekenis	Dimensie
C.B.L.	Centraal Bureau Lucht- kartering	
I.T.C.	Inter Tropische Con- vergentiezone	
N.S.P.	Nieuw Surinaams Peil	
S.P.S.	Stichting Planbureau Suriname	
A	oppervlakte doorstroom- profiel	[m ²]
B _s	waterspiegelbreedte	[m]
B _o	bodembreedte	[m]
C	wandruwheidscoëfficiënt volgens Chézy	[m ² /s]
d	wanddikte	[m]
D	diameter buis met ronde doorsnede	[m]
D ₃	turbineuitlaatdiameter	[m]
E	energie	[Nm]
ΔE	energieverliezen	[Nm]
f	netfrequentie	[Hz]
f _a	rekenwaarde voor de treksterkte van staal	[N/mm ²]
f _b	rekenwaarde voor de treksterkte van beton	[N/mm ²]
f _b	rekenwaarde voor de druksterkte van beton	[N/mm ²]
g	versnelling van de zwaarte- kracht	[m ² /s]
h	waterdiepte	[m]
Δh _r	roosterverliezen	[m]
H	verval, valhoogte, energie- hoogte	[m]
ΔH	(verval)verliezen	[m]
i, I	verhang	[-]
k	wandruwheidscoëfficiënt volgens Manning	[m ^{1/3} /s]
M	moment	[Nm]
M _u	bezwijkmoment	[Nm]
n	werkelijke toerental turbine	[omw./min.]
n _s	specifieke toerental turbine	[omw./min.]
N	vermogen	[Nm/s]
ΔN	verlies aan vermogen	[Nm/s]
N _p	aantal poolschoenen	[-]
p	druk	[N/mm ²]
P	perimeter (natte omtrek)	[m]
Q	debiet	[m ³ /s]
Q↑	uitstromend debiet (Q _{turb.})	[m ³ /s]
Q↓	instroomdebiet	[m ³ /s]

r	straal cirkelvormige doorsnede	[m]
R	hydraulische straal (=A/P)	[m]
t	wanddikte	[m]
v	snelheid	[m/s]
z	plaatshoogte	[m]
γ	rekenfactor belastingen	[-]
γ_{dr}	volumieke massa droog materiaal	[kg/m ³]
γ_{nat}	volumieke massa nat materiaal	[kg/m ³]
δ	wanddikte	[m]
ϕ	hoek van inwendige wrijving	[°]
λ_n	factor voor neutrale grond- druk	[-]
ρ	soortelijke massa van water	[kg/m ³]
σ	normaalspanning	[N/mm ²]
τ	schuifspanning	[N/mm ²]
w_o	wapeningspercentage	[%]

SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Het in 1965 in gebruik genomen Afobaka waterkrachtwerk (Brokopondoprojekt), in hoofdzaak ten behoeve van de particuliere bauxietindustrie in Suriname, heeft een geïnstalleerd vermogen van 189 MW. Omdat de gemiddelde benutting om uiteenlopende redenen nooit groter kon zijn dan ca. 117 MW en de Surinaamse overheid krachtens het Brokopondo-overeenkomst gemachtigd is om gebruik te maken van (een deel van) het "extra" geïnstalleerd vermogen is aan het eind van de jaren zeventig het idee ontstaan om het water uit aangrenzende stroomgebied van de Jai-kreek via de Olenskreek en de Marowijkreek om te leiden naar het Brokopondomeer. Tijdens onderzoek ten behoeve van dit Jai-kreek omleidingsprojekt werd er in de bovenloop van de Marowijkreek over een relatief korte afstand van ca. 8 km een verval van ca. 50 m geconstateerd. Het benutten van dit verval middels een ondergronds waterkrachtwerk volgens het Zweeds type (Jai Powerhouse) werd in 1982 voor het eerst gepresenteerd op het FURORIS congres te Paramaribo.

Binnen onderhavig afstudeerontwerp is dat projekt, verder betiteld als het Jai-Maró projekt, nader onderzocht. Het onderzoek moet dan ook worden beschouwd als een aanvulling op wat reeds eerder met betrekking tot het topografisch aanwezige verval is vastgelegd.

Met grote nadruk wordt gesteld dat ten behoeve van het Jai-Maró projekt er ter plaatse in het geheel geen onderzoek is verricht en dat de resultaten en conclusies van het afstudeerontwerp volledig gebaseerd zijn op gegevens afkomstig uit veld- en bureauonderzoek ten behoeve van het Jai-kreek omleidingsprojekt (kaartenmateriaal, rapporten en gesimuleerde langjarige debietreeksen van de Jai-kreek). Binnen dat kader is, daar waar de beschikbare informatie geheel of gedeeltelijk tekort schoot, uitgegaan van veronderstellingen. Het gebruik van gegevens uit het Jai-kreek omleidingsprojekt ten behoeve van het Jai-Maró projekt is zeer wel mogelijk (ook gezien vanuit de fase waarin het onderzoek zich momenteel bevindt) omdat het Jai-Maró projekt als uitvloeisel van het Jai-kreek omleidingsprojekt directe relaties heeft met het laatst genoemde projekt.

Vanuit het in 1982 gedane voorstel voor een ondergronds ontwerp is in het vooronderzoek een vergelijkende studie uitgevoerd, waarin naast het ondergronds alternatief een tweetal andere alternatieven met bovengrondse centrales zijn beschouwd. De beschouwing heeft meer het karakter van een haalbaarheidsstudie en wijst uit dat het ondergrondse alternatief op economische gronden (kW-prijs van ca. 0.10 Nf.) in eerste instantie de voorkeur geniet boven alle andere (onderzochte) alternatieven. Voorts blijkt dat het Jai-Maró projekt en het Jai-kreek omleidingsprojekt elkaar geenszins (hoeven) uit(te)sluiten. Een combinatie is zeer wel mogelijk temeer omdat het omgeleide water uit het stroomgebied van de Jai-kreek bij realisatie van het Jai-Maró projekt toch terecht zou komen in het Brokopondomeer

en dus meer dan éénmaal zou worden benut ten behoeve van hydro-energieopwekking.

Het vooronderzoek (deel A) wordt ingeleid door enige algemene informatie over het waterkrachtbegrip en over Suriname (hoofdstuk 1). In hoofdstuk 2 wordt de probleemstelling samengevat en geformuleerd; tevens wordt in dit hoofdstuk de beschikbare (en ten behoeve van het waterkrachtproject noodzakelijke) basisinformatie kritisch geëvalueerd. Het langjarig gemiddeld jaardebiet uit het stroomgebied van de Jai-kreek tot de afsluiting bij de hoofddam in het huidige omleidingsproject blijkt ca. $54.4 \text{ m}^3/\text{s}$ te bedragen; uit de topografische gegevens blijkt een verval van ca. 55 á 60 m haalbaar. Het vooronderzoek is afgesloten met een uitgebreide alternatievenstudie (hoofdstuk 3). De uiteindelijke keuze is reeds eerder vermeld en is gebaseerd op economische analyses van de onderzochte mogelijkheden. Overige conclusies en aanbevelingen, in het bijzonder in relatie tot het huidige omleidingsproject, zijn samengevat in hoofdstuk 4 van dit deel.

In de delen B en C is het ondergrondse alternatief verder uitgediept. Deel B (hoofdstukken 5 en 6 uit het rapport) omvat de **energieberekeningen** die enerzijds aangeven welke baten (uitgedrukt in gemiddelde hoeveelheden energie per jaar) mogelijk zijn en anderzijds een aanzet vormen voor de dimensionering van de centrale. Aangezien de afmetingen van de centrale in hoofdzaak worden bepaald door het te installeren vermogen en deze op zijn beurt weer sterk afhankelijk is van de vraag naar energie zouden de energieberekeningen in principe gebaseerd moeten worden op plaatselijke powermarkt informatie. Bij gebrek aan kwantitatieve gegevens over de vraagzijde zijn de energieberekeningen uitgevoerd aan de hand van een verondersteld hoofdcriterium. Dat criterium houdt in dat er gezocht is naar dat vermogen waarbij de gemiddelde jaarlijks te produceren hoeveelheden energie maximaal zijn. Het "optimale" vermogen blijkt in de buurt van 60000 kW te liggen; de energiehoeveelheden bedragen daarbij gemiddeld ca. $218 * 10^6 \text{ kWh}$ per jaar. Tevens hebben de berekeningen geleid tot het vaststellen van ontwerpdebiet (Q_{ontwerp} totaal = $125 \text{ m}^3/\text{s}$) en een ontwerpverval ($H_{\text{ontwerp}} = 60 \text{ m}$). Besloten is voorts om het te installeren vermogen te stellen op 80000 kW ($3 * 20000 \text{ kW} + 1 * 20000 \text{ kW}$ in reserve).

Met behulp van de in deel B bepaalde waarden voor de basisvariabelen (per turbine-eenheid een ontwerpdebiet en ontwerpverval van resp. $41.7 \text{ m}^3/\text{s}$ en 60 m) is in deel C van het onderzoek de **globale dimensionering van enige onderdelen** van het waterkrachtproject ter hand genomen. Op grond van de beschikbare geologische-, topografische- en hydrologische informatie zijn achtereenvolgens uitgewerkt de drukschacht, de inlaatconstructie en de centrale (hoofdstukken 7, 8 en 9). De dimensies van de drukschacht (inwendige diameter van ca. 9.3 m bij een wanddikte van ca. 0.4 m) zijn vastgesteld mede op grond van een economische optimalisatie, waarin naast de aanlegkosten ook de energieverlieskosten zijn betrokken. Bij de inlaatconstructie

zijn tevens beschouwd het noodzakelijke aanvoerkanaal bij lagere reservoirwaterstanden ($h = 4.6$ m; $v_{\text{water}} = 0.6$ m/s; bodembreedte $B_0 = 57.6$ m; taluds 1 : 2, onbekleed) en faciliteiten om het zwevend materiaal uit het water te kunnen verwijderen (bezinkbassin met ruwe lengte-, breedte- en diepteafmetingen van resp. 27.6, 130 en 4.6 m). De karakteristieke dimensies van de turbine-eenheden, die de basis vormen voor de totale afmeting van de centrale (lengte * breedte * hoogte = ca. $65 * 18 * 35$ m) zijn bepaald in overleg met de Zwitserse turbinefabrikant Sulzer Escher Wyss Ltd. Voorzover mogelijk zijn de onderdelen weergegeven op een aantal principeschetsen.

Voor een waterkrachtproject geldt in het algemeen dat de tijdsperiode tussen de planfase en de fase van operationeel gebruik tamelijk lang kan zijn (soms zelfs in de orde van decennia). Geheel inherent aan een dergelijk project, waarvan het onderzoek doorgaans pas daadwerkelijk start nadat de noodzaak en de economische haalbaarheid ervan vaststaan, is het feit dat met het oog op de aard van de vereiste basisgegevens (langjarige hydrologische informatie bijvoorbeeld) een langdurige aanlooffase geenszins onlogisch is, vooral indien de informatie in de planfase niet aanwezig blijkt. Dit houdt in dat naarmate de fase van realisatie en operationeel gebruik dichterbij komt de eisen met betrekking tot de nauwkeurigheid van de vereiste gegevens zullen (kunnen) worden opgevoerd. Vanuit deze optiek is het dus zelfs niet noodzakelijk dat alle gegevens ten behoeve van een eindontwerp reeds in de prille planfase in gedetailleerde vorm beschikbaar zijn. Gaande het onderzoek zal vanzelf blijken welke gegevens met welke nauwkeurigheden in een bepaalde fase zijn vereist.

Ook binnen het Jai-Maró project is bovengeschetste werkwijze van toepassing. Vermeld wordt bijvoorbeeld dat het voorstel voor het ondergronds alternatief uit 1982 gebaseerd was op gegevens die op dat moment aanwezig waren. Naarmate de ontwerpfase van het Jai-kreek omleidingsproject vorderde is ook daarin de nauwkeurigheid van de met name uit veldonderzoek verzamelde gegevens opgevoerd. Het ontwerprapport (Hensley-Schmidt, januari 1984) bevatte dan ook informatie die ten behoeve van het doel van dat project voldoende nauwkeurig was (wat overigens niet opgaat voor het Jai-Maró project). Uit dat rapport kon evenwel worden geconcludeerd dat als gevolg van recentere gegevens (met een grotere graad van nauwkeurigheid dan die van voorheen) het ondergronds alternatief in gunstiger licht kon worden geplaatst; omdat een locatiewijziging van de drempeldam in het omleidingsproject binnen het Jai-Maró project een verkorting van de turbineafvoertunnel (een relatief duur onderdeel binnen het totale project) betekent. Deze aanpassing is in het afstudeerontwerp uiteraard doorgevoerd; evenwel zonder dat het idee voor het ondergrondse voorstel enige wijziging heeft ondergaan.

Reeds eerder is opgemerkt dat zuiver en alleen ten behoeve van het Jai-Maró project er in het geheel geen onderzoek is verricht. Desalniettemin is getracht om in de opeenvolgende

fasen binnen het afstudeeronderzoek de nauwkeurigheid van de berekeningen op te voeren. De resultaten van deze studie moeten dus in zoverre relativerend worden geïnterpreteerd dat de uitkomsten dienen te worden gekoppeld aan de huidige beschikbaarheid en nauwkeurigheid van de basisinformatie. Indien te zijner tijd besloten zou worden tot realisatie van het projekt zullen gegevens, gebruikt ten behoeve van berekeningen bij dit ontwerp, dienen te worden vervangen (c.q. aangepast) door (aan) de informatie die op dat moment beschikbaar zou moeten zijn.

HOOFDSTUK 5

ENERGIEBEREKENINGEN

5.1. Algemeen

Aan de basis van elk waterkrachtontwerp staan energieberekeningen. Energieberekeningen zijn noodzakelijk om te kunnen vaststellen:

- het vermogen N , dat geïnstalleerd dient te worden teneinde het verval en de debieten optimaal te kunnen benutten.
- de hoeveelheden energie die met het geïnstalleerd vermogen kunnen worden geproduceerd.

De berekeningen worden uitgevoerd aan de hand van de eerder in hoofdstuk 1. behandelde formules $N = 8 * Q * H$ en $E = \int N * dt$. Voor nadere theoretische achtergronden wordt verwezen naar de literatuur.

Opmerkingen:

1. In de formule $N = 8 * Q * H$ is de "constante" 8 een factor waarin de invloed van de betrokken rendementen (dus verliezen), ρ en g zijn samengevat. Een soort "overall" rendementsfactor dus. In de realiteit is deze factor niet constant, maar afhankelijk van de optredende verliezen af generatorklemmen. In principe kan deze dus pas worden vastgesteld nadat een ontwerp reeds in de bedrijfsfase verkeert.

Verondersteld wordt dat de factor 8 hier wel van toepassing is.

2. In de praktijk zullen energieberekeningen worden gericht op de vraag naar energie. Onder vraag wordt hier verstaan het in kwantitatieve zin bekend zijn van de belastingsdiagram(men). Deze laatste is (zijn) voor dit ontwerp niet bekend. Overleg met betrokken instanties in Suriname leert wel dat de vraag wel aanwezig is; in die zin dat de energie te allen tijde nuttig kan worden aangewend. Dat impliceert dat de berekeningen zullen worden uitgevoerd aan de hand van een nog nader te bepalen criterium.

5.2. Methoden en keuze

Energieberekeningen kunnen op een aantal manieren worden gedaan. Aan de basis ligt steeds de toepassing van de formule $N = 8 * Q * H$, die middels herhalingsbewerkingen tot het gewenste resultaat moet leiden.

Onderscheiden worden:

- Computeranalyses.
- Analytische methode (handberekening).

- Grafische methode (methode gereduceerde afvoersommatie).
- Combinatie van de analytische en grafische methode.

Hoewel de aard van de berekeningen (herhalingsbewerkingen) zich uitstekend leent voor gebruik van de computer is in overleg toch gekozen voor de gecombineerde analytisch/grafische methode. De grondgedachte hierbij is dat, buiten de bewerkelijkheid van de methode, de inzichtelijkheid primair staat boven de tijdwinst te boeken bij gebruik van de computer.

5.3. Uitgangspunten

1. Debieten.
Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de 30 jarige (gesimuleerde) reeks van de afvoeren uit het Jai-omleidingsprojekt. Zie bijlagen hoofdstuk 2.
- 2.a. De benedenwaterstand t.p.v. de uitlaat van de turbine-afvoertunnel in de Marowijnekreek mag constant worden verondersteld. Voor de energieberekeningen wordt de benedenwaterstand gesteld op ca 75 m + N.S.P.
- 2.b. De bovenwaterstand wordt verondersteld te variëren tussen 138 m + N.S.P. en 130 m + N.S.P.

Dit betekent dat: - $H_{max.} = 63$ m.
- $H_{min.} = 55$ m.
3. Verliezen (en rendementen) worden voorlopig ingecalculeerd in de factor 8 uit de formule $N = 8 * Q * H$.
4. De invloeden van de verdamping, neerslag en kwel worden in eerste instantie verwaarloosd.

Ad 1. Toepassing van de debietduurlijn is in het geval van de Jai-Maró waterkrachtcentrale niet zinvol, omdat dan voorbij gegaan zou worden aan het accumulatievermogen van het Jai-reservoir.

Ad 2.a. Gelet op de grootte van het stroomgebied bovenstrooms van het uitlaatpunt (punt B op overzichtskaart 3) mogen de debieten aldaar worden verwaarloosd en is de veronderstelling van een constante benedenwaterstand daarmee geoorloofd. Volgens de metingen bevinden de oevers van de Marowijnekreek zich in punt B op ca 79.80 m + N.S.P.. In hoofdstuk 3 is uiteengezet dat met een uit te voeren bedverlaging ("tailraceimprovement") aldaar voor energieberekeningen de benedenwaterstand mag worden verondersteld op ca 75 m + N.S.P.

Ad 2.b. De bovenwaterstand wordt bepaald door de toe te laten peilvariatiën op het Jai-meer. Aan de hand van de oppervlakte-

volumecurve van het reservoir (zie bijlagen 5.3.) zijn eerder vermelde waarden vastgesteld. Bij de vaststelling van de bovengrens is rekening gehouden met:

- de kruinhoogte van de dammen.
- het "verloop" van de volumecurve bij hogere waterstanden op het meer. Juist bij hogere waterstanden loopt de volumecurve vrij vlak; wat inhoudt dat bij eenzelfde gevraagde vermogen de debietvariatiaties door de turbines hier kleiner zullen zijn als gevolg van de relatief kleine peilvariatiaties op het meer.

De ondergrens is bepaald uit de noodzakelijke aanwezigheid van een dode berging. Hygiënische bezwaren (stank) en belangen met betrekking tot visserij (eventueel) op het meer spelen hier een rol. In tegenstelling tot bij de hogere meerwaterstanden blijkt bij de lagere waterstanden het verloop van de volumecurve steeds steiler te worden. Hier zullen bij een zelfde gevraagde vermogen de debietvariatiaties door de turbines groot zijn als gevolg van de relatief grote(re) peilvariatiaties op het meer.

Ad 4. De basisgedachte is om de berekeningen conservatief op te zetten, teneinde een voor het ontwerp meest ongunstige situatie te creëren. Elke andere studie kan het geheel dan slechts in een gunstiger context plaatsen. Ook in het kader van de algemene methodiek om de nauwkeurigheid in elke opeenvolgende fase van het onderzoek c.q. de berekeningen op te voeren past deze benadering. Daarnaast moet rekening worden gehouden met het feit dat de benodigde informatie t.a.v. die gegevens niet aanwezig is.

Met betrekking tot de specifieke onderdelen neerslag, verdamping en kwel wordt gesteld:

- de neerslag enerzijds kan mogelijkwerwijs de invloeden van verdamping en kwel anderzijds compenseren.
- de kwel zal slechts in den beginne van de creatie van het meer enige rol van betekenis hebben op het geheel. Ook gezien de aard van de ondergrond (zie hoofdstuk 2.) mag worden gesteld dat de invloed van kwel op lange termijn zal mogen worden verwaarloosd.

5.4. Berekeningen

5.4.1. Criterium voor de berekeningen

Het hoofdcriterium voor de berekeningen wordt samengevat in de vraag:

Bepaal dat vermogen N , waarbij de gemiddelde hoeveelheden te produceren energie [kWh/jaar] maximaal zijn.

5.4.2. Definities

1. Primair vermogen (gegarandeerd vermogen - "firm power") = het constante vermogen dat continu (zonder onderbreking) gedurende 100 % van de tijd kan worden gehaald; 100 % van de tijd is in dit geval de tijdreeks van 30 jaren.

2. Secundair vermogen = het vermogen dat gedurende 50 % van de tijd kan worden gehaald.

5.4.3. Opzet van de berekeningen

1. Instroomgegevens van het Jai-reservoir.
2. Het berekenen en tekenen van de gereduceerde afvoersommatiekromme. Tevens een nauwkeurighedsanalyse van deze kromme.
3. Bepaling van het primaire vermogen en de daarbij behorende primaire energiehoeveelheden.
4. Bepaling van de mogelijke hoeveelheden energie bij andere (grotere) vermogens onder de meest conservatieve omstandigheden.
5. Bepaling van de mogelijke hoeveelheden energie op basis van de volledige reeks van 30 jaren.
6. Vaststelling van het vermogen N, waarbij de gemiddelde te produceren hoeveelheden energie maximaal zijn.
7. Bespreking van de "rule curve" (kwalitatief).

5.4.4. De gereduceerde afvoersommatiekromme

Voor de theoretische achtergonden en de praktische toepassingsmogelijkheden van deze grafische methode wordt verwezen naar het artikel: "The Summation Curve - Its Establishment and Application in Hydrology" uit "Water Power" van maart 1960. Dit artikel is opgenomen in bijlage 5.4.4. Voor nadere informatie wordt verwezen naar de literatuur.

Op tekening nr.1. is de gereduceerde afvoersommatiekromme onder B uitgezet op basis van de instroomgegevens van het Jai-reservoir die onder A zijn uitgezet. De kromme is bepaald volgens de in dictaat f21. - Nota 1.B "Het tekenen van de afvoersommatiekromme" behandelde methode. De hierbij aan de orde zijnde berekeningen zijn in tabelvorm opgenomen in bijlage 5.4.4.. Voor de gebruikte schalen en enige andere details wordt verwezen naar de tabellen B.5.1. in bijlage 5.4.4 en tekening nr.1. In die tabellen B.5.1. is tevens de tussentijdse controles uitgevoerd m.b.t. de correctheid van de kromme. Voor de eenvoud is er gewerkt met 12 maanden van 30 dagen. Alle waarden worden verondersteld aan het eind van elke maand op te treden.

- Nauwkeurigheid van de getekende kromme.

Een indicatie van de nauwkeurigheid wordt verkregen m.b.v. de eindwaarde die optreedt in kolom [3] van de tabellen B.5.1.. Volgens de methode zou die waarde 0 moeten zijn. In hoeverre de optredende waarde van -5.9 geoorloofd is, wordt nagegaan met behulp van de volgende theoretische beschouwing:

Kolom [1] bevat de gesimuleerde waarden van de Jai-kreekdebeten. Omdat de gereduceerde afvoersommatiewaarden zijn bepaald uit de gegevens van kolom [1], is de nauwkeurigheid van kolom [1] tevens de nauwkeurigheid van kolom [3]. Een maat voor de nauwkeurigheid in die eindwaarde van -5.9 is de afwijking in het langjarig gemiddeld debiet. Dat gemiddelde bedraagt $54.4 \text{ m}^3/\text{s}$ bij een standaardafwijking van ruim 45.1. Aangezien de waarde - 5.9 zit op het snijpunt van de horizontale as, aangevende het gemiddeld debiet, en de gereduceerde afvoersommatie, is die waarde, met in acht name van de standaardafwijking in het gemiddeld debiet, ruim geoorloofd.

Overigens wordt de nauwkeurigheid van de meetgegevens bepaald door:

- afleesfouten
- systematische fouten in de meetapparatuur
- afrondingsfouten.

Deze zijn in dit geval niet te achterhalen en is een nauwkeurige foutenanalyse niet zinvol. Tevens is de praktische waarde van een dergelijke nauwkeurighedsanalyse in zo'n beginfase van het onderzoek niet al te groot. Voor dit stadium kan worden volstaan met de nauwkeurigheid van de bestaande gegevens en is een grotere nauwkeurigheid van de afvoergegegevens niet noodzakelijk.

Voor een eventueel eindontwerp zullen wel langere reeksen afvoergegegevens benodigd zijn. Op basis van de nu bestaande informatie (metingen aangevangen in 1981 en tot nu toe onvolledig) zullen die bepaald dienen te worden uit correlaties.

Samenvattend wordt gesteld dat een nauwkeurige foutenanalyse van de debietgegevens in deze fase slechts een te grote nauwkeurigheid zou suggereren met slechts (zeer) klein praktisch nut. Wat inhoudt dat daarvan wordt afgezien en er doorgerekend zal worden met bestaande gegevens.

5.4.5. Bepaling van het primair vermogen

Het primair vermogen wordt vastgesteld door in de tijdreeks van 30 jaren (1 januari 1952 t/m 31 december 1981) de meest kritieke periode (= droogste periode) in beschouwing te nemen. Uitgaande van de gereduceerde afvoersommatiekromme treedt deze periode op tussen 1 september 1963 en 1 februari 1968.

Veronderstel:

- meer vol op 1 september 1963
- maximale volume van het meer bij 138 m + N.S.P. = $398 * 10^6 \text{ m}^3$
- dode berging bij 130 m + N.S.P. = $97 * 10^6 \text{ m}^3$
- nuttige meervolume = $301 * 10^6 \text{ m}^3$

Op basis van de gereduceerde afvoersommatiekromme wordt voorts verondersteld dat tussen 1 september 1963 en het diepste dal op 1 februari 1968 het nuttige stuwmeervolume zal worden verbruikt. Nuttige volume = $301 * 10^6 \text{ m}^3$ en op de schaal van tekening nr.1., onderdeel B is dat $(301 * 10^6)/(194.4 * 10^6) * 0.8 = 1.24 \text{ cm}$.

- deze waarde wordt in het diepste dal van de kromme (1 februari 1968) verticaal uitgezet naar boven toe (stippellijn).
- de top van deze lijn wordt middels lijn a. verbonden met het punt op de sommatiekromme ten tijde van 1 september 1963
- de (helling van) lijn a. wordt overgebracht in de poolfiguur.
- in de poolfiguur wordt afgelezen dat de helling van lijn a. overeenkomt met $Q \approx 16 \text{ m}^3/\text{s}$.
- dit debiet is bij benadering het gemiddeld debiet bij het primair vermogen.
- het primair vermogen wordt vervolgens afgeschat met $N = 8 * Q * H$, waarin voor H een gemiddelde waarde van ca 60 m wordt verondersteld.

- ° $H = 60 \text{ m}$
- ° $Q = 16 \text{ m}^3/\text{s}$
- ° $N = 8 * Q * H = 8 * 16 * 60 = 7680 \text{ kW}$.

- ° Een eerste berekening met $N = 8000 \text{ kW}$ (= 8 MW) leerde dat met deze waarde het primair vermogen ver overschreden zou worden. Daarom is de berekening gestart bij $N = 12000 \text{ kW}$ en is opgezet volgens de "trial and error" methode. Het principe wordt in onderstaande uiteengezet.

Startgegevens (1 september 1963)

- ° $N = 12000 \text{ kW}$
- ° $H = 63 \text{ m}$ (vol reservoir)
- ° $Q_{\text{turb.}} (Q\uparrow) = N/8 * H = 12000/8 * 63 = 23.8 \text{ m}^3/\text{s}$

Gedurende de maand (september 1963 in dit geval) wordt het turbinedebiet constant verondersteld. Gewerkt is met $t = 1$ maand, omdat de instroomdebieten van de Jai-kreek maandgemiddelden zijn.

- ° Instroomdebet $Q_{\text{inst.}} (= Q\downarrow)$ gedurende september 1963 = $31.3 \text{ m}^3/\text{s}$.
- ° $Q = (Q\downarrow - Q\uparrow) = (31.3 - 23.8) = + 7.5 \text{ m}^3/\text{s}$. Bij een vol reservoir aan het begin van de berekening houdt een positieve waarde van Q in dat er water via de overlaat verdwijnt. In alle andere gevallen betekent een positieve waarde van de Q een stijging van het meerpeil en dus een toename van het geborgen (nuttige) volume. Corresponderend daarmee betekent een negatieve waarde van Q een daling van het meerpeil en dus een afname van het geborgen volume.

- ° gedurende de maand september stroomt er resulterend binnen:
 $+ 7.5 \text{ m}^3/\text{s} * 24 * 3600 * 30 = 19.4 * 10^6 \text{ m}^3$. Dit water verdwijnt via de overlaat. Het reservoirpeil blijft op 1 oktober 1963 dus op 63 m met een geborgen volume van $398 * 10^6 \text{ m}^3$.
- ° Gedurende oktober 1963:
 - . startvolume = $398 * 10^6 \text{ m}^3$.
 - . $N = 12000 \text{ kW}$.
 - . $H = 63 \text{ m}$
 - . $Q_{\uparrow} = 23.8 \text{ m}^3/\text{s}$
 - . $Q_{\downarrow} = 11.7 \text{ m}^3/\text{s}$
 - . $\Delta Q = -12.1 \text{ m}^3/\text{s}$
- . $\Delta \text{Volume} = \text{volumeverandering} = -12.1 * 24 * 3600 * 30 = -31.4 * 10^6 \text{ m}^3$.
- . Volume reservoir op 1 november 1963:
 $(398 - 31.4) * 10^6 \text{ m}^3 = 367 * 10^6 \text{ m}^3$.
- . Uit het verloop van de oppervlakte-volumekromme van het Jai-reservoir blijkt een volume van $367 * 10^6 \text{ m}^3$ te corresponderen met een reservoirpeil van ca 137.5 m + N.S.P., overeenkomende met een verval van ca 62.5 m.
- . Het volume van $367 * 10^6 \text{ m}^3$ tezamen met het verval van 62.5 m vormen de startwaarden voor de berekening gedurende de maand november 1963.
 $Q_{\text{turb.}} = 12000/8 * 62.5 = 24 \text{ m}^3/\text{s}$.
 $Q_{\downarrow} = 6.0 \text{ m}^3/\text{s}$; dus $\Delta Q = -18.0 \text{ m}^3/\text{s}$ en $\Delta V \approx -47 * 10^6 \text{ m}^3$.
 Vmeer op 1 december: $(367 - 47) * 10^6 \text{ m}^3 = 320 * 10^6 \text{ m}^3$;
 dit volume komt overeen met een meerpeil van 136.7 m + N.S.P. en een verval van 61.7 m. Deze waarden vormen weer de startgegevens voor de berekening gedurende de maand december 1963.
- . Bovenstaande herhalingsberekeningen zijn uitgevoerd t/m de maand januari 1968. De resultaten zijn in tabelvorm opgenomen in de bijlagen 5.4.5. Steeds is het criterium dat het peil op het meer binnen de grenzen 130 m + N.S.P. en 138 m + N.S.P. blijft. Die waarden komen overeen met vervallen van resp. 55 m en 63 m, terwijl de daarbij behorende volumina zijn $97 * 10^6 \text{ m}^3$ en $398 * 10^6 \text{ m}^3$.

In de berekening met een primair vermogen van 12000 kW blijkt nog steeds een reserve aanwezig. De laagste optredende waarde van het verval blijkt 57.2 m te zijn (mei 1964) en dat zit ruim boven de minimumwaarde van 55 m.

Teneinde de maximale waarde van het primair vermogen te kunnen vaststellen is de gehele berekening herhaald met $N = 12500 \text{ kW}$. Zie bijlagen 5.4.5. De kleinste waarde voor het optredende verval blijkt hier 55.7 m te zijn (mei 1964). Gezien de kleine reserve in dat verval (0.7 m) en de eerdere verwaarlozingen van de invloeden van verdamping, neerslag en kwel kan het vermogen van $N = 12500 \text{ kW}$ als primair vermogen worden vastgesteld. Een verdere berekening ter controle met $N = 13000 \text{ kW}$ bewijst het gelijk van de eerdere vaststelling. Zie

bijlagen 5.4.5. Met een vermogen van $N = 13000$ kW blijkt het niet mogelijk om in de aaneengesloten periode 1 september 1963 t/m 1 februari 1968 continu energie te produceren zonder dat het reservoir leeg loopt. Met $N = 13000$ kW treedt op 1 juni 1964 een verval op van 54.4 m en dat is kleiner dan de toelaatbare waarde van van 55 m. De produktie zal hier onderbroken dienen te worden.

Conclusie:

Uitgaande van de tijdreeks van 30 jaren is het primaire vermogen:
 $N_{prim.} = 12500$ kW.

Produktie met het primair vermogen houdt in dat er jaarlijks gemiddeld $12500 \text{ kW} * 24 * 365 = \text{ca } 109.5 * 10^6$ kWh kan worden geleverd. In tekening nr.1. is in de figuren C en D het verloop van de meerwaterstanden en de daarbij behorende turbinedebieten uitgezet gedurende de kritieke periode.

Opmerking:

Hoewel de berekening algemeen is opgezet met 360 dagen in een jaar, is het in de waterkrachtberoepspraktijk gebruikelijk om te rekenen met 365 dagen in een jaar (8760 uren). Uitgedrukt in het aantal uren per jaar is de relatieve fout hier: $(8760 - 8640)/8760 * 100 \% = 1.4 \%$ en is in deze fase van het totale onderzoek met betrekking tot het projekt toegelaten.

5.4.6. Hogere vermogens in de kritieke periode

In de vorige paragraaf is het primair vermogen vastgesteld op 12500 kW. Dit vermogen kan dus gedurende 365 dagen per jaar continu worden geleverd en komt overeen met productie gedurende 100 % van de tijd.

Teneinde in eerste instantie een conservatief beeld te kunnen verkrijgen van de opbrengsten (= hoeveelheden energie in kWh/jaar) worden de energieberekeningen in deze paragraaf voorlopig beperkt tot de kritieke periode. Hierbij kan worden onderscheiden:

1. Een produktie met een constant vermogen groter dan het primair vermogen.
2. Een produktie met een variabel vermogen groter dan of gelijk aan het primair vermogen.

Ad 1.

Het is duidelijk dat produktie met elk constant vermogen groter dan het primair vermogen niet continu mogelijk zal kunnen zijn. Het meer zal tussentijds leeglopen, afhankelijk van het vermogen waarmee er gerekend wordt. Is dat vermogen groot dan zal als gevolg van een groot turbinedebiet het meer eerder leeglopen dan bij een klein vermogen.

Ad 2.

Het is mogelijk om afhankelijk van het instroomgebied wel continu te produceren doch met een niet constant vermogen. De berekening komt er dan op neer om met het instroomdebiet momentaan het maximaal mogelijk vermogen te leveren zodanig dat daarbij geen water via de overlaat verloren behoeft te gaan. Indien dat laatste onmogelijk blijkt is het zaak te trachten het verlies tot een minimum te beperken. Deze methode staat bekend als de benadering volgens de "rule curve" en valt verder buiten het bestek van dit onderzoek. Wel wordt in paragraaf 5.7. op de methodiek van de "rule curve" ingegaan.

In het vervolg worden alle energieberekeningen gebaseerd op de methode met onderbroken produktie. Hierbij worden de volgende veronderstellingen gedaan:

- Reservoir steeds vol op 1 september 1963
- Produktie loopt door totdat het meer leeg is; d.w.z. bij het bereiken van een meerpeil van 130 m + N.S.P., overeenkomende met een minimum verval van 55 m.
- Gedurende het vullen van het meer m.b.v. de instroomdebieten vindt er geen produktie plaats.
- Produktie start weer als het meerpeil van 138 m + N.S.P., overeenkomende met het maximale verval van 63 m, wordt bereikt.

De cyclus van produktie/geen produktie herhaalt zich tot 1 februari 1968.

De methode die bij deze berekeningen gebruikt is, is gelijk aan die bij de bepaling van het primair vermogen. Het enige verschil zit in de periode van geen produktie, waarin het meer m.b.v. de instroomdebieten gevuld wordt tot een peil van 138 m + N.S.P..

Bij de berekeningen t.b.v. het primair vermogen is de oppervlakte-volumekromme van het meer in directe zin gebruikt. Vanwege de bewerkelijkheid van die werkwijze is voor deze en alle volgende berekeningen de oppervlakte-volumekromme van het Jai-reservoir omgezet in tabelvorm. De gedetailleerde waarden zijn bepaald met een meerpeilinterval van 0.2 m. Een kleiner interval is gezien de nauwkeurigheid van de gehele figuur (lijndikten) niet wenselijk. Zie bijlagen 5.4.6. In de onderhavige berekeningen is voor tussenliggende waarden geïnterpoleerd, zodanig dat de berekeningen m.b.t. de meerpeilen tot op 0.1 m nauwkeurig zijn uitgevoerd.

Gestart is bij $N = 20.000$ kW.

Rekenend met de methode, gebruikt bij de bepaling van het primair vermogen, belandt men nu op 1 januari 1964. Het meervolume bedraagt dan $157 * 10^6$ m³, bij een meerpeil van 57.6 m.

- ° $Q\uparrow$ voor januari 1964 wordt nu: $(20000/8 * 57.6) = 43.4$ m³/s.
- ° Nog beschikbare nuttige volume is: $(157 - 97) * 10^6$ m³ = ca $60 * 10^6$ m³.
- ° Voor produktie gedurende de volle maand januari 1964 zou

nodig zijn geweest een volume van:

$43.4 * 2.592 * 10^6 = \text{ca } 112.5 * 10^6 \text{ m}^3$. Compensatie met het instroomdebiet = $\text{ca } 33.2 * 10^6 \text{ m}^3$. Dus suppletie uit het meer $\text{ca } 79 * 10^6 \text{ m}^3$. Beschikbaar is slechts $\text{ca } 60 * 10^6 \text{ m}^3$, zodat het meer voor het verstrijken van de maand januari zal leeglopen.

° Datum van leeglopen wordt als volgt bepaald:

$$\frac{V \text{ nuttig beschikbaar}}{(|Q - Q_{\downarrow}|) * 24 \text{ uren} * 3600 \text{ sec/dag}} =$$

$$\frac{60 * 10^6 \text{ m}^3}{(|12.8 - 43.4|) * 86400} = 22.7 \text{ dagen.}$$

Dit wordt afgerond op 23 dagen zodat het meer leeg loopt op 23 januari 1964.

° Productie start weer op de dag waarop het meer weer vol is. Die datum is als volgt bepaald:

- . Meervolume op 1 februari 1964 = $97 * 10^6 + (30 - 23) * 86400 * 12.8 (Q_{\downarrow}) = 104.7 * 10^6 \text{ m}^3$.
- . Meervolume op 1 maart 1964 = $104.7 * 10^6 + 2.592 * 10^6 \text{ sec} * 9.6 \text{ m}^3/\text{s} (Q_{\downarrow}) \approx 130 * 10^6 \text{ m}^3$.
- . Meervolume op 1 april 1964 = $130 * 10^6 \text{ m}^3 + 2.592 * 10^6 * 14.7 = 168 * 10^6 \text{ m}^3$.
- . Meervolume op 1 mei 1964 = $\text{ca } 188 * 10^6 \text{ m}^3$
- . Meervolume op 1 juni 1964 = $\text{ca } 226 * 10^6 \text{ m}^3$
- . Meervolume op 30 juni 1964 = $\text{ca } 393 * 10^6 \text{ m}^3$
- . Meer vol op: $\{(398 - 393) * 10^6\} / (65.1 * 86400) = 0.9 \text{ dagen} = 1 \text{ dag na } 30 \text{ juni, dus op } 1 \text{ juli } 1964$.
- . Productie kan weer starten op 2 juli 1964.

Volgens dezelfde procedure zijn, behalve het vermogen van 20000 kW, tevens de vermogens van N = 25000 kW, N = 37500 kW, N = 45000 kW, N = 55000 kW, N = 65000 kW en N = 70000 kW doorgerekend. Alle vermogens zijn in aparte berekeningstabellen opgenomen in de bijlagen 5.4.6.

De berekeningen voor elk in de beschouwing betrokken vermogen zijn vervolgens omgezet in tabellen waaruit kan worden afgelezen gedurende welke percentage van de tijd binnen de kritieke periode er al dan niet kan worden geproduceerd. Deze percentages zijn terugvertaald naar de percentages gemiddeld in een jaar, waaruit tenslotte de gemiddelde (te leveren) hoeveelheden energie per jaar zijn berekend. Zie bijlagen 5.4.6.

De resultaten op basis van deze kritieke periode worden behandeld in paragraaf 5.5.1. Daarbij zal tevens duidelijk worden waarom de berekeningen bij $N = 70000$ kW zijn gestopt.

5.4.7. Hogere vermogens in de volledige tijdreeks van 30 jaren

De in de vorige paragraaf besproken berekeningen op basis van de kritieke periode geven een zeer conservatieve visie op de te verwachten energiehoeveelheden. Binnen het ontwerp vormen die opbrengstresultaten een ondergrens.

Voor het totale ontwerp evenwel, moet de gehele tijdreeks van 30 jaren in acht genomen worden. Gezien de bewerkelijkheid van de berekeningen in de vorige paragraaf komt nu de toepassing van de gereduceerde afvoersommatiekromme aan de orde.

De procedure hierbij is de volgende:

- . Kies per vermogen een gemiddeld verval H_{gem} .
- . Bepaal het daarbij behorende gemiddeld turbinedebiet $Q_{turb.gem.}$ uit $Q_{turb.gem.} = N/8 * H_{gem}$.
- . Zoek (de helling van) de lijn van dit gemiddeld $Q_{turb.}$ op in de poolfiguur.
- * Veronderstel nu dat in alle toppen van de gereduceerde sommatieafvoerkromme het meer op dat moment vol is.
- . Breng de lijn van het gemiddeld turbinedebiet over naar de toppen van de kromme en trek die lijn door tot het de kromme snijdt.
- . Ga vervolgens vanuit de top(pen) van de sommatiekromme naar waar de verticale afstand tussen de getrokken lijn van het gemiddeld turbinedebiet en de gereduceerde afvoersommatiekromme gelijk wordt aan het nuttig meervolume, overeenkomend met 1.24 cm en die waarde vervolgens overschrijdt. Op dat punt loopt het meer dan leeg. Op de tijdas kan nu de periode van produktie worden afgelezen.
- . Bepaal nu analytisch wanneer het meer weer volloopt en herhaal de procedure voor de gehele tijdserie.
- . Sommeer tenslotte de perioden met energieproduktie over de gehele reeks en druk dat procentueel uit t.o.v. 100 % voor de tijdreeks van 30 jaren.
- . Vanuit dat percentage is het dan eenvoudig om de gemiddelde jaarlijkse hoeveelheden te produceren energie te bepalen.

Hoewel met deze gecombineerde grafisch/analytische methode een redelijk beeld kan worden verworven van de perioden gedurende welke al dan niet energie kan worden geproduceerd kleven er enige bezwaren aan deze methode:

1. De veronderstelling dat het meer steeds vol is ten tijde van het optreden van de toppen van de gereduceerde afvoersommatiekromme is op zich wel acceptabel; maar houdt wel in dat er geen sprake kan zijn van een continu doorgezette

berekening over de gehele tijdserie van 30 jaren. Wat betekent dat een dergelijke berekening op grafisch/analytisch basis in principe incompleet is en slechts als benadering kan worden gebruikt.

2. Met name bij hogere vermogens (zie tekening nr.1.) zal in dit specifieke geval de hoeveelheid analytisch rekenwerk toch de overhand gaan krijgen. Daarmede komt een beperking van de grafische methode aan het licht, voornamelijk als gevolg van het in dit geval relatief kleine nuttige meervolume. Ter verduidelijking is dit volume (overeenkomende met 1.24 cm op de schaal van de tekening) uitgezet in de figuur van de gereduceerde afvoersommatiekromme, teneinde bij de grafische berekeningen als controle te dienen (stippellijn). Om het relatief kleine meervolume nogeens te benadrukken is uit tekening nr.1. bepaald dat bijvoorbeeld voor volledige regulatie van het langjarig gemiddeld debiet van $54.4 \text{ m}^3/\text{s}$ (overeenkomend met het gemiddeld vermogen van ca 26100 kW) het nuttige meervolume ca $4578 * 10^6 \text{ m}^3$ zou moeten bedragen; en dat is ruim het vijftienvoudige van het bestaande nuttige meervolume!

Met in acht name van bovengenoemde bezwaren is de gecombineerde grafische/analytische berekening slechts voor $N = 25000 \text{ kW}$ gedaan (lijn 1. in tekening nr.1.). Het resultaat is opgenomen in de bijlagen 5.4.7.. Daarbij is uitgegaan van een vol meer op 1 januari 1952 en is de berekening opgezet voor een volledige tijdserie van 30 jaren.

Opmerking:

De veronderstelling van een vol meer op 1 januari 1952 geldt tevens voor alle verder in beschouwing genomen vermogens.

* $N = 25000 \text{ kW}$

- . meer vol op 1 januari 1952
- . uit tekening nr.1., gereduceerde afvoersommatiekromme, blijkt dat het meer leeg loopt op 3 december 1952.
- . volgens de methode, behandeld in paragraaf 5.4.6. duurt het vullen van het meer t/m 2 maart 1953.
- . vervolgens blijkt productie mogelijk t/m 12 december 1953, wanneer het meer weer leeg loopt.
- . op dezelfde manier is de berekening voltooid voor de volledige reeks van 30 jaren.

Bij het doorrekenen met hogere vermogens dan $N = 25000 \text{ kW}$ is afgezien van de grafische methode. $N = 37500 \text{ kW}$,

$N = 45000 \text{ kW}$, $N = 55000 \text{ kW}$ en $N = 65000 \text{ kW}$ zijn analytisch bepaald. Vanwege de bewerkelijkheid zijn enige vereenvoudigingen doorgevoerd. Omdat de berekeningen voor alle vermogens analoog zijn wordt in het hiernavolgende slechts $N = 37500 \text{ kW}$ toegelicht. De procedure wordt kort uiteengezet:

- . Kies een gemiddeld verval H_{gen} .

Voor alle bovenvermelde vermogens is het gemiddeld verval vastgesteld op 60 m.

- . Meer vol op 1 januari 1952.
- . $H_{gen} = 60$ m
- . Gemiddeld turbinedebiet $Q_{turb. gen.} = 37500/8 * 60 = 78.1$ m³/s
- . 1 maand = $2.592 * 10^6$ sec.
- . Meervolume op 1 februari 1952:

$398 * 10^6 - (78.1 - 24.6) * 2.592 * 10^6 = 259.3 * 10^6$ m³,
waarin 24.6 m³/s het instroomdebiet is gedurende de maand januari 1952.

- . Meervolume op 1 april 1952:

$259.3 * 10^6 - [78.1 - (64.4 + 32.3)] * 10^6 * 2.592 =$
 $105.1 * 10^6$ m³.

- . Meer loopt leeg op:

$$\frac{(105.1 - 97) * 10^6}{(78.1 - 29.4) * 24 * 3600} = 2 \text{ april } 1952$$

- . Meer vol op:

- Meervolume op 1 mei: $97 * 10^6 + 29.4 * 28 * 86400 =$
 $ca 168 * 10^6$ m³

- Meer vol op: $\frac{(389 * 10^6 - 168 * 10^6)}{117.1 * 86400}$ m³ = 23 mei 1952

- Produktie begint nu en het meer blijft vol tot 1 juni 1952 omdat het instroomdebiet gedurende de maand mei verder groter is dan het turbinedebiet ($Q_{\downarrow} = 117.1$ m³/s tegenover $Q_{\uparrow} = 78.1$ m³/s). Dit betekent dat er gedurende 1 week (23 mei - 1 juni 1952) water via de overlaat verdwijnt.

- . Meervolume op 1 juni 1952:

$398 * 10^6 - (78.1 - 75.2) * 2.592 * 10^6 = 390.5 * 10^6$ m³.

- . Gedurende de maand juli 1952 is $Q_{\downarrow} > Q_{\uparrow}$ en raakt het meer vol op: $\frac{(398 - 390.5) * 10^6}{(100.3 - 78.1) * 86400} = 4$ juli 1952

- . Gedurende de periode 4 juli - 30 juli 1952 verdwijnt er via de overlaat dus water uit het meer, terwijl het meerpeil daarbij constant blijft (verondersteld).

- . Berekeningen, zoals in het voorgaande uiteengezet, wijzen uit dat het meer weer leeg loopt op 20 oktober 1952; en begint de cyclus van produktie/geen produktie opnieuw.

Alle berekeningen, ook voor de andere vermogens, zijn opgenomen in de bijlagen 5.4.7.. De bespreking van de resultaten volgt in paragraaf 5.5.2.

5.5. Resultaten van de berekeningen

De resultaten van de berekeningen uit paragraaf 5.4. zijn samengevat in de tabellen 5.1 en 5.2. In afwijking van de resultaten uit de tabellen (zie bijlagen 5.4.6 en 5.4.7) zijn de gemiddelde jaarlijkse energiehoeveelheden gebaseerd op 8760 uren per jaar. De fout hierbij is zoals eerder besproken verwaarloosbaar klein.

5.5.1. Kritieke periode (1 september 1963 - 1 februari 1968)

De percentages van de tijd gedurende welke produktie mogelijk is voor de verschillende vermogens wordt in dit geval bekeken t.o.v. de reeks van 53 maanden. Voor tabel 5.1. komt 100% van de tijd dus overeen met 53 maanden. Hoewel de uitkomsten op 1 decimaal nauwkeurig zijn vermeld moet daarin enige reserve worden gelegd.

N [kW]	Produktie		Geen produktie		Energiehoeveelheid [kWh]*10 ⁶ /jaar	Marginale winst in energie [kWh]*10 ⁶ /jaar
	mnd.	%	mnd.	%		
12500	53	100	-	-	109.5	-
20000	34.8	65.7	18.2	34.3	115.1	+ 5.6
25000	30.2	57.0	22.8	43.0	124.8	+ 9.7
37500	23.0	43.5	30.0	56.5	142.9	+18.1
45000	19.4	36.5	33.6	63.5	143.9	+ 1.0
55000	16.3	30.8	36.7	69.2	148.4	+ 4.5
65000	13.7	25.9	39.3	74.1	147.5	- 0.9
70000	12.3	23.3	40.7	76.7	142.9	- 4.6

Tabel 5.1. Energiehoeveelheden in kWh per jaar op basis van de kritieke periode.

Tabel 5.1. geeft reeds een indicatie bij welk vermogen (althans binnen welk bereik) de hoeveelheden te produceren energie maximaal zullen zijn. Met in achtname van het hoofdcriterium voor de berekeningen zou dit vermogen rond de 55000 á 65000 kW moeten liggen. Benadrukt wordt echter dat dit resultaat verkregen is m.b.v. de beschikbare gegevens en voorts de meest conservatieve opbrengsten weergeeft.

5.5.2. Volledige tijdreeks van 30 jaren (1 januari 1952 - 31 december 1981)

Hier geldt de volledige tijdreeks van 360 maanden als 100 % van de tijd. In tabel 5.2. zijn de resultaten samengevat.

N [kW]	Produktie		Geen produktie		Energiehoeveelheid [kWh]*10 ⁶ /jaar	Marginale winst in energie [kWh]*10 ⁶ /jaar
	mnd.	%	mnd.	%		
12500	360	100	-	-	109.5	-
25000	259.4	72.0	100.6	28.0	157.7	+48.2
37500	214.5	60.0	145.5	40.0	197.1	+39.4
45000	190.0	52.7	170.0	47.3	207.7	+10.6
55000	164.8	45.8	195.2	54.2	220.7	+13.0
65000	145.0	40.0	215.0	60.0	227.8	+ 7.1
70000	136.8	37.5	223.2	62.5	230.0	+ 2.2

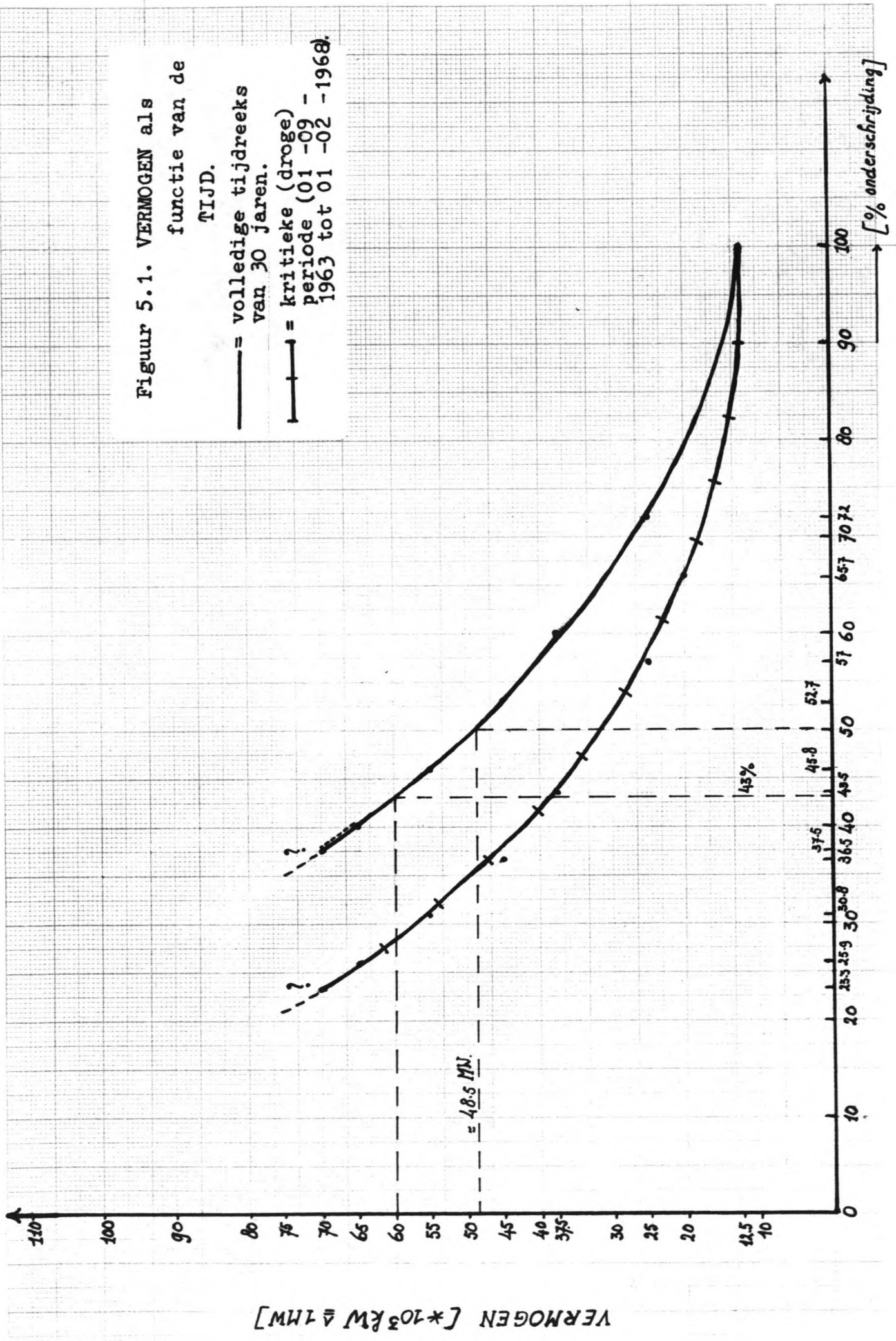
Tabel 5.2. Energiehoeveelheden per jaar op basis van de volledige tijdreeks van 30 jaren.

Met betrekking tot tabel 5.2. wordt opgemerkt dat het vermogen van N = 70000 kW niet doorgerekend is. Het resultaat van produktie gedurende 37.5 % van de tijd is geëxtrapoleerd vanuit het resultaat voor 70000 kW uit tabel 5.1. Wel is de extrapolatie conservatief verwerkt. De verklaring hiervoor volgt uit onderstaande tabel 5.3. Hierin zijn de produktieperioden (in procenten uitgedrukt) van de resultaten uit de volledige tijdreeks van 30 jaren vergeleken met de resultaten uit de kritieke periode van 53 maanden. Het verschil t.o.v de kritieke periode blijkt voor elk vermogen steeds in de orde van 15 % te liggen met een gemiddelde van 15.4 % . Een verklaring voor dit verschijnsel moet mogelijk worden gezocht in de regelmatigheid van het klimaat ter plaatse van het betreffende stroomgebied. Regelmatig terugkerende natte en droge seizoenen geven dientengevolge ook een steeds terugkerend beeld in de regelmatigheid van de afvoeren. Daarmede wordt ook duidelijk dat hoe langer de reeks van de afvoeren des te betrouwbaarder de berekeningsresultaten.

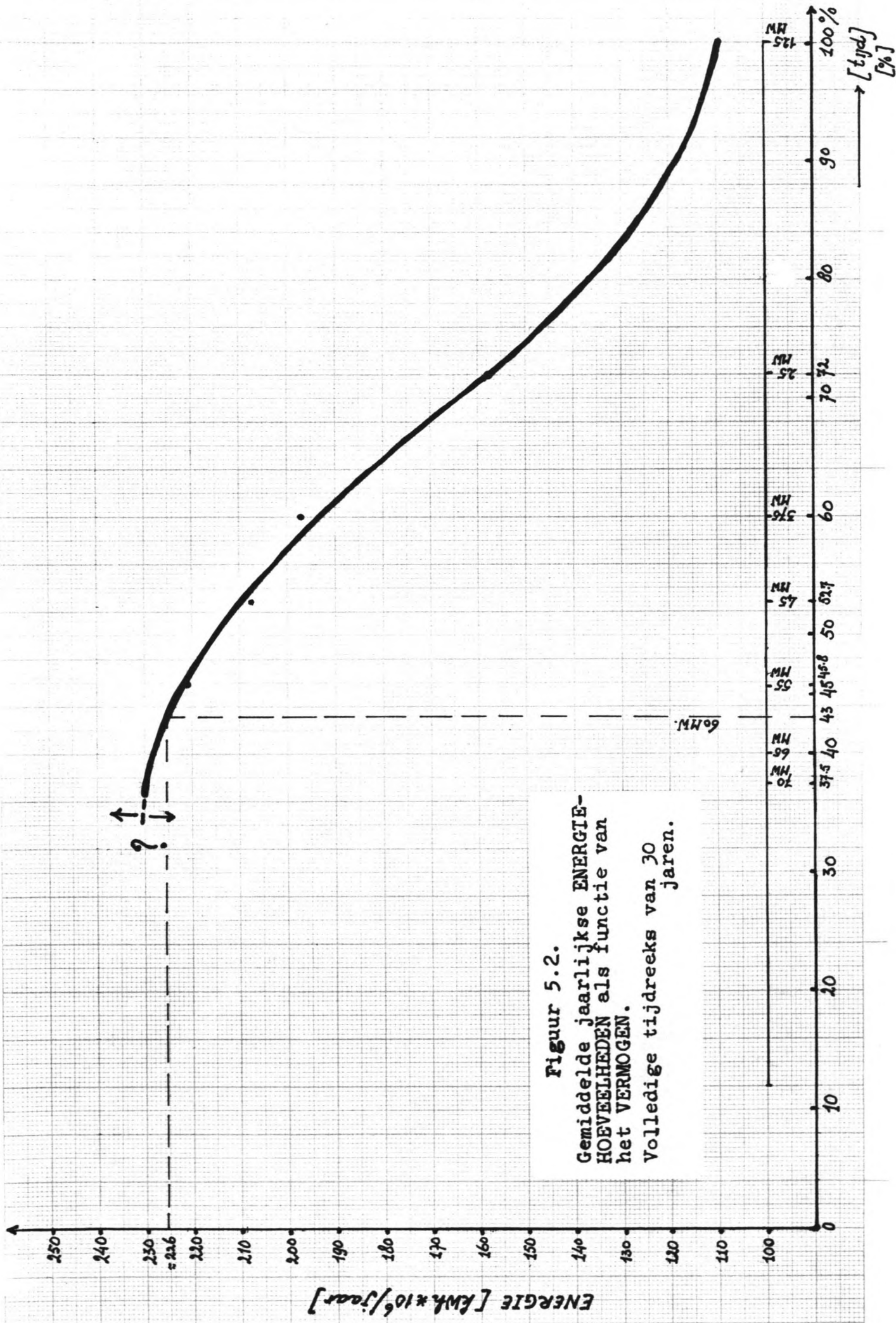
Voor N = 70000 kW is in de volledige tijdreeks 37.5 % produktieperiode bepaald als de som van 23.3 % uit de kritieke periode en ca 15 % als het steeds optredend verschil. Zoals eerder vermeld is de extrapolatie conservatief geschied door niet 15 % maar ca 14.2 % op te tellen bij de waarde van 23.3 % .

De resultaten vermeldt in de tabellen 5.1. en 5.2. zijn verwerkt in de figuren 5.1. en 5.2.

Figuur 5.1. VERMOGEN als functie van de TIJD.
 — = volledige tijdreeks van 30 jaren.
 —+— = kritieke (droge) periode (01 -09 -1963 tot 01 -02 -1968).



VERMOGEN [$10^3 \text{ kW} \hat{=} \text{ MW}$]



Figuur 5.2.
 Gemiddelde jaarlijkse ENERGIE-
 HOEVEELHEDEN als functie van
 het VERMOGEN.
 Volledige tijdreeks van 30
 jaren.

Met in achtname van het hoofdcriterium voor de energieberekeningen luidt de conclusie dat het vermogen waarmee de te produceren hoeveelheden energie maximaal zullen zijn in de omgeving van $N = 70000$ kW zal gaan liggen.

N [kW]	Percentage van de tijd gedurende welke produktie mogelijk is (%)		Verschil (%)
	Volledige reeks (360 mnd.)	Kritieke periode (53 mnd.)	
12500	100	100	-
20000	-	65.7	-
25000	72.0	57.0	15.0
37500	60.0	43.5	16.5
45000	52.7	36.5	16.2
55000	45.8	30.8	15.0
65000	40.0	25.9	14.1
Gemiddeld verschil: $76.8/5 =$			15.4

Tabel 5.3. Procentuele verschillen in produktieperioden tussen de kritieke periode en de volledige reeks.

Op basis van de tabellen 5.1. en 5.2. kan echter worden gesteld dat er een tendens aanwezig is, waarbij bij steeds grotere vermogens (naar $N = 70000$ kW toe) de marginale winst in energie afneemt en zelfs kan omslaan in een verlies. In dat opzicht is de extrapolatie voor $N = 70000$ kW zelfs minder relevant. De constatering van de tendens houdt in dat per extra kW toegevoegd vermogen de opbrengst in kWh bij grotere vermogens steeds afneemt. Waar uiteindelijk het optimum zal liggen is een zuiver economisch vraagstuk en op grond van de beschikbare gegevens niet te achterhalen.

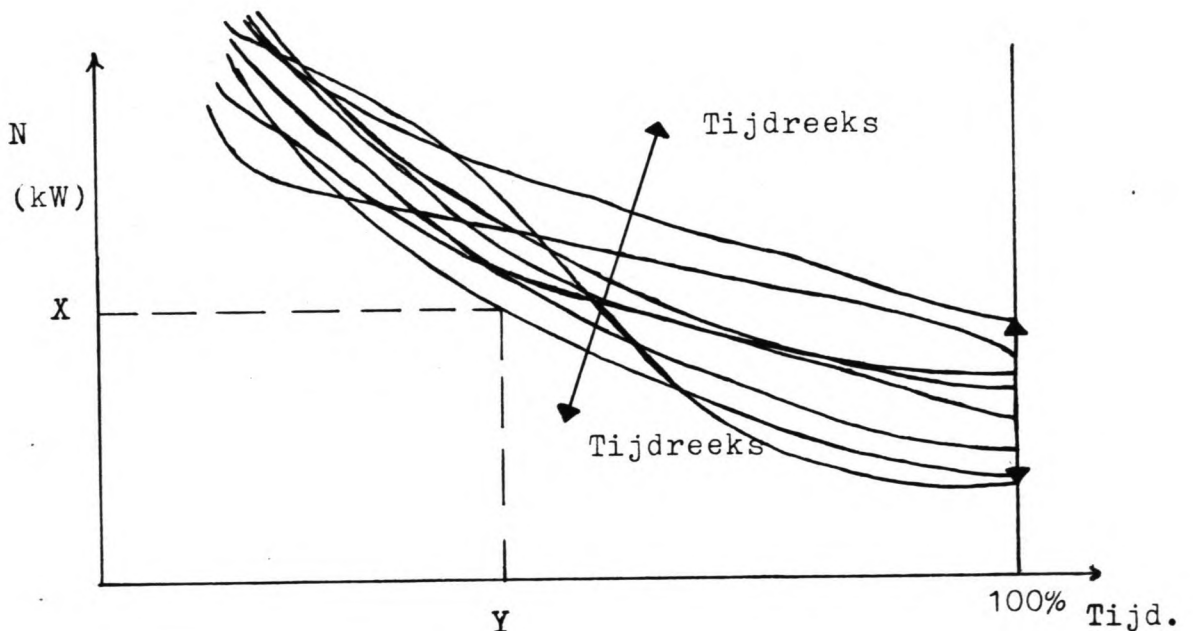
De omslag van de marginale winst in verlies in tabel 5.1. tussen 55000 kW en 65000 kW en de daarbij optredende afname van de winst in hoeveelheden energie in tabel 5.2. (zie ook de figuren 5.1. en 5.2.) geven wel een indicatie dat het "optimaal" vermogen nabij de $N = 60000$ kW zal liggen. Met dit vermogen zal het ontwerp verder worden opgezet. Daartoe is in de volgende paragraaf de berekening voor $N = 60000$ kW nauwkeuriger gedaan.

Opmerkingen:

1. Uit figuur 5.1. wordt afgelezen dat het secundair vermogen ca 48500 kW (48.5 MW) zal bedragen.

2. In figuur 5.1. is de lijn als resultaat van de berekeningen in de kritieke periode een soort "ondergrens" voor de tijdreeks van 30 jaren. Afhankelijk van de lengte van de tijdreeks zijn er dus meerdere lijnen mogelijk, die naarmate de tijdreeks langer is een betrouwbaarder beeld zullen geven. Een en ander is geschetst in onderstaande figuur 5.3.

Hier doet zich de interessante vraag voor welk vermogen X gedurende een aaneengesloten periode van Y jaar met een bepaalde zekerheid zou kunnen worden geleverd. Dit statistisch probleem is er een van dynamisch programmeren. In deze fase van het totale onderzoek kan aan de hand van de beschikbare gegevens daarover moeilijk een zinnige uitspraak worden gedaan en valt dit probleem verder buiten het bestek van dit ontwerp. In een latere fase zou daarvoor wel aanvullend hydrologisch onderzoek noodzakelijk zijn.



Figuur 5.3.

5.6. Het vermogen $N = 60000$ kW

De veronderstelling om het ontwerp te richten op de maximum hoeveelheden energie houdt tevens in dat de kosten voor de bouw van het projekt daarbij erg hoog zullen liggen. Wat impliceert dat dit de niet meest economische oplossing zal opleveren. Deze veronderstelling is gedaan teneinde het te investeren kapitaal op de meest conservatieve manier te bepalen. In een later stadium zal bij het verkrijgen van meer informatie over de kosten van de verschillende onderdelen een economische beschouwing moeten worden gewijd aan dit onderwerp. Het staat

echter nu al vast dat het te investeren bedrag alleen maar lager zal worden en de kosten voor energie eveneens lager zullen zijn.

De nauwkeurigheid bij de berekening van $N = 60000$ kW is als volgt opgevoerd.

. De invloed van de verdamping vanaf het meeroppervlak is nu in de berekeningen meegenomen. Gewerkt is met verdampingscijfers gemiddeld over een maand (Bron: Ir. F. Breeveld). In de bijlagen 5.6. zijn de gemiddelde dagelijkse verdampingscijfers omgereknd naar maandgemiddelden. Om de invloed van de verdamping bij de exploitatie van het waterkrachtwerk te bepalen is vervolgens een serie nauwkeurige berekeningen met waterbalansen uitgevoerd. Zie bijlagen 5.6. Met het doel een zo conservatief mogelijk resultaat te verkrijgen zijn de dag- en maandregencijfers in deze serie berekeningen buiten beschouwing gelaten. Er mag daarom worden gesteld dat de werkelijke resultaten die in de toekomst zullen worden bereikt een gunstiger beeld zullen vertonen.

De nauwkeurige berekeningen wijzen uit dat het vermogen van $N = 60000$ kW gedurende ca 41.5 % van de tijd kan worden geleverd. Dat komt neer op $0.415 * 8760 * 60000 = \text{ca } 218.1 * 10^6$ kWh gemiddeld per jaar. Figuur 5.2. geeft, in de veronderstelling van een kleinere nauwkeurigheid, voor produktie gedurende ca 43 % van de tijd bij het vermogen van $N = 60000$ kW ca $226 * 10^6$ kWh per jaar. Rekening houdend met de verwaarlozing van de invloed van de neerslag op het meer geven bovenstaande waarden een indruk van de nauwkeurigheid van de berekeningen uit paragraaf 5.4.7..

Uitgaande van de resultaten bij dit vermogen van $N = 60000$ kW mag voor de andere vermogens uit figuur 5.1. m.b.t. de nauwkeurigheden aldaar niet worden gegeneraliseerd.

Dat de neerslag op het meer een positieve invloed zal hebben op de resultaten blijkt uit de navolgende vergelijking. Met behulp van de jaarlijkse gemiddelden uit de omgeving van het Jai-meer [3] en het jaargemiddelde in Paramaribo (zie hoofdstuk 1.) is de gemiddelde jaarlijkse neerslag op het meer afgeschat op P_{meer} gemiddeld = ca 2300 mm per jaar. Uit de gemiddelde maandverdampingscijfers wordt afgeleid een E_{meer} gemiddeld = ca 1380 mm per jaar. Op het Jai-meer blijkt op jaarbasis een neerslagoverschot van ruim 920 mm mogelijk. Dit maakt het acceptabel om te veronderstellen dat onder medeneming van de invloed van de neerslag op het meer m.b.t. het vermogen van $N = 60000$ kW de resultaten gunstiger zullen zijn dan zoals bepaald in deze paragraaf.

Een algemeen criterium voor het al dan niet efficiënt benutten van de instroomdebieten wordt gevormd door de hoeveelheden water die via de overlaat uit het meer verdwijnen. Een berekening (zie bijlagen 5.6.) leert dat er bij $N = 60000$ kW gemiddeld 3 a 4 % van de instroomdebieten via de overlaat zal verdwijnen en dat is een zeer acceptabel percentage. In de volgende paragraaf zal worden uiteengezet dat dit percentage zelfs tot nul zou kunnen worden gereduceerd.

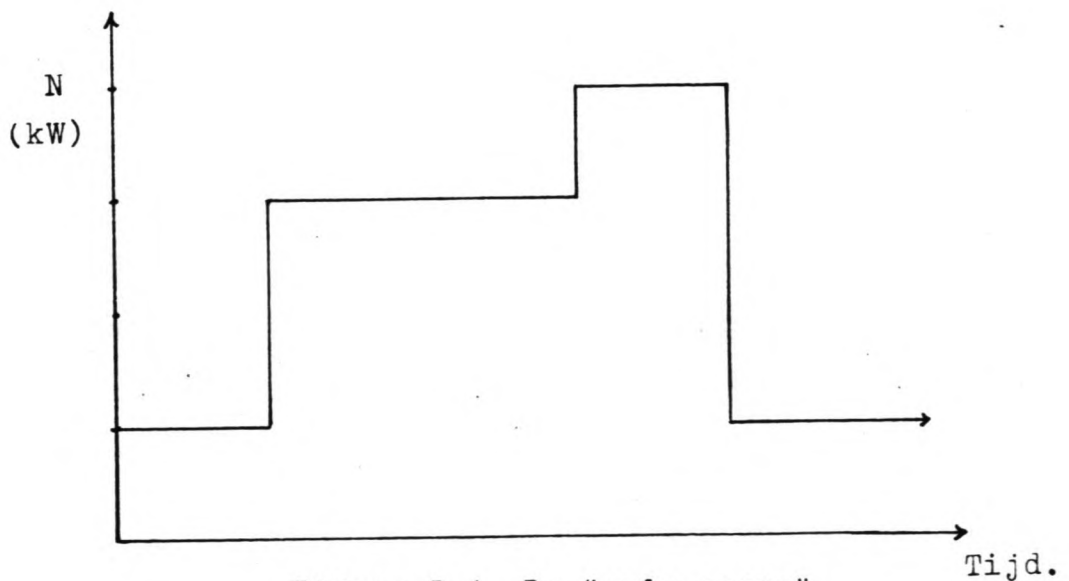
5.7. De "rule curve"

De "rule curve" wordt gedefinieerd als de lijn die aangeeft welk vermogen, afhankelijk van de momentane instroomdebieten, zou kunnen worden geleverd als functie van de tijd. Voor de bepaling van de "rule curve" is het noodzakelijk dat de tijdreeks van de instroomdebieten nauwkeurig bekend is. Dit houdt in dat vaststellen van de "rule curve" in het algemeen gebaseerd zal zijn op:

- veel ervaring
- de nauwkeurigheid c.q. betrouwbaarheid van de debietenreeks

De methode van de "rule curve" komt er op neer dat, gegeven het nuttig meervolume en het (geprognosticeerd) instroomdebiet, m.b.t. het te produceren vermogen een zodanige bedrijfsvoering wordt uitgestippeld dat het instroomdebiet zo efficiënt mogelijk wordt aangewend. In de praktijk betekent dit continue produktie met een niet constant vermogen (zie figuur 1.2.). De variabiliteit in het vermogen zal worden bepaald door de momentane vraag.

Hoewel de huidige stand van de techniek m.b.t. de fabricage van turbines het zeer wel toelaat om de turbinedebieten continu te variëren (verstelbare schoepen), zal uit praktische overwegingen in de bedrijfsvoering het te produceren vermogen gedurende een zeker tijdsinterval (afhankelijk van het interval uit de inputgegevens) toch constant gehouden worden. De "rule curve" krijgt dan de gedaante van een trapsgewijze lijn. Zie figuur 5.4.



Figuur 5.4. De "rule curve".

Het omhoog respektievelijk omlaag schakelen naar een groter of kleiner vermogen zal afhankelijk zijn van:

- de grootte der geïnstalleerde eenheden
- de instroomdebieten op dat moment in combinatie met de te verwachten instroming

De te verwachten debieten zullen in de praktijk slechts afgeschat kunnen worden indien:

- in eerste instantie de debietmetingen nauwkeurig en betrouwbaar genoeg zijn.
- in geval van ontbreken van debietmetingen de neerslaggegevens uit het betreffende stroomgebied voor handen zijn en de vereiste nauwkeurigheid bezitten. Omdat de afvoer in het algemeen vertraagd op gang zal komen zal het mogelijk zijn om die direct na de neerslagregistraties, bij bekende afvoercoefficienten, met een zekere nauwkeurigheid af te schatten en aldus de toekomstige bedrijfsvoering m.b.t. het te leveren vermogen reeds vooraf vast te stellen.

Werken met de "rule curve" geschiedt in de praktijk met behulp van keerpeilen op het stuwmeer. Gegeven het aantal eenheden zullen bij over- of onderschrijden van een bepaald stuwpeil op het meer turbine-eenheden worden in- of uitgeschakeld. Hieruit blijkt dus het belang van een betrouwbaar debietenreeks want in-/uitschakelen van turbine-eenheden zal hoofdzakelijk geschieden op basis van de verwachting gedurende welke periode de overschrijding resp. onderschrijding zich zal manifesteren. Het zal nl. geen zin hebben om bij overschrijding van een zekere keerpeil turbine-eenheden in te schakelen terwijl de overschrijding slechts van korte(re) duur zou zijn. De ervaring doet hier dus zijn intrede.

Producteren afhankelijk van de (te verwachten) instroomdebieten houdt tevens een groot voordeel in dat er geen water via de overlaat verloren hoeft te gaan; omdat in dit geval extreme debieten reeds vooraf zouden kunnen worden verwerkt in de bedrijfsvoering van de waterkrachtcentrale.

Binnen het kader van dit afstudeerontwerp wordt er verder niet kwantitatief ingegaan op de "rule curve". De fase binnen het totale onderzoek wordt daarvoor te vroeg geacht. Een uitstekend voorbeeld van een berekening van de "rule curve" is te vinden in "Hydrologische Nota nr.9., stuwberekeningen voor 2 en 3 potlines van Ir. H. Ringma (1954); als supplement bij het Nedeco rapport "Advies inzake Combinatieplan Surinamerivier" (1953). Voor details binnen de methode van de "rule curve" wordt daarnaar verwezen.

HOOFDSTUK 6

HET TE INSTALLEREN VERMOGEN

6.1. De N_{inst} . in combinatie met de meest economische eenheid

In hoofdstuk 5 is op grond van het berekeningscriterium vastgesteld dat het verdere ontwerp gericht zal worden op een vermogen van $N = 60000$ kW. Dit vermogen moet dus maximaal geproduceerd kunnen worden. Reservevermogen i.v.m. onderhoud, reparatie c.q. vervanging in aanmerking nemende, betekent voorgaande dat het uiteindelijk te installeren vermogen groter zal dienen te zijn dan het vermogen van $N = 60000$ kW. Hoeveel groter hangt af van:

- . het vermogen per te installeren turbine-eenheid
- . het vermogen en het aantal van de reserve-eenheden.

Het te installeren vermogen is in hoofdzaak een kwestie van:

- . welke vraag (aard en kwantiteit) is aanwezig
- . welke kosten gaan daarmee gepaard.

Gesteld dat onderstaande combinaties mogelijk zijn. (Er wordt uitgegaan van steeds 1 reserve-eenheid; de grootte van de eenheden is willekeurig gekozen; ook andere vermogenscombinaties zijn dus mogelijk).

- 1 * 60 MW + 1 reserve-eenheid
- 2 * 30 MW + 1 reserve-eenheid
- 3 * 20 MW + 1 reserve-eenheid
- 4 * 15 MW + 1 reserve-eenheid
- 5 * 12 MW + 1 reserve-eenheid

↑ Goedkoper (centrale kleiner).
↓ Flexibeler t.a.v. de fluctuaties in de vraag.

Omdat zowel vraag als economie hier (nog) vrij onbekende en onzekere factoren zijn is het uitermate moeilijk om vast te stellen bij welke combinatie het uiteindelijk optimum zal gaan liggen.

In eerste instantie lijkt het voor de hand om eenheden van ca 12500 kW (= 12.5 MW) te kiezen met het oog op het primair vermogen van 12500 kW; 6 eenheden van 12500 kW zullen wel een hoge investering vergen voor de centrale. Een eenvoudige berekening op grond van het behandelde in hoofdstuk 3:

* Eenheden van 12500 kW.

- . 6 eenheden van 12500 kW vereisen voor de centrale totaal een hoeveelheid uit te springen volume aan rots van ca $6 * 12500 * 0.46 = \text{ca } 34500 \text{ m}^3$.
- . kosten $34500 * 225, = \text{Nf}$ is ca $7.8 * 10^8 \text{ Nf}$.
- . kosten voor fabricage (exclusief transport, installatie etc.) van een turbine-eenheid:
(Warnick)

$$\begin{aligned}
 C_t &= 9000 * (12500)^{0.7} * (60)^{-0.35} \\
 &= \text{ca } 1.6 * 10^8 \text{ U\$ (1978)} \\
 &= \text{ca } 5.3 * 10^8 \text{ Nf (1987)}.
 \end{aligned}$$

Voor 6 eenheden ca $31.8 * 10^8$ Nf.
 Totaal voor centrale + fabricage van de turbines ca $39.6 * 10^8$ Nf.

- * Eenheden van 20000 kW bijvoorbeeld.
- . 4 eenheden van 20000 kW vereisen voor de centrale een hoeveelheid uit springen volume aan rots van ca 33000 m³.
 - . kosten $33000 * 225, =$ Nf is ca $7.4 * 10^8$ Nf.
 - . kosten fabricage 1 turbine-eenheid:

$$\begin{aligned}
 C_t &= 9000 * (20000)^{0.7} * (60)^{-0.35} \\
 &= \text{ca } 2.2 * 10^8 \text{ U\$ (1978)} \\
 &= \text{ca } 7.4 * 10^8 \text{ Nf (1987)}.
 \end{aligned}$$

Voor 4 eenheden ca $29.6 * 10^8$ Nf.
 Totaal voor centrale + fabricage van de turbines ca $37.0 * 10^8$ Nf.

De combinatie met eenheden van 20 MW blijkt goedkoper. Deze ruwe vergelijking stelt duidelijk dat er bij een zekere combinatie een optimum zal liggen. De verder in het ontwerp te gebruiken eenheid wordt in overleg met de begeleiders vastgesteld op 20000 kW (= 20 MW). Het te installeren vermogen wordt daarmee $3 * 20000 \text{ kW} + 1 * 20000 \text{ kW}$ in reserve = 80000 kW (80 MW).

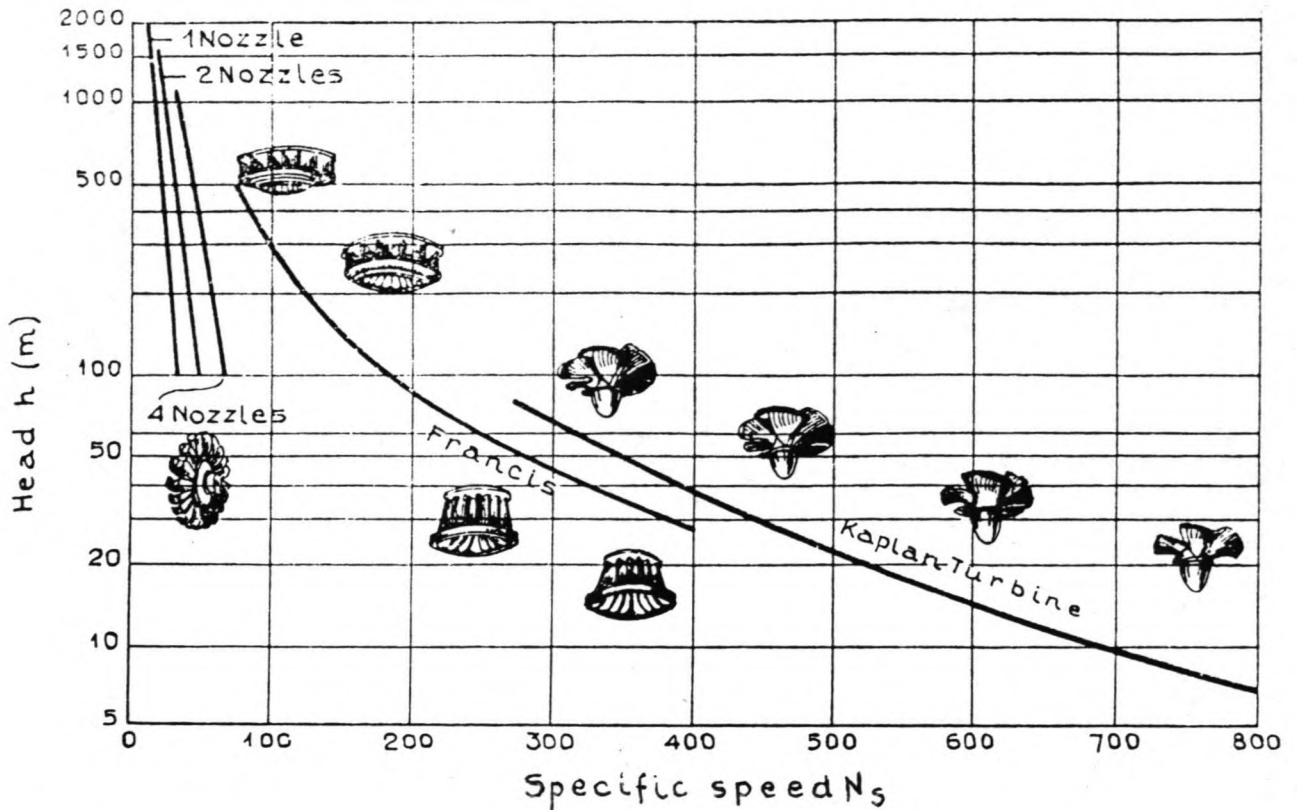
6.2. Vaststelling turbinetype

De van toepassing zijnde literatuur geeft aan dat bij een verval H van ca 60 m men zit in het "bereik" van een Francis turbine. Zie figuur 6.1.

6.3. Ontwerpdebiet en ontwerpverval

De dimensionering van de constructieonderdelen (inlaatwerken, schacht, centrale en turbineafvoertunnel) staat in direct verband tot de dimensies van de turbine-eenheden. Zie o.a. Mosonyi en Warnick. De dimensies van de turbines kunnen pas worden bepaald nadat een ontwerpverval en een ontwerpdebiet zijn vastgesteld.

Gebruikelijk is om het ontwerpverval te kiezen aan de hand van de duurlijn van het verval bij in dit geval $N = 60000$ kW. Deze duurlijn is getekend in figuur 6.2. en is betrokken op de tijd gedurende welke productie mogelijk is, nl. 41.5 % van de volledige reeks van 360 maanden overeenkomende met ca 149.4 maanden. In dezelfde figuur is ook uitgezet de duurlijn van de



Figuur 6.1. Bron [9]

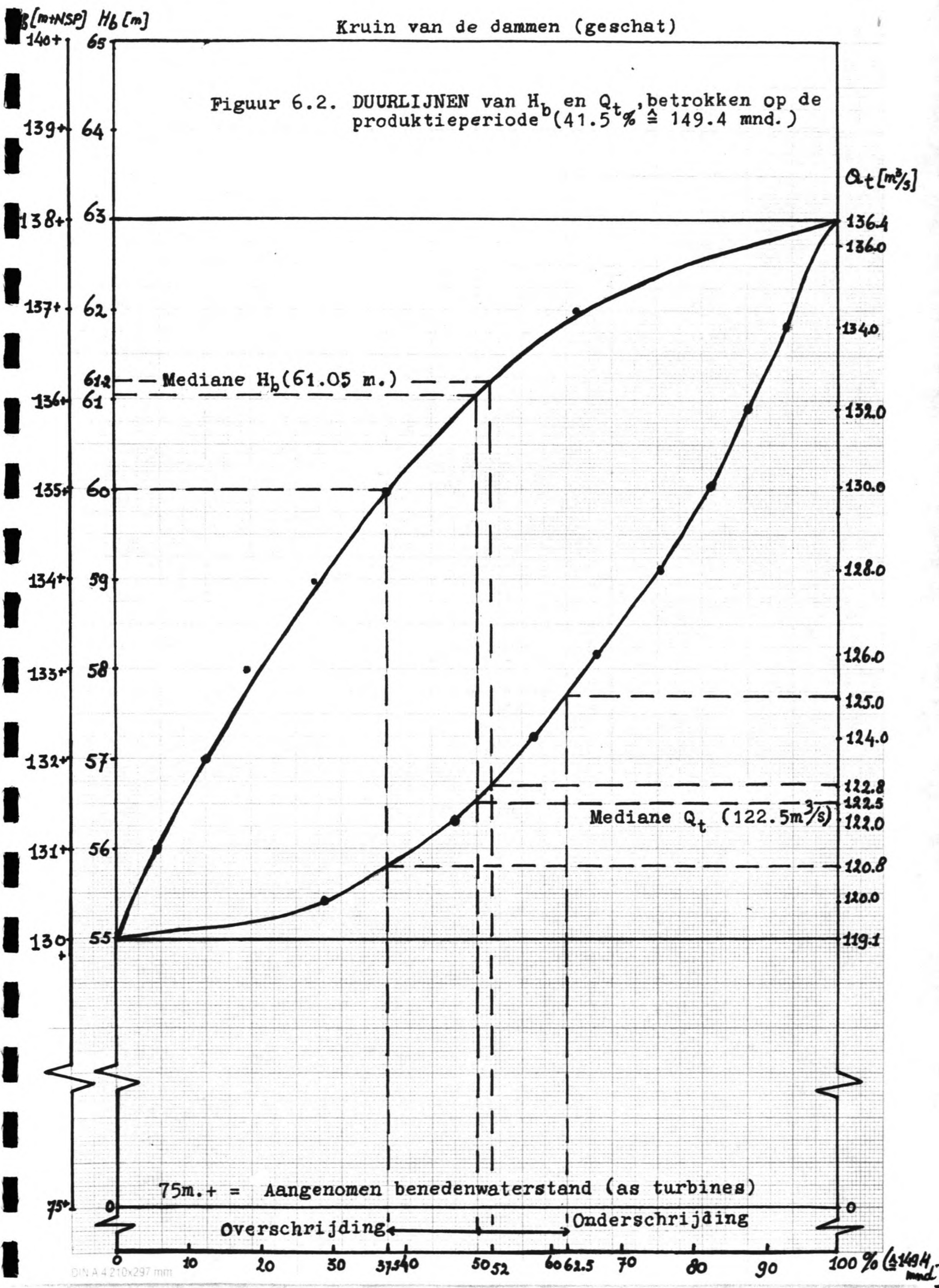
$Q_{turb.}$ die bepalend is voor de keuze van het ontwerpdebiet. Beide lijnen zijn afgeleid uit de figuren C en D in tekening nr.1. Het rekenwerk dat geresulteerd heeft in figuur 6.2. is opgenomen in de bijlagen 6.3. Uit figuur 6.2. blijkt het mediane verval (verval dat gedurende 50 % van de tijd wordt overschreden of onderschreden) ca 61.05 m te zijn. Het mediane turbinedebiet bedraagt ca 122.5 m³/s. De keuze van het ontwerpdebiet staat in nauw verband met de rendementskromme van de turbine. Zie figuur 6.3. Voor een Francisturbine wordt een rendement van 0.80 tot 0.85 gehaald indien het ontwerp gericht wordt op debieten die tenminste gedurende ca 48 % van de produktietijd worden overschreden. Het optimum ontwerpdebiet ligt hier bij die turbineafvoer die gedurende ca 70 % van de tijd wordt overschreden. Vertaald naar figuur 6.2. zou het optimale ontwerpdebiet ca 120 m³/s moeten bedragen en het debiet dat gedurende ca 48 % van de tijd wordt overschreden ongeveer 122.8 m³/s.

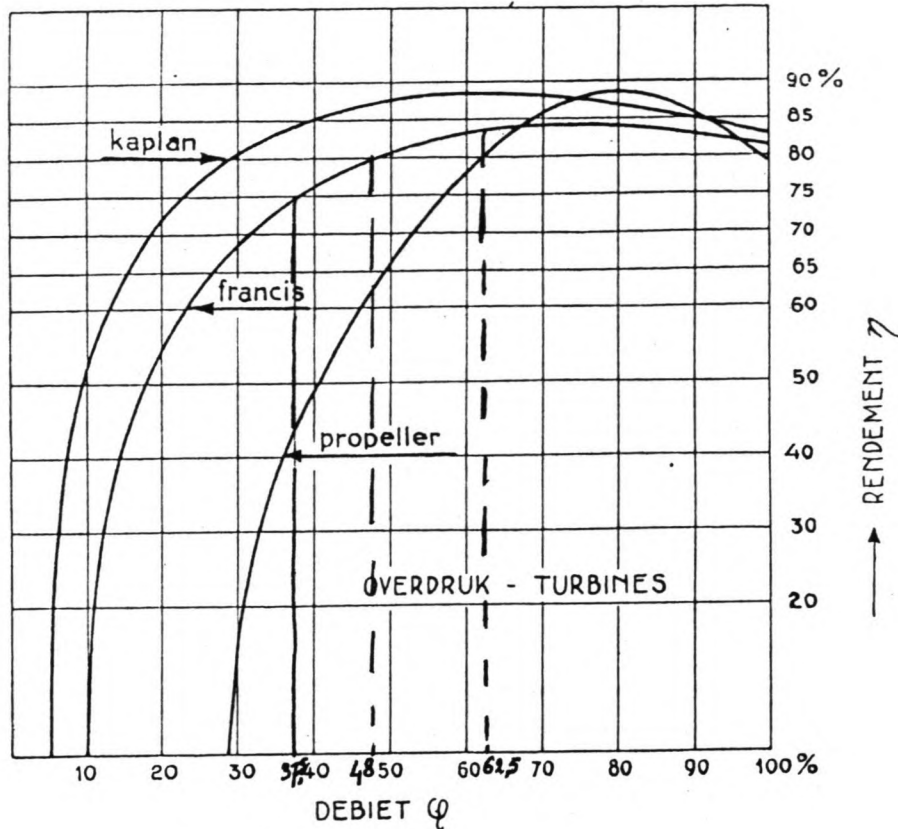
Boven beschreven methode voor de keuze van een ontwerpdebiet op grond van rendementskrommen van de turbines wordt doorgaans toegepast in de eindfase van het ontwerp, wanneer de rendementskromme van de dan reeds gekozen turbine definitief vaststaat. In deze fase waarin bijvoorbeeld het "overall" rendement van het project nog lang niet bekend is suggereert de methode een te grote nauwkeurigheid indien het ontwerp exact daarop zou worden gebaseerd.

Omdat de verschillen op grond van figuur 6.2. relatief

Kruin van de dammen (geschat)

Figuur 6.2. DUURLIJNEN van H_b en Q_t , betrokken op de produktieperiode^b (41.5% \cong 149.4 mnd.)





Figuur 6.3. Rendementskrommen turbines.
Bron [1]

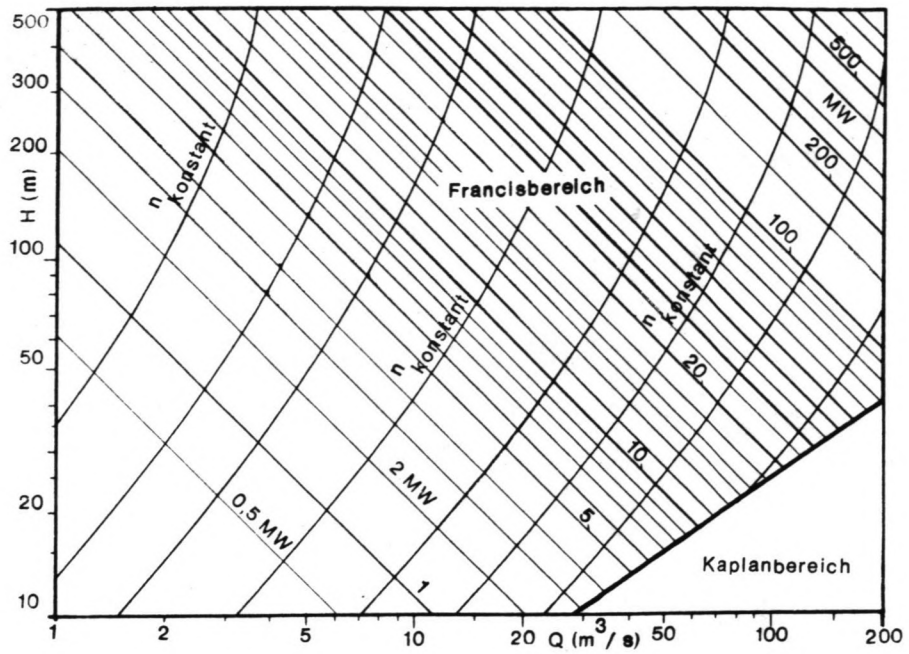
klein zijn is m.b.t. de turbines in overleg gekozen voor een ontwerpdebiet van ca $125 \text{ m}^3/\text{s}$. Enige compensatie wordt verworven door de keuze van het ontwerpverval van ca 60 m. Hierbij is dus niet geheel voorbijgegaan aan figuur 6.3.

Dus: . $Q_{\text{ontwerp}} = 125 \text{ m}^3/\text{s}$.
 . $H_{\text{ontwerp}} = 60 \text{ m}$.

Met turbine-eenheden van 20 MW en dus verdeling van het debiet over 3 turbines wordt het ontwerpdebiet per turbine $125/3 = 41.7 \text{ m}^3/\text{s}$. Uit figuur 6.4. blijkt dan dat de keuze van een totale Q_{ontwerp} van ca $125 \text{ m}^3/\text{s}$ zeker niet onverantwoord is.

Opmerking:

Indien de keuze van het ontwerpverval c.q. ontwerpdebiet gericht was geweest op de totale bedrijfsvoering van het projekt en de duurlijn betrokken was op de totale reeks van 30 jaren zou het geheel er iets anders hebben uitgezien. De duurlijnen van het vermogen, het verval en het turbinedebiet betrokken op de volledige reeks van 30 jaren zijn opgenomen in de bijlagen 6.3. Evenwel slechts met als doel het inzicht in de materie te vergroten.



Figuur 6.4. Bron [10]

LITERATUURLIJST

1. Begemann, L., Waterkracht, Collegedictaat f 20, T.H.Delft, afdeling der Civiele Techniek, vakgroep Irrigatie/Waterkracht.
2. Begemann, L., Waterkracht, Collegedictaat f 21, T.H.Delft, afdeling der Civiele Techniek, vakgroep Irrigatie/Waterkracht.
3. Hensley-Schmidt Inc., Jai-Kreek Diversion Project Design Report, Chattanooga, Tennessee, januari 1984.
4. Nedeco, Advies inzake Combinatieplan Surinamerivier, Den Haag, oktober 1953.
5. Ringma, H., Hydrologische Nota's nrs 1. t/m 9., behorende bij literatuur 4.
6. The Summation Curve - Its Establishment and Application in Hydrology, artikel uit "Water Power, maart 1960.
7. Stichting Jai-kreek & Phedra, Jai-kreek Power Study (summary), Paramaribo, november 1983.
8. Stichting Jai-kreek & Phedra, Enkele pagina's uit het Jai-kreek Diversion Project Report, Brokopondo - Jai-kreek Computer Analyses Report Results, Paramaribo, oktober 1983.
9. Leliavsky, S., Hydro-electric Engineering for Civil Engineers, Design Text books for Civil Engineering, volume III, Chapman and Hall, London, 1982.
10. König von, F., Bau von Wasserkraftanlagen, Müller, Karlsruhe, 1985.
11. Warnick, C.C., Hydro Power Engineering, Prentice Hall, New Jersey, 1984.

