KONINKLIJK NEDERLANDS METEOROLOGISCH INSTITUUT

No. 111

OPSTELLEN
OP OCEANOGRAFISCH EN MARITIEM
METEOROLOGISCH GEBIED

7

STROOMBEREKENING UIT ZONSBESTEKKEN

J. A. VAN DUIJNEN MONTIJN

STAATSDRUKKERIJ- EN UITGEVERIJBEDRIJF / 'S-GRAVENHAGE / 1949

KONINKLIJK NEDERLANDS METEOROLOGISCH INSTITUUT

No. 111

OPSTELLEN

OP OCEANOGRAFISCH EN MARITIEM

METEOROLOGISCH GEBIED

7

STROOMBEREKENING

UIT

ZONSBESTEKKEN

J. A. VAN DUIJNEN MONTIJN

STAATSDRUKKERIJ- EN UITGEVERIJBEDRIJF / 'S-GRAVENHAGE / 1949

I

INLEIDING

Gebruikt men voor de stroomberekening bestekken, verkregen uit niet-gelijktijdige waarnemingen (verder zonsbestekken genoemd), dan kunnen in ongunstige gevallen grote onnauwkeurigheden in de berekende stroom ontstaan. (Zie ook „De Zee", afl. November 1937, blz. 595). Dergelijke bestekken worden verkregen uit combinatie van een hoogtelijn (of peilingslijn) met een verzeilde hoogtelijn (of peilingslijn) en bij de verzeiling moet rekening gehouden worden met de invloed van de stroom gedurende het tijdvak van de verzeiling, welke stroom men echter niet kent. Bestekken, verkregen uit gelijktijdige waarnemingen, worden verder stersbestekken genoemd.

Bij de beschouwingen in de volgende hoofdstukken geldt steeds :

1°. Geen hoogtelijnen worden gecombineerd, waarvan de scherpe snijdingshoek niet tenminste 30° bedraagt;

2°. Het tijdvak van stroomberekening wordt zodanig genomen, dat het tijdvak van verzeiling (evtl. de tijdvakken van verzeilingen) daar *niet* onder begrepen is (zijn);
(onder tijdvak van verzeiling wordt verstaan het tijdvak, liggende tussen de tijdstippen, waarop de beide gecombineerde hoogtelijnen genomen zijn).

3°. Indien men over twee middagbreedtes voor de stroomberekening beschikt, wordt het tijdvak van stroomberekening genomen van middagbreedte tot middagbreedte, zodat in verband met 2° slechts het geval wordt beschouwd, dat de eerste middagbreedte gecombineerd wordt met een hoogtelijn, genomen voor de middag en de tweede met een hoogtelijn genomen na de middag;

4°. *De verschillende hoogtelijnen en punten genoemd in de tekst of voorkomende in de figuren, worden steeds verondersteld reeds tot eenzelfde tijdstip te zijn verzeild voor de gestuurde koersen en de afgelegde verheden* [1]). Voor dit tijdstip is genomen het einde van het tijdvak van stroomberekening. Een plaats of hoogtelijn behorende bij een later tijdstip, moet dus naar dit tijdstip worden terugverzeild. (De koers en vaart van het schip door het water zijn dus steeds geheel geëlimineerd. Bij de beschouwing van de figuren kan men zich ook voorstellen, dat het schip bij windstilte steeds gestopt gelegen heeft, zodat de verplaatsing van het schip geheel aan stroom moet worden toegeschreven).

5°. De volgende uitdrukkingen hebben steeds de daarachter vermelde betekenis.
Werkelijke ware plaats op een bepaald tijdstip = de plaats (eventueel overeenkomstig punt 4 verzeild) waar het schip zich in werkelijkheid bevond op het genoemde tijdstip.
Berekende ware plaats op een bepaald tijdstip = de plaats van het schip (eventueel overeenkomstig punt 4 verzeild) op dat tijdstip, volgende uit de combinatie

[1]) Er wordt steeds verondersteld, dat bij deze verzeiling rekening gehouden is met alle invloeden, welke de koers en de vaart door het water beïnvloeden (bijv. ook windinvloed), zodat de overblijvende misgissing geheel aan stroom moet worden toegeschreven.

van twee hoogtelijnen *zonder* toepassing van een correctie voor stroomverzetting gedurende het tijdvak van verzeiling.

Verbeterde berekende ware plaats op een bepaald tijdstip = hetzelfde doch *na* toepassing van een correctie voor stroomverzetting gedurende het tijdvak van verzeiling.

Werkelijke stroom in een bepaald tijdvak = de resulterende stroom (in richting en grootte) welke in werkelijkheid in dat tijdvak gestaan heeft [1]).

Berekende stroom in een bepaald tijdvak = de misgissing in richting en grootte, berekend uit een stersbestek en een zonsbestek (of uit twee zonsbestekken) liggende aan het begin en aan het einde van dat tijdvak, *zonder* dat een correctie voor stroomverzetting gedurende het tijdvak van verzeiling bij het zonsbestek (de zonsbestekken) is toegepast.

Verbeterde berekende stroom in een bepaald tijdvak = hetzelfde doch *na* toepassing van een correctie voor stroomverzetting gedurende het tijdvak van verzeiling bij het zonsbestek (de zonsbestekken).

Stroomrichting in een bepaald tijdvak = de richting van de resulterende stroom in dat tijdvak.

Stroomsnelheid in een bepaald tijdvak = de snelheid van de resulterende stroom in dat tijdvak.

Werkelijk, *berekend* en *verbeterd berekend* hebben hierbij dezelfde betekenis als hier boven bij „stroom”.

6°. Als maximum toelaatbare fout in berekende stroom (of, als een correctie toegepast wordt, in verbeterde berekende stroom) wordt gesteld een fout van ten hoogste 2 streken in stroomrichting en een fout in stroomsnelheid van ten hoogste 40 % van de werkelijke stroomsnelheid.

7°. De gebruikte letters hebben steeds de volgende betekenis:

a = de duur van het tijdvak van verzeiling in uren.

b = de duur van het tijdvak van stroomberekening in uren.

u = de werkelijke stroomsnelheid gedurende het tijdvak van verzeiling uitgedrukt in zeemijlen per uur.

v = de werkelijke stroomsnelheid gedurende het tijdvak van stroomberekening uitgedrukt in zeemijlen per uur.

$$p = \frac{a}{b}$$

$$q = \frac{u}{v}$$

α = de scherpe snijdingshoek van de te combineren hoogtelijnen.

φ = het verschil tussen de werkelijke stroomrichting in het tijdvak van stroomberekening en de werkelijke stroomrichting in het tijdvak van verzeiling ($\varphi < 180°$).

---

[1]) 

Is een waterdeeltje in het bedoelde tijdvak van A in B gekomen onder invloed van in richting en snelheid steeds veranderlijke stromen (in de figuur voor gelijke tijdseenheden aangegeven door de gebroken volgetrokken lijn) dan wordt met de resulterende stroom bedoeld de grootte en richting van de gestippelde lijn AB.

δ = het, onder de aangenomen omstandigheden, maximum verschil tussen werkelijke stroomrichting en berekende stroomrichting (verbeterde berekende stroomrichting als een correctie toegepast wordt) in het tijdvak van stroomberekening.

x = de fout in berekende stroomsnelheid (in verbeterde berekende stroomsnelheid als een correctie toegepast wordt) in het tijdvak van stroomberekening uitgedrukt in procenten van de werkelijke stroomsnelheid in dat tijdvak.

Gebruikt men twee zonsbestekken voor de stroomberekening dan gelden a, u, p, q, α, φ voor het eerste ⊙ bestek en zijn a', u', p', q', α' en φ' dezelfde grootheden voor het tweede ⊙ bestek.

II

CONSTANTE STROOM, ÉÉN ZONSBESTEK

Berekent men de stroom uit één stersbestek en één zonsbestek en is de stroom *constant* in richting en snelheid, dan kan men op eenvoudige wijze een correctie toepassen, waardoor de werkelijke stroom gevonden wordt.

In fig. 1 is A de werkelijke ware plaats verkregen uit het stersbestek, PQ en RS

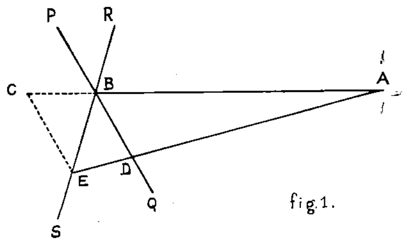


fig. 1.

zijn de beide hoogtelijnen van het ⊙ bestek, welke elkaar in B snijden. AB is dus de berekende stroom. Verlengt men AB met een stuk $BC = \frac{a}{b} \times AB$ en trekt men door C een lijn // aan de hoogtelijn, welke genomen is op het tijdstip, aangevende de grens tussen het tijdvak van stroomberekening en het tijdvak van verzeiling (in dit geval b.v. PQ), tot het snijpunt E met de andere hoogtelijn, dan is ook $\frac{ED}{DA} = \frac{a}{b}$ en AD is de werkelijke stroom in het tijdvak van stroomberekening en DE die in het tijdvak van verzeiling.

Het bovenstaande geldt zowel voor het geval, dat het stersbestek (A) aan het einde, als voor het geval, dat dit aan het begin van het tijdvak van stroomberekening ligt. In dit laatste geval behoeft men de berekende stroom AB niet eerst te bepalen, maar men kan dan volstaan met de afstand van A (immers tevens geg. pl. 1e hoogtelijn) tot het berekende punt (hoogtepunt, breedtepunt of lengtepunt) van de eerste hoogtelijn te verlengen met een stuk $\frac{a}{b}$ maal deze afstand, waarop direct door dit laatste punt een lijn // aan de eerste hoogtelijn getrokken kan worden. Een en ander zal uit de beschouwing van fig. 2 duidelijk zijn. Hierin is F het lengtepunt, G het hoogtepunt en H het breedtepunt van de eerste observatie, de overige letters hebben dezelfde betekenis als in figuur 1. Nu is $\frac{HH'}{AH} = \frac{GG'}{AG} = \frac{FF'}{AF} = \frac{a}{b}$, dus ook $\frac{DE}{AD} = \frac{a}{b}$, zodat AD weer is de werkelijke stroom gedurende het tijdvak van stroomberekening en DE die gedurende het tijdvak van verzeiling [1]).

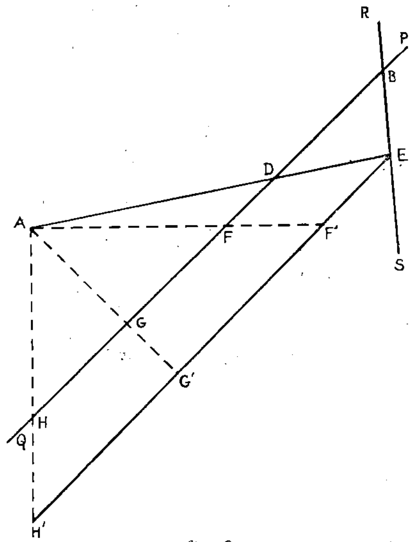


fig 2

III

CONSTANTE STROOM, TWEE ZONSBESTEKKEN

Is zowel het begin als het eindbestek van de stroomberekening een zonsbestek, dan zal men, om de werkelijke stroom te vinden, een lijn moeten trekken zodanig, dat door de vier hoogtelijnen, in de goede volgorde, stukken van deze lijn worden afgesneden, welke zich verhouden als a: b: a'. Deze constructie is alleen dan op eenvoudige wijze uit te voeren, als een van de hoogtelijnen van het eerste stel evenwijdig loopt met een van de hoogtelijnen van het tweede stel. Dit is geen groot bezwaar, omdat men bij stroomberekening uit twee zonsbestekken hiervoor vrijwel altijd de middagbestekken gebruikt. In verband met hetgeen in hoofdstuk I onder 3° is aangenomen, zullen dan 2e en 3e hoogtelijn evenwijdig lopen. Dit geval is voor-

[1]) Deze methode is o.a. ook vermeld in „Zeevaartkunde", P. Haverkamp, J. van Roon, L. M. J. Gregory, 1° deel, 1° druk blz. 444 en in „Leerboek der Zeevaartkunde", J. van Roon en P. Haverkamp, 2° deel, 2° druk, blz. 135.

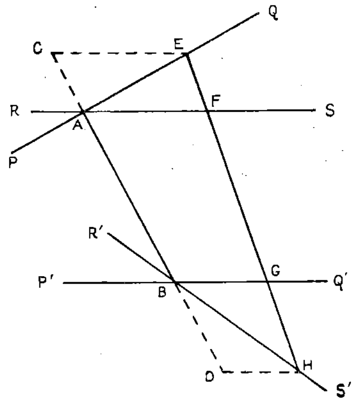


fig. 3.

gesteld in fig. 3. PQ en RS vormen het eerste stel hoogtelijnen, P'Q' en R'S' het tweede stel. RS // P'Q', AB is de berekende stroom. Men verlengt AB met stukken AC en BD zodanig, dat CA : AB : BD = a : b : a', trekt door C en D lijnen evenwijdig aan het stel evenwijdige hoogtelijnen tot de hoogtelijnen PQ en R'S' resp. in E en H gesneden worden. Trekt men nu de lijn EH, dan is ook EF : FG : GH = a : b : a'. Hier volgt dus uit dat FG de werkelijke stroom is in het tijdvak van stroomberekening, EF en GH die gedurende de tijdvakken van verzeiling.

IV

VERANDERLIJKE STROOM, ÉÉN ZONSBESTEK

Zijn de plaatselijke stroomomstandigheden zodanig, dat men ook niet bij benadering mag aannemen, dat de werkelijke stroom gedurende het tijdvak van stroomberekening en dat van verzeiling, constant in richting en snelheid is, dan is het mogelijk, dat men door het aanbrengen van de in hoofdstuk II en III behandelde correctie een verbeterde berekende stroom vindt, welke nog meer van de werkelijke stroom afwijkt, dan de onverbeterde berekende stroom. Men verbetert immers de verzeiling van de hoogtelijn voor een evenredig deel van de werkelijke stroom over het tijdvak van stroomberekening, terwijl men moet corrigeren voor de werkelijke stroominvloed tijdens het tijdvak van verzeiling.

In fig. 4 stelt A voor de werkelijke ware plaats verkregen uit een stersbestek aan het begin van het tijdvak van stroomberekening.

AB stelt voor de werkelijke stroom in het tijdvak van stroomberekening, BC dezelfde in het tijdvak van verzeiling. Dus AB = $b \times v$ en BC = $a \times u$, $\angle$ CBD = $\angle\ \varphi$. De eerste hoogtelijn loopt dus door B, de tweede door C.

Trekt men nu door B en C twee cirkels met als straal $\frac{\frac{1}{2}\,BC}{\sin\alpha} = \frac{1}{2}\,\frac{a \times u}{\sin\ \alpha}$, dan vormen deze twee cirkels de meetkundige plaats van alle punten, van waaruit de verbindingslijnen met B en C een hoek α (of 180°—α) met elkaar maken. Immers $\angle$ BME = $\angle$ BNE = $\angle\ \alpha$.

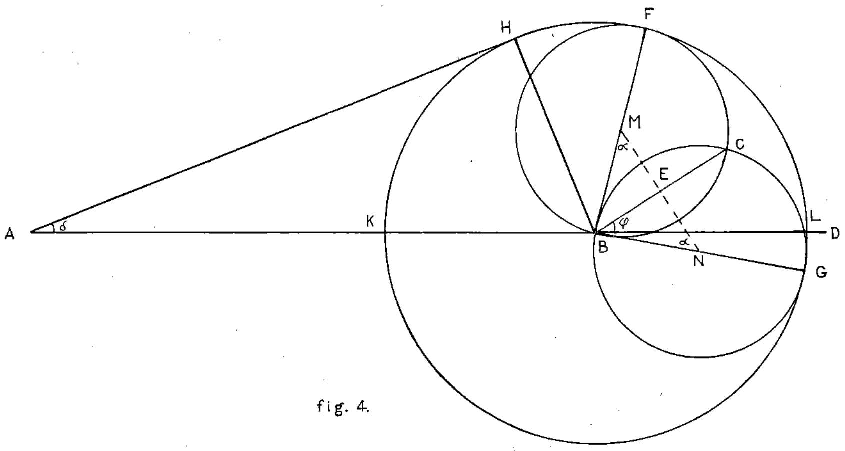


fig. 4.

Hoe het beloop van de hoogtelijnen ook is, altijd ligt de berekende ware plaats op een van deze cirkels. De maximale afstand van de berekende ware plaats tot de werkelijke ware plaats aan het einde van het tijdvak van stroomberekening (B) is tweemaal de straal van deze cirkels, dus gelijk aan $\frac{a \times u}{\sin \alpha}$ (punten F en G).

Trekt men nu een cirkel met B als middelpunt en $\frac{a \times u}{\sin \alpha}$ als straal dan zullen, *onafhankelijk* van de waarde van $\angle\ \varphi$, alle mogelijke te berekenen ware plaatsen op of binnen deze cirkel liggen. De maximum fout (δ) in stroomrichting zal dus gemaakt worden, als de berekende ware plaats zodanig ligt, dat de verbindingslijn van deze plaats met A aan deze cirkel raakt, $\angle\ \delta = \angle$ HAB. Voorts is $\sin \delta =$

$$\frac{HB}{AB} = \frac{\frac{a \times u}{\sin \alpha}}{b \times v} = q \frac{p}{\sin \alpha}.$$

De hoek δ is altijd kleiner dan 90°. Mocht de cirkel echter zo groot worden, dat het punt A erbinnen valt, dan is BH > AB en men vindt dus een waarde voor $\sin \delta$, welke groter is dan 1, hetgeen in dit geval wil zeggen, dat de fout in stroomrichting elke willekeurige waarde kan krijgen.

De maximum fout in stroomsnelheid wordt gemaakt, als de berekende ware plaats zodanig ligt, dat de verbindingslijn van deze plaats met A een maximum verschil in lengte met de lijn AB vertoont, dus als deze plaats in het punt K of L zou vallen. In het eerste geval berekent men de kleinst mogelijke, in het tweede geval de grootst mogelijke stroom. In beide gevallen is het verschil met de werkelijke stroom AB gelijk aan $\frac{a \times u}{\sin \alpha}$ dus $x = \frac{\frac{a \times u}{\sin \alpha}}{b \times v} \times 100$ of $x = q \frac{p}{\sin \alpha} \times 100.$

Het blijkt dus dat de sinus van de maximum fout in stroomrichting gelijk is aan

$q \times \frac{p}{\sin \alpha}$ en dat de maximum fout in stroomsnelheid, uitgedrukt in procenten van de werkelijke stroomsnelheid gelijk is aan 100 maal deze waarde. $\frac{p}{\sin \alpha}$ is voor elk geval van stroomberekening te bepalen, q is echter niet bekend. Is $q < 1$ dan is ook $q \frac{p}{\sin \alpha} < \frac{p}{\sin \alpha}$; moeilijkheden ontstaan slechts als $q > 1$ en q kan zelfs oneindig groot worden, nl. als in het tijdvak van stroomberekening geen stroom gestaan heeft (of de resulterende stroom nul is) terwijl er gedurende het tijdvak van verzeiling wel een resulterende stroom aanwezig is. In dit geval is $v = o$ en $u > o$ dus $q = \frac{u}{v} = \infty$. In fig. 4 valt dan het punt A samen met B en hoewel er in werkelijkheid geen stroom geweest is, berekent men een stroom, welke ook van de stroom in het tijdvak van verzeiling belangrijk kan afwijken. *Hieruit volgt dat men in gebieden met sterk veranderlijke stromen, ondanks een zeer gunstige waarde van α en p, toch belangrijke fouten in de stroomberekening kan maken.*

Neemt men voor normale gevallen aan, dat de resulterende stroomsterkte gedurende de verzeiling niet meer dan tweemaal zo groot is, dan die gedurende het tijdvak van stroomberekening, dus q maximaal gelijk aan 2, dan is $\sin \delta = \frac{2\,p}{\sin \alpha}$ en

$x = \frac{2\,p}{\sin \alpha} \times 100.$

Wil men zeker zijn, dat in dit geval de maximale fouten blijven binnen de in hoofdstuk I onder 6° gestelde grenzen dan moet $\frac{2\,p}{\sin \alpha} < 0{,}383$ (sinus van 2 streken is 0,383) dus $\frac{p}{\sin \alpha} < 0{,}191$. In dit geval is ook steeds $\varkappa < 40$.

Bij de beschouwingen in dit hoofdstuk is uitgegaan van een stersbestek, liggende aan het begin van het tijdvak van stroomberekening en een zonsbestek aan het einde. Liggen deze bestekken juist andersom, dan blijft de redenering precies dezelfde.

V

VERANDERLIJKE STROOM, TWEE ZONSBESTEKKEN

Indien zowel begin- als eindbestek van de stroomberekening een zonsbestek is, krijgt men het geval als voorgesteld in fig. 5. AB is weer de werkelijke stroom in het tijdvak van stroomberekening, dus $AB = b \times v$. Om A is een cirkel getrokken met als straal $\frac{a \times u}{\sin \alpha}$ en om B een met als straal $\frac{a' \times u'}{\sin \alpha'}$. Op dezelfde wijze als beschreven in hoofdstuk IV kan men aantonen, dat alle mogelijke te berekenen ware plaatsen bij het begin en bij het einde van het tijdvak van stroomberekening op of binnen deze cirkels liggen, onafhankelijk van de grootte van hoek φ en φ'.

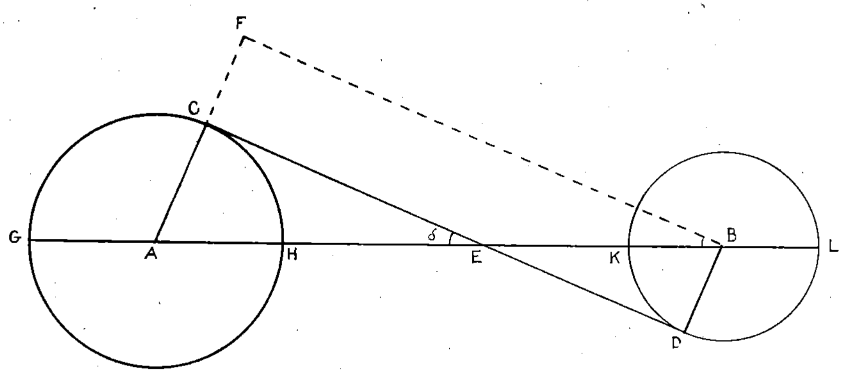


fig. 5.

De maximum fout in stroomrichting wordt nu gemaakt, indien deze berekende ware plaatsen resp. in C en D liggen als CD aan beide cirkels raakt en de lijn AB tussen A en B snijdt. Trekt men door B een lijn // CD dan blijkt $\angle\, \delta = \angle$ CEA $= \angle$ FBA dus

$$\sin\,\delta = \frac{AF}{AB} = \frac{\dfrac{a \times u}{\sin\,\alpha} + \dfrac{a' \times u'}{\sin\,\alpha'}}{b \times v} = q\,\frac{p}{\sin\,\alpha} + q'\,\frac{p'}{\sin\,\alpha'}.$$

De maximum fout in stroomsnelheid wordt gemaakt als men als stroom berekent GL of HK, in beide gevallen is de fout $\dfrac{a \times u}{\sin\,\alpha} + \dfrac{a' \times u'}{\sin\,\alpha'}$ dus

$$x = \left(q\,\frac{p}{\sin\,\alpha} + q'\,\frac{p'}{\sin\,\alpha'}\right) \times 100.$$

Neemt men voor normale gevallen evenals in hoofdstuk IV aan dat q maximaal gelijk is aan 2, dan vindt men als voorwaarde om zeker te zijn, dat de fout in berekende stroom binnen de in hoofdstuk I onder 6° gestelde grenzen blijft:

$$\frac{p}{\sin\,\alpha} + \frac{p'}{\sin\,\alpha'} < 0{,}191.$$

VI

NADERE BESCHOUWING VAN HET BEGRIP „CONSTANTE STROOM", ÉÉN ZONSBESTEK

In hoofdstuk II is aangegeven op welke wijze men bij een constante stroom de stroomberekening behoort te verbeteren om de werkelijke stroom te vinden. Nu zal het slechts zelden voorkomen, dat een stroom absoluut constant naar richting en snelheid doorstaat. Het is derhalve van belang na te gaan in welke mate de stroomrichting en -snelheid gedurende het tijdvak van verzeiling kan afwijken van deze grootheden in het tijdvak van stroomberekening, zonder dat de fout in berekende stroom de aangenomen grens overschrijdt, als men bij de stroomberekening de correctiemethode van hoofdstuk II toepast.

In fig. 6 is A de werkelijke ware plaats verkregen uit een stersbestek, aan het begin van het tijdvak van stroomberekening.

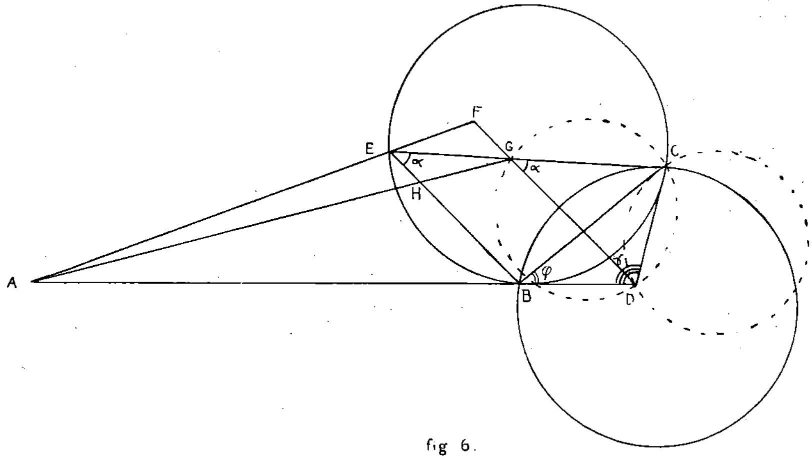


fig 6.

AB is de werkelijke stroom in het tijdvak van stroomberekening, BC dezelfde in het tijdvak van verzeiling. AB = b×v, BC = a×u, $\angle$ CBD = $\angle\ \varphi$.

Door B en C zijn twee cirkels (volle lijnen) getrokken met als straal $\frac{1}{2}\frac{a \times u}{\sin\alpha}$, waarop dus alle mogelijke te berekenen ware plaatsen moeten liggen (zie hoofdstuk IV). Neemt men een willekeurig punt E op een van deze cirkels, dan zal dit punt de berekende ware plaats zijn als BE de eerste en EC de tweede hoogtelijn is. In dit geval is AE de berekende stroom. Past men nu de in Hoofdstuk II beschreven correctie toe, dan wordt AE verlengd met een stuk EF, zodanig dat $\frac{EF}{AE} = \frac{a}{b}$. Men trekt FG // EB en vindt AH als verbeterde berekende stroom in het tijdvak van stroomberekening en HG als verbeterde berekende stroom in het tijdvak van verzeiling. Voorts is $AH = \frac{b}{a+b} \times AG$.

H is dus de verbeterde berekende ware plaats aan het einde van het tijdvak van stroomberekening en G dezelfde aan het einde van het tijdvak van verzeiling.

Trekt men FG door totdat het verlengde van AB in D gesneden wordt, dan is ook $\frac{BD}{AB} = \frac{a}{b}$ dus $BD = \frac{a}{b} \times b \times v = a \times v$. Daar deze lengte onafhankelijk is van de plaats van het punt E, zal de verbeterde eerste hoogtelijn altijd door D lopen, onafhankelijk waar E op een van de cirkels ligt. De tweede hoogtelijn gaat altijd door C, terwijl $\angle$ DGC steeds gelijk is aan $\angle\ \alpha$ (of 180°—α). De meetkundige plaats van alle punten van waaruit de verbindingslijnen met D en C een hoek α (of $180°-\alpha$) met elkaar maken, wordt gevormd door 2 cirkels (gebroken lijnen), getrokken door D en C met een straal gelijk aan $\frac{1}{2}\frac{DC}{\sin\alpha}$.

De afstand DC kan berekend worden uit $\triangle$ BDC:

$$DC = \sqrt{BC^2 + BD^2 - 2\ BC \times BD \cos CBD} =$$

$$\sqrt{a^2u^2 + a^2v^2 - 2a^2\, u\, v \cos\varphi} = av\sqrt{q^2 + 1 - 2\, q \cos\varphi}.$$

Uitgaande van elk willekeurig punt E, als berekende ware plaats, liggende op een van de volgetrokken cirkels, vindt men dus, na toepassing van de correctie, een punt G als verbeterde berekende ware plaats op het einde van het tijdvak van verzeiling, liggende op een van de gestippelde cirkels, waarvan de straal dus gelijk is aan

$$av\frac{\sqrt{q^2 + 1 - 2\, q \cos\varphi}}{2 \sin\alpha}.$$

De vraag is nu: waar kan het punt G ten opzichte van D liggen, als voor de veranderlijkheid van de stroom een bepaalde maximum waarde aangenomen wordt. Deze veranderlijkheid wordt bepaald door de waarde van q en φ en in de uitdrukking voor de straal van de gestippelde cirkels is dus alleen de wortelvorm in de teller hiervan afhankelijk.

Het blijkt derhalve eenvoudiger om de veranderlijkheid van de stroom te definieren, niet door bepaalde grenzen voor q en φ vast te stellen, doch door een maximum waarde voor de wortelvorm $\sqrt{q^2 + 1 - 2\, q \cos\varphi}$ aan te nemen, welke maximum waarde voorlopig T genoemd wordt.

In het getekende geval vindt men de maximum fout in stroomrichting, na toepassing van de correctiemethode van Hfst. II, door uit A die raaklijn aan de gestippelde cirkels te trekken, welke de grootste hoek maakt met AB, terwijl de grootste en de kleinste stroom, welke men berekenen kan, gelijk zijn aan $\frac{b}{a+b}$ maal de grootste en de kleinste afstand van A tot deze cirkels. Hieruit blijkt, dat behalve van de straal van de cirkels, de maximum fouten ook afhankelijk zijn van de stand van de gestippelde cirkels, dus van de stand van hun gemeenschappelijke koorde DC, aangegeven door den hoek BDC $= \angle\gamma$; de grootte van deze hoek γ wordt immers bepaald door de waarde van q en φ.

Door toepassing van de sinusregel in $\triangle$ BDC vindt men:

$\sin\gamma = \frac{q \sin\varphi}{\sqrt{q^2 + 1 - 2q \cos\varphi}}$. Men ziet uit deze formule, dat als men aan q en φ andere waarden geeft, maar zo, dat de wortelvorm in de noemer gelijk blijft, toch γ van waarde verandert door de verandering van het product q sin φ in den teller, hoewel de straal van de gestippelde cirkels dezelfde blijft.

Men kan gemakkelijk aantonen, dat γ bij eenzelfde waarde van de wortelvorm, alle mogelijke waarden tussen 0 en 360° kan aannemen.

Analoog aan het behandelde in Hoofdstuk IV inzake de ligging van H ten opzichte van B (fig. 4), heeft men thans in fig. 6, dat de maximum afstand van G ten opzichte van D gelijk is aan de *middellijn* van de met gebroken lijn getrokken cirkels, t.w. $\frac{a \times v \times T}{\sin\alpha}$. Trekt men dus in fig. 6 met deze waarde als straal een cirkel (niet getekend) dan liggen alle mogelijke punten G, d.w.z. alle mogelijke verbeterde berekende ware plaatsen op het einde van het tijdvak van verzeiling op of binnen dezen cirkel. Evenals vroeger (Hfst. IV) heeft men nu, dat de maximum fout in stroomrichting, na toepassing van de correctie volgens Hoofdstuk II, wordt gemaakt als de verbindingslijn van A met het betreffende punt G aan deze cirkel raakt, dus

$$\sin \delta = \frac{\frac{a \times v}{\sin \alpha} \times T}{bv + av} = \frac{p \times T}{(p + 1) \sin \alpha}.$$

De maximum en minimum stroom, welke men berekenen kan, zijn dus gelijk aan:

$$\frac{b}{a + b}\left\{AD \pm \frac{av}{\sin \alpha} \times T\right\} = \frac{b}{a + b}\left\{(a + b)\, v \pm \frac{av}{\sin \alpha} \times T\right\} = bv \pm \frac{abvT}{(a + b) \sin \alpha}.$$

De maximum fout in stroomsnelheid wordt dus $\frac{abvT}{(a + b) \sin \alpha}$ en $x = \frac{p \times T}{(p + 1) \sin \alpha}$ $\times$ 100, dus weer 100 $\times$ de waarde van $\sin \delta$.

Om aan de in hoofdstuk I onder 6° gestelde voorwaarden te voldoen moet dus:

$\frac{p \times T}{(p + 1) \sin \alpha} < 0{,}383$ (= sinus van 2 streken).

Thans moet nog de maximum waarde van de vorm $T = \sqrt{q^2 + 1 - 2q \cos \varphi}$, waarvan alleen de positieve waarde betekenis heeft, vastgesteld worden. De wortelvorm neemt steeds in waarde toe als bij een bepaalde waarde van q, φ toeneemt van 0 tot 180°. Bij een bepaalde waarde van φ echter, bereikt hij een minimum waarde als $q = \cos \varphi$ en neemt dus toe zowel als q groter en als q kleiner wordt dan deze waarde.

Neemt men nu aan, als maximum afwijking van de werkelijke stroom in het tijdvak van de verzeiling ten opzichte van de werkelijke stroom in het tijdvak van stroomberekening, waarbij men de correctie methode van hoofdstuk II nog wil toepassen, een afwijking in stroomrichting van ten hoogste 4 streken en een afwijking in stroomsnelheid van ten hoogste 70 %, dan varieert φ dus tussen 0 en 45° en q tussen 0,3 en 1,7. De wortelvorm T bereikt dan zijn maximum waarde als $\varphi = 45°$ en daar $\cos 45° = 0{,}707$, bij $q = 0{,}3$ of bij $q = 1{,}7$. Het blijkt dat hij groter is bij $q = 1{,}7$ en als voor q deze waarde ingevuld wordt en voor φ 45°, wordt: $T = \sqrt{q^2 + 1 - 2q \cos \varphi} = 1{,}219$.

De eindvoorwaarde, waaraan voldaan moet worden om zeker te zijn dat de fout in berekende stroom binnen de in hoofdstuk I onder 6° genoemde grenzen blijft bij de boven omschreven maximale veranderlijkheid van de stroom, wordt dus:

$$\frac{p}{p + 1) \sin \alpha} \times 1{,}219 < 0{,}383, \text{ dus } \frac{p}{(p + 1) \sin \alpha} < 0{,}314.$$

Bij de beschouwingen in dit hoofdstuk is uitgegaan van een stersbestek, liggende aan het begin van het tijdvak van stroomberekening en een zonsbestek aan het einde. Liggen deze bestekken juist andersom, dan blijft de redenering precies dezelfde.

Noot. Volledigheidshalve wordt nog opgemerkt, dat de gestelde grenzen van de veranderlijkheid van de stroom, φ liggende tussen 0 en 45° en q tussen 0,3 en 1,7, juister gedefinieerd wordt door te zeggen, dat de wortelvorm $T = \sqrt{q^2 + 1 - 2q \cos \varphi}$ de waarde 1,219 niet mag overschrijden. Eén van de grootheden q of φ kan buiten genoemde grenzen liggen, mits de andere een zodanige waarde heeft, dat de wortelvorm 1,219 niet te boven gaat. De wortelvorm $\sqrt{q^2 + 1 - 2q \cos \varphi}$ wordt voor

$q = o$ gelijk aan 1, dus kleiner dan 1,219 zodat voor elke waarde van φ een maximum waarde van q aan te wijzen is waarbij nog aan genoemde voorwaarden voldaan is, deze waarden zijn opgenomen in onderstaand staatje. De minimum waarde van q is dus altijd o.

	φ	0°	30°	45°	60°	90°	120°	135°	150°	180°
max. waarde	q	2,2	2,0	1,7	1,4	0,7	0,4	0,3	0,2	0,2

VII

NADERE BESCHOUWING VAN HET BEGRIP „CONSTANTE STROOM", TWEE ZONSBESTEKKEN

Heeft men zowel voor begin- als voor eindbestek van de stroomberekening een zonsbestek, dan kan men de in het vorige hoofdstuk beschreven wijze om de maximum fouten te bepalen alleen toepassen, als de 2e en 3e hoogtelijn evenwijdig lopen, omdat alleen in dat geval de overeenkomstig hoofdstuk III verbeterde 2e en 3e hoogtelijnen het verlengde van de lijn AB (fig. 3) snijden in de punten C en D, zodat steeds CA : AB : BD = a : b : a'.

Gebruikt men dus uitsluitend twee middagbestekken voor de stroomberekening, op de wijze als aangenomen in hoofdstuk I onder 3°, dan gelden de volgende beschouwingen.

In fig. 7 is A de werkelijke ware plaats bij het begin, en B die aan het einde van

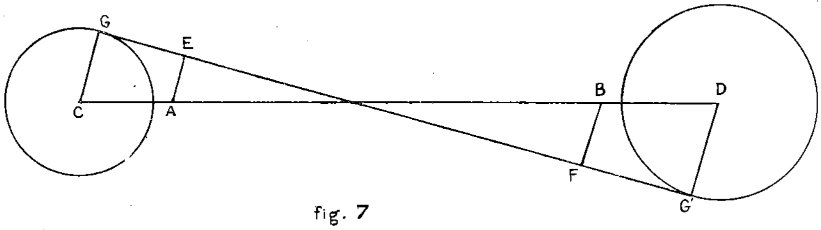


fig. 7

het tijdvak van stroomberekening, $AB = b \times v$. Men neemt op het verlengde van AB 2 punten C en D zodat CA : AB : BD = a : b : a'. Trekt men nu met de punten C en D als middelpunt cirkels met als straal resp. $\frac{a \times v}{\sin \alpha} \sqrt{q^2 + 1 - 2q \cos \varphi}$ en $\frac{a' \times v}{\sin \alpha'} \sqrt{q'^2 + 1 - 2q' \cos \varphi'}$, dan kan men, op overeenkomstige wijze als in het vorige hoofdstuk beschreven, aantonen, dat alle mogelijke plaatsen van het punt G uit figuur 6 liggen op of binnen deze cirkels voor alle willekeurige waarden van q en φ, zolang de bij het trekken van de cirkels aangenomen waarde van de wortelvorm niet overschreden wordt. Neemt men als grenswaarden voor de veranderlijkheid van de stroom gedurende de tijdvakken van beide verzeilingen dezelfde als in het vorige hoofdstuk aangenomen, dan is de waarde van de wortelvorm in beide gevallen 1,219. De stralen van de beide cirkels zijn dan resp. $\frac{1{,}219\ a \times v}{\sin \alpha}$ en $\frac{1{,}219\ a' \times v}{\sin \alpha'}$.

Het punt G in fig. 6 stelde voor de verbeterde berekende ware plaats aan het einde van het tijdvak van verzeiling. De verbindingslijn GG′ van een punt G in de cirkel om C (fig. 7) met een punt G′ in de cirkel om D stelt dus voor de verbeterde berekende stroom in een tijdvak van a + b + a′ uren, de gevraagde stroom is dus $\frac{b}{a+b+a'}$, maal deze afstand (EF).

De maximum fout in stroomrichting wordt weer gemaakt als GG′ aan beide cirkels raakt en de lijn CD tussen C en D snijdt, dus:

$$\sin\delta = 1{,}219\,\frac{\frac{a\times v}{\sin\alpha}+\frac{a'\times v}{\sin\alpha'}}{(a+b+a')\,v} = 1{,}219\left\{\frac{p}{(p+1+p')\sin\alpha}+\frac{p'}{(p+1+p')\sin\alpha'}\right\}.$$

De maximum en minimum stroom, welke men berekenen kan is:

$$\frac{b}{a+b+a'}\left\{DC \pm (CG + DG')\right\} =$$

$$= \frac{b}{a+b+a'}\left\{(a+b+a')\ v \pm \left(\frac{1{,}219\ a\times v}{\sin\alpha}+\frac{1{,}219\ a'\times v}{\sin\alpha'}\right)\right\} =$$

$$= bv \pm 1{,}219\left\{\frac{a\,b\,v}{(a+b+a')\sin\alpha}+\frac{a'\,b\,v}{(a+b+a')\sin\alpha'}\right\}.$$

Daar de werkelijke stroom weer gelijk is aan $b\times v$ is:

$$x = \frac{1{,}219\left\{\frac{a\,b\,v}{(a+b+a')\sin\alpha}+\frac{a'\,b\,v}{(a+b+a')\sin\alpha'}\right\}}{b\,v}\times 100 =$$

$$= 1{,}219\left\{\frac{p}{(p+1+p')\sin\alpha}+\frac{p'}{(p+1+p')\sin\alpha'}\right\}\times 100,$$

dus weer 100 maal de waarde voor $\sin\delta$.

De eindvoorwaarde, waaraan voldaan moet worden om zeker te zijn dat de fout in berekende stroom binnen de in hoofdstuk I onder 6° gestelde grenzen blijft, wordt dus:

$$\frac{1}{p+p'+1}\left\{\frac{p}{\sin\alpha}+\frac{p'}{\sin\alpha'}\right\} < 0{,}314.$$

VIII

CONCLUSIES

Onderstaande conclusies gelden alleen, indien gehandeld wordt overeenkomstig de in hoofdstuk I, 1° t/m 3° vermelde regels. Voorts is α weer de scherpe snijdingshoek der hoogtelijnen en p de verhouding $\frac{\text{duur van het tijdvak van verzeiling}}{\text{duur van het tijdvak van stroomberekening}}$.
α' en p′ hebben dezelfde betekenis voor de tweede verzeiling bij stroomberekening uit twee zonsbestekken.

Indien aan de in dit hoofdstuk onder II genoemde voorwaarden wordt voldaan, is men zeker, dat de fout in berekende stroomrichting kleiner is dan twee streken en de fout in berekende stroomsnelheid kleiner dan 40 % van de werkelijke stroomsnelheid. Onder III geldt hetzelfde voor de verbeterde berekende stroomrichting en stroomsnelheid.

I. *In gebieden van zeer sterk veranderlijke stromen*

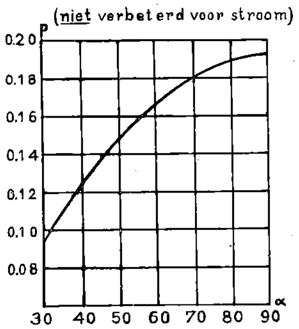
Is het karakter van de stroom in een bepaald gebied zodanig, dat men geen enkele beperking van de mate van veranderlijkheid mag aannemen, dan doet men beter zonsbestekken niet voor stroomberekening te gebruiken, omdat in ongunstige gevallen, niettegenstaande een kort tijdsverloop van verzeiling en een gunstige snijdingshoek van de hoogtelijnen, de berekende stroom belangrijk van de werkelijke kan afwijken.

II. *In gebieden van veranderlijke stromen*

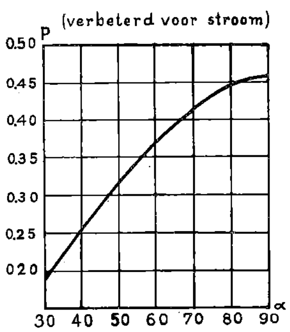
Mag men aannemen, dat de werkelijke stroomsnelheid gedurende het tijdvak van verzeiling niet meer dan tweemaal zo groot is als die in het tijdvak van stroomberekening, dan kan men zonsbestekken voor stroomberekening gebruiken, onafhankelijk van de grootte der verandering in stroomrichting gedurende deze tijdvakken, mits aan onderstaande voorwaarden wordt voldaan. In dit geval wordt geen correctie op de stroomberekening toegepast.

A. Bij gebruik van één zonsbestek.

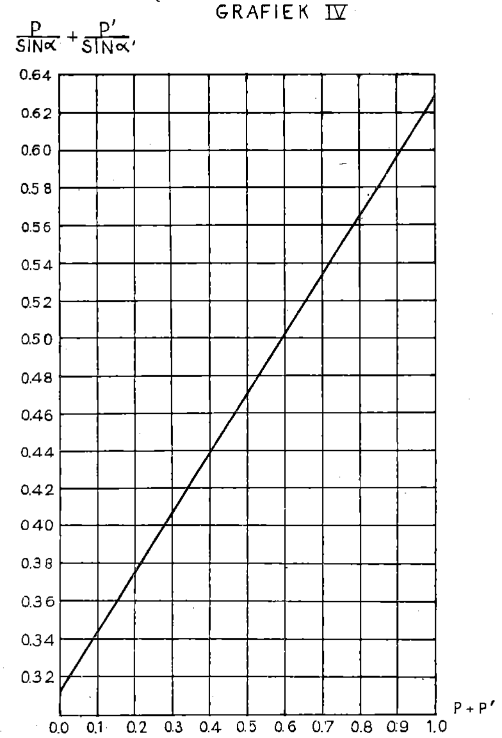
GRAFIEK I



GRAFIEK III



GRAFIEK IV



Voorwaarde: $\frac{p}{\sin\alpha} < 0{,}191.$

Om dit na te gaan, zoekt men in grafiek I het snijpunt van abscis en ordinaat, behorende bij de waarde van α en p, valt dit snijpunt onder de kromme, dan is aan deze voorwaarde voldaan.

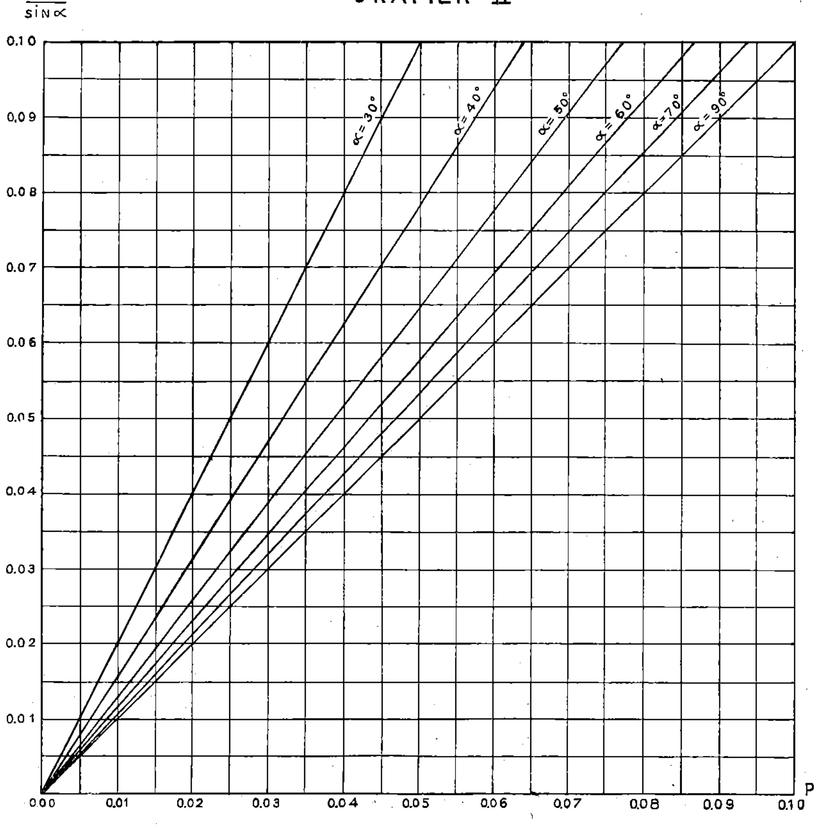
Bij een bepaald tijdvak van stroomberekening kan men met behulp van de grafiek, en met inachtname van de snelheid van verandering van het azimuth ter plaatse, nagaan of men het tijdsverloop van de verzeiling nog zodanig kiezen kan, dat voldoend nauwkeurige stroomberekening mogelijk is.

B. Bij gebruik van twee zonsbestekken.

Voorwaarde: $\frac{p}{\sin\alpha} + \frac{p'}{\sin\alpha'} < 0{,}191.$

Met behulp van grafiek II kan men de waarde van $\frac{p}{\sin\alpha}$ en $\frac{p'}{\sin\alpha'}$ bepalen en door de som hiervan te nemen kan men nagaan of voldoend nauwkeurige stroomberekening nog kan plaats vinden. Hierbij wordt opgemerkt, dat, aangezien de lijnen in deze grafiek recht zijn, men de staande en liggende randverdeling met eenzelfde

GRAFIEK II



willekeurig getal mag vermenigvuldigen, zodat de grafiek ook bruikbaar is voor grotere waarden, dan in de randverdelingen aangegeven zijn.

Voert men de stroomberekening uit van middagbreedte tot middagbreedte en zijn beide tijdsverlopen van verzeiling en beide snijdingshoeken even groot, dan kan men met behulp van grafiek II gemakkelijk de maximum tijdsverlopen voor de verzeilingen bij de verschillende snijdingshoeken bepalen. Als het tijdsverloop van stroomberekening precies 24 uur is vindt men:

Bij een snijdinghoek	: 30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	
Max. tijdsverloop verzeilingen:	69	89	106	119	129	136	138	minuten.

Het azimuth zal nabij de meridiaansdoorgang niet altijd voldoende snel veranderen. Zo zal in het algemeen alleen hieraan voldaan worden bij de kleinere snijdingshoeken en op hoge breedte dan nog alleen in de zomer.

III. *In gebieden van nagenoeg constante stromen*

Als nagenoeg constante stromen worden beschouwd stromen, waarbij de stroomrichting in het tijdvak van verzeiling niet meer dan vier streken en de stroomsnelheid niet meer dan 70 % afwijkt van deze zelfde grootheden in het tijdvak van stroomberekening.

Past men nu op de stroomberekening een correctie toe, als aangegeven in hoofdstuk II en III, dan kan men zonsbestekken voor de stroomberekening gebruiken, mits aan onderstaande voorwaarden wordt voldaan.

A. Bij gebruik van één zonsbestek.

Voorwaarde : $\dfrac{p}{(p+1)\sin\alpha} < 0{,}314.$

Om dit na te gaan, zoekt men in grafiek III het snijpunt van abscis en ordinaat, behorende bij de waarde van α en p; valt dit snijpunt onder de kromme, dan is aan deze voorwaarde voldaan.

Bij een bepaald tijdvak van stroomberekening kan men met behulp van deze grafiek en met inachtname van de snelheid van verandering van het azimuth ter plaatse, nagaan of men het tijdsverloop van verzeiling nog zodanig kiezen kan, dat voldoend nauwkeurige stroomberekening mogelijk is.

B. Bij gebruik van twee middagbreedtes.

Voorwaarde : $\dfrac{1}{p+p'+1}\left\{\dfrac{p}{\sin\alpha}+\dfrac{p'}{\sin\alpha'}\right\} < 0{,}314.$

De waarden van $\dfrac{p}{\sin\alpha}$ en $\dfrac{p'}{\sin\alpha'}$ kunnen weer met behulp van grafiek II bepaald worden.

Men zoekt vervolgens met de som $\dfrac{p}{\sin\alpha}+\dfrac{p'}{\sin\alpha'}$, en met $p+p'$ in grafiek IV; valt het snijpunt onder de getrokken lijn, dan is aan de eis voldaan.

Zijn beide tijdsverlopen van verzeiling en beide snijdingshoeken even groot en is het tijdsverloop van stroomberekening precies 24 uur, dan vindt men als maximum tijdsverloop van de verzeilingen bij de verschillende snijdingshoeken:

Bij een snijdingshoek :	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Max. tijdsverloop verzeiling:	2^u14^m	3^u02^m	3^u48^m	4^u29^m	5^u01^m	5^u22^m	5^u29^m

De azimuthverandering nabij de meridiaansdoorgang is onder alle omstandigheden zo snel, dat zij voor de snijdingshoeken van 30° tot en met 60° binnen de aangegeven tijdsverlopen valt.

Om te beslissen of het gebruik van een zonsbestek voor de stroomberekening toelaatbaar is, zal men dus eerst moeten uitmaken in welk van de drie, in dit hoofdstuk onderscheiden gebieden men zich bevindt.

Snijdt de koers van het schip de Golfstroom, Equatoriaalstroom, enz. of bevindt men zich onder invloed van getijstromen, dan zal men zich in een gebied van zeer sterk veranderlijke stromen (I) moeten beschouwen. Stoomt men daarentegen in de as van Golfstroom, Equatoriaalstroom, enz., dan kan men zeggen zich in een gebied van nagenoeg constante stromen te bevinden (III).

Verkeert men in het geval, dat stroomberekening als aangegeven voor gebied II niet mogelijk is, omdat de azimuthverandering van de zon niet snel genoeg is om een voldoend klein tijdvak van verzeiling bij een bepaalde snijdingshoek te kunnen krijgen en twijfelt men of men zich wel mag beschouwen in een gebied van nagenoeg constante stromen, dan verdient het aanbeveling de stroomberekening wèl overeenkomstig gebied III uit te voeren en de beoordeling van de betrouwbaarheid der stroomuitkomst aan het K.N.M.I. over te laten.

Teneinde in het algemeen deze beoordeling mogelijk te maken is het nodig — in geval een zonsbestek voor de stroomberekening wordt gebruikt — de grootte van de snijdingshoek der hoogtelijnen en de duur van het tijdvak van verzeiling voor elke verzeiling op te geven en tevens te vermelden of de correctie voor stroomverzetting al dan niet is toegepast.

erlands
Instituut

ILT

36803 - '49