

Oriënterende studie van de mogelijkheden voor een troposferisch verstrooiingsnetwerk in Ethiopië

Citation for published version (APA):

van Dijl, B., & Verkroost, G. (1964). *Oriënterende studie van de mogelijkheden voor een troposferisch verstrooiingsnetwerk in Ethiopië*. Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1964

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Oriënterende studie van de mogelijkheden voor een
troposferisch verstrooiingsnetwerk in Ethiopië

door

Prof.ir. B. van Dijl

met medewerking van de Heer G. Verkroost,
cand. e.i., die de kaart-verkenningen en bere-
keningen uitvoerde als deel van het werk ter
verkrijging van het diploma van Elektrotechnisch
ingenieur.

Oriënterende studie van de mogelijkheden voor een
troposferisch verstrooiingsnetwerk in Ethiopië

(Addis Abeba - Asmara)

1. Inleiding.

Het doel van deze oriënterende studie is na te gaan of de troposferische verstrooiingstechniek in principe in aanmerking komt voor het tot stand brengen van een radiotelefonieverbinding met ten minste 60 kanalen in Ethiopië tussen Addis Abeba en Asmara met een aftakstation in Dessie (fig.3.).

Het was aanvankelijk de bedoeling deze studie te baseren op kaarten met een schaal van minstens 1:50.000. Deze kaarten zijn tot nu toe niet beschikbaar zodat de hieronder bestudeerde mogelijke radio-wegen uitsluitend afgeleid werden uit de thans beschikbare kaarten ¹⁾ met een schaal 1:10⁶.

Nadrukkelijk moge er op gewezen worden dat de met deze hulpmiddelen verkregen resultaten een beperkte waarde hebben; het al of niet mogelijk zijn van de verstrooiingsverbinding kan met deze middelen niet definitief vastgesteld worden. Bij de trajectanalyse (paragraaf 5) is echter op een zodanige wijze benaderd dat de resultaten, die met nauwkeuriger kaarten verkregen zullen worden, waarschijnlijk gunstiger zullen uitvallen dan nu het geval is. Dit zou dan vermoedelijk inhouden, zoals hieronder aangetoond wordt, dat een verstrooiingscircuit dat aan de gestelde eisen voldoet tussen genoemde plaatsen mogelijk is.

Uiteraard zullen de met behulp van kaartenstudies bereikte resultaten met verkenningen in het terrein dienen te worden aangevuld.

1) Uitgave : War Office and Air Ministry, Dep. of Survey, England, series GSGS 4646, Sheet NC-37, Edition 2-GSGS.

2. Algemene beschrijving van het propagatiemedium, de terreingesteldheid voor zover van belang voor de mogelijkheden van een verstrooiingsnetwerk en de radioapparatuur.

2.1. Propagatiemedium.

Bij een verstrooiingsverbinding worden de propagatieverliezen gevormd door het vrije ruimteverlies - welke voornamelijk bepalend is bij een direkt-zichtverbinding - en een overhorizons(OH)-verliescomponente welke sterk toeneemt met de z.g. verstrooiingshoek σ (zie figuur 1 en 2). Doordat het verstrooiende mechanisme van atmosferische condities afhangt zijn deze verliezen variabel; de fadingcomponente welke hier-

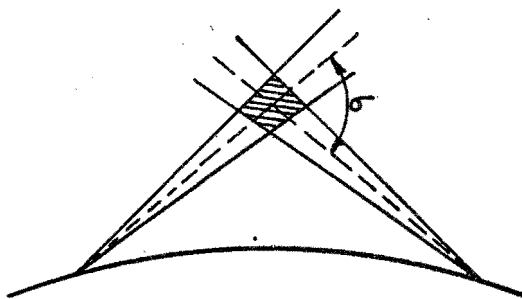


fig.1.

mede correspondeert duidt men aan met "langzame fading", ook wel "korte termijn mediane overhorizonsverliezen". Doordat voorts het gehele "gemeenschappelijke volume" van de antennes (de gearceerde ruimte in fig.1.) een bijdrage tot het ontvangen signaal levert ontstaat er door interferentie van via diverse wegen ontvangen signalen bovendien een snelle fading. De afstand tussen zend- en ontvangantenne speelt, zoals uit het voorgaande duidelijk zal zijn, bij de verliezen een belangrijke rol: de groot-cirkel afstand bepaalt het vrije ruimteverlies terwijl de hoek σ de bepalende faktor voor het "over-horizonsverlies" is.

De over-horizons afstand wordt gedefinieerd als het product van de verstrooiingshoek σ en de gecorrigeerde aardstraal kR , dus σkR .

Wanneer het zend- resp. ontvangstation hun horizon, in de richting van de verbinding, waarnemen onder een horizonshoek $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$ (zie fig.2.), dan geldt voor de grootcirkelhoek θ :

$$\theta = \sigma$$

Zien de uiteinden de horizon resp. onder hoeken α_1 en α_2 , waarbij de hoek positief gerekend wordt in de richting van het zenith, dan geldt

$$\sigma = \theta + \alpha_1 + \alpha_2$$

Vermenigvuldiging van linker- en rechter lid met kR levert

$$d_{OH} = d + d_1 + d_2$$

waarin d de gecorrigeerde grootcirkel afstand en $d_1 = +\alpha_1 kR$, $d_2 = +\alpha_2 kR$ de horizonsafstanden voor de verbinding.

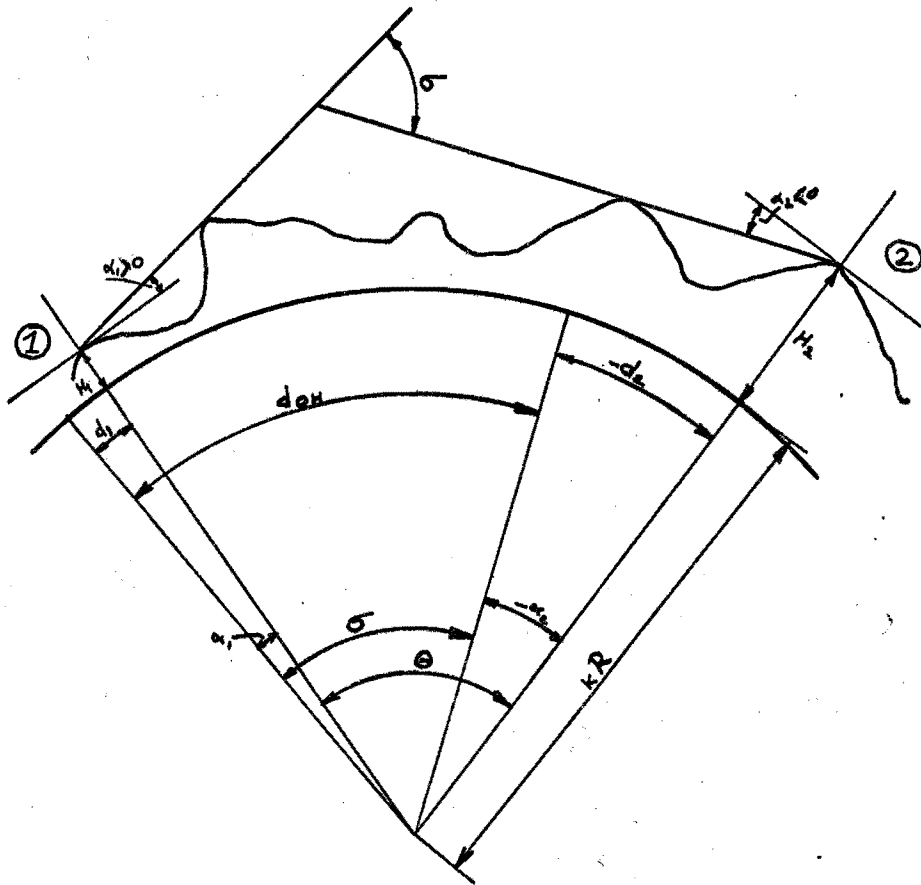


fig.2.

De over-horizons afstand kan geringer, gelijk aan of groter zijn dan de grootcirkel afstand, wanneer de horizonshoeken resp. negatief, nul of positief zijn.

Door de horizonshoeken klein en bij voorkeur negatief te doen zijn, door de lokatie van de stations hoog te kiezen, kunnen de overhorizons afstanden en daarmee de verliezen, aanzienlijk verminderen.

2.2. Algemene beschrijving van het landschap.

Het deel van Ethiopië, ten westen van een ruwweg noord-zuid verlopende lijn welke men zich oostelijk van Addis Abeba kan denken, is gelegen op een hoogvlakte onderbroken door bergformaties. Addis Abeba zelf ligt op de hoogvlakte en zo ook de eventuele stations van de radioketen, wanneer men deze globaal zuid-noord zou doen verlopen.

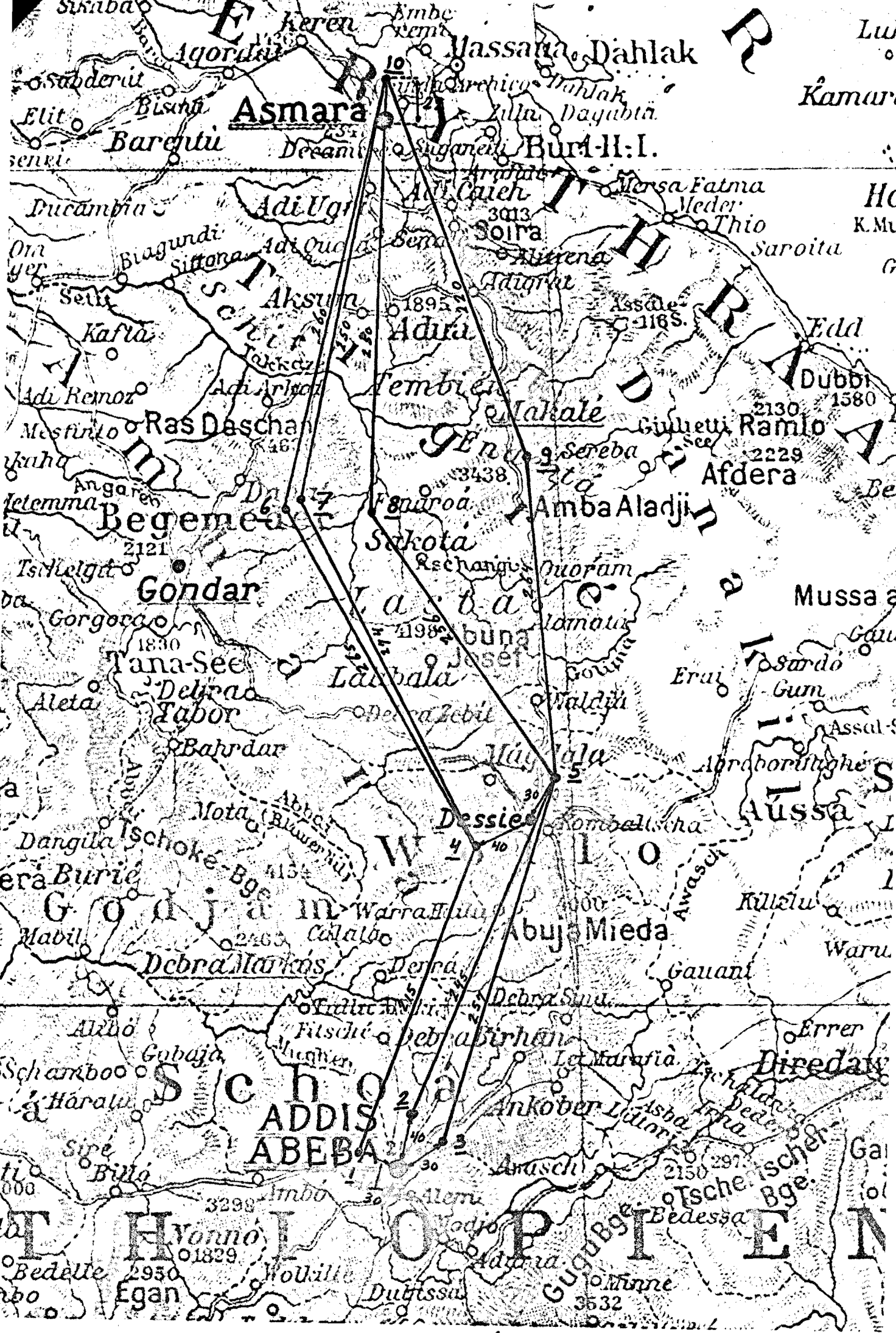
De hoogvlakte rijst abrupt uit de ten oosten gelegen Danakil woestijn op met een hoogteverschil van ca. 2000 à 2500 meter. Naar het westen daalt het plateau geleidelijk naar de Soedan. De weg van Addis Abeba naar Asmara beklimt de wand van het plateau op verschillende punten. In het gebied waarin het netwerk zou moeten worden aangelegd komen een aantal hoge toppen voor: Abuya Alagi (+ 4000 m) in de omgeving van Dessie, en Amba Alagi (+ 3500 m) in de omgeving van het halverwege Dessie en Asmara gelegen Makkale. Ook meer naar het westen, in de richting van Gondar, vindt men nog een aantal hoge toppen met hoogten tot 4700 m. Geen der hoge toppen in dit gebied draagt eeuwige sneeuw. 2) Het land lijkt zich door zijn ontoegankelijkheid, door het geringe aantal benodigde aftakstations en door de terreingesteldheid (verschillende dalen min of meer noord-zuid) te lenen voor toepassing van de verstrooiingstechniek voor de route Addis Abeba - Asmara. Vermoedelijk is een straalverbinding de meest geschikte oplossing voor het circuit Asmara - Massawa.

2) Ontleend aan de Encyclopaedia Britannica.

Het wegennet is primitief. Een lokatie van de stations op wat grotere afstanden van de weinige "hoofdwegen" moet uitgesloten worden geacht wanneer geen gebruik gemaakt kan worden van helicopters bij de bouw en het onderhoud van de stations. De keuze van hoog gelegen terreinen voor de stations zal in verband met het voorgaande dan vermoedelijk ook op economische en praktische bezwaren stuiten. In de thans nader onderzochte circuits liggen de "scatter"-stations op middelmatige hoogte en op vrij geringe afstanden van bestaande hoofdwegen.

2.3. Globale karakterisering van de radio-apparatuur.

Door de, ondanks zo gunstige mogelijke keuze van de ligging van de stations, toch nog hoge propagatieverliezen, moet bij een verstrooiingsnetwerk waarmede afstanden van 100 à 500 km overbrugd kunnen worden, afhankelijk van de omstandigheden, gebruik gemaakt worden van zendvermogens van 1 à 50 kW, parabolische antennes met een diameter van de reflector van 3 à 40 m en van gevoelige ontvangers; de invloed van de snelle fading op het ontvangen signaal kan verminderd worden door z.g. "diversity technieken" van verschillende orde van gecompliceerdheid. De uiteindelijke keuze van de opgesomde grootheden hangt af van de verliezen van het traject (paragraaf 5) en van de eisen welke men aan de kwaliteit van de verbinding stelt (paragraaf 4).



Asmara

Massawa **Dahlak**

Barentu

Bur-H-I.

Adi Ugr

Adi Caeh

Biagundi

Adi Ouc

Mersa Fatma

Setta

Aksum

Adirra

Kafta

Adira

Assale

Adi Remoz

Adi Arigat

Tembie

Thio

Ras Daschan

Ras Daschan

Takale

Gulhetti

Angaren

Daba

Sereba

Ramlo

Telemma

Aguroa

Amba Aladji

Afdera

Begeme

Sakota

Sakota

Mussa

Gondar

Gondar

Tana-See

Mussa

Gorgora

Tana-See

Lachala

Mussa

Debra

Debra

Lachala

Mussa

Tabor

Debra

Lachala

Mussa

Bahrdar

Debra

Lachala

Mussa

Mota

Debra

Lachala

Mussa

Dangila

Debra

Lachala

Mussa

Burie

Debra

Lachala

Mussa

Godja

Debra

Lachala

Mussa

Mabil

Debra

Lachala

Mussa

Debra

Debra

Lachala

Mussa

Derra

Debra

Lachala

Mussa

Alcho

Debra

Lachala

Mussa

Gubaja

Debra

Lachala

Mussa

Schambo

Debra

Lachala

Mussa

Haratu

Debra

Lachala

Mussa

Sire

Debra

Lachala

Mussa

Bedelle

Debra

Lachala

Mussa

Egan

Debra

Lachala

Mussa

Bedelle

Debra

Lachala

Mussa

3. Het overhorizons propagatieverlies.

Zoals eerder vermeld heeft men, wat het propagatieverlies betreft, rekening te houden met de langzaam variërende OH-verliezen (langzame fading), welke sterk met de OH-afstand toenemen en voorts met een snelle interferentie fading, snel variërende verliezen, gesuperponeerd op de langzaam veranderende over-horizonsverliezen. De fluctuaties tengevolge van de snelle fading vertonen een duur van 100 msec. tot enige seconden. De beide verschijnselen worden beschreven met behulp van statistische middelen.

Als gegevens voor de langzame fading staan ter beschikking verdelingskrommen volgens metingen van het Lincoln laboratorium ³⁾ (aangeduid met Morrow-krommen), en die welke door het C.C.I.R. ⁴⁾ worden aanbevolen. Deze laatsten zijn afgeleid uit meer recente metingen en wijken enigszins af van de krommen van Morrow. De Morrow-krommen geven voor kortere OH-afstanden iets grotere verliezen dan die van het C.C.I.R. ; voor grotere afstanden zouden de Morrow-krommen te optimistisch zijn. Volgens het C.C.I.R. gelden voor Ethiopië de toepassing van deze propagatiegegevens (gematigd continentaal klimaat, zie ref. 4, p.145). Zou overigens blijken dat men voor Ethiopië toch met een tropisch klimaat rekening heeft te houden, dan kan opgemerkt worden dat de verliezen voor tropische gebieden blijkens sommige ervaringen geringer zijn dan die voor gebieden op hogere breedte ⁵⁾.

De over-horizons verliezen blijken in het algemeen van maand tot maand verschillend te zijn; bij de hierna volgende berekeningen wordt gebruik gemaakt van de C.C.I.R.-krommen die gelden voor de slechtste maand (de winterperiode) van het jaar.

3) Mellen, Morrow, Poté, Radford, Wiesner, UHF Longe-range Communications Systems, P.I.R.E. 43, 1269, okt. 1955.

4) C.C.I.R. documents of the Xth Plenary Assembly, Volume V (propagation), Geneva 1963.

5) Report of the Joint Technical Advisory Committee, Longe-range Tropospheric Transmission, P.I.R.E. 48, 30, Jan.1960.

4. Aan de signaalkwaliteit te stellen eisen.

Het is doelmatig gebleken bij de thans in gebruik zijnde veel-kanalen-telefonie- en radio-apparatuur de aan de signaal-kwaliteit te stellen eisen uit te drukken in signaal-ruis verhoudingen. Aangezien bij de telefoonketen het signaal-niveau op het punt van relatief niveau nul (de tweedraadsklemmen van de vork) vast ligt, is het voldoende het ruisniveau op dit punt te definiëren resp. te berekenen. De ruis welke op dit punt ontstaat is afkomstig van

1. de telefonieapparatuur,
2. de radio-apparatuur en het radiopropagatiemedium.

De onder 1. genoemde ruis valt buiten het bestek van dit rapport, de onder 2. genoemde ruis kan verdeeld worden in:

- a. de thermische ruis, voornamelijk afkomstig van de eerste trappen van de radio-ontvangapparatuur.
- b. intermodulatie-ruis.

De intermodulatie-ruis is bij toepassing van frequentiemodulatie over het algemeen een gevolg van looptijd effecten in b.v. golfgeleiders of in het propagatiemedium. In het bijzonder van deze laatste bijdrage zijn nog slechts weinig gegevens bekend. Voor de intermodulatie-ruis welke onafhankelijk is van het radio-pad dient een vast ruisvermogen gereserveerd te worden. De NATO, welke organisatie het eerste zeer grote verstrooiingsnetwerk installeerde, heeft indertijd 5000 pW voor deze post gereserveerd voor een keten ter lengte van het hypothetisch referentie circuit. Of dit bedrag juist is, nu ook het medium een bijdrage blijkt te leveren, dient onderzocht te worden.

De thermische ruis wordt bepaald door de sterkte van het ontvangen signaal. Hierdoor is het te ontwerpen radio-circuit voornamelijk verantwoordelijk voor deze ruis, zodat

het thermisch ruisniveau een belangrijke rol speelt in de beoordeling van de keten. Uiteraard zal deze ruis, tengevolge van de fading van het signaal, variabel zijn. Omdat de wijze waarop het C.C.I.R. de eisen voor het ruisniveau van een communicatieketen ter lengte van het hypothetisch referentiecircuit specificiceert niet onmiddellijk te herleiden zijn tot die voor één radiosprong, wanneer gebruik gemaakt wordt van verstrooiing, werd in verband met tijdverlies bij de thans gevolgde berekening gebruik gemaakt van de eisen voor de gemiddelde thermische ruis zoals die door de NATO gesteld werden voor het genoemde netwerk.

Hierbij wordt de tijd waarover gemiddeld wordt uitgestrekt over de gehele periode waarvoor de verdeling geldt, dus b.v. de slechtste maand van het jaar.

Het gemiddelde van het ruisvermogen aan het eind van een uit meerdere secties opgebouwde keten is n.l. gelijk aan de som van de gemiddelde bijdragen van de secties. Hierdoor zal men kunnen aanvaarden dat het redelijk is de totaal toe te laten gemiddelde ruis evenredig met de lengte over de diverse secties van de keten te verdelen. De NATO heeft voor de gemiddelde ruis, gemeten op het punt van relatief niveau nul, aanvaard het bedrag van 5 pW per overbrugde km. Dit niveau werd gehanteerd voor de in de appendix opgenomen berekening .

Het verlies corresponderend met de gemiddelde ruis volgt niet onmiddellijk uit de distributie krommen en dient daaruit door transformatie van de verdeling berekend te worden. Aangezien het C.C.I.R. uitgaat van een log. normale verdeling van de langzame OH-verliezen, is de berekening eenvoudig en werd opgenomen in appendix II.

De NATO zowel als het C.C.I.R. stellen naast de eisen aan gemiddelde thermische ruis, nog eisen aan de "piek"-ruis, d.i. de ruis welke gedurende bepaalde korte tijden niet mag worden overschreden. Een voorlopige controle heeft geleerd dat de in dit verband gestelde eisen ruimschoots zijn vervuld,

wanneer aan de voorwaarden voor de gemiddelde ruis is voldaan, reden waardoor dit probleem in dit verslag verder buiten beschouwing blijft.

In een later stadium zullen dezerzijds zo mogelijk ook de C.C.I.R. eisen voor piek-ruis in het hypothetisch referentie circuit herleid worden tot die voor één sectie.

Opgemerkt moge worden dat op berekeningen, zoals hier uitgevoerd, kritiek mogelijk is vanwege het onzekere element in de propagatiegegevens en van de analyse van de trajecten. In verband met het eerste punt zal men dan ook steeds bij de uiteindelijke beoordeling van het ontwerp enkele dB's "achter de hand" hebben te houden. Wat betreft de traject analyse, een verificatie van de verkregen resultaten van kaarten, zal in het terrein dienen te geschieden. De berekening is voor het overige zo exact uitgevoerd als mogelijk ten einde geen andere onzekerheden te introduceren.

5. De trajectanalyse.

De trajectanalyse houdt in het onderzoek van de eigenschappen van de radioverbindingsweg tussen mogelijke eindstations. Zoals opgemerkt beperkt de analyse zich tot de verbinding Addis Abeba - Asmara met een aftakstation te Dessie.

De zenders voor de verstrooiingsverbinding kunnen niet in de drie genoemde steden opgesteld worden doch dienen op een niet te grote afstand hiervan gebouwd te worden. De verbinding met de steden kan dan met een straalverbinding verzorgd worden. Hierdoor ontstaat de mogelijkheid de "scatter" stations op gunstige punten te plaatsen. De verbinding Addis Abeba - Dessie kan in één sprong gemaakt worden en de verbinding Dessie - Asmara zal bestaan uit twee sprongen met een relais station op een gunstige plaats.

Bij de keuze van een traject zijn van belang:

1. de plaats van de stations
 2. het profiel van het traject;
- met de hoogten van de stations is dit laatste bepalend voor de radio eigenschappen van een sectie.

5.1. Lokatie van de stations.

Betreffende de plaats van de stations kunnen de volgende eisen gesteld worden:

- a. bij Addis Abeba, Dessie en Asmara dienen de stations niet meer dan ca. 50 km van de stad verwijderd te zijn en moeten hierop vrij zicht hebben; dit laatste is nodig om een eenvoudige straalverbinding met de stad mogelijk te maken,
- b. de bouw van de stations zou mogelijk moeten zijn met behulp van rijdend materiaal; daarom zullen de stations op korte afstand van een weg en niet hoog ten opzichte hiervan geplaatst dienen te worden.

De radio-eigenschappen van een traject worden bepaald door de lengte ervan en door de horizonshoeken aan zend- en ontvangkant, zoals reeds zijn aangeduid in paragraaf 2. Om de verstrooiingshoeken zo klein mogelijk te doen zijn moeten deze horizonshoeken bij voorkeur negatief zijn.

De horizonshoek wordt bepaald (zie ook fig. 2) door de hoogte van het eindpunt en de afstand en hoogte van het obstakel dat aanleiding geeft tot de grootste horizonshoek (horizons-obstakel). In verband hiermede dienen ook nog de volgende eisen gesteld te worden:

- c. de antennes dienen zo hoog mogelijk opgesteld te zijn.
- d. de hoogten van "horizonsobstakels" moet zo gering mogelijk zijn.
- e. de afstand van de antenne tot het obstakel moet zo groot mogelijk zijn.

Eis c is tegenstrijdig aan eis b.

In het hiernavolgende zullen verschillende mogelijke trajecten worden aangegeven waarvan de eigenschappen voldoen aan de eisen c, d en e. Daarna zal uit deze trajecten keuze gemaakt worden waarbij de eis a en b in aanmerking genomen worden.

5.2. Onderzoek van mogelijke trajecten.

De overhorizonsafstand wordt gegeven door:

$$d_{OH} = d + 148 (\alpha_1 + \alpha_2) \quad (\text{km})$$

waarin de horizonshoek α ($^{\circ}$) gegeven is door

$$\alpha = \left(\frac{h_t - H}{d_t} - \frac{d_t}{17} \right) \times 0,0573^{\circ} \quad (\text{Zie appendix I})$$

Hierin is:

- d : de lengte van het traject in km,
- α_1 en α_2 : de horizonshoeken bij de twee eindstations in graden,
- H : de antennehoogte in meters,
- h_t : de hoogte van het horizon-obstakel in meters,
- d_t : de afstand van het beschouwde station tot het horizon-obstakel in km.

In tabel II zijn voor de trajecten die gunstig zijn wat betreft de eigenschappen voor een verstrooiingsverbinding, de afstand en de horizonafstand gegeven. Het traject wordt aangegeven als de verbinding tussen twee genummerde punten, waarvan de ligging in fig. 3 is aangegeven. De geografische coördinaten en hoogten van de diverse punten is aangegeven in tabel I.

Plaats (nr)	Breedte (N)	Lengte (O)	Hoogte (m)
1	9°12'	38°32'	3200
2	9°20'	38°53'	3700
3	9°11'	39° 0'	3200
4	10°59'	39°16'	4200
5	11°20'	39°51'	2600
6	13°14'	38°26'	4500
7	13°21'	38°29'	4000
8	13°17'	38°58'	2500
9	13°43'	39°51'	3100
10	15°33'	38°55'	2600

Tabel I Geografische coördinaten en hoogten van diverse onderzochte plaatsen.

Traject	d (km)	d _{OH} (km)
1 - 4	215	L.O.S.
2 - 5	245	166
3 - 5	257	196
4 - 6	265	L.O.S.
4 - 7	274	72
4 - 8	256	178
5 - 8	238	186
5 - 9	264	179
6 - 10	260	L.O.S.
7 - 10	250	13,3
8 - 10	250	120
9 - 10	220	121

Tabel II Afstand en overhorizonafstand van verschillende onderzochte trajecten.

De uitdrukking L.O.S. in tabel II geeft aan dat bij de aanname $k = 4/3$ voor de correctie van de aardstraal, een "line of sight" verbinding over dit traject mogelijk is. Aangetekend zij dat dit een riskante L.O.S. is, want de verbinding kan voor kleine veranderingen van k reeds buiten een "line of sight" geraken.

Op de plaatsen genoemd in tabel I kan nog het volgende commentaar gegeven worden (zie ook fig.3).

- ad 1: Dit punt ligt niet te hoog en niet te ver van een weg; is bruikbaar;
- ad 2: idem;
- ad 3: afstand tot Addis Abeba (2500 m) is 30 km, het punt is 4 km verwijderd van de stad Sendara (2600 m) welke stad aan een hoofdverkeersweg ligt; dit punt is zeer goed bruikbaar;
- ad 4: is te hoog gelegen en te ver van een goede weg; waarschijnlijk niet bruikbaar;
- ad 5: afstand tot Dessie (2500 m) is 30 km; dit punt ligt niet hoog en direkt aan een onverharde weg, welke zich op 18 km afstand afsplitst van een hoofdverkeersweg;
- ad 6: ligt zeer hoog, op de hoogste berg (Dascia) van Ethiopië en is ver van elke verkeersweg; niet bruikbaar;
- ad 7: voor dit punt geldt hetzelfde als voor plaats 6;
- ad 8: ligt niet hoog en direkt aan een onverharde weg welke zich op 6 km afstand afsplitst van een hoofdverkeersweg; zeer goed bruikbaar;
- ad 9: ligt niet te hoog maar wel ver verwijderd van een verkeersweg; is waarschijnlijk bruikbaar;
- ad 10: afstand tot Asmara (2200 m) is 22 km; is 4 km verwijderd van een verkeersweg die op dezelfde hoogte ligt;

Hoewel plaats 9 bruikbaar zou kunnen zijn als terrein voor een relaisstation is dit punt niet verder in beschouwing

genomen omdat punt 8 zeer goed bruikbaar is en meer westelijk ligt, hetgeen belangrijk is wanneer in een later stadium Gondar op het circuit zou moeten worden aangesloten. Het is dan mogelijk de verbinding met Gondar vanuit dit punt te verzorgen met een verstrooiingsverbinding.

De trajecten 2-5, 3-5, 5-8 en 8-10 zijn dus trajecten waarbij de eindstations op verantwoorde plaatsen gesitueerd zijn. Deze trajecten worden nu verder op hun eigenschappen onderzocht. In tabel III zijn de belangrijkste karakteristieken aangegeven terwijl in fig. 4a, b, c en d de profielen op een parabolisch raster uitgezet zijn ($k = 4/3$).

Traject	d (km)	H ₁ (m)	H ₂ (m)	h _{t1} (m)	d _{t1} (km)	h _{t2} (m)	d _{t2} (km)	α ₁ graden*	α ₂ graden	d _{OH} (km)
2 - 5	245	3700	2600	3100	185	3100	60	-0,81	+0,28	166
3 - 5	257	3200	2600	2600	85	2700	17	-0,69	+0,28	196
5 - 8	238	2600	2500	3000	94	3000	144	-0,071	-0,28	185
8 - 10	250	2500	2600	2500	110	2500	140	-0,37	-0,51	120

Tabel III De voor de propagatie belangrijke gegevens van het traject.

De indices "1" of "2" geven aan op welk station de gegevens betrekking hebben; de "1" heeft betrekking op het station dat in de traject-kolom het eerst genoemd wordt, de "2" op het laatst genoemde station. h_t en d_t zijn resp. hoogte van het horizonsobstakel en de afstand hiervan tot bedoelde station.

* De loodrechte hoek is verdeeld in 90°

Om een verantwoord ontwerp van de scatterverbinding te maken, moeten voor elk traject de horizonshoeken α_1 en α_2 bij voorkeur in het terrein bepaald worden. In de getekende profielen is te zien dat hiertoe slechts enkele kritische gedeelten van het traject verkend behoeven te worden. Deze verkenning zou b.v. met behulp van een heliocopter kunnen plaats vinden.

6. De kwaliteit van de keten.

Bij de berekening van de kwaliteit van het netwerk wordt uitgegaan van de systeemp parameters die door de C.C.I.R. worden aanbevolen. Voor elke schakel en voor het volledige netwerk wordt de over lange* termijn gemiddelde ruis berekend en deze wordt vergeleken met de eis dat de thermische ruis, die door de propagatie ontstaat, gemiddeld niet meer dan 5 pW/km mag bedragen.

De voor het ontwerp van het onderhavige netwerk gebruikte parameters zijn de volgende:

Aantal kanalen	60
Modulatie methode	FM
Effectieve meettoon deviatie	100 kHz
Max modulatie frequentie $f_{m,max}$	252 kHz
Zendvermogen: 10 kw; $S_o =$	70 dBm
Ruisgetal van de ontvanger, F	8 dB
Audio bandbreedte, b_o	3.1 kHz
Antennes, parabolische reflectoren met een diameter van 60 ft =	18,3 m
Belichtingsrendement, η	55%
Diversity	4-voudig, combinatie
Zendfrequentie, f	800 MHz
Psofometrische ruisverbetering	2,5 dB
Verlies in antennevoedingslijnen	3 dB
Rayleigh verlies corresponderend met het gemiddelde ruisniveau bij gebruik van viervoudige combinatie-diversity $L_R(\bar{n})$	-6,3 dB
Ruisverbetering in het hoogste kanaal bij toepassing van pre-emphase	4 dB

In appendix II wordt aangetoond dat dan voor de over lange tijd gemiddelde gewogen ruis (\bar{n}), gemeten op een punt van relatief niveau nul, bij toepassing van de door het C.C.I.R. voor straalverbindingen omschreven pre-emphase, in het hoogste kanaal geldt:

*) lange tijd betekent in dit verband de gehele tijd waarvoor de statistische verdeling geldt, dus b.v. de slechtste maand van het jaar (zie ook paragraaf 4).

$$N = 10 \log \bar{n} = - 154,6 + 20 \log \frac{d}{100} + L_a + L_1(\bar{n}) \quad (\text{dBmO})$$

waarin d de grootcirkel afstand tussen de eindpunten van de verbinding in km, L_a de antenne-degradatie en $L_1(\bar{n})$ het lange termijn over-horizonsverlies corresponderend met de gemiddelde ruis \bar{n} .

Onder de antenne-degradatie wordt verstaan het verminderen van de antenne-winst tengevolge van het niet vlak zijn van het golffront. De mate waarin dit effect optreedt hangt af van de OH-afstand en van de grootte van de antenne apertuur. L_a wordt gegeven in fig. 5 en $L_1(\bar{n})$ in fig. 6.

In tabel IV zijn voor de verschillende trajecten verzameld het gemiddelde ruisvermogen \bar{n} en de marge in de "winst" van de keten, $\Delta G(\bar{n})$, voor de volgens de berekening geproduceerde ruis ten opzichte van de volgens de eisen (5 pW/km) toegestane ruis; een positieve waarde van deze marge betekent dat het ontvangen vermogen met het aangegeven bedrag kan verminderen om nog juist aan de gestelde eisen te voldoen.

Voor 120 kanalen i.p.v. 60, vermindert de marge met 6,8 dB.

Wanneer gerekend wordt met een correctie van de aardstraal $k = \frac{5}{4}$ i.p.v. $k = \frac{4}{3}$, zoals gesuggereerd door Ir. de Voogt, dan blijkt voor het slechtste traject (3 - 5) de marge met 1.2 dB te verminderen. Men bedenke echter $k = \frac{4}{3}$ is een gemiddelde waarde; wanneer t.z.t. de "piekruis" bepaald zou worden dan is de variatie van $L_1(\bar{n})$ naar $L_1(n \text{ piek})$ zo groot dat de invloed van variaties van k nauwelijks nog invloed heeft.

Tabel IV

Traject	d (km)	d _{OH} (km)	L _a (dB)	$20 \log \frac{d}{100}$ (dB)	L ₁ (\bar{n}) (dB)	N = = $10 \log \bar{n}$ (dBm0)	\bar{n} (pW)	toege- stane ruis (pW)	$\Delta G(\bar{n})$ (dB)
2 - 5	245	166	2,2	7,8	69,4	-75,2	31	1225	+16.0
3 - 5	257	196	2,9	8,52	72,3	-70,9	82	1285	+12.0
5 - 8	238	185	2,7	7,52	71,3	-73,1	50	1190	+13.8
8 -10	250	120	1,2	8,0	65,2	-80,2	9.5	1250	+21,2

Overzicht van de op een punt relatief niveau
 0 gemeten gemiddelde ruis \bar{n} voor de diverse
 ketens, benevens de marge $\Delta G(\bar{n})$ (dB) waarmede
 het berekende ruisniveau beneden het toegestane
 ligt.

Tabel V

Traject	afstand (km)	\bar{n} (pW)	toegestane ruis (pW)
2 - 5 - 8 - 10	733	90	3670
3 - 5 - 8 - 10	755	142	3725

Ruis voor het gehele traject.

Antenne-degradatie voor
18,3 m parabolen bij
bij $f = 800$ MHz

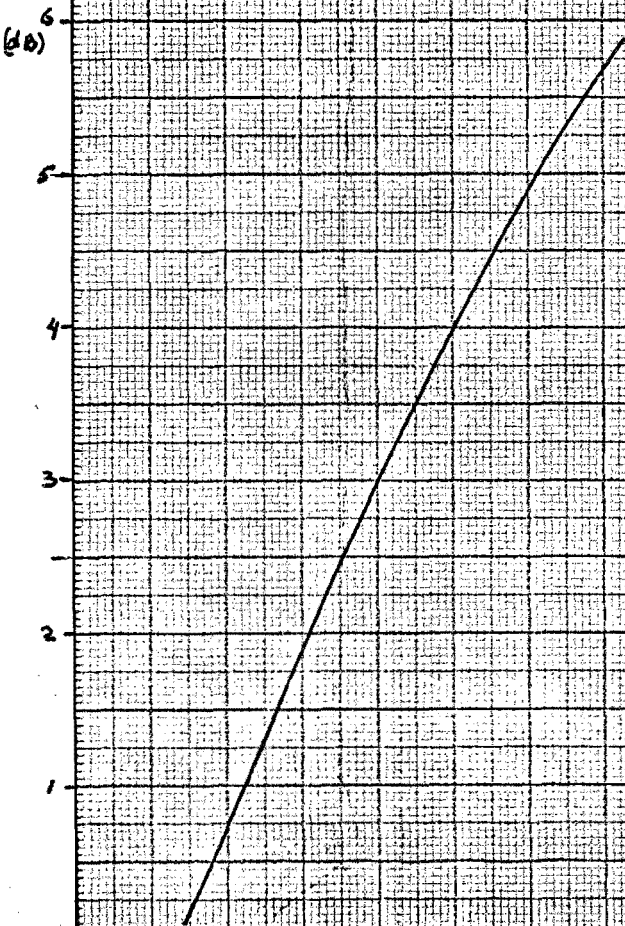


Fig. 5.

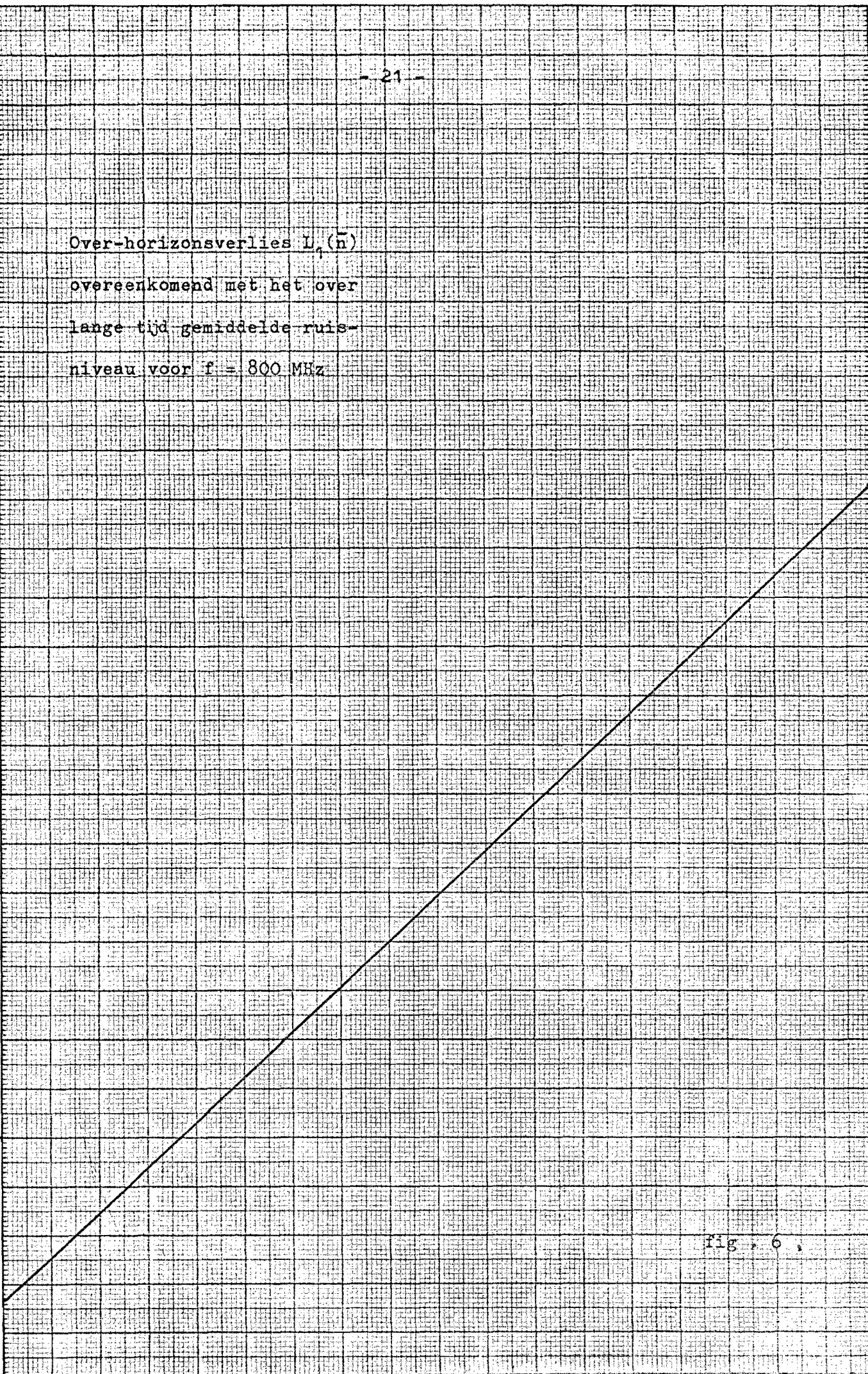
Over-horizonsverlies $L_p(\bar{h})$
overeenkomend met het over-
lange tijd gemiddelde ruis-
niveau voor $f = 800$ MHz

$L_p(\bar{h})$ dB
↑ 30

80

70

Fig. 6



7. Conclusie.

Met in achtneming van de in paragraaf 1 gemaakte restricties kan gesteld worden dat de verbinding Addis Abeba - Asmara door toepassing van de verstrooiings-techniek tot stand gebracht kan worden. De in tabel IV gegeven waarden voor $\Delta G(\bar{n})$ geven een indruk van de mate waarin de op pagina 16 aangenomen parameters veranderd kunnen, eventueel moeten, worden om de marge tussen de toegestane en de optredende thermische ruis geringer te doen zijn resp. tot een verantwoord bedrag terug te brengen. Wanneer er reeds direkt rekening moet worden gehouden met 120 kanalen vermindert de ruimte uiteraard.

De aandacht wordt gevestigd op de aanname $F = 8$ voor het ruisgetal van de ontvangapparatuur. Deze aanname is zeer conservatief; bij de huidige stand van de techniek, bij toepassing van parametrische versterkers, is hier stellig een extra marge van nog ca 6 dB aanwezig.

Men moet zich afvragen of de toepassing van pre-emphasis reëel is in verband met de intermodulatie in de lagere kanalen. Het niet toepassen van pre-emphasis zou een vermindering met 4 dB van de marge inhouden. Indien het verstrooiingsnetwerk geen deel zal gaan uitmaken van een internationale verbinding, zal de totale toegestane thermische ruis (12500 pW) over het circuit van ca. 750 km verdeeld kunnen worden, hetgeen aanleiding geeft tot een toegestane ruis van 16,5 pW/km. Dit zou onder anderen kunnen inhouden het vergroten van het aantal kanalen bij eenzelfde zendvermogen en antennewinst of het verminderen van zendvermogen en/of antennewinst bij eenzelfde aantal over te brengen kanalen.

Tengevolge van de aanwezige marges is het mogelijk voor alle ketens het zendvermogen te verminderen van 10 kW naar 1 kW, terwijl het bovendien mogelijk is voor de sprong 8 - 10 de 20 m - parabolen te vervangen door 10 m - parabolen. Of dit voor de andere ketens ook mogelijk is hangt af van het risico dat men wenst te nemen en van evt. verdere "engineering". Het spreekt vanzelf dat deze reducties een sterke invloed op de kosten van het netwerk uitoefenen.

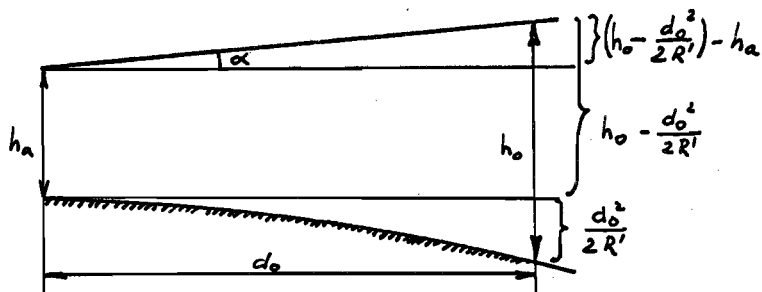
Nogmaals moge erop gewezen worden dat, voordat tot een definitief ontwerp wordt overgegaan, een landmeetkundig onderzoek ter plaatse noodzakelijk is. Dit onderzoek kan tot enkele van de meest kritische punten in het terrein beperkt worden.

Eindhoven, 22 oktober 1964.

Prof.ir. B. van Dijk

Appendix I.

De bepaling van de overhorizonshoek



Bekend is dat een obstakel met hoogte h_o op een afstand d_o van de zend-ontvangantenne, tengevolge van de kromming

van de aarde, een bedrag $\frac{d_o^2}{2R'}$ onder de horizon zinkt, waarin $R' = kR = 8500$ km ($k = \frac{4}{3}$) de gecorrigeerde aardstraal voorstelt.

Uit de figuur volgt direkt:

$$\tan \alpha = \frac{(h_o - \frac{d_o^2}{2R'}) - h_a}{d_o} = \frac{h_o - h_a}{d_o} - \frac{d_o}{2R'}$$

Voor $\alpha \ll 1$

$$\begin{aligned} \alpha &\approx \frac{h_o - h_a}{d_o} - \frac{d_o}{2R'} \quad (\text{radialen}) \\ &= \left(\frac{h_o - h_a}{d_o} - \frac{d_o}{2R'} \right) \frac{360}{2\pi} \quad (\text{graden}) \end{aligned}$$

h_o , h_a , d_o en R' zijn in dezelfde eenheden (b.v. km) uitgedrukt. Het is praktisch om h_o en h_a in meters uit te drukken en d_o en R' in km. Dan is

$$\alpha = \left(\frac{h_o - h_a}{d_o} - \frac{d_o}{2R' \cdot 10^{-3}} \right) 10^{-3} \frac{360}{2\pi} \quad (\text{graden})$$

of

$$\alpha = \left(\frac{h_o - h_a}{d_o} - \frac{d_o}{17} \right) 0,0573^\circ$$

Appendix II.

De systeemeigenschappen.

1. Het signaalvermogen aan de ingang van de ontvanger.

Voor het signaal vermogen s_i aan de ingang van een ontvanger geldt de volgende vergelijking:

$$s_i = s_z g_z \cdot g_o \cdot l \quad (\text{mW}) \quad (1)$$

Hierin is:

s_z = het door de zender afgegeven vermogen (mW)
 g_z en g_o = de antennewinst t.o.v. isotrope straler aan resp. zend- en ontvangzijde en l , het totale signaalverlies tussen zender en ontvanger.

2. Het signaalverlies.

Het signaalverlies is het produkt van verschillende van elkaar onafhankelijke factoren. Hiervoor geldt:

$$l = l_{s,i} \cdot l_{\text{feed}} \cdot l_a \cdot l_l \cdot l_r \quad (2)$$

waarbij

$l_{s,i}$ = het vrije ruimte verlies $\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$;

d = de door de radiogolf afgelegde weg (m)
= de gebruikte golflengte (m).

l_{feed} = het verlies in de antennevoedingsleidingen aan zend- en ontvangkant tezamen.

l_a = de antenne degradatie; dit verlies ontstaat door het niet vlak zijn van de ontvangen golf en is afhankelijk van de antennediameter en de overhorizonsafstand.

l_l = de component in het overhorizonsverlies die aanleiding geeft tot langzame fading.

l_r = de component in het overhorizonsverlies die aanleiding geeft tot snelle fading. (zie ook blz. 7).

3. Het ruisvermogen op de antenneklemmen van de ontvanger.

Aan de uitgang van de hoogfrequentversterker van de ontvangers wordt een ruisvermogen gemeten dat slechts afhankelijk is van de versterking en de in de ontvanger geproduceerde ruis. Deze ruis wordt door de vermogensversterking gedeeld en beschouwd als een aan de ingangsklemmen van de ontvanger aanwezig ruisvermogen n_i met:

$$n_i = F k T_o B \quad (\text{mW}) \quad (3)$$

waarbij:

k = de Boltzmannconstante

$T_o = 290 \text{ }^\circ\text{K}$

B : de middenfrequent ruisbandbreedte van de ontvanger.

F : de ruisfaktor van de ontvanger volgens de definitie van Friis.

4. Het ruisvermogen aan de uitgang van de ontvanger.

Het ruisvermogen achter de ontvanger op het punt waar het testtoetsignaalvermogen 1 mW bedraagt, het punt dus van relatief niveau nul, is wanneer F.M. wordt toegepast:

$$n_o = \frac{n_i}{s_i} \frac{b_o}{B} \left(\frac{f_k}{\Delta f}\right)^2 \quad (\text{mW}) \quad (4)$$

Hierin is:

b_o : de audio bandbreedte van een telefoonkanaal, volgens het CCIR 300 - 3400 Hz dus 3100 Hz.

f_k : de gemiddelde frequentie in de basisband van het telefoonkanaal waarvoor het ruisniveau bepaald wordt.

Voor het hoogste kanaal wordt deze frequentie $f_{m,max}$ genoemd.

Δf : de effectieve frequentie uitwijking wanneer met een testtoon van 0 dBmO gezonden wordt.

(Om het rekenwerk te vereenvoudigen worden vermogen en verliezen in decibels uitgedrukt. Met dBm wordt dan het niveau t.o.v. 1 mW bedoeld. Op het punt van relatief niveau nul wordt het vermogen aangegeven in dBmO).

Door de 10 log te nemen van de vergelijkingen (1) t/m (4) verkrijgt men, wanneer voor de 10 log van een grootheid de corresponderende hoofdletter gebruikt wordt (met uitzondering van $10 \log F = F_o$):

$$S_i = S_z + G_z + G_o - L \quad (\text{dBm}) \quad (5)$$

$$L = L_{s,i} + L_{\text{feed}} + L_a + L_r + L_l \quad (\text{dB}) \quad (6)$$

$$L_{si} = C + 20 \log \frac{fd}{100} \quad (\text{dB}) \quad (7)$$

Voor $f(\text{kHz})$ en $d(\text{km})$ $C = 132,5 \text{ dB}$ (dus $L_{si} = C$

voor $f = 1 \text{ kHz}$ en $d = 100 \text{ km}$)

$$N_i = -144 + 10 \log B + F_o \quad (\text{dBm}), \quad B \text{ (kHz)} \quad (8)$$

- 144 dBm is het antenneruisvermogen in een band van 1 kHz wanneer $F_o = 10 \log F = 0$.

$$N_o = N_i - S_i - 10 \log \frac{B}{b_o} + 20 \log \frac{f_k}{\Delta f} \quad (\text{dBmO}) \quad (9),$$

wanneer ook b_o in kHz wordt uitgedrukt.

5. Het ruisniveau op een punt van relatief niveau nul als functie van de systeem parameters.

Eliminatie van S_i en N_i uit verg. (5) t/m (9) terwijl voor f_k , $f_{m,\text{max}}$ wordt ingevuld geeft dan voor de ongewogen ruis in het hoogste telefoonkanaal wanneer geen pré-emphase wordt toegepast:

$$N_o = -S_z - G_z - G_o + 132,5 + 20 \log \frac{fd}{100} + 10 \log b_o + 20 \log \frac{f_{m,\text{max}}}{\Delta f} - 144 + F_o + L_{\text{feed}} + L_a + L_r + L_l \quad (\text{dBmO}) \quad (10)$$

6. De systeem vergelijking.

Op pag. 17 zijn de systeem parameters gegeven die in verg. 10 kunnen worden ingevuld, en wel

Zendvermogen, 10 kW,	S_o	70	dBm
Zendfrequentie, 800 MHz = 0,8 MHz	$20 \log f$	- 2	
Antennes, parabolen met diameter van 18,3 m (= 60 ft) en een belichtingsrendement van 55%; $g = 4\pi A/\lambda^2 = 12,9 \cdot 10^3$, $G_z = G_o = 10 \log g = 41,1$ dB	$G_z + G_o$	82,2	dB
Audiobandbreedte, $b_o = 3,1$ kHz	$10 \log b_o$	4,9	dB
Effectieve meettoondeviatie (Rec. 404 CCIR)	Δf	100	kHz
Maximale modulatie frequentie voor 60 kanalen, 252 kHz	$20 \log \frac{f_{m,max}}{\Delta f}$	8	dB
Verlies in de antennevoedingsleidingen, geschat,	L_{feed}	3	dB
Ruisgetal ontvanger	F_o	8	dB

Invullen van deze parameters in verg. (10) geeft:

$$N_o = - 141,8 + 20 \log \frac{d}{100} + L_a + L_r + L_1 \quad (\text{dBmO}) \quad (11)$$

Op pag. 17 is nog gegeven dat de ruisvermindering wanneer deze psfometrisch gemeten wordt, 2,5 dB bedraagt. De ruisvermindering in het hoogste kanaal wanneer pré-emphase wordt toegepast is 4 dB. (rec. CCIR) zodat bij toepassing van pré-emphase het niveau van de gewogen ruis op het punt van relatief niveau nul gelijk is aan:

$$N_o = - 148,3 + 20 \log \frac{d}{100} + L_a + L_r + L_1 \quad (12)$$

7. Het gemiddelde ruisniveau.

In vergelijking (12) zijn bij een bepaalde opstelling van het zend- en ontvangstation d en L_a constante grootheden terwijl L_r en L_1 in de tijd variërende grootheden zijn die statistisch beschreven worden.

Van de grootte L_r , welke de snelle variaties van het signaal beschrijft, kan over een kort interval, dat evenwel voldoende lang is om een representatief beeld van de snelle

fading te geven en dat b.v. een duur van één minuut kan hebben, een karakteristieke waarde van het signaal bepaald worden. Voor deze karakteristieke waarde zou men kunnen kiezen een gemiddelde waarde, een mediane waarde of enige andere grootte welke in een berekening past.

Deze karakteristieke grootte varieert als gevolg van de langzame fading en moet ook weer met statistische middelen beschreven worden.

Zoals in het rapport werd medegedeeld wordt in deze studie de prestatie van het circuit uitgedrukt in het over lange tijd gemiddelde ruisvermogen. Dit is gedaan vanwege de bekende eigenschap uit de fysica, n.l. dat samengevoegde ruisvermogens optellen en een uit de statistiek, n.l. dat het gemiddelde van een aantal gemiddelden gelijk is aan het gemiddelde van het geheel. Deze eigenschap geldt zowel voor één radiosprong (eerst middelen over korte tijd, dan over lange) als voor het geval van een aantal sprongen in "tandem": de gemiddelde ruis aan het einde van de keten is gelijk aan het gemiddelde van de gemiddelde bijdrage van ieder van de sprongen.

Door het hanteren van het criterium "gemiddelde ruis", verloopt de berekening belangrijk eenvoudiger dan met enige andere karakterisering het geval zou zijn. Gebleken is dat deze benadering voorlopig voldoende is.

7.1. De snelle fading.

Om tot de over lange tijd gemiddelde ruis \bar{n} voor een radiosprong te komen, wordt eerst voor de snelle fading het verlies $L_r(\bar{n}_r)$ bepaald dat overeenkomt met de gemiddelde ruis over korte periode, \bar{n}_r . Wanneer men aanneemt dat de omhullende van het signaal tengevolge van de snelle fading een Rayleigh verdeling volgt - hetgeen in de regel met grote benadering het geval is - dan laat zich berekenen * dat bij toepassing van viervoudige antenne-combinatie-diversity $L_r(\bar{n}_r) = -6.3$ dB.

* Puissance moyenne de bruit dans les faisceaux hertziens transhorizon à modulation de fréquence par L. Boithias et J. Battesti. Annales des Télécommunications 1963.

Dit betekent dat in dit geval het niveau van de over korte periode gemiddelde ruis 6,3 dB lager ligt dan het niveau dat correspondeert met het mediane ruisniveau. (Dit laatste wordt uiteraard bepaald door de mediane waarde van L_r).

Na substitutie van L_r (\bar{n}_r) in (12) wordt verkregen:

$$10 \log \bar{n}_r = - 154.6 + 20 \log \frac{d}{100} + L_a + L_1 \quad (\text{dBmO}), \quad (13)$$

het niveau dat overeenkomt met de over korte tijd gemiddelde ruis als functie van $L_1 = L_1(t)$.

7.2. De langzame fading.

Door het CCIR wordt aangenomen dat L_1 statistisch verdeeld is volgens een normale (Gauss)verdeling. Voor de waarschijnlijkheidsfunctie van het verlies $L_1 = x$ geldt dan:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp. - \frac{(x - m)^2}{2\sigma^2} \quad (14)$$

Uit vergelijking (13) volgt:

$$10 \log \bar{n}_r = N_c + L_1, \quad (15)$$

$$\text{waarin } N_c = - 154,6 + 20 \log \frac{d}{100} + L_a$$

$$\text{Dus } \bar{n}_r = n_c 10^{L_1/10} = n_c \exp(\alpha x)$$

$$\text{waarbij } \alpha = \frac{\ln 10}{10}$$

Het over lange tijd statistisch gemiddelde ruisvermogen is nu:

$$\bar{n} = \int_{-\infty}^{+\infty} \bar{n}_r(x) p(x) dx$$

$$= \frac{n_c}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \exp(\alpha x) \exp - \frac{(x-m)^2}{2\sigma^2} dx$$

$$= \frac{n_c}{\sigma \sqrt{2\pi}} \sigma \sqrt{2} \exp(m\alpha + \frac{\sigma^2 \alpha^2}{2}) \int_{-\infty}^{\infty} \exp - \frac{(x-m-\sigma^2 \alpha)^2}{2\sigma^2} d \frac{x-m-\sigma^2 \alpha}{\sigma \sqrt{2}}$$

$$= n_c \exp(m\alpha + \frac{\sigma^2 \alpha^2}{2}) \quad \text{daar } \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-t^2) dt = \sqrt{\pi}$$

$$\text{Dus } \bar{n} = n_c 10^m + \frac{\alpha \sigma^2}{2}$$

Uit vergelijking (15) volgt dan:

$$L_1(\bar{n}) = m + \frac{\ln 10}{20} \sigma^2 = m + 0.115 \sigma^2 \quad (16)$$

$L_1(\bar{n})$ is het lange termijn overhorizonsverlies dat overeenkomt met het over lange tijd gemiddelde ruisniveau.

In de CCIR documenten (Genève 1963, vol. II p.195) is voor verschillende overhorizonsafstanden de spreiding (σ) en het gedurende niet meer dan 1% van de tijd overschreden totale verlies gegeven. Dit totale verlies houdt ook het vrije ruimteverlies in en geldt voor $f = 1000$ MHz. Hieruit werd voor $f = 800$ MHz het overhorizonsverlies bepaald dat voor niet meer dan 1% van de tijd overschreden wordt. Het vrije ruimteverlies is uit de gegevens verwijderd. Voorts is voor het verlies bij 800 MHz te bepalen aangenomen dat het OH-verlies met 3 dB toeneemt bij verdubbeling van de zendfrequentie. De gemiddelde waarde m van het overhorizonsverlies is te bepalen door de formule

$$m = L_1(99\%) - 2.32 \sigma$$

Deze uitdrukking laat zich direkt afleiden door integratie van (14).

Met m en σ is dan volgens vergelijking (16) $L_1(\bar{n})$ bepaald.

In onderstaande tabel zijn enkele waarden gegeven:

d_{OH} (km)	σ (dB)	L_1 (99%) (dB)	L_1 (50%) (dB)	$L_1(\bar{n})$ (dB)
150	6,4	78	63,2	67,9
200	6,0	82	68,1	72,3
250	5,6	86,5	73,5	77,1
300	5,3	91	78,7	81,9
350	4,9	95,5	84,1	86,9
400	4,7	99	88,1	90,6
450	4,5	103	92,6	94,9

Deze waarden gelden voor klimaattype 1 en $f = 800$ MHz.

In fig. 6. op blz. 21 is $L_1(\bar{n})$ uitgezet als functie van de overhorizontsafstand.

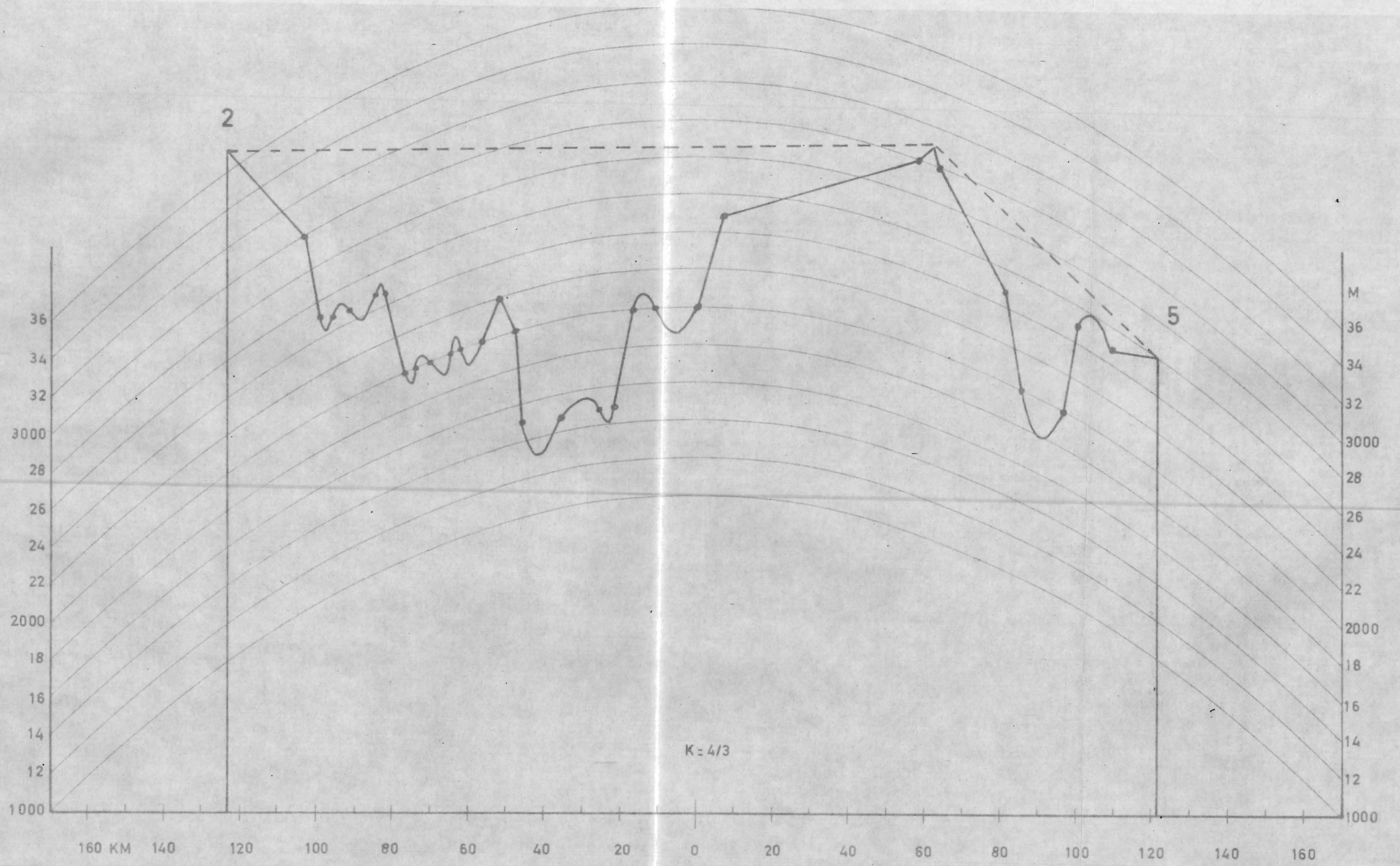


fig. 4a

TRAJECT:2-5

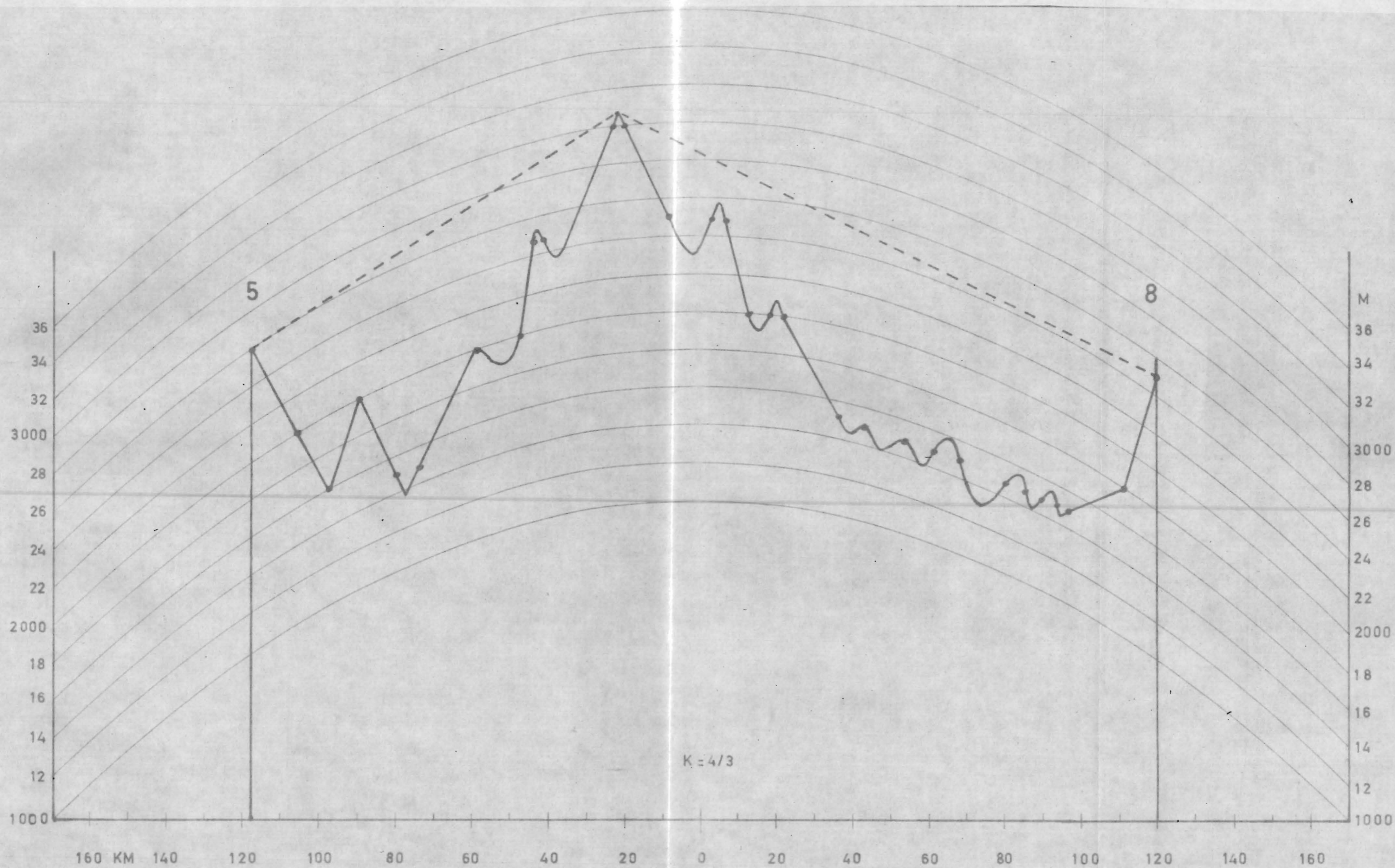


fig. 4c

TRAJECT: 5-8

$K=4/3$

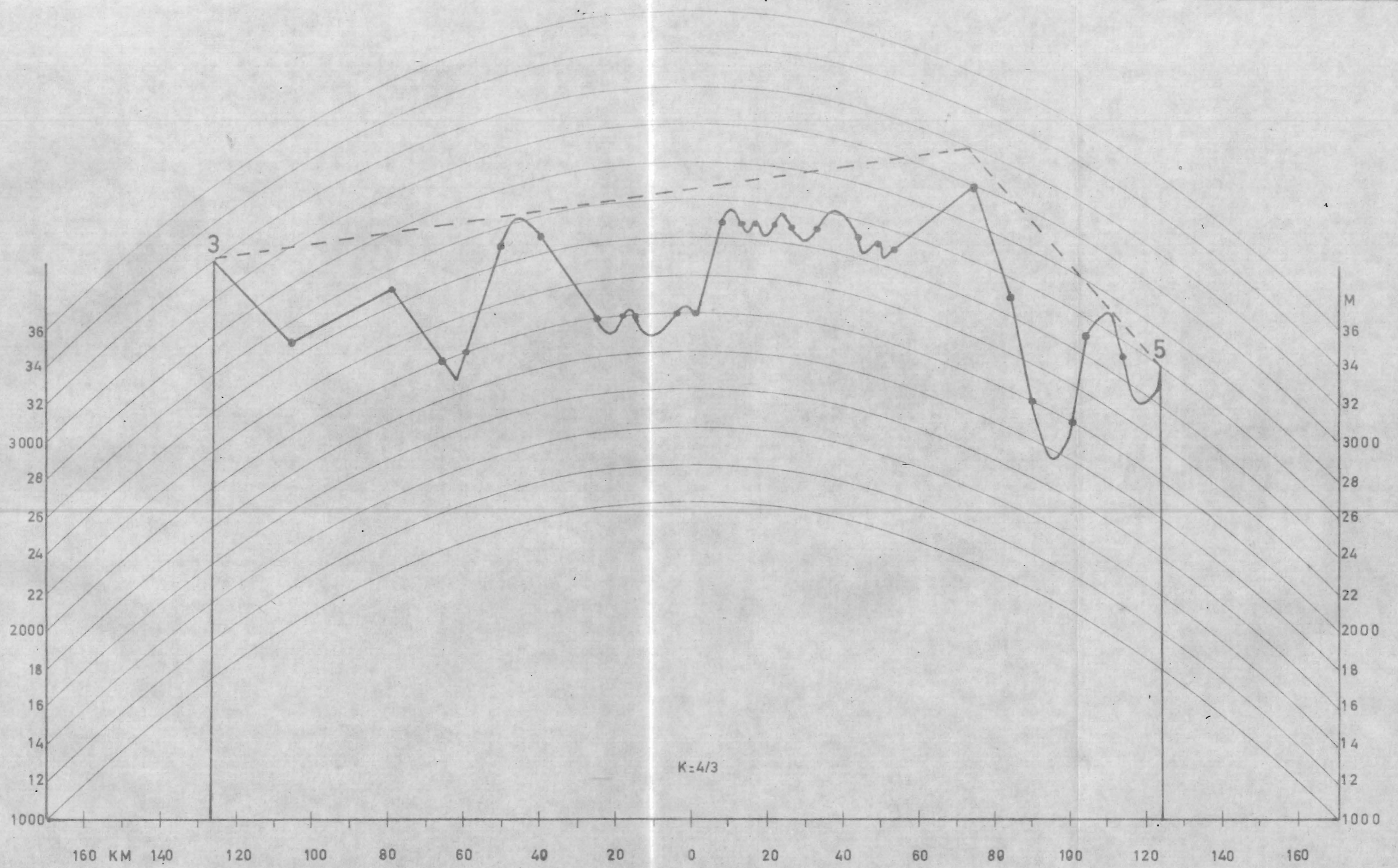


fig. 4b

TRAJECT: 3-5

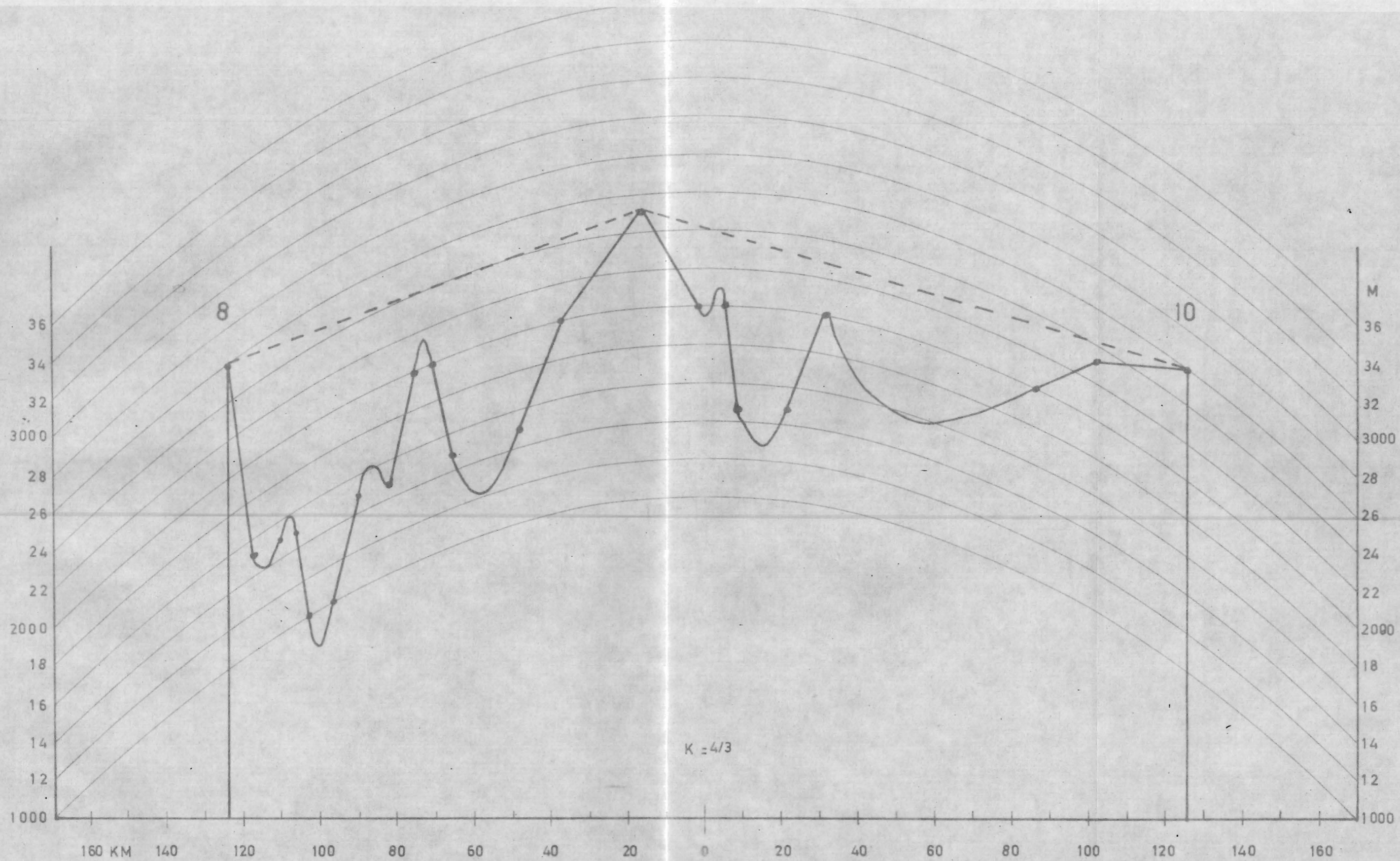


fig. 4d TRAJECT: 8-10