

**ASPEKTE VAN PLAVEISELEVALUERING EN -ONTWERP SOOS
BEPAAAL MET BEHULP VAN DIE DINAMIESE KEGELPENETROMETER**

DEUR

EDUARD GODFRIED KLEYN

Voorgelê ter vervulling van 'n gedeelte van die vereistes
vir die graad M. Ing . in die Fakulteit van Ingenieurs-
wese, Univeristeit van Pretoria.

Promotor: Professor P.F. Savage.

Pretoria.

Mei 1984.

I N H O U D S O P G A W E

INHOUDSOPGAWE	(i)
VOORWOORD	(ii)
SINOPSIS	(iii)
BEDANKINGS	(iv) ¹

HOOFSTUK

1	INLEIDING	1.1
2	DIE INSTRUMENT, FUNDAMENTELE TOEPASSING EN KALIBRASIE	2.1
3	ONTWIKKELING VAN FUNDAMENTELE PLAVEISEL- GEDRAGPARAMETERS EN -KONSEPTE	3.1
4	ONTWIKKELING VAN 'N PLAVEISELGEDRAG-FILOSOFIE	4.1
5	VERIFIËRING VAN PLAVEISELGEDRAGKONSEPTE	5.1
6	TOEPASSINGS	6.1
7	GEVOLGTREKKINGS	7.1
8	AANBEVELINGS	8.1
9	VERWYSINGS	9.1

BYLAE

A	AANVANKLIKE PLAVEISELEVALUERINGSMETODE	A1
B	DIE SWAARVOERTUIGNABOOTSER	A2
C	STANDAARDVORMS	A3

(ii)

Die data waarop hierdie werk gebaseer is, is beskikbaar by:

Die Direkteur van Paaie
Transvaalse Paaielaboratorium
Privaatsak X3
LYNN EAST
0039
PRETORIA

(iii)

SINOPSIS

Die aanvanklike in gebruikneming en kalibrasie van die Dinamiese Kegelpenetrometer (DKP) vir padplaveisel-evaluering deur die TPA Paaiedepartement word bespreek. Die grafiese voorstelling van metings word ook illustreer. Verder word die ontwikkeling van sekere plaveiselgedragparameters en -konsepte soos Plaveiselstruktuurnommer, Plaveiselsterktebalans en Lassensitiwiteit soos bepaal met behulp van die DKP bespreek. Laastens word 'n DKP-Ontwerpmodel en asook ander praktiese toepassings van die DKP voorgestel.

SYNOPSIS

The initial utilization and calibration of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP) for road pavement evaluation by the TPA Roads Department is discussed. The graphic representation of measurements are also illustrated. Following, the development of behaviour parameters and concepts such as Pavement Structure Number, Pavement Strength-Balance and Load Sensitivity as determined with the DCP are discussed. Finally a DCP Design Model and other practical applications of the DCP is suggested.

BEDANKINGS

Dit is vir my aangenaam om die volgende persone te bedank:

Mnr. L.J. Terblanche

Direkteur van Paaie, Transvaalse Provinsiale Administrasie, vir die geleentheid om hierdie navorsing te doen en vir die toestemming om 'n verhandeling in te handig.

Mnr. G.P. Marais

Takhoof, Tak Materiale, TPA Paaiedepartement, vir sy ondersteuning en aanmoediging.

My kollegas vir die hulp met die metings en verwerking van die inligting - veral mnr.M.J.J.van Heerden, voormalige kollega en tans Direkteur van van Heerden en van de Vyver Ingelyf, wat ook verantwoordelik is vir al die verrekenariseerde figure in hierdie verhandeling.

Dr. J.H.Maree

Voormalig van NIVPN en tans van die firma Scott en De Waal Raadgewende Ingenieurs vir waardevolle besprekings, en samewerking met die Swaarvoertuignabootserprojek.

Mnr. J.C.Burrow

Van John Burrow & Partners Consulting Engineers vir sy aanslag en geloof tydens die aanvanklike aanwending van die DKP gedurende die "Burrow-onderzoek" in 1973.

Mnr. L.F. de Wet

Van Niekerk, Kleyn & Edwards Raadgewende Ingenieurs vir volgehoue entoesiasme en aanmoediging.

Prof.P.F.Savage

Universiteit van Pretoria, vir sy leiding en noukeurige evaluering.

Mnr. S.A. Kleyn

'n Siviele Ingenieur wat die saadjie geplant het.

Mev. A. Booysen

Vir haar netjiese tikwerk.

ASPEKTE VAN PLAVEISELEVALUERING EN -ONTWERP SOOS BEPAAL MET BEHULP VAN DIE DINAMIESE KEGELPENETROMETER

HOOFSTUK 1

INLEIDING

Direkte waarneming is altyd verkieslik bo indirekte waarneming. In die grondeganikaveld word direkte waarneming van relatief diepliggende grondtoestande deur middel van penetrasietoetse ("Cone Penetration Tests - CPT" "Standard Penetration Tests - SPT", en "Weight Sounding Tests - WEST" en "Dynamic Probing Tests - DPA en DPB") reeds etlike dekades gedoen. Daar was tot nog toe egter hoofsaaklik gekonsentreer op relatief diepmetings en is weinig indien enige van bogenoemde meetmetodes toegepas op padplaveisels. Metodes vir die direkte meet van die in situ sterkte-eienskappe van 'n grondmassa is egter steeds der mate omslagtig en tydwend dat dit in baie gevalle vir algemene gebruik onprakties is.

Bogenoemde struikelblok is weereens ondervind ten tye van die beplanning van die Burrow-ondersoek [1] van die Transvaalse paaie gedurende 1973. Die ondersoek moes die TPD se plaveiselontwerpfilosofie krities evalueer aan die hand van die werkverrigting van plaveisels wat toe reeds minstens tien jaar oud was, en moes binne een jaar afgehandel wees. " 'n Eenvoudige en relatief vinnige meetmetode was nodig om iets van die plaveisellae se in situ digtheid te wete te kom", is ten tye geredeneer.

Op daardie stadium het die NIVPN voorgestel dat 'n relatief nuwe draagbare apparaat naamlik die "Dynamic Cone Penetrometer" wat pas deur van Vuuren [2] ondersoek was, oorweeg word aangesien dit toe minstens redelik

1.2/.....

gekalibreer was teenoor die Kaliforniese Drakragverhouding (KDV). Vir ongeveer vyf maande is die Dinamiese Kegelpenetrorometer (DKP) toe bykans daagliks gebruik in die Burrow-ondersoek en die grondslag vir hierdie verhandeling gelê.

2.1/.....

HOOFSTUK 2

DIE INSTRUMENT, FUNDAMENTELE TOEPASSING EN KALIBRASIE.

2.1 Die Instrument

Die instrument wat aanvanklik tydens die Burrow-ondersoek gebruik is het daar uitgesien soos in Figuur 1 getoon [1]. Die 30° kegel van 20 mm deursnit is aangedryf deur 'n 10 kg hamer wat oor 'n afstand van 460 mm vryval. Die indringing van die kegel kon dan afgelees word op die ingeboude maatband op die kegelstang (onderste stang).

Omdat die instrument so intensief gebruik is het die volgende gebreke gou duidelik geword [3].

- i) Om die lesings op die maatband na behore te kon neem moes die persoon op sy maag of op sy sy langs die instrument lê.
- ii) Die maatband wat op die kegelstang vasgeplak was het baie gou onleesbaar afgeslyt.
- iii) In harde of klipperige materiaal het die kegelpunt, alhoewel verhard, vinnig weggeslyt of afgebreek.
- iv) Omdat die hamer mannekragaangedrewe is, kon spiervermoeïng intree.

2.1.1 Lesings en maatband

'n Vrystaande maatband wat in hout ingelê en waarvan die nulmerk verstelbaar was, is gemaak en deur middel van houtklampe aan die instrument gekoppel.

Die boonste klamp het saam met die instrument langs maatband af versit en as verwysingsvlak gedien, wat beteken het dat die waarnemer 'n gemakliker sittende houding kon inneem. Die maatband het dus ook nie meer afgeslyt nie.

Hierdie aanpassing het só goed gewerk dat dit van toe af in gebruik gebly het en 'n losstaande aluminium-

2.2/.....

maatstaf tans as standaard toebehore gebruik word (Figuur 2). Veerknippe laat toe dat die maatband ter enigertyd gekoppel of ontkoppel kan word (byvoorbeeld met die uitslaan van die instrument).

2.1.2 Kegelpunt

Die kegelpunt is stomper gemaak, naamlik 60° , wat eerstens tot gevolg gehad het dat punte uiters selde gebreek het en tweedens in geheel korter geword het (-21mm teenoor 37mm) en dus die weerstand oor 'n korter afstand gemeet het en dus meer sensitief vir geringe verandering in materiaalweerstand geword het. Die volg hiervan is onder andere dat die "draaipunte" op die DKP-kromme (para 2.2) aksentueer word.

Laasgenoemde effek asook die feit dat die 60° kegel in die algemeen meer weerstand sou registreer as die 30° kegel, het ons op daardie stadium nie so opgeval of bekommer nie en sou eers later tydens die grafiese verwerking van die lesings (para 2.2) en die korrelasie met KDV (para 2.3) aandag geniet het.

2.1.3 Hamer

Weens die spiervermoeiing wat ingetree het tydens die hameraandrywing is dit ligter (8kg) gemaak maar met 'n langer slaglengte (575mm) om die energie dieselfde te hou. Dit het nogal die gewensde effek gehad, al was dit miskien hoofsaaklik sielkundig van aard, sonder om die impak prakties te verander.

2.1.4 Herwinning

Alhoewel dit nie altyd ewe maklik gewerk het nie is besluit om ter wille van eenvoud en draagbaarheid die herwinning van die instrument te bewerkstelling deur

2.3/.....

die hamer opwaarts teen die handvatsel vas te stamp. Dit het natuurlik daartoe gelei dat die handvatsel-aanhegting en ander sweislasse aansienlik verstek moes word. (Los kegelpunte kan gebruik word - para 5,2).

2.1.5 Stangvervorming

Dit is aanvaar dat die instrument eintlik bedoel was vir relatief ligte werk en nie soos wat meer gebruiklik begin word het vir gestabiliseerde- of gebreekte kliplae nie, en dat ter wille van die draagbaarheid van die instrument versigtiger te werk gegaan sal moet word. Met ander woorde indien die punt op 'n relatief ondeurdringbare klip of sone ($< 0,5$ mm/hou penetrasie) te staan gekom het moes die instrument liewers uitgehaal en langsaan heraangewend word eerder as om deur die sone te probeer dryf. Insgelyks, indien die kegel deur 'n klip gedeflekteer word en die instrument dus uit die vertikaal neig, moet dit nie deur middel van die stang terug gedwing word nie, maar liewers heraangewend word.

Indien die stange wel gebuig was is dit nie verder gebruik alvorens dit in die werkswinkel herstel is omdat aandrywingsenergie verlore gaan as gevolg van die veerkrag van die geboë stang asook wrywing van die stang teen die wand van die penetrometergat.

2.2 Neem en aanteken van lesings

Die instrument word verkieslik deur drie persone beman, alhoewel twee persone gebruik kan word. Een persoon hou die instrument vertikaal aan die handvatsel vas terwyl 'n tweede persoon die hamer opereer. Die derde persoon neem die lesings en beheer die maatband. (Sien Foto 1).

Aanvanlik is die indringing vir elke hamerslag gelees en aangeteken in tabelvorm, wat beteken het dat daar 'n momentele oponthoud na elke slag was. Heel gou is

2.4/.....

egter besluit dat slegs na elke vyfde hou 'n lesing geneem sal word, veral in normale plaveisellae, omdat die indringingstempo normaalweg varieer tussen 1 en 20mm/hou. Sodoende kon aansienlik vinniger gevorder word deurdat die hameroperateur hardop tot vyf getel het en die waarnemer dan 'n lesing kon neem sonder om die hameraksie te onderbreek.

Deur die lesings in kolomme van 100mm penetrasie te rangskik is opgelet dat 'n grafiese tipe voorstelling bekom word, afhanklik van die aantal lesings per 100 mm. Dit het daartoe gelei dat 'n KDV-veldvorm opgestel is waarop die lesings tydens die meting aangestip en verbind is om 'n grafiese voorstelling of DKP-kromme te verkry soos in Figuur 3 getoon [3]. Op hierdie kromme verteenwoordig die helling van die verbindingslyne, die weerstand deur die kegel ondervind teen indringing oor daardie afstand. Hoe platter die helling, hoe hoër die weerstand en andersom. Hierdie helling uitgedruk in mm/hou word die DKP-Nommer (DN) genoem en verteenwoordig hoofsaaklik die skuifweerstand van die materiaal [3] (soortgelyk aan KDV).

Omdat die interpretasie van die DKP-veldvorm 'n mate van ondervinding verg (hellingsinterpretasie) en ook omdat verskillende DKP-metings nie direk met mekaar vergelyk kon word op die vorm nie, is besluit om 'n tweede vorm naamlik die DKP-Laagsterkte Diagram [4 en 5] in te stel. Hierdie diagram word verkry deur die helling of te wel die DN-waarde vanaf die DKP-veldvorm aan te stip soos in Figuur 4 getoon. Interpretasie van hierdie diagram is makliker omdat relatiewe plasing van 'n lyn evalueer word - verskeie DKP-metings kan dus saam of relatief tot mekaar op een vorm evalueer word.

Figuur 5A illustreer die effek wanner 'n paar DKP-metings gesamentlik op een vorm getrek word en Figuur 5B illustreer, byvoorbeeld, die gemiddelde sterkteprofiel asook die minimum- en maksimumsterkte omhullingslyne vir die metings in Figuur 5A.

2.5/.....

2.3 Kalibrasie van DN met KDV en EDS

2.3.1. DN/KDV-Korrelasie

Aangesien die beskikbare korrelasie tussen DN en KDV [2] toe nog op relatief min gegewens berus het en die Burrow-ondersoek [1] 'n aansienlike aantal monsters gelewer het van wyd uiteenlopende gruipe waarop laboratorium KDV toetse uitgevoer moes word, is die geleentheid aangegryp om terselfdertyd die DN/KDV-korrelasie deeglik te bevestig - toe nog met die aanvanklike 30° kegel [3].

Vergelykende DKP- en KDV-metings is dus in die laboratorium uitgevoer op geweekte sowel as ongeweekte gruipe wat in standaard 150 mm toetsvorms verdig is. Die DKP-metings is gedoen op elke monster, pas na afloop van die KDV-meting op die betrokke monster, deur die DKP deur die monster te dryf van die teenoorgestelde kant af as waarop die KDV-meting gedoen was en dan die gemiddelde DN vir die monster te neem.

30° Kegelhoek: Fig. 6 toon die resultaat van ongeveer 2 000 vergelykende toetse en Fig. 7 die voortspruitende korrelasie tussen DN (met aanvanklike 30° kegel) en KDV. Geen waarneembare verskil tussen die geweekte en ongeweekte korrelasie is opgemerk nie. Daar was 'n geringe verskil tussen hierdie korrelasie en die van Van Vuuren [2] soos in Fig. 8 getoon. Figuur 8 toon ook die verhouding wat onlangs in Australië verkry is deur Smith et al [6].

60° Kegelhoek: Omdat dit gaandeweg duidelik geword het dat die 60° kegel meer meriete as die 30° kegel het (soos genoem in para 2.1.2) is besluit om 'n aantal parallelle metings oor 'n tydperk te doen om sodoende 'n omskakelingsfaktor te bekom [3].

Fig 9 toon hierdie verband wat daarop neerkom dat die 60° kegel waardes gee wat nagenoeg 20% laer is as verkry met die 30° kegel.

2.6/.....

Aangesien daar met die aanvanklike bepaling van die DN/KDV-korrelasie geen materiaal met 'n $DN < 5\text{mm/hou}$ was nie is voorlopig aanvaar dat die reglynige verband van Fig. 9 ekstrapoleer kon word soos deur die stippellyn geïllustreer. Dit was eers later tydens die DN/EDS-korrelasie (para 2.3.6) dat gegewens vir hierdie gedeelte van die verband verkry kon word en die kurwe verleng kon word soos getoon in Fig. 10.

Twyfel het egter bestaan oor die toepaslikheid van 150mm toetsvorm (para 2.3.1) vergeleke met veldtoestande en verdere toetse in wyer en langer toetsvorms is uitgevoer om vas te stel wat die effek van onderstaande parameters is [3].

- a) Lengte van toetsvorm
- b) Voggehalte van materiaal
- c) Omklemming deur die toetsvorm
- d) Moontlike digtheidsgradient met diepte oor die materiaal in toetsvorm.

2.3.2 Die Effek van toetsvormlengte

Omdat die standaard toetsvorm 'n relatief kort monster bied vir KDP-meting en ook nog 'n voetplaat ter ondersteuning van die materiaal het, is vermoed dat die gemiddelde DN vir so 'n monster nie 'n getroue weergawe sal bied nie. Daar is dus gebruik gemaak van toetsvorms met tweemaal die lengte van die standaardvorm, deur twee standaardvorms op mekaar vas te bout. Die gemiddelde DN oor die boonste helfte van die lang toetsvorm het herhaaldelik geen praktiese verskil getoon nie.

Dus kon aanvaar word dat die lengte van die standaardtoetsvorm geen nadelige effek op die gemiddelde DKP-nommer van die monster het nie.

2.3.3 Die Effek van Voggehalte

Om die effek van voggehalte op DN na te gaan is besluit

2.7/....

om 'n aantal DKP-metings te doen in gruismonsters (in toetsvorms) wat met dieselfde energie verdig is (Proctor in die geval) maar waarvan die materiaal by verskillende voggehaltes was. Hierdie lesings, naamlik die gemiddelde DN van die materiaal in die toetsvorm, teenoor voggehalte is grafies aangestip soortgelyk aan KDV-vogkurwes. Volgens Figuur 11 wat as voorbeeld dien varieer DN soortgelyk met wisseling van voginhoud as KDV. Die kurwes is egter spieëlbeelde van mekaar omdat sterkte toeneem met afname in DN. Met ander woorde wisseling in voggehalte het 'n soortgelyke invloed op DN as op KDV.

2.3.4 Omklemmingseffek van Toetsvorm

Hier is geredeneer dat aangesien die materiaal in 'n toetsvorm sydelings ingeperk word, dit moontlik 'n laer DN (hoër weerstand) sal lewer as wanneer dit onbegrens sou wees. Dieselfde materiaal by dieselfde voggehalte is dus met dieselfde energie (Proctor) in verskillende grootte toetsvorms, naamlik 150, 200 en 250 mm deursnit, verdig. Indien die gemiddelde DN vir die toetsvorm vergelyk word, word die volgende gevind (Figuur 12):

- a) Daar is 'n waarneembare omklemmingseffek met die 150 mm vorm aanwesig.
- b) Hierdie effek neem af namate die vorm se deursnit vergroot, sodat dit slegs in 'n baie geringe mate waarneembaar is met die 250 mm vorm.
- c) Die omklemmingseffek is oënskynlik eweredig aan die kwaliteit van die materiaal.

Met ander woorde, hoe beter die TRB-klassifikasie van die materiaal hoe groter is die omklemmingseffek.

Dus klop dit met klasieke grondmeganikabeginsels naamlik $K_0 = f(\phi)$ wat daarop neerkom dat hoe beter die materiaal is, hoe hoër is die waarde van ϕ en dus K_0 .

2.8/.....

2.3.5. Effek van Digtheidsgradiënt

Vanweë die feit dat die materiaal in 'n toetsvorm in lae verdig word, is voorsien dat die onderste laag in die vorm (wat eerste verdig word) relatief digter sal wees as die boonste lae. Dit is egter grootendeels in die onderste (sê 30mm) laag van die vorm waarin die KDV bepaal word-terwyl die DKP-meting regdeur die vorm gedoen word en die gemiddelde DN geneem word. Om seker te maak dat die kegelstang self nie weens wrywing verantwoordelik is vir die verskynsel nie, is die toetsvorms om die beurt van bo en van onder gepenetreer. Omdat die veranderlikes soos voginhoud, PI, ensovoorts per materiaal vir die duur van die eksperiment relatief konstant bly, behoort enige verskil in DN hoofsaaklik veroorsaak te word deur 'n verskil in digtheid.

Die DKP-krommes wat so verkry is, toon dat die materiaal stelselmatig meer weerstand bied na onder in die vorm - die helling van die kurwe word platter.

Weereens is gevind dat die grootte van die digtheidsgradiënt oor die materiaal in die toetsvorm afhanklik is van die kwaliteit van die materiaal. Dit wil sê hoe beter die TRB-klassifikasie van die materiaal hoe groter is die digtheidsgradiënt - verwys na Figuur 13 en para 2.3.4.

Volgens die gegewens wissel die verskil in DN van die onderste ongeveer 30 mm en die gemiddelde DN oor die toetsvorm normaalweg tussen 10-25%, afhangende van die klassifikasie van die materiaal. Met ander woorde hoe beter die klassifikasie van die materiaal hoe opmerkliker is die digtheidsgradiënt.

2.3.6 DN/EDS-Korrelasie

Die korrelasie van die DKP met Eenassige Druksterkte (EDS) is 'n paar jaar (1977) na die aanvanklike DN/KDV kalibrasie deur ingenieurs in opleiding, Bester [7]

2.9/.....

en de Villiers [8], by die TPD Materiale Laboratorium onder my toesig gedoen. Die verband wat daaruit voort-spruit word in Figuur 14 geïllustreer.

Tydens hierdie korrelasie-ondersoek is noodwendig materiaal gebruik met 'n DN-waarde van minder as 5mm/hou en sodoende kon die verband tussen DN en KDV wat aanvank-lik bepaal is (para 2.3.1) aangepas word om die verband soos in Figuur 10 getoon te verkry.

2.3.7 Gevolgtrekkings van Kalibrasie

As algemene kommentaar moet die aandag daarop gevestig word dat die kurwepassings van die verskillende korrel-asiekurwes met die "oog" gedoen is en alhoewel dit nie op die stadium sodanig as 'n nadeel gesien word vir die praktiese toepassing van die DKP nie, sou dit tog wenslik wees om kurwepassings in die toekoms statisties te verifieer.

Die volgende gevolgtrekkings kan egter na aanleiding van die kalibrasietoetse gemaak word:

- i) Die DKP is sensitief genoeg om prakties bruikbaar te wees op padwerke.
- ii) Die DKP se herhaalbaarheid as toetsinstrument is genoeg om prakties bruikbaar te wees.
- iii) Die DKP is, soortgelyk aan KDV, gevoelig vir materiaaltoestande soos digtheid, voggehalte, korrelsterkte, gradering en plastisiteit.
- iv) Die DN weerspieël globaal gesien, soortgelyk aan KDV, hoofsaaklik die skuifsterkte van 'n materi-aal.
- v) Die verband tussen DN, KDV, en EDS is goed genoeg om prakties bruikbaar te wees.
- vi) Die verband tussen DN, KDV en EDS is 'n kromme wat nagenoeg reglynig verloop vir $DN > 2$ mm/hou op 'n log-skaal. Dit word aanvaar dat die DKP prakties gesproke tot stilstand gekom het wanneer $DN < 0,25$ mm/hou is.

2.10 |

- vii) Daar is 'n omklemmingseffek op die DKP wanneer metings in toetsvorms uitgevoer word.
- viii) 'n Digtheidsgradient is aanwesig in die materiaal wat in 'n toetsvorm verdig is.
- ix) Die effek van die omklemming en digtheidsgradient op die DN van materiaal in 'n toetsvorm is nagenoeg omgekeerd eweredig aan mekaar en hef mekaar prakties gesproke op, sodat die resulterende effek weglaatbaar klein is.

Tabel 2.1 som die bogenoemde gevolgtrekkings op in terme van die algemene reaksie van DN relatief tot KDV as gevolg van 'n verandering in materiaaltoestand of -eienskap.

Tabel 2.1. Die Algemene Reaksie van DN Relatief tot KDV as gevolg van 'n Verandering in materiaaltoestand of -eienskap.

Toename in Materiaal-toestand of -eienskap	KDV (%)	DN (mm/hou)
Sterkte	↑	↓
Digtheid	↑	↓
EDS	↑	↓
Voggehalte	↓	↑
P.I.	↓	↑

↑ : Toename
 ↓ : Afname

2.4 Aanvanlike Plaveiselevaluering

Omdat die potensiaal van die DKP só duidelik na vore gekom het tydens die Burrow-ondersoek en ook met soveel sekerheid gekalibreer was teen KDV is besluit om die instrument voortaan ook te gebruik met die evaluering van plaveiseltoestand en -gedrag [9].

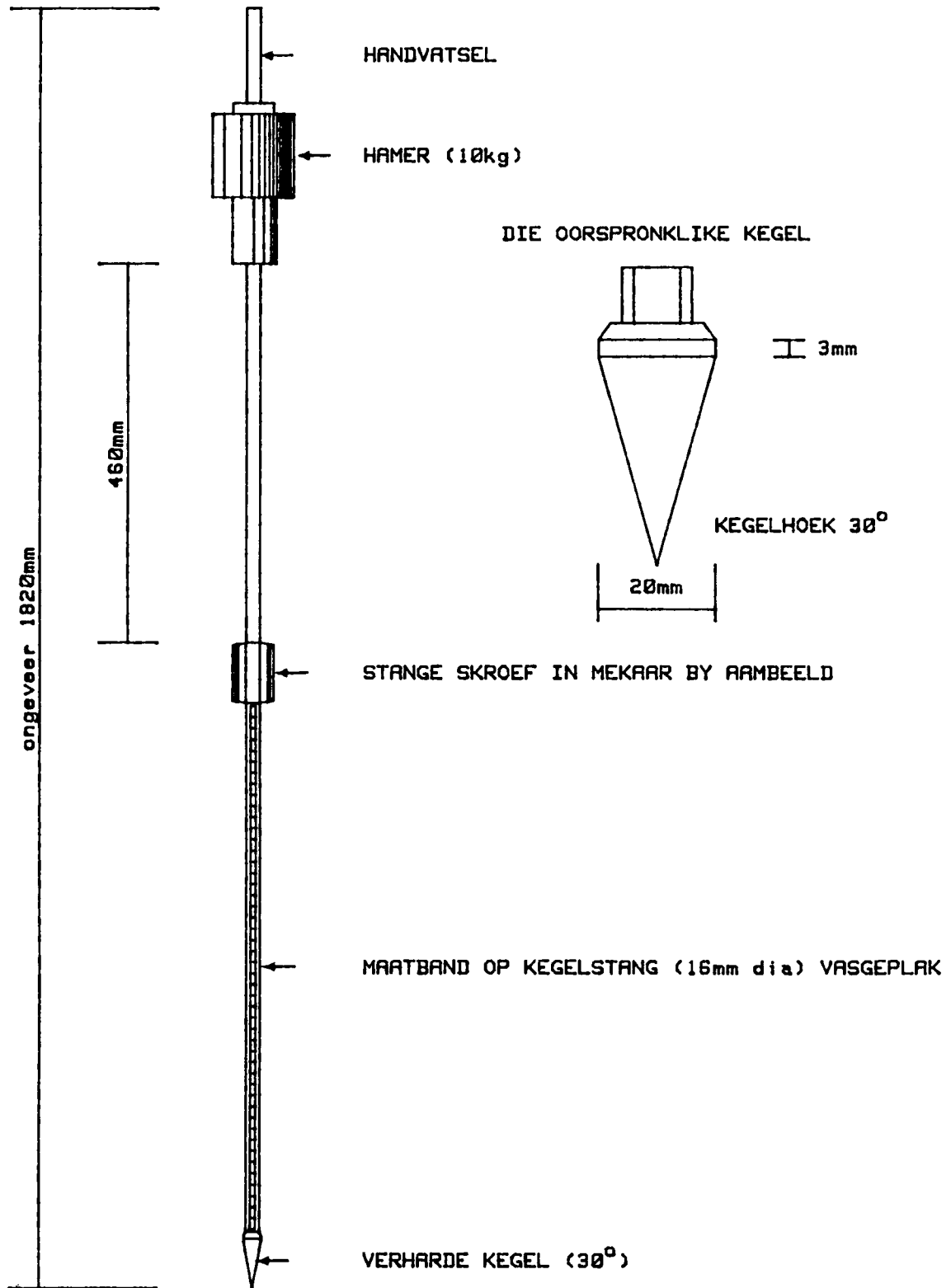
2.11/....

Die gedagte het dus ontstaan dat die sterktevereistes op die verskillende dieptes in 'n plaveisel vir verskillende verkeersbelastings mettertyd bekom sal kan word, plaveiselgedrag beter verklaar en voorspel sal kan word en ontwerpteorieë sodoende verfyn sal kan word.

Om die DN-waardes laag vir laag te vergelyk met mekaar het egter geen bevredigende verklaring gelewer aangaande 'n plaveisel se gedrag of werking as 'n sisteem nie. Die behoefte aan 'n metode waarvolgens 'n plaveisel se toestand en gedrag as 'n sisteem voorgestel en ontleed kan word het dus ontstaan. Hierdie metode moes onder andere voorsiening maak vir die toestand van die materiaal, die laagdikte, asook die posisie van die laag in die plaveisel.

So is die Fondamentbalansgrafiek en DKP-Faktormetode ontwikkel en aanvanklik (1974-1978) vir plaveiselevalue-ring gebruik (Sien Bylaag A) terwyl verdere navorsing gedoen is soos beskryf in die opvolgende hoofstukke.

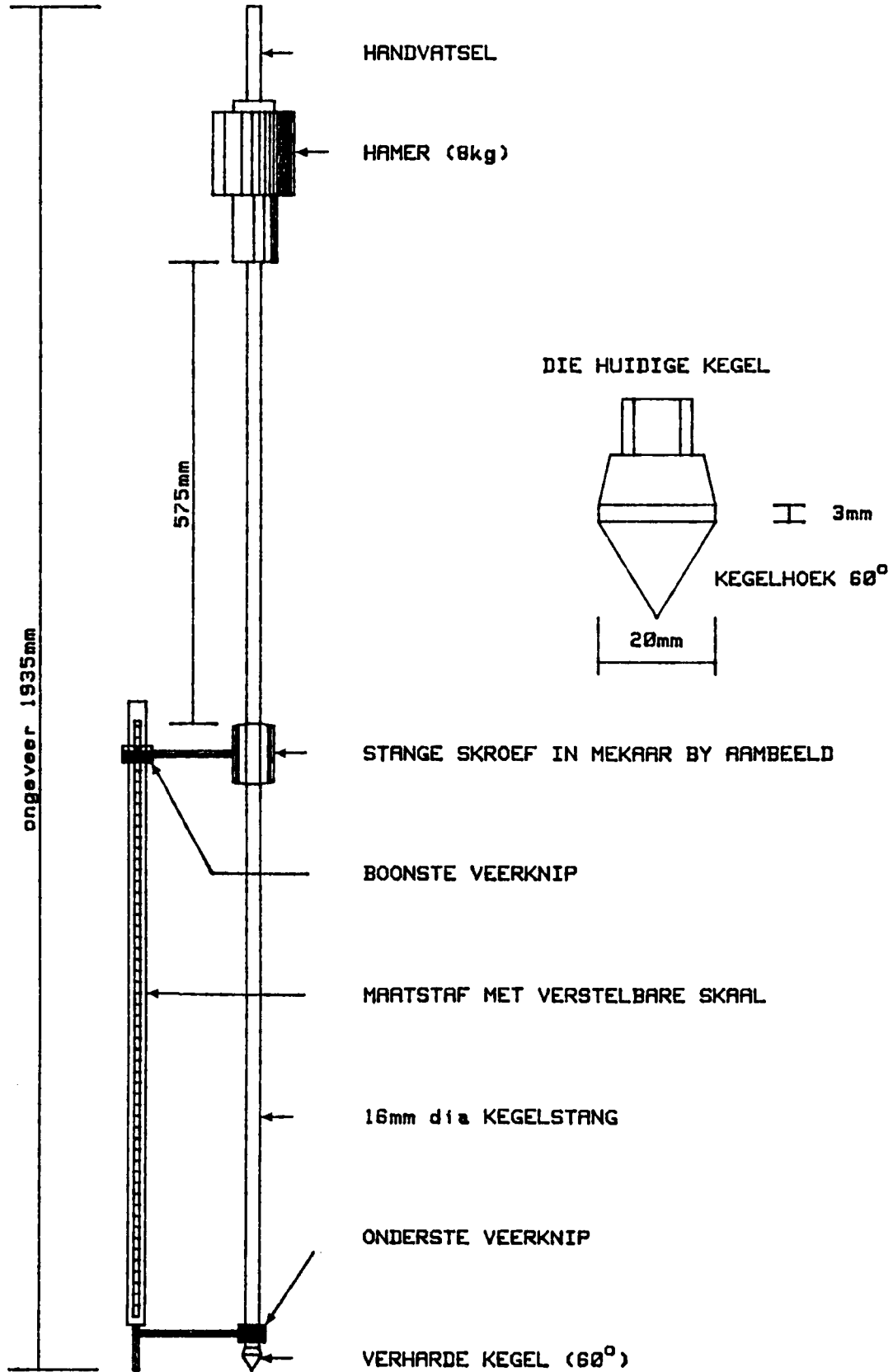
2.12



DIE OORSPRONKLIKE DKP

FIGUUR 1

2.13



DIE HUIDIGE DKP

FIGUUR 2

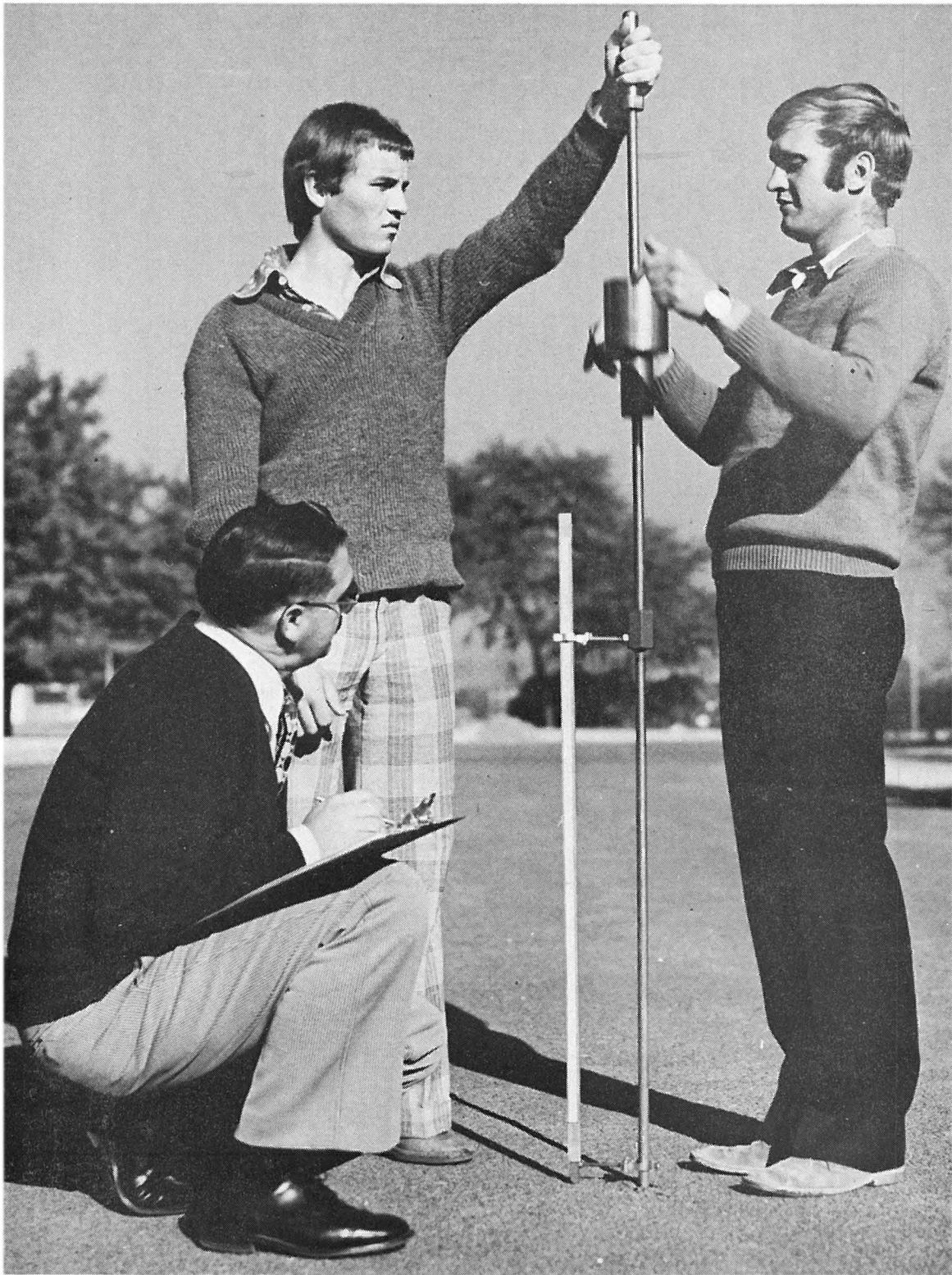
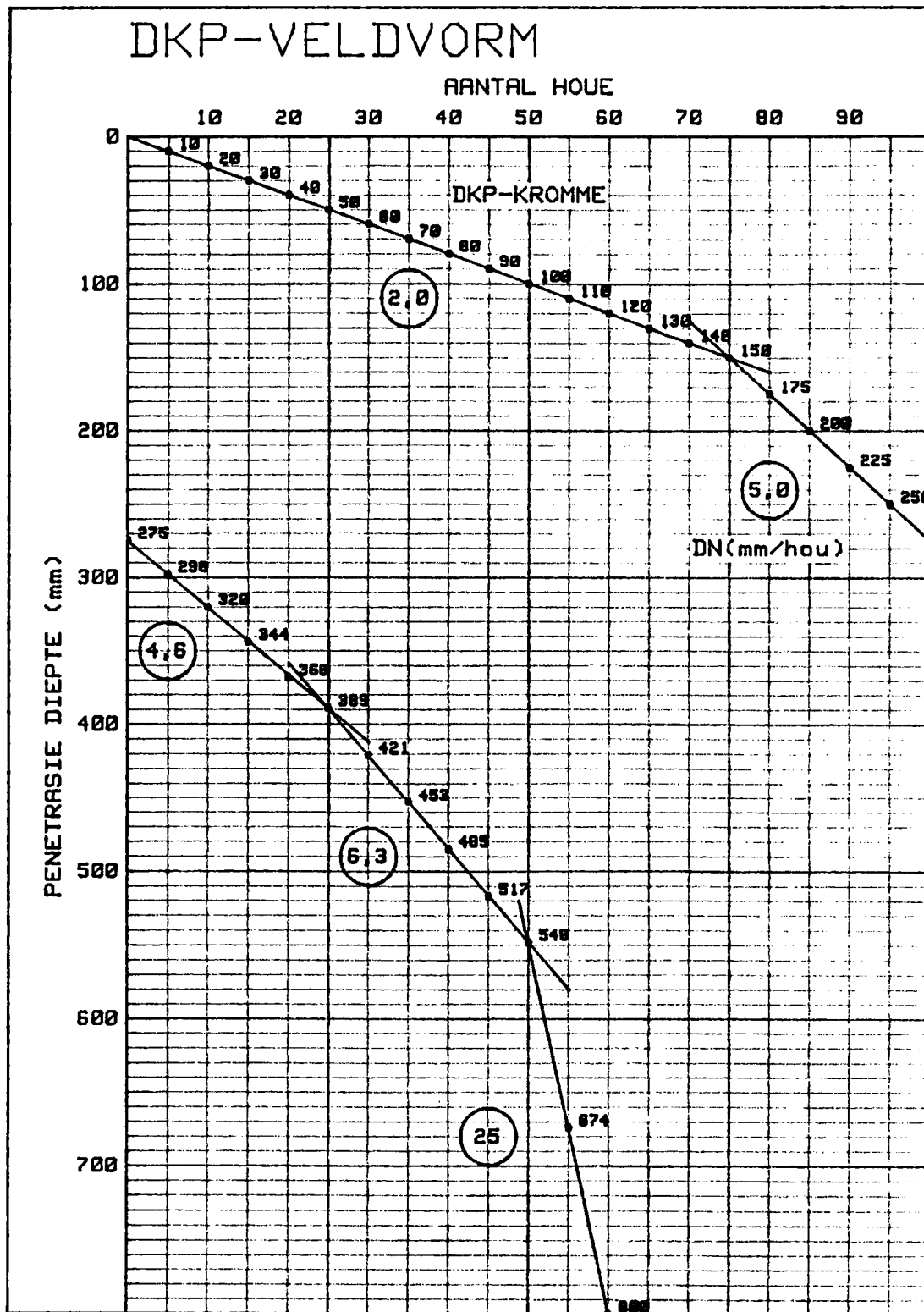


Foto Nr. 1

DKP IN GEBRUIK

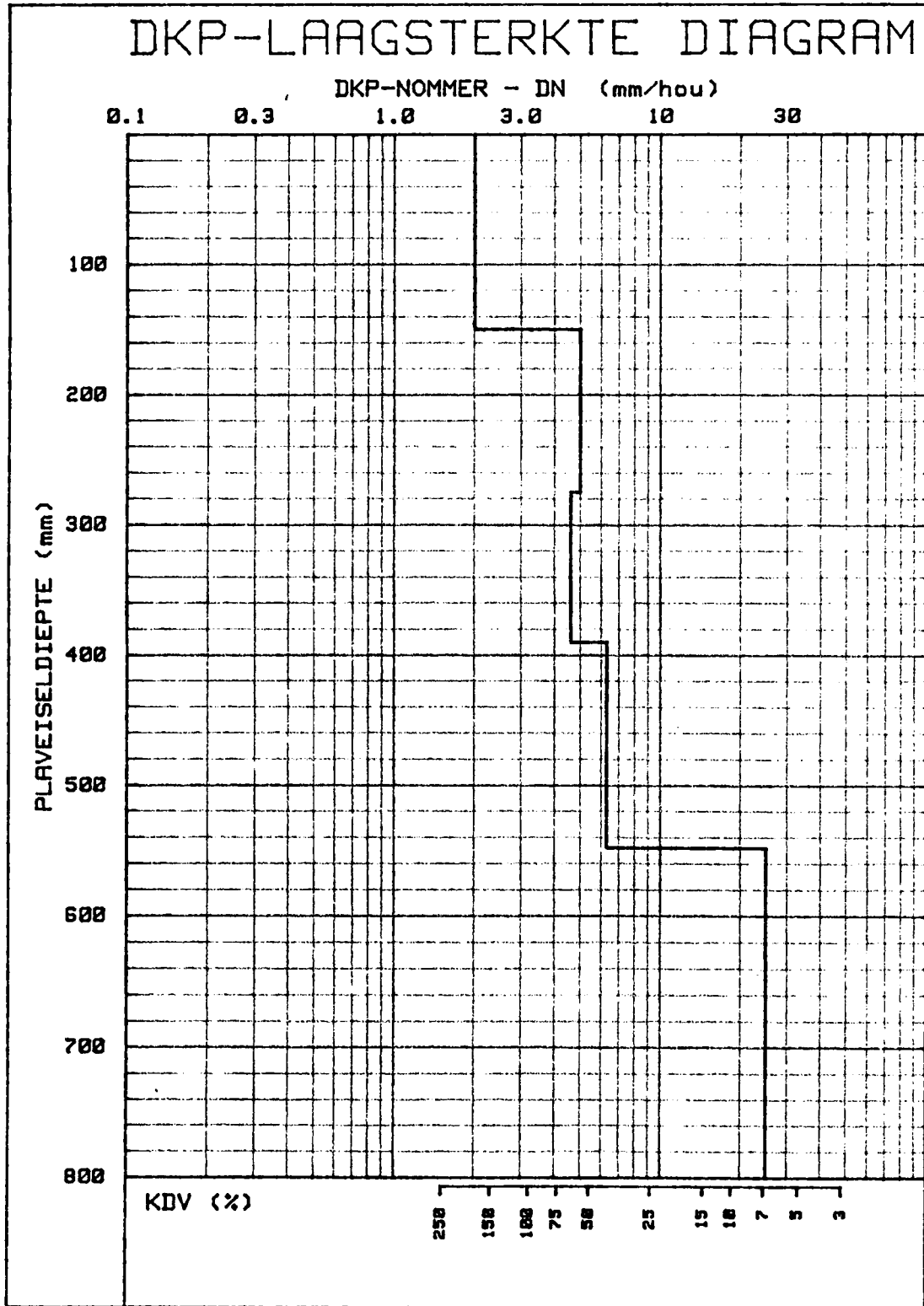
2.15



DKP-VELDVORM

FIGUUR 3

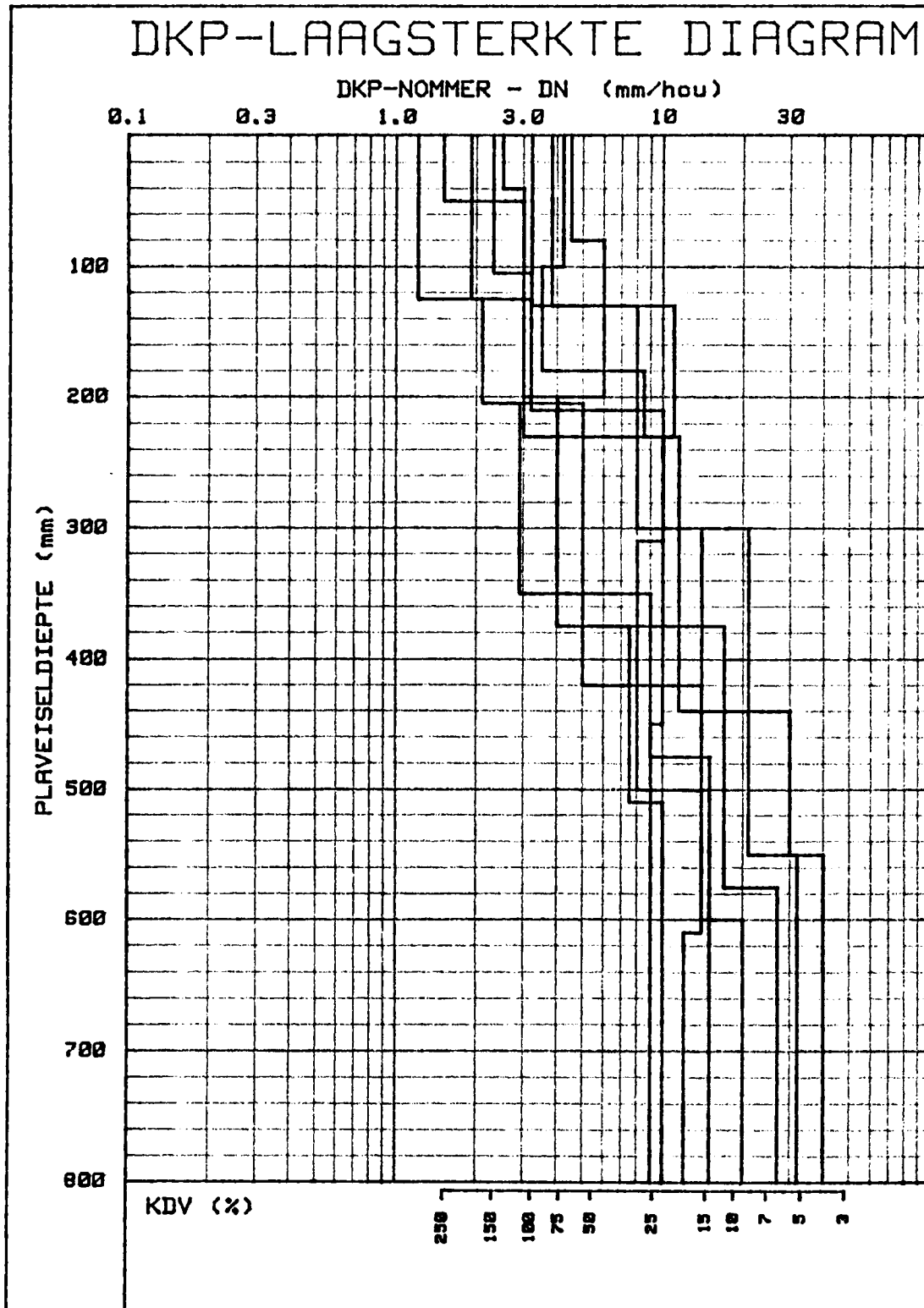
2.16



DKP-LAAGSTERKTE DIAGRAM (Van figuur 3)

FIGUUR 4

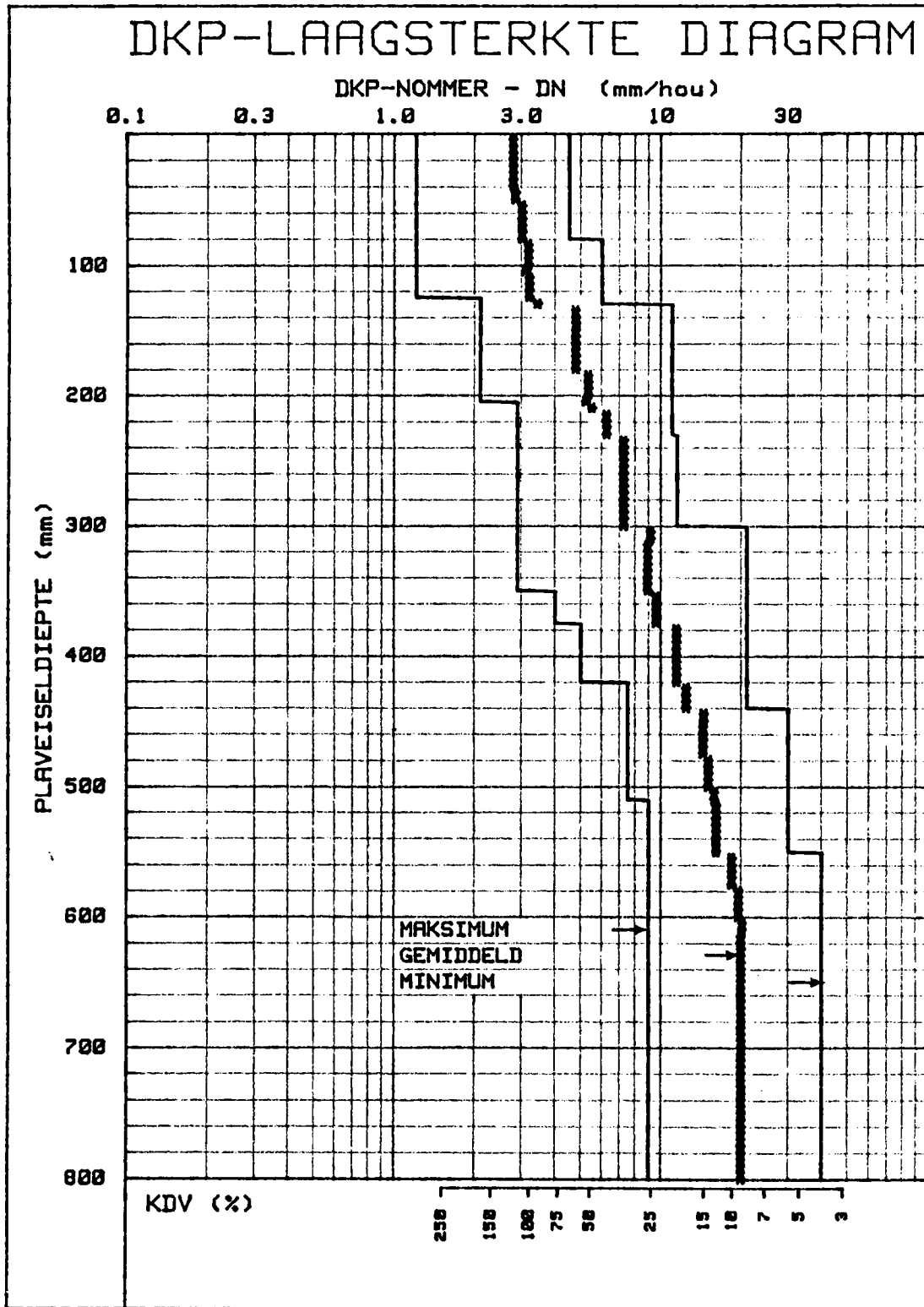
2.17



DKP-LAAGSTERKTE DIAGRAM (SAAMGESTELD)

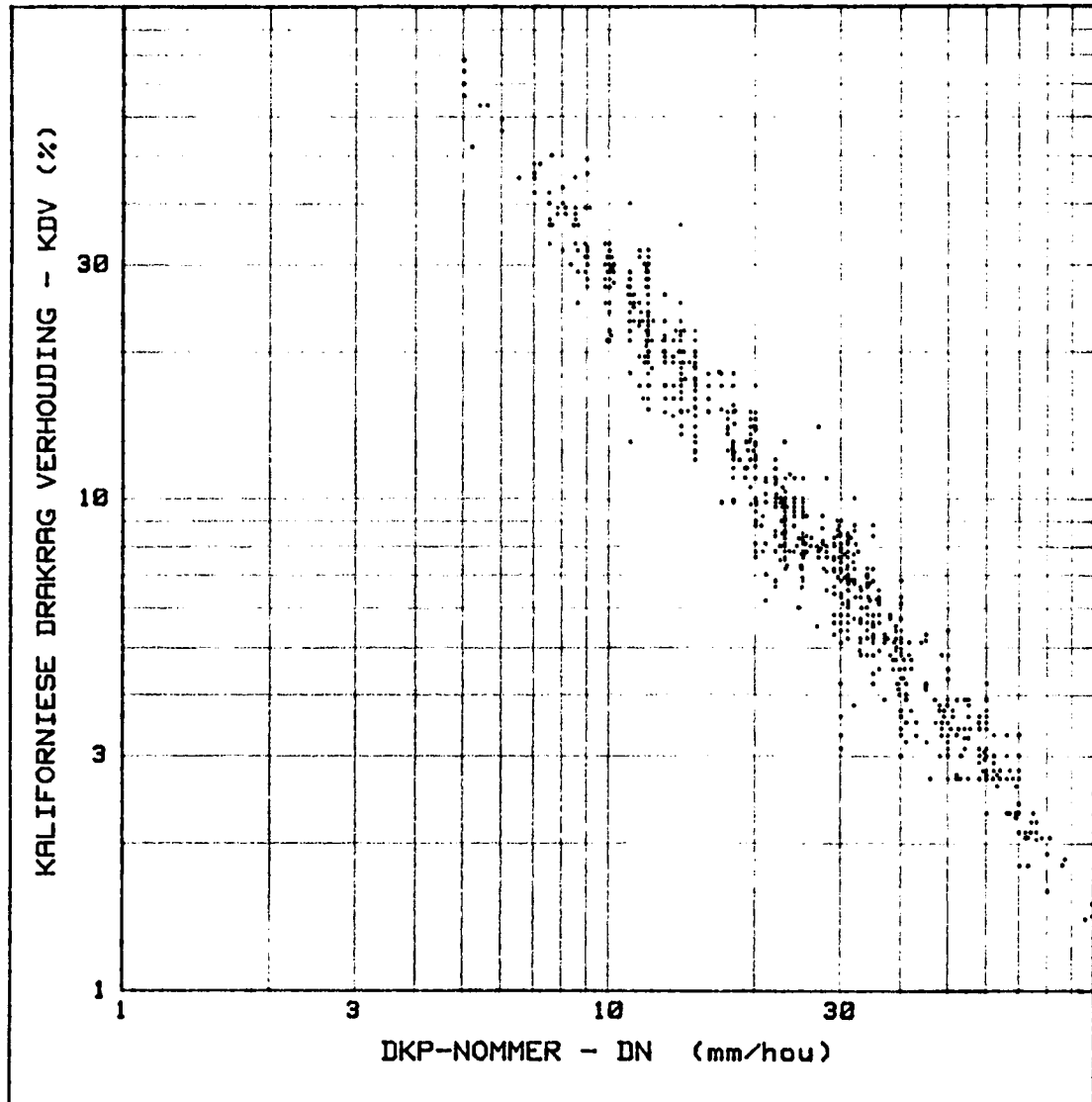
FIGUUR 5A

2.18



DKP-LAAGSTERKTE DIAGRAM
(GEMIDDELD, MAKSIMUM- en MINIMUMPROFIEL)

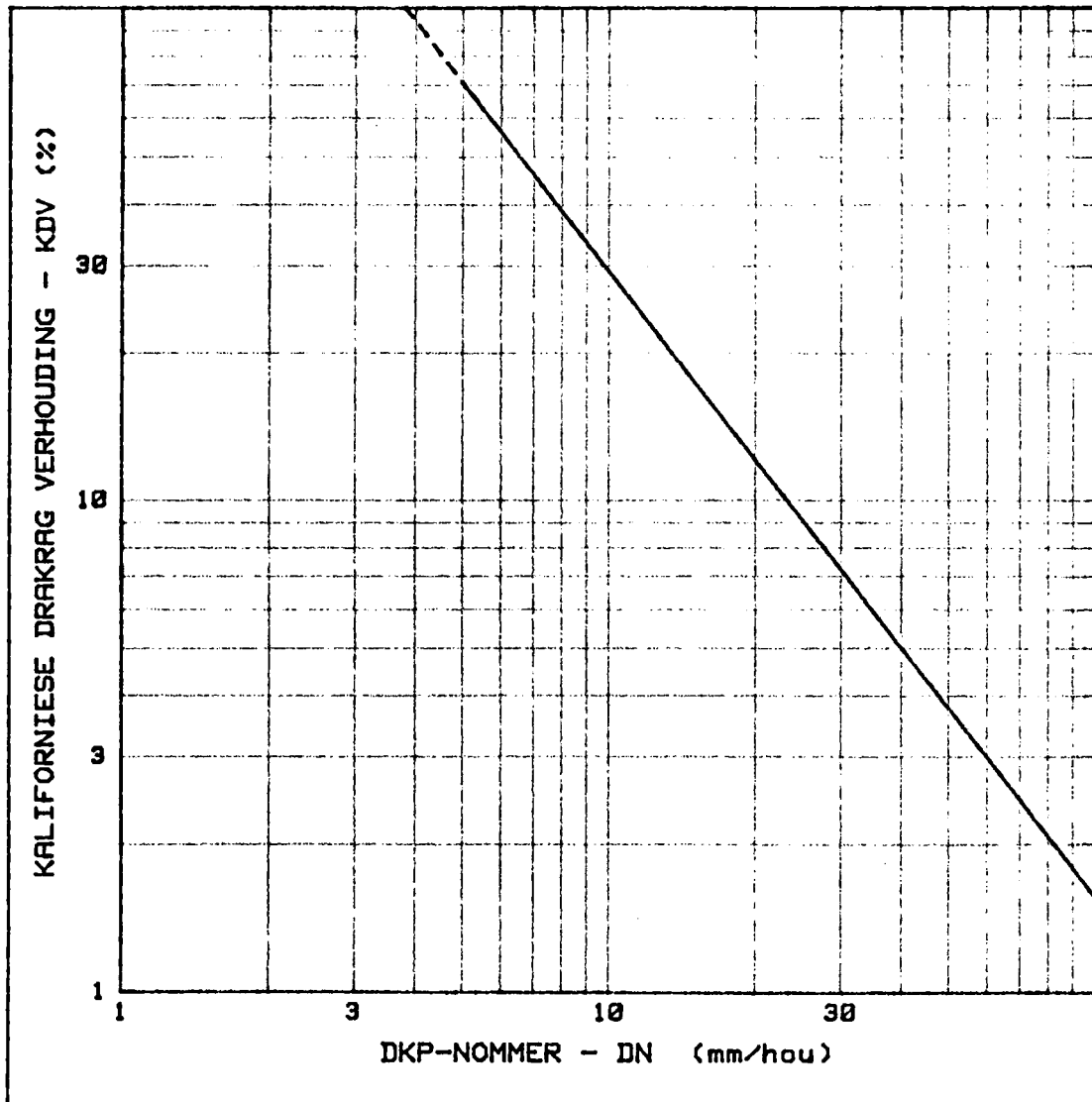
FIGUUR 5B



VERBAND TUSSEN 30^0 DN EN KDV VOLGENS
RESULTATE VAN DIE BURROW-ONDERSOEK [1]

FIGUUR 6

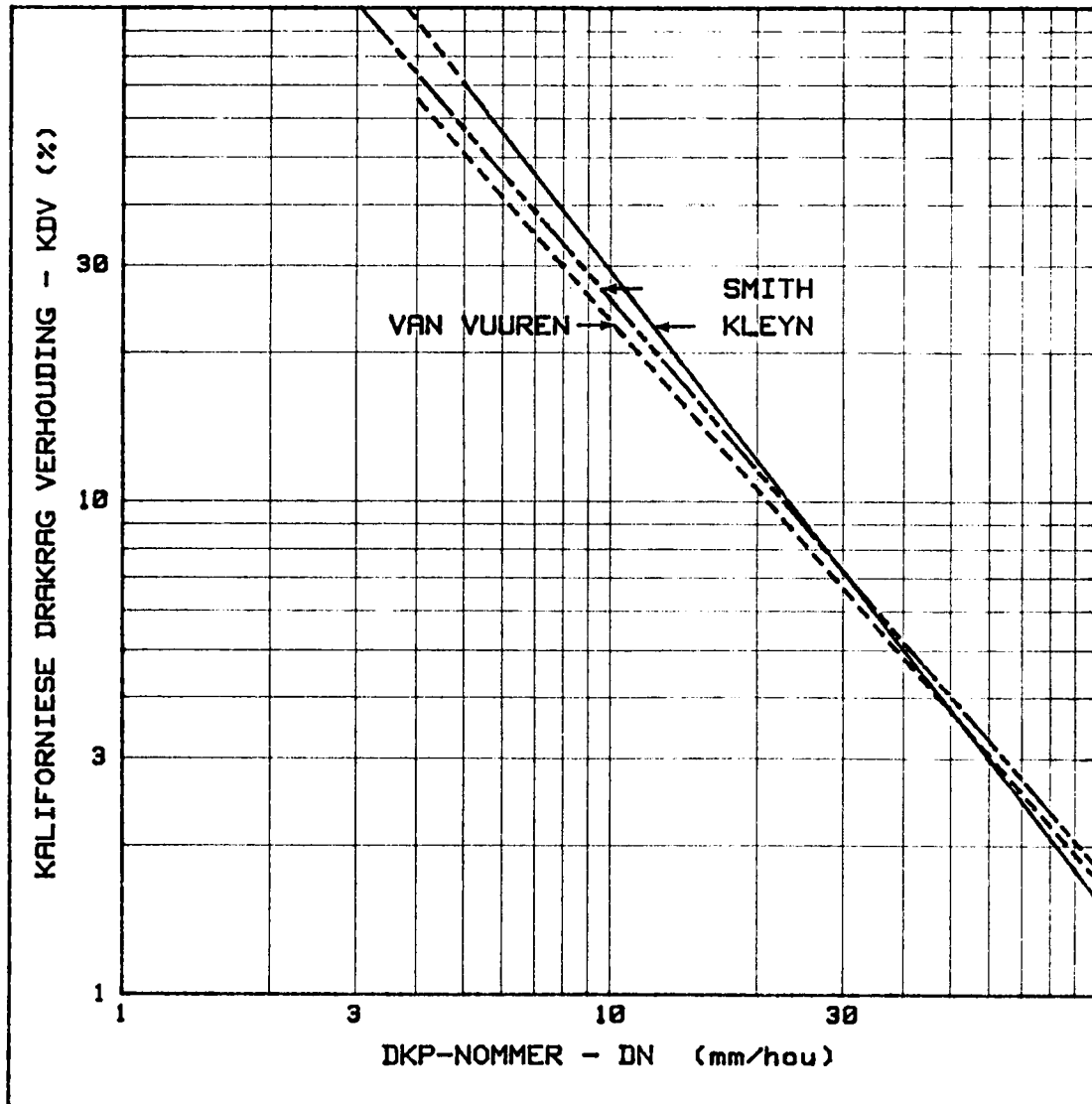
2.20



VERBAND TUSSEN 30^0 DN EN KDV

FIGUUR 7

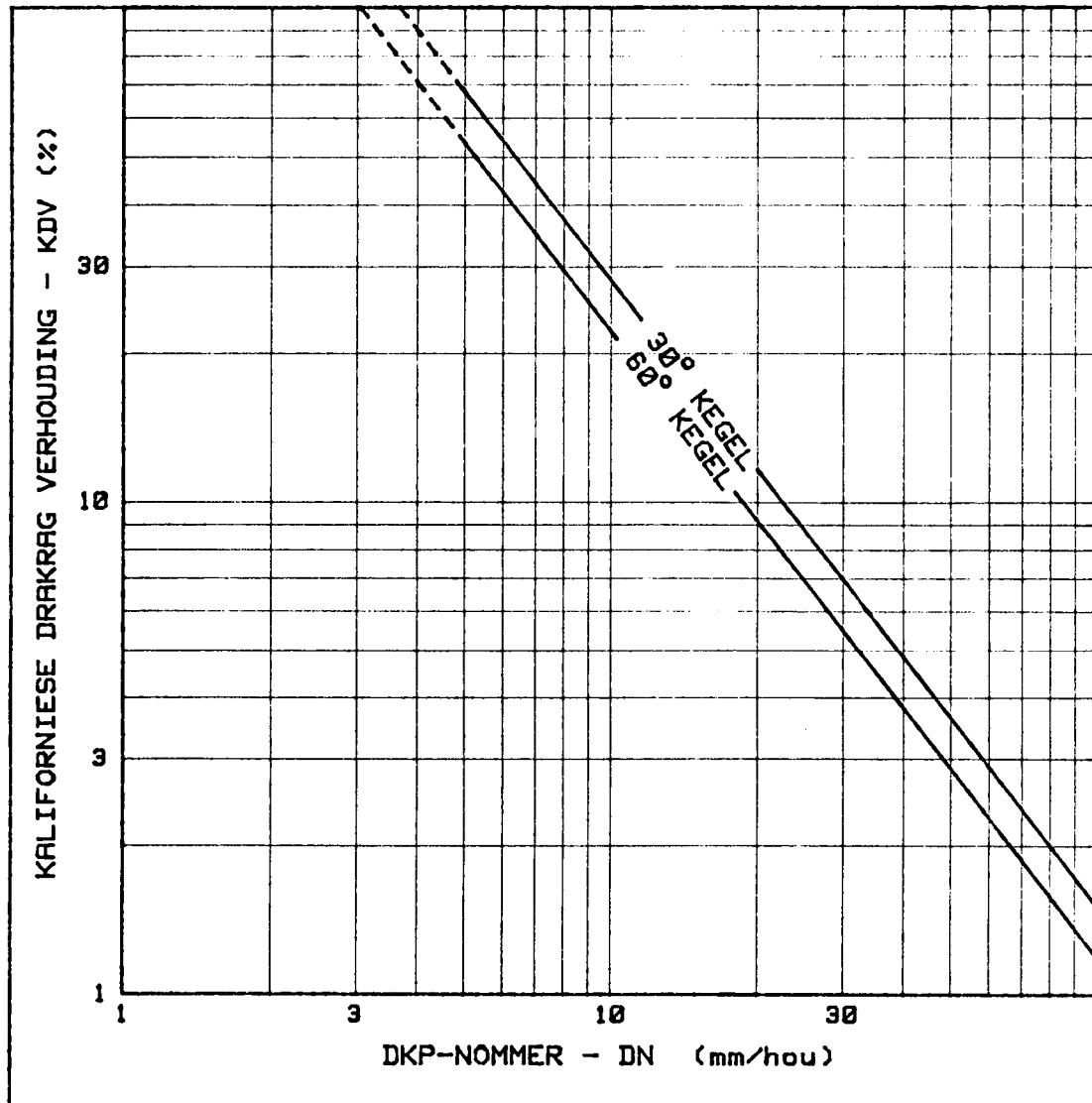
2.21



VERGELYKING TUSSEN VAN VUUREN, SMITH EN KLEYN SE KORRELASIE VAN 30° DN MET KDV

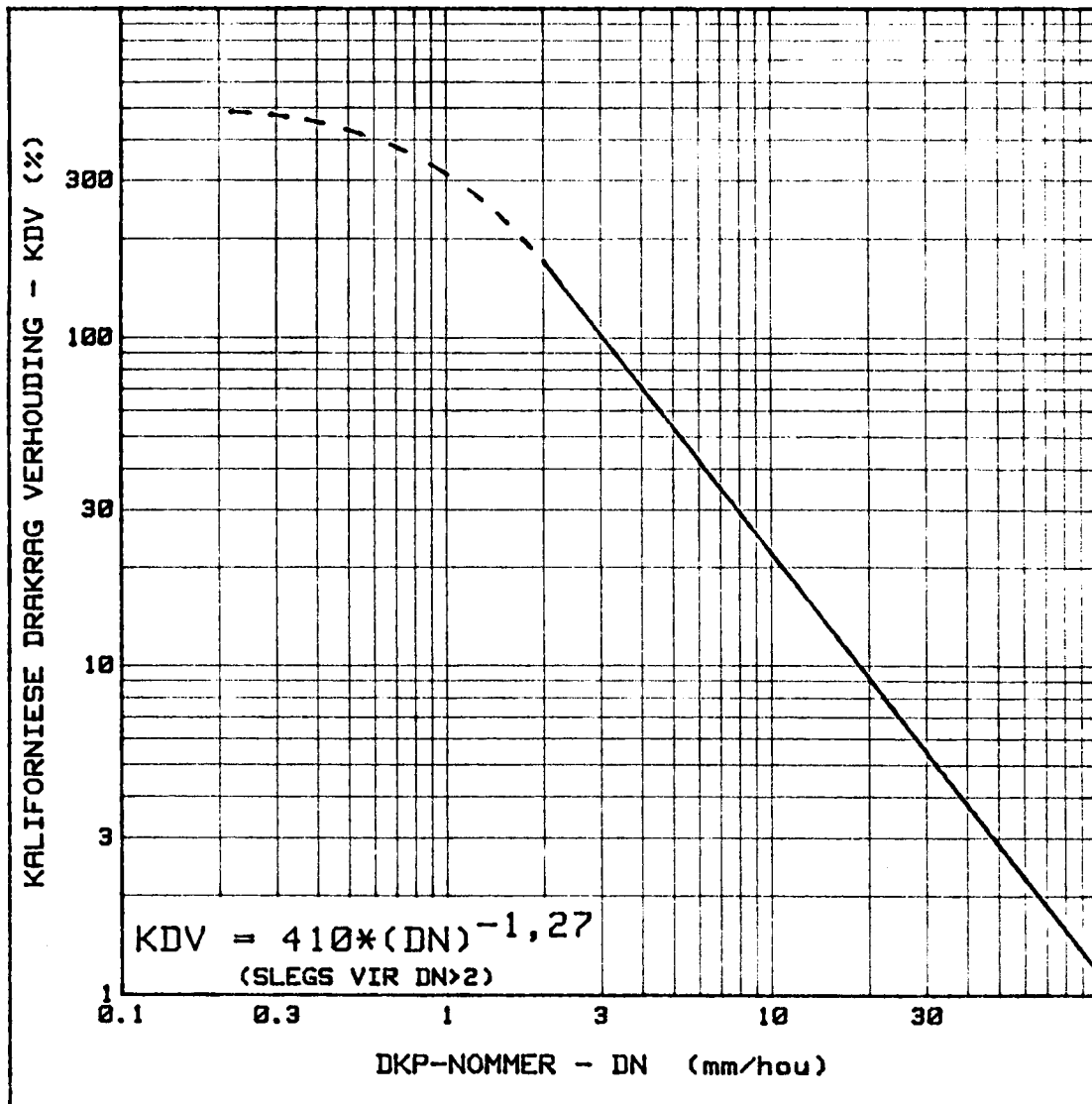
FIGUUR 8

2.22



GEMIDDELDE VERBAND TUSSEN DN EN KDV
VIR 60° EN 30° KEGEL

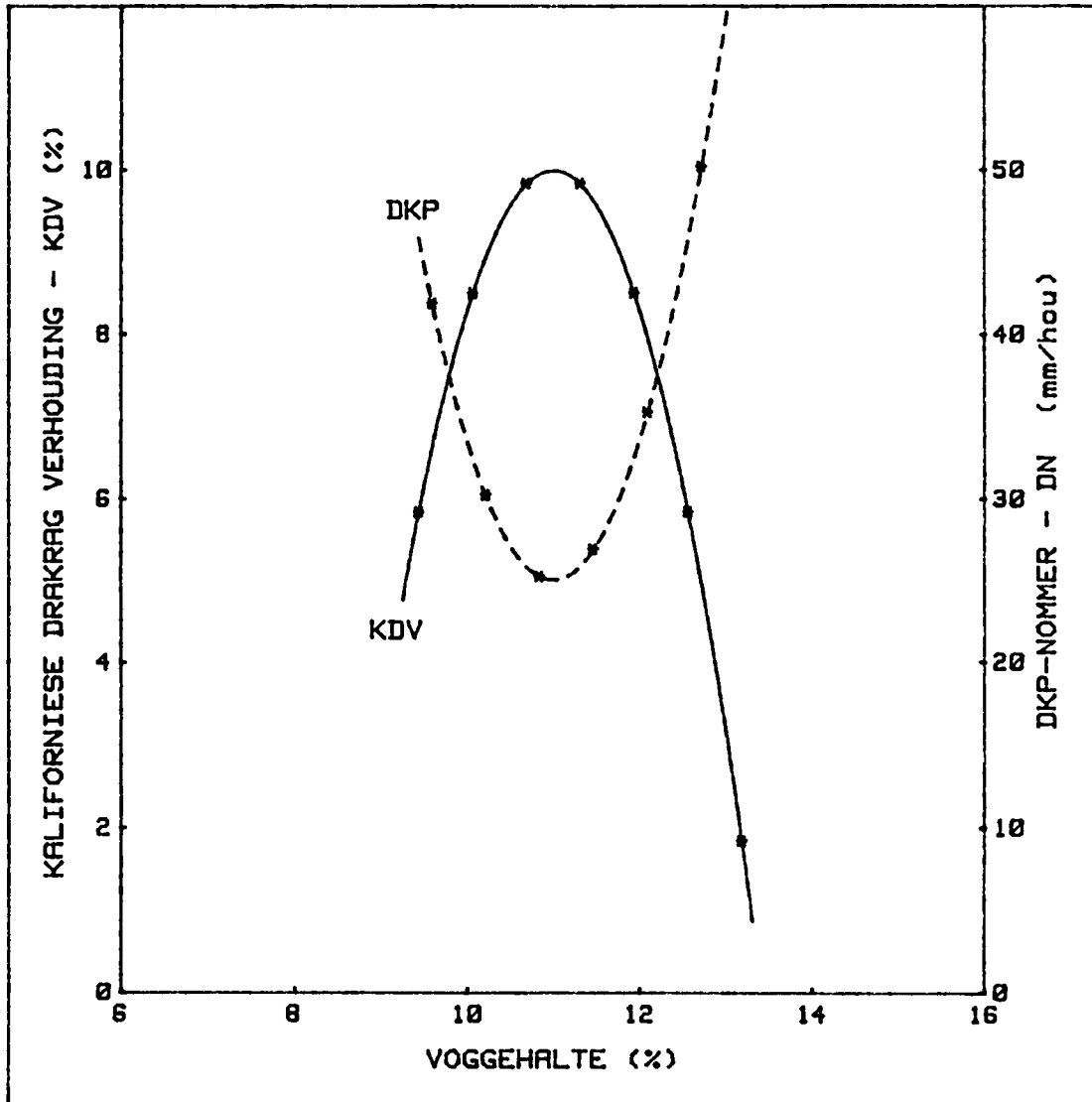
FIGUUR 9



VERHOUDING TUSSEN 60^0 DN EN KDV

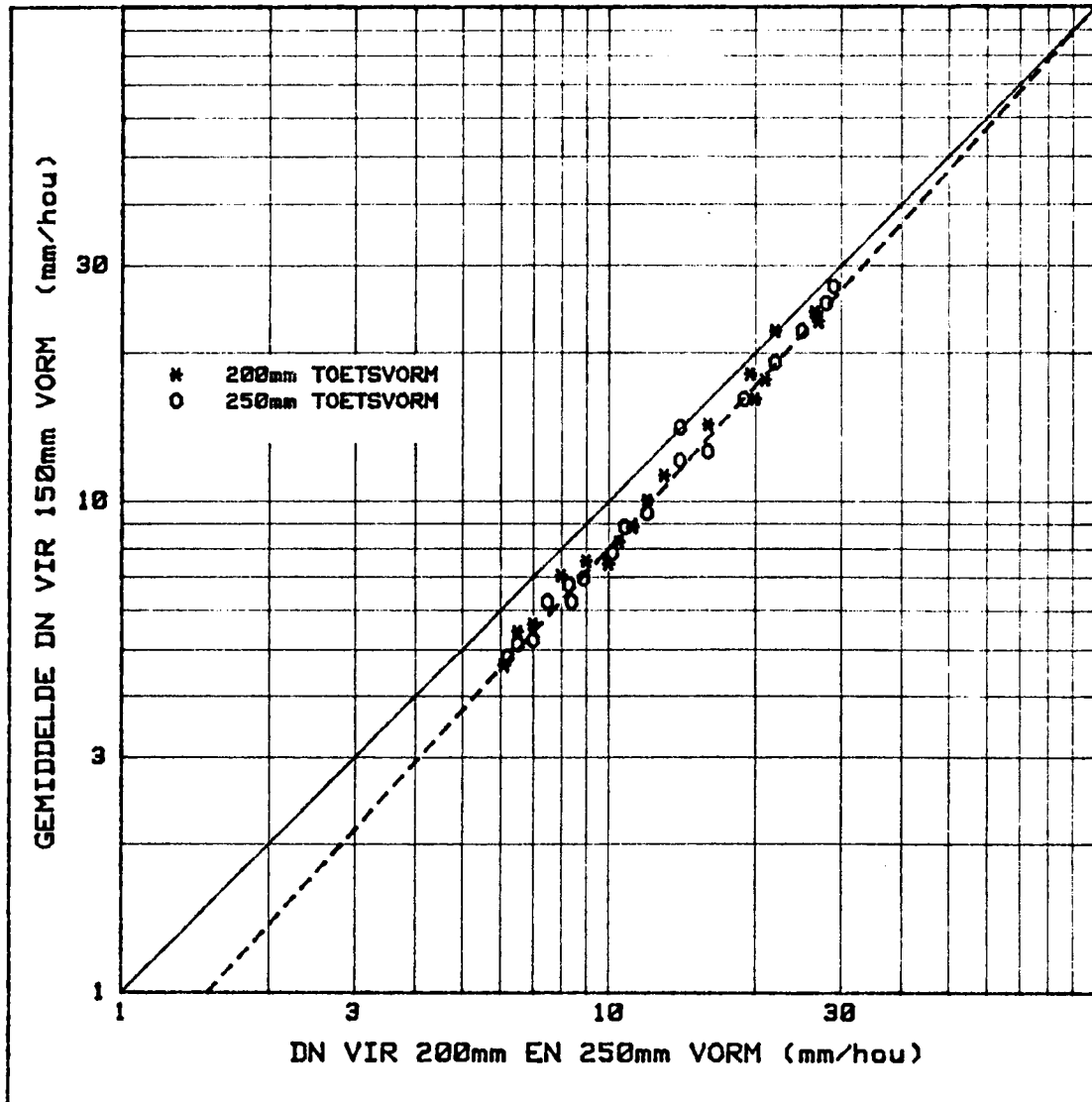
FIGUUR 10

2.24



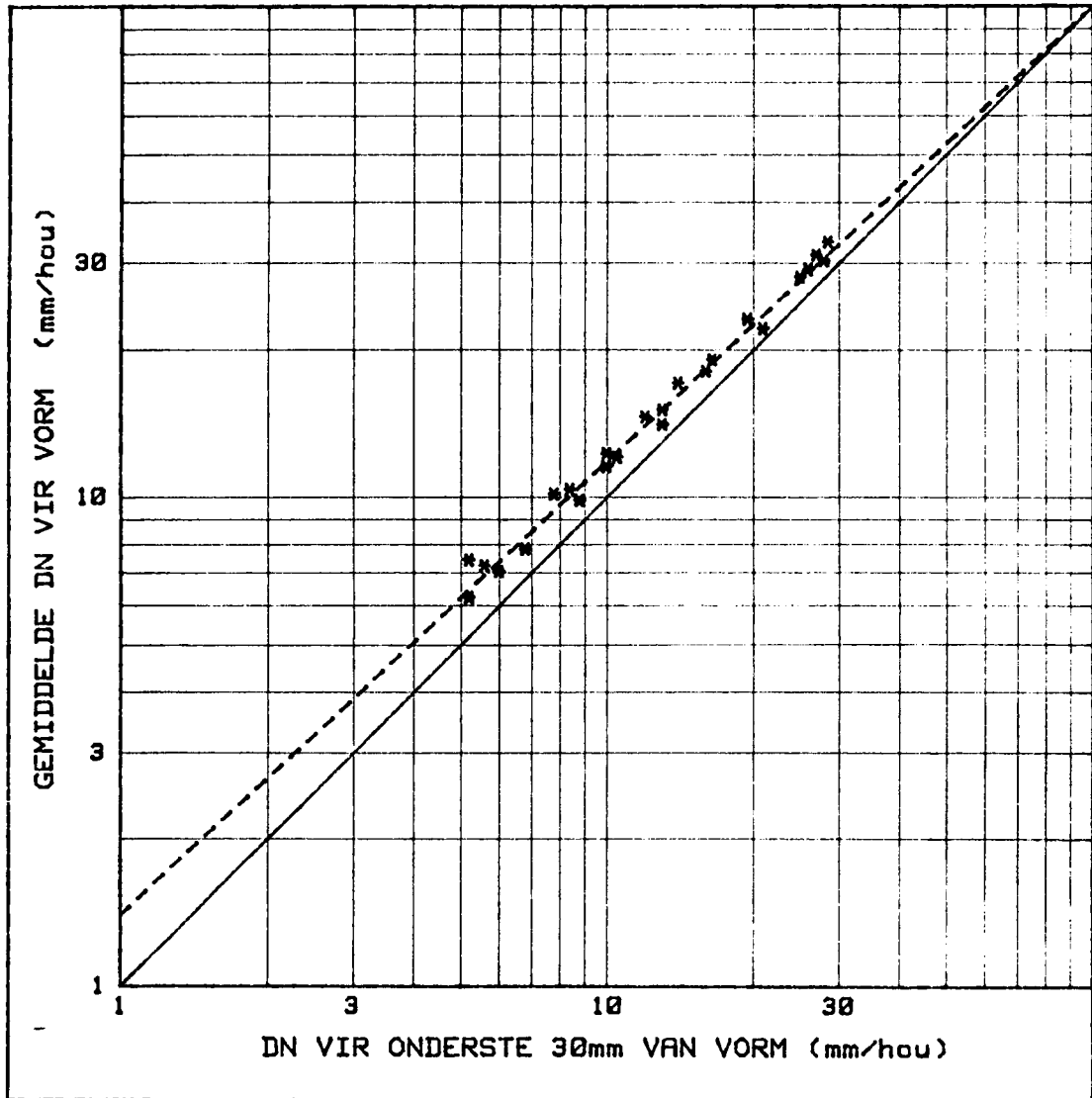
DIE EFFEK VAN VOG OP DN IS
SOORTGELYK AAN DIE EFFEK OP KDV

FIGUUR 11



OMKLEMMINGSEFFEK VAN TOETSVORM OP DN

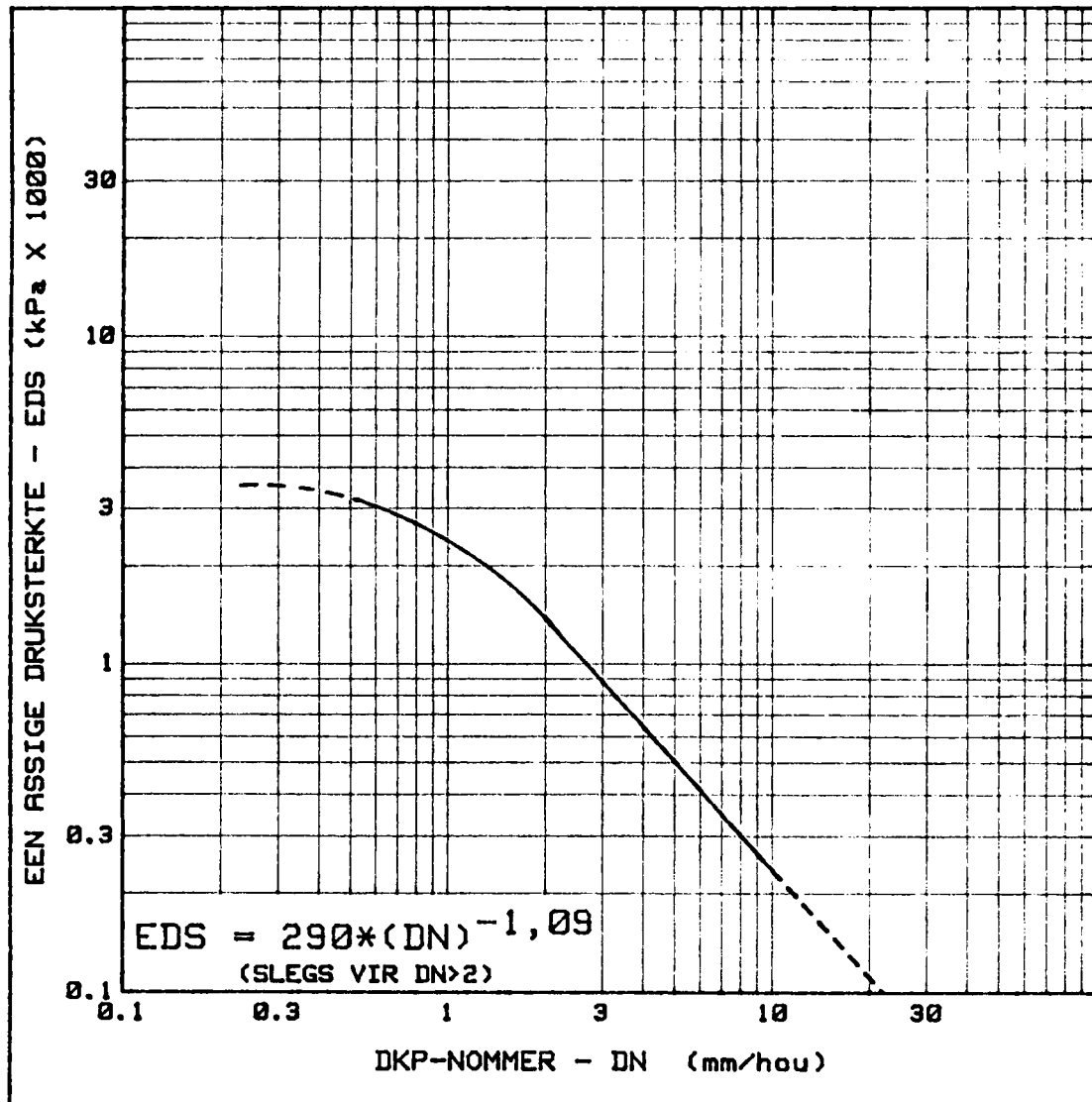
FIGUUR 12



EFFEK VAN DIGTHEIDSGRADIENT OOR TOETSVORM OP DN

FIGUUR 13

2.27



VERHOUDING TUSSEN 60⁰ DN EN EDS

FIGUUR 14

HOOFSTUK 3

 ONTWIKKELING VAN FUNDAMENTELE PLAVEISELGEDRAG-
 PARAMETERS EN -KONSEPTE

 3.1 Die DKP-Struktuurnommer en Plaveiselsterktebalans.

Die DKP-Faktormetode (para 2.4) van plaveiselontleding is vir 'n gruime tyd gebruik en alhoewel dit heelwat meer insig aangaande die werking van 'n plaveisel as 'n sisteem gebring het, kon dit tog nie die samestelling van hierdie sisteem bevredigend definieer of evalueer nie. Dit het geblyk dat twee parameters naamlik strukturele sterkte en die onderlinge verband tussen die verskillende sones in die plaveisel verkieslik afsonderlik interpreteer en evalueer moes word. (Ook bespreek in verwysing 10).

 3.2 DKP-Struktuurnommer (DSN)

Daar is besluit om die strukturele waarde van 'n laag of gebied in 'n plaveisel uit te druk in terme van 'n struktuurnommer soortgelyk aan verskeie bestaande plaveiselsamestellingsmetodes. Net in dié geval egter sou die struktuurnommer direk gebruik maak van die gemete DKP-Nommer (DN) en die betrokke laagdikte (h) as volg:

$$\text{DKP-Struktuurnommer (DSN)} = \frac{h}{DN} \quad \dots(1)$$

Dit val dus op die DSN van 'n laag gelykstaande is aan die aantal houe om die betrokke laag te penetreer. Die DKP-Struktuurnommer vir 'n plaveisel as geheel word dus verkry deur al die DSN-inkremente oor die gekose plaveiseldiepte te sommer.

$$\text{Plaveisel-DSN} = \frac{h_1}{DN_1} + \frac{h_2}{DN_2} \dots + \frac{h_n}{DN_n} \quad \dots(2)$$

= totale aantal houe om plaveisel te penetreer.

3.2/.....

3.2

'n Struktuurnommer wat direk van die DN en laag- of plaveiseldiepte gebruik maak en waarvan die waarde direk van die DKP-kromme (Figuur 3) afgelees kan word vir 'n bepaalde plaveiseldiepte is dus bekom.

Gedurende die aanvanklike ingebruikneming van die DKP (Burrow-ondersoek) is besluit dat, alhoewel die basiese instrument tot 'n diepte van 1 m kon penetreer, 'n penetrasiediepte van 800 mm voldoende behoort te wees vir algemene plaveiselondersoeke - 'n syfer wat later deur TRH 4 en Swaarvoertuignabootsertoetse beaam sou word (para 5.3).

3.3 Plaveiselsterktebalans

In 'n poging om 'n parameter te bekom wat die algemene verband tussen sterkte en diepte in 'n plaveiselsisteem sou kon beskryf is besluit om die kumulatiewe Struktuurnommer (DSN) by enige punt in die plaveisel uit te druk as 'n persentasie van die Plaveiselstruktuurnommer (DSN_{800}) - waar DSN_{800} die Plaveiselstruktuurnommer (aantal houe) tot op 'n diepte van 800 mm voorstel.

Die samestelling van verskeie paaie is nagegaan en alhoewel sommige plaveisels kurwes gelewer het soos deur Figuur 15 geïllustreer, het 'n groot aantal relatief "gladde" krommes, wat aan hiperbole herinner, gelewer soos deur Fig. 16 geïllustreer. Die gladde krommes is veral verkry van gruispaaie en die ouer teerpaaie met ongestabiliseerde gruislae. Daar is wel ook gladde krommes verkry van ou teerpaaie met 'n gestabiliseerde kroonlaag soos deur Figuur 17 geïllustreer.

Die samestelling van al die afsonderlike krommes vir verskillende paaie met verskillende DSN_{800} -waardes het 'n bundel van kurwes gelewer soos deur Figuur 18 getoon.

Die krommes in Figuur 18 illustreer waarskynlik die natuurlike onderlinge sterkteverband tussen verskillende plaveiselsones waarna die plaveisel onder verkeer neig.

3.3/.....

3.3

Met ander woorde hierdie tipe "Plaveiselsterktebalans" verseker vermoedelik optimum werkverrigting van die plaveiselsisteem onder die heersende toestande, en plaveiselontwerp behoort vermoedelik ook hierna te streef. (Sien ook para 4.2.3).

Om die verskillende kurwes in Figuur 18 te identifiseer is besluit om die konsep van "Plaveiselbalansnommer" (BN_{100}) te definieer as die persentasie van die Plaveiselstruktuurnummer (DSN_{800}) vir elke kurwe by 'n diepte van 100mm. Dus kan gesê word dat Figuur 18 slegs kurwes met 'n BN_{100} -waarde van 12,5; 15; 20; 30; 40; 50; 60; 70 en 80 toon. Kurwes tussenin kan geïnterpoleer word. Kurwes met 'n BN_{100} -waarde $< 12,5$ en > 80 is uiters selde teengekom en is voorlopig wegge-laat.

Dit wil dus voorkom asof die Plaveiselsterktebalanskonsep bevestig en kwantifiseer wat lank reeds deur plaveisel-ingenieurs besef is, naamlik dat dit moontlik is om die nodige dra vermoë te verkry deur middel van 'n bykans onbeperkte aantal plaveiselsamestellings. Hierdie konsep behoort ook benut te kan word ten einde onoordeel-kundige plaveisel samestelling te voorkom.

(Die vermoede bestaan dat die verskillende Plaveiselsterkte balanskrommes afsnitte van dieselfde kromme verteenwoordig. Hierdie vermoede moet egter nog verder analiseer word).

3.4 Diep- en Vlakstrukture

Dit wil voorkom dat plaveiselsamestelling aan die hand van Figuur 18 in twee basiese groepe verdeel word naamlik Plaveiselsamestellings waarvan die BN_{100} -waarde neig na 12,5, of te wel "Diepstrukture", en same-stellings waarvan die BN_{100} -waarde neig na 80, of te wel "Vlakstrukture".

Dus neig 'n Diepstruktuur om saamgestel te wees uit 'n aantal lae met nagenoeg dieselfde sterkte, sodat 'n aansienlike mate van ondersteuning met diepte verleen

3.4/.....

3.4

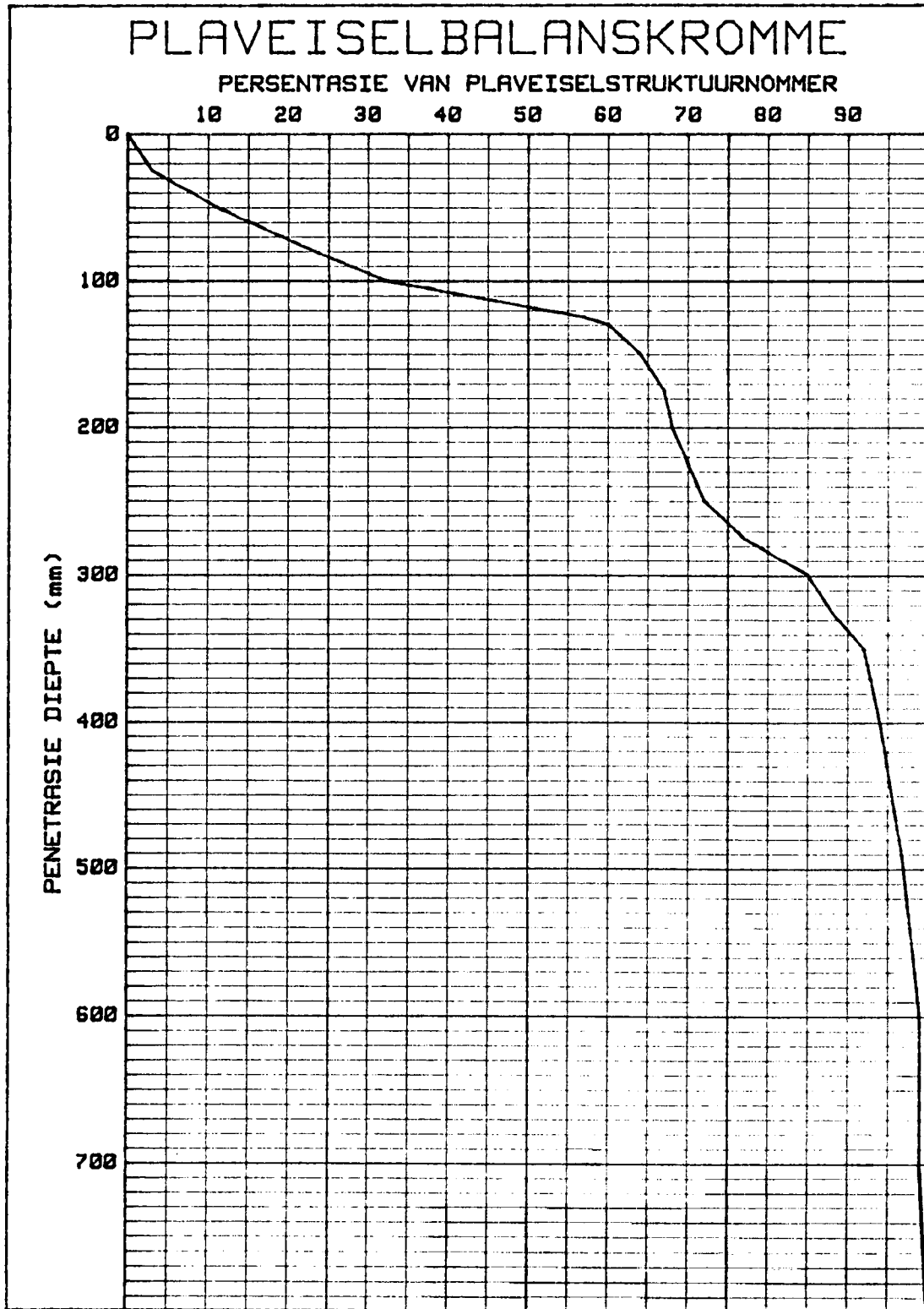
word (byvoorbeeld voldiepte natuurlike of gesementeerde materiaalsamestellings).

'n Vlakstruktuur daarenteen neig om saamgestel te wees uit een of twee dun, sterk en redelik star boonste lae waarvan die ondersteuning vinnig afneem met diepte (byvoorbeeld 'n gesementeerde kroonlaag of betonblad op relatief swak onderliggende materiaal [11]).

Dit val op dat 'n plaveiselsamestelling met 'n Plaveiselbalansnommer (BN_{100}) van 12,5 effektief neerkom op die Bousinesq-tipe homogene stratum. Verder wil dit ook voorkom asof die gemiddelde plaveiselsamestelling in Transvaal 'n BN_{100} -waarde het wat lê tussen 35 en 45. (45° Riglyn volgens Bylaag A). Ontleding van die standaard KDV-dekkingskromme toon ook 'n BN_{100} -waarde in die orde van 38.

Noudat die fundamentele plaveiselgedragparameters en -konsepte, naamlik DKP-Nommer (DN), DKP-Struktuurnommer (DSN) DKP-Plaveiselstruktuurnommer (DSN_{800}) en Plaveiselsterktebalans ontwikkel is kan oorgegaan word tot die aanwending van hierdie parameters en konsepte ter ontwikkeling van 'n plaveiselgedragfilosofie soos in die opvolgende hoofstuk.

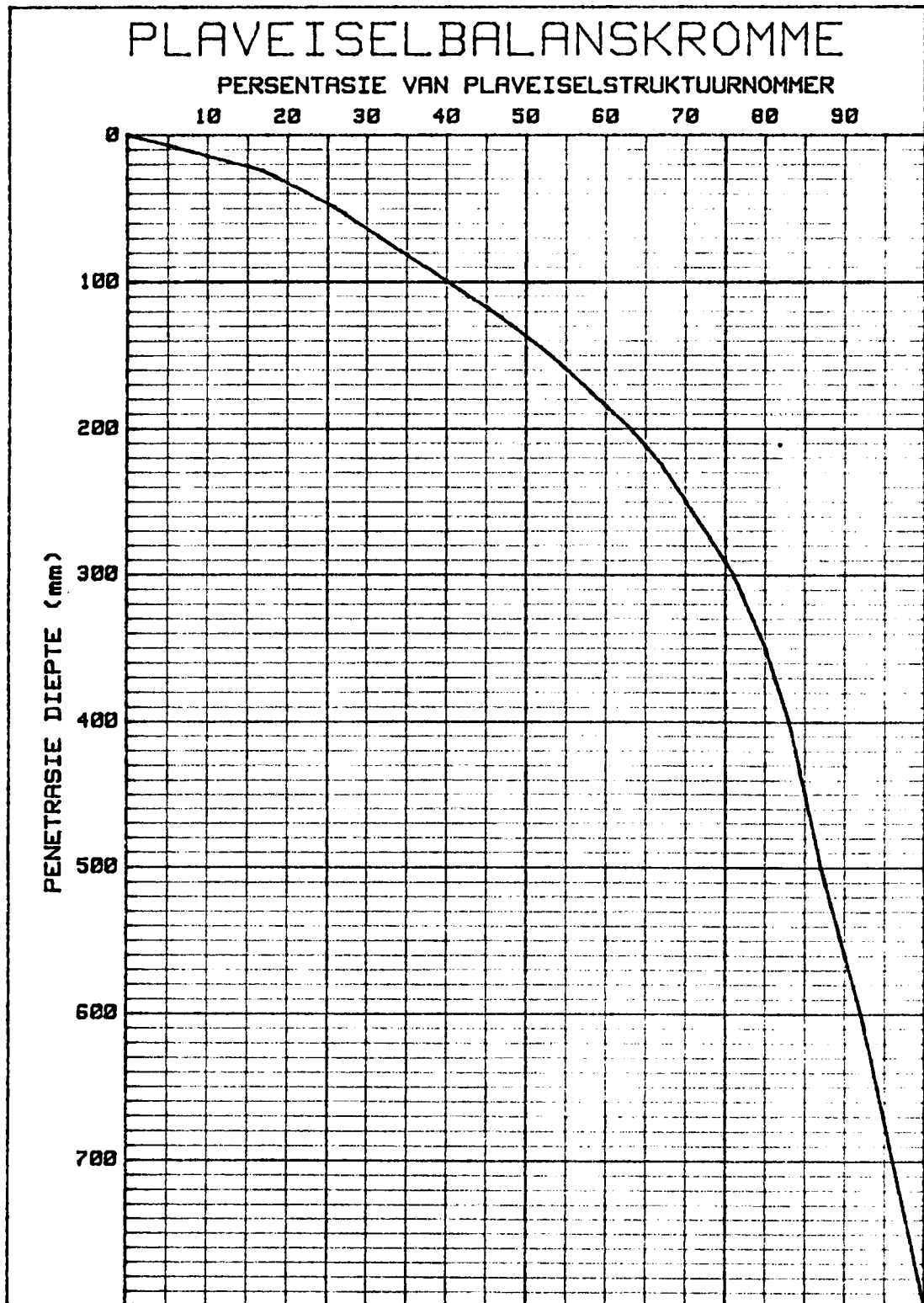
3.5



VOORBEELD VAN 'n PLAVEISELSAMESTELLING WAT NIE STERKTEGEBALANSEERD IS NIE (PAD 30)

FIGUUR 15

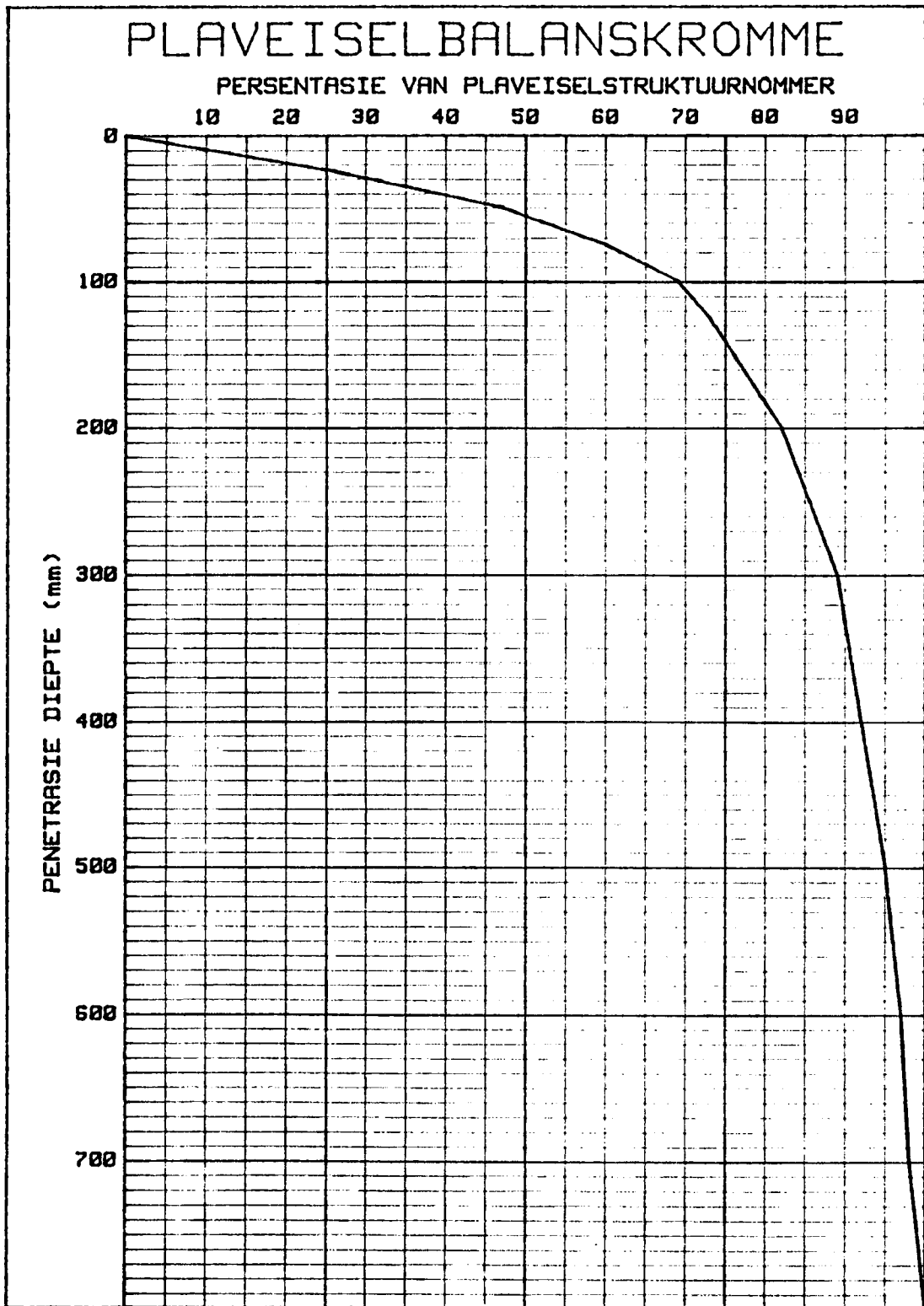
3.6



VOORBEELD VAN 'n PLAVEISELSAMESTELLING WAT STERKTEGEBALANSEERD IS (PAD P6/1)

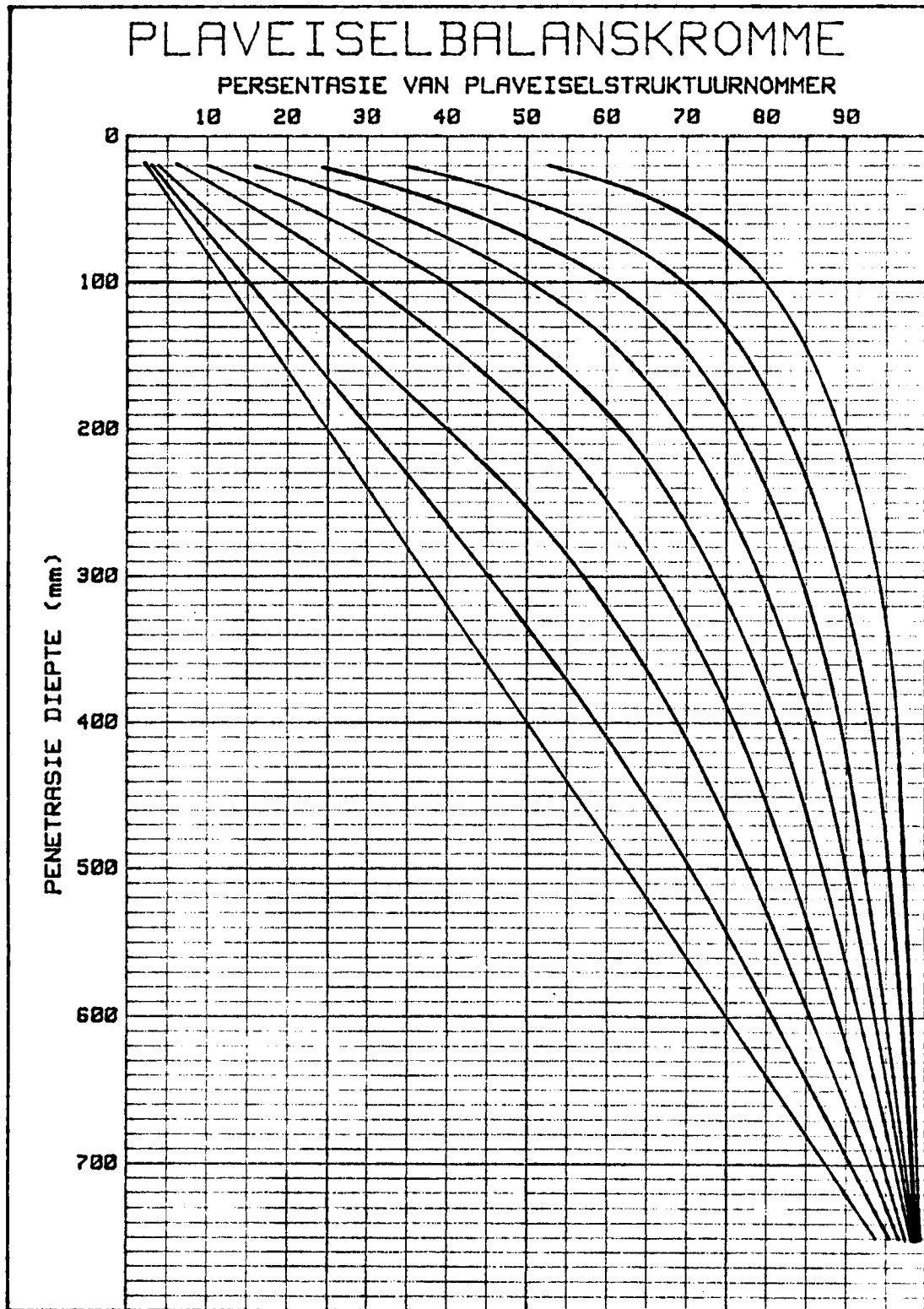
FIGUUR 16

3.7



GEBALANSEERDE PLAVEISELSAMESTELLING VAN
TEERPAD P95/1 MET GESTABILISEERDE KROONLAAG

FIGUUR 17



STANDAARD PLAVEISELSTERKTEBALANSKROMMES

FIGUUR 18

ONTWIKKELING VAN 'N PLAVEISELGEDRAGFILOSOFIE

Vanuit voorafgaande is dit duidelik dat die evaluering en monitor van plaveisels met behulp van die DKP heelwat meer lig gewerp het op die gedrag van plaveisels en sekere insiggewende konsepte in verband met die plaveiselsisteam illustreer het. Die waarde en toepaslikheid hiervan moes egter nog verifiëer word.

Dus sou 'n tentatiewe verband tussen die gepostuleerde plaveiselwerkverrigtingparameters, en plaveiseldravermoë opgestel moes word om waargenome plaveiselgedrag te simuleer.

4.1 Opsomming van ontwikkelde konsepte

4.1.1. DKP-Nommer (DN): 'n Materiaalsterkteparameter naamlik DKP-Nommer (DN) in terme van mm/hou is ontwikkel (para 2.2) en gekorreleer met KDV en EDS (Figuur 9 en 10). Die in situ skuifsterkte van 'n materiaal kan dus gemeet en bepaal word met behulp van die DKP.

4.1.2 DKP-Struktuurnummer (DSN): 'n Laagsterkteparameter naamlik die DKP-Struktuurnummer (DSN) in terme van hamerhoue is ontwikkel (para 3.2). Hoe hoër die DSN-waarde van 'n laag hoe sterker is die laag.

4.1.3 DKP-Plaveiselstruktuurnummer (DSN_{800}): Samestelling van die DSN-waardes van die DKP-Plaveiselstruktuurnummer geskryf word as DSN_{800} . Hoe hoër die DSN_{800} -waarde van 'n plaveisel, hoe hoër is die basiese dravermoë van die plaveisel waarskynlik (para 3.2).

4.1.4 Plaveiselsterktebalans: 'n Konsep wat die algemene afname in plaveiselsterkte met diepte definieer, naamlik Plaveiselsterkte balans, is ontwikkel (para 3.3). Daar is vermoedelik 'n natuurlike verband tussen verkeerslas en plaveiselsterktesamestelling wat optimum werkverrigting lewer.

4.2/.....

Dit kan dus gesê word dat 'n Sterktegebalanseerde plaveisel 'n egalige afname in sterkte met diepte toon (Figuur 18) waar in teen 'n ongebalanseerde plaveiselsamestelling "knakke" in die kurwe tot gevolg het.

4.1.5 Vlak- en Diepstrukture: 'n Konsep wat die basiese plaveiselstruktuursamestelling omskryf is ontwikkel, naamlik 'n Vlak- of Diepstruktuur (para 3.4).

4.1.6 Plaveiselbalansnommer (BN_{100}): 'n Parameter wat die plaveisel se basiese graad van "vlak" of "diep" definieer is ontwikkel naamlik die Plaveiselbalansnommer BN_{100} (para 3.3). Hoe hoër die waarde, hoe vlakker is 'n plaveiselsamestelling.

4.2 Plaveiselgedragfilosofie

4.2.1 Plaveiselswigting

Omdat die dravermoë van 'n plaveisel normaalweg nie 'n absolute nulwaarde kan bereik nie en dus altyd 'n residuele waarde sal registreer indien die in situ sterkte gemeet word, moet 'n einddiensbaarheidstoestand gedefinieer word. Van die belangrikste vereistes wat aan 'n plaveisel gestel word het te make met rygemak en verandering in rygemak. Dus kan vervorming geneem word as 'n maatstaaf van rygemak.

Vorming van 'n plaveisel tydens belasting sal normaalweg hoofsaaklik afhanklik wees van die plaveisel se dravermoë op 'n gegewe tydstip (para 3.5).

Vervorming is dus geneem as plaveiselwerkverrigtingparameter, en 'n sporing of relatiewe vervorming van 20 mm onder 'n 2m reihout is gedefinieer as "swigting" vir die gemiddelde plattelandse tipe pad. Hierdie definisie is streng gesproke nie altyd ewe toepaslik nie, veral nie by gesementeerde plaveisels nie, waar byvoorbeeld kraakvorming 'n belangrike werkverrigtingsparameter verteenwoordig. So ook sal die padkategorie 'n invloed uitoefen op die fisiese definisie.

4.3/.....

Let ook op dat, nadat 'n plaveisel volgens bostaande as gewig geklassifiseer is, die dravermoë daarvan nie nul is nie, en intendeel hoër kan wees as die aanvanklike dravermoë. (Sien para 4.2.3).

4.2.2 Lassensitiwiteit

Na aanleiding van die voorafgaande Plaveiselsterktebalanskonsep het die gedagte ontstaan dat vlakker strukture in die algemeen meer sensitief vir oorbelasting behoort te reageer as dieper strukture aangesien vlakker strukture neig na 'n dun balk of "glasblad-op-matras"-tipe samestelling (vlakker neutralevlak) terwyl dieper strukture analoog aan 'n balk met groter diepte (dieper neutralevlak), en relatiewe lae spanningskonsentrasies, is tydens deurbuiging. Met ander woorde die alombekende ekwivalensiefaktore wat gebruik word om verskillende aslaste om te skakel na ekwivalente standaardasse (ESA of E80) behoort nie dieselfde te wees vir plaveisels waarvan die BN_{100} -waarde verskil nie.

Inligting in die verband is redelik skaars en met wat eintlik meer as 'n intuitiewe tree in die donker beskou kon word is besluit om 'n voorlopige verband tussen BN_{100} en ekwivalensiefomule-eksponent "n" vanaf $F = (P/SA)^n$, gebaseer op ondervinding en aanvoeling, op te stel en voorlopig te gebruik en algaande aan te pas - soos wat wel gebeur het tydens die kalibrasietoetse met die Swaarvoertuignabootser (SVN) (para 55). Figuur 19 toon hierdie aanvanklike verband.

Met ander woorde "n" hou verband met die basiese samestelling van die plaveisel in die sin dat hoe vlakker die plaveisel is (hoër BN_{100}) hoe hoër is die waarde van "n". Vir die gemiddelde tipe plaveisel in Transvaal is $BN_{100} \approx 38$ en "n" ≈ 4 .

Die ESA wat sodoende bereken is, is aanvanklik Effektiewe ESA (EESA) genoem, (of EE80 omdat die SA in Suid-Afrika tans 80kN is), aanduidend dat dit effektief die las is wat die plaveisel in sy in situ toestand ondervind

in vergelyking met die "gemiddelde" ESA wat normaalweg bereken word met $n = 4,2$. Dit het ook opgeval dat indien die ekwivalensiefaktor (F) met bogenoemde bekende formule bereken sou word met verskillende waardes vir eksponent " n " en wiellaste, die verband grafies voorgestel sou kon word soos getoon in Figuur 20, wat daarop dui dat die relatiewe effek van asse ligter as 80 kN groter word na mate die eksponent " n " afneem, en andersom.

Met ander woorde teoreties sou die EESA as gevolg van 'n oorwegende ligte aslas verkeerspektrum op 'n relatief diepstruktuur hoër kon wees as die EESA vir dieselfde verkeerspektrum op 'n relatief vlakstruktuur, en andersom. Hierdie konsep sou dus belangrike gevolge kon inhou vir plaveiselontwerpresultate - gelukkig is meeste verkeerspektrums sodanig dat bogenoemde effek normaalweg nie so prominent is nie [12] - maar dis sekerlik 'n aanduiding dat die konsep en aanwending van ekwivalensiefaktore hersiening nodig het, (Sien ook para 5.3.3).

4.2.3 Verkeersomvorming

Ondervinding het geleer dat nie alle plaveisels wat aanvanklik onder verkeer effens vervorm noodwendig as gevolg daarvan swig of selfs voortgaan om te vervorm nie. Hierdie verskynsel het die gedagte laat ontstaan dat plaveisels 'n "inbeddingsperiode" deurmaak en dan "gaan lê". Dit was eers toe plaveisels met behulp van die DKP gemonitor kon word oor 'n periode van 'n paar jaar dat beter insig in dié verskynsel bekom is.

Deur gebruik te maak van Laagsterktediagramme waarop agtereenvolgende DKP-metings aangestip is, kon waargeneem word dat sekere lae of sones in die plaveisel se DN-waardes afneem (skuifsterkte neem toe) en beslis nie altyd swakker word (DN neem toe) soos wat die bekende vermoeiingsleer ("Fatigue theory") dit wil hê nie.

4.5/.....

4.5

Deur die Plaveiselsterktebalans van hierdie plaveisels te vergelyk met die toe reeds ontwikkelde standaard balanskrommes (Figuur 18) is waargeneem dat die krommes van die monitorpaaie oënskynlik gelydelik neig na die vorm van die standaardkrommes indien hulle nie aanvanklik so daar uitgesien het nie, en dat die monitorpaaie se Plaveiselsterktebalans soms verander het in terme van BN_{100} terwyl die basiese vorm steeds in ooreenstemming met die "standaardkrommes" gebly het.

Dit wou dus voorkom asof die verkeer die plaveisel "in balans kon trap", en ook van Plaveiselbalansnommer of sensitiwiteit kon laat verander. Met ander woorde 'n plaveisel kan "Verkeersomvorming" ondergaan indien die spanning opgewerk in enige gedeelte van die plaveisel groter is as wat die weerstand is wat daardie materiaal kan bied. Dit val ook op dat spanningskonsentrasie juis daar sal plaasvind waar die helling van die Plaveiselsterktebalanskromme opvallend of skerp verander. Indien die weerstand egter groter is as wat vereis word deur die verkeerslas, omvorm die plaveisel nie en bly die Plaveiselsterktebalans relatief konstant.

Indien voldoende dravermoë nie verkry word nie, vind verdere vervorming (plastiese skuifvervorming) plaas en mag die plaveisel uiteindelik swig al is dit sterktegebalanseerd.

'n Afname in die rygemak van 'n pad dui dus nie altyd op 'n afname in dravermoë nie, maar volgehoue of versnellende afname in rygemak mag wel.

Hierdie reaksie is veral waargeneem by ongebonde natuurlike gruisplaveisels, maar wel ook by plaveisels met gesementeerde lae (para 3.3 en Fig. 17) en geld vermoedelik ook vir plaveisels met relatief dik lae asfalt of beton (maar duit is duidelik dat die plaveisel reeds "geswig" sal wees wanneer 'n sterktebalanstoestand bereik word - mikroswigting).

4.6/.....

4.6

Verkeersomvorming van 'n plaveisel kan dus gesien word as die her-oriëntering van die verskillende onderlinge strukturele vermoëns van die plaveisel deur die aangewende las met gepaardgaande vervorming van die materiaal in 'n strewe om 'n sterktegebalanseerde plaveisel met voldoende dravermoë onder in situ toestande te verkry.

Hierdie konsep word deur Figuur 21 in terme van 'n vloeydiagram illustreer en skematies deur Figuur 22 in terme van vervorming en lasrepetisies [13 en 14] en kan as volg toegelig word:

Stap 1: Die las word aangewend op die plaveisel en indien geen plaveisellaag of -sone oorspan word nie bly die plaveiseltoestand relatief dieselfde.

Stap 2: Indien van die plaveiselmateriaal oorspan word, kan dit verder verdig en/of skeur, en uiterlik word 'n ooreenkomstige mate van vervorming van die materiaal te weeg gebring.

Stap 3: As gevolg van bogenoemde verdigting en/of skeuring verander die betrokke materiaal se sterkte-eienskappe sodat die sterkteprofiel van die plaveisel ingeheel verander (neem in geheel toe of af) en die plaveiselsterktebalans in geheel her-oriënteer (word dieper of vlakker).

Gedurende hierdie proses verbeter die plaveiselsterktebalans gewoonlik.

Stap 4: Wanneer her-oriëntering van die plaveiselsterkte balans plaasgevind het volg dit van klasieke grondmeganika dat die spanningsverdeling as gevolg van die aangewende las ook sal her-oriënteer. Met ander woorde wanneer die dravermoë van 'n laag verbeter as gevolg van toename in digtheid sal die betrokke laag ook meer van die totale spanning opneem, en andersom.

4.7/.....

4.7

Stap 5: In die proses van verdigting en/of skeuring van die materiaal in stap 2 genoem veroorsaak dit natuurlik groter deurbuiging van die oorspronklike materiaal.

Stap 6: Indien hierdie oorspronklike materiaal die verhoogde spanning veilig kan opneem sal die plaveisel nie verder vervorm of verander nie. Die toedrag is egter nou dat die oorspronklike materiaal normaalweg slegs tot 'n wisselende mate, afhangende van geaardheid en styfheid (veral gesementeerde materiaal), die vervorming van die onderliggende materiaal dupliseer. Met ander woorde, na belasting ontstaan 'n gebied van relatiewe swak verbinding (in uiterste gevalle 'n ruimte) tussen die oorspronklike- en onderliggende materiaal as gevolg van die terugdeflektering van die oorspronklike materiaal.

Die effek hiervan is onder andere 'n redelik prominente knak of diskontinuiteit in die sterktebalans van die plaveisel, met 'n gepaardgaande toename in lassensitiwiteit, afhangende op watter diepte in die plaveisel hierdie toestand heers - toename in Balansnommer (BN_{100}) en eksponent "n" - die plaveisel word "oorbelasting sensitief".

Indien van die oorspronklike materiaal nie die spanning veilig kan opneem nie en dus oorspan, volg dieselfde prosedure van heroriëntering en vervorming weereens vanaf stap 2 vir die oorspanne materiaal - sneeubaleffek.

Die volgende basiese afleidings kan gemaak word aan die hand van Figuur 22.

- i) 'n Reglynige verband met konstante helling (BCD) dui daarop dat die plaveisel se dra vermoë (DSN_{800}) konstant bly.
- ii) 'n Aaneenlopende afname (ABDE en FG) dui daarop dat die plaveisel se dra vermoë toeneem (DSN_{800} neem toe).

4.8/.....

iii) Aaneenlopende toename in helling (CFH) dui op 'n afname in dravermoë. (DSN_{800} neem af).

Dit val dus op die verskillende plaveiselsamestellings verskillende tiperende vervormingsverlope behoort te openbaar en ook dat dieselfde plaveiselsamestellings, afhange van wisseling in vogtoestand en/of verkeerslading, verskillende vervormingsverlope kan openbaar.

Die konsepte van Plaveiselsterktebalans en Verkeersomvorming sou egter eers tydens die Swaarvoertuignabootsertoetse (SVN) - op die Transvaalse paaie na behore toegelig en gekwantifiseer kon word. (Hoofstuk 5).

4.2.4 Plaveiseldravermoë en Verkeerslas

Tradisioneel word die dravermoë van 'n plaveisel uitgedruk in terme van ekwivalente standaard aslas-repetisies (ESA) en dus E80 in Suid-Afrika. Omdat die effek van 'n spesifieke verkeerspektrum op 'n plaveisel skynbaar wissel volgens die plaveiselsamestelling of Plaveiselbalans (BN_{100}) wil dit voorkom dat dit meer korrek sou wees indien die dravermoë van 'n plaveisel aangegee word in terme van standaard aslas-repetisies, SA (dus 80 kN in Suid-Afrika). Met ander woorde die dravermoë van 'n plaveisel behoort uitgedruk te word in terme van standaard aslas-repetisies (SA) en die verkeerspektrum behoort omgeskakel te word na ekwivalente standaard aslas-repetisies (ESA) vir die betrokke plaveisel.

Omdat die dravermoë van 'n plaveisel gewoonlik in terme van miljoene (10^6) lasherhalings uitgedruk word kan geskryf word:

Plaveiseldravermoë uitgedruk in terme van $10^6 80\text{kN}$

$$\begin{aligned} \therefore & 10^6 \text{ SA} \\ \therefore & \text{MISA (Miljoene Standaard} \\ & \text{Aslas herhalings)} \end{aligned}$$

en

Verkeerslas uitgedruk in terme van 10^6 E80

$$\begin{aligned} \therefore & 10^6 \text{ ESA} \\ \therefore & \text{MESA (Miljoene Ekwivalente} \\ & \text{Standaard Aslas herhalings)} \end{aligned}$$

4.9/.....

Dus behoort die beoogde plaveiselsamestelling se Balansnommer (BN_{100}) en dus lassensitiwiteit eers bekend te wees voordat die verkeerslas (MESA) bereken kan word om sodoende 'n aanduiding te kry van die verlangde plaveiseldravermoë (MISA).

4.2.5 Plaveiseldravermoë en Plaveiselstruktuurnommer

As 'n tentatiewe poging tot korrelasie van DSN met plaveiseldravermoë is DSN_{800} -waardes vir verskillende beproefde plaveiselvoorstelle volgens die TPD- en TRH-handleidings [11 en 15] bereken met behulp van die reeds bestaande verband tussen DN, KDV en EDS (Figuur 10 en 14). 'n Goeie mate van ingenieursaanvoeling moes toegepas word want alhoewel heelparty van die standaardontwerpe redelik "gebalanseerd" is, is sommige nie, en kon hulle DSN_{800} -waardes slegs as 'n rowwe aanduiding gebruik word. Hierdie berekende DSN_{800} -waardes is grafies aangestip teenoor die verwagte dravermoë in terme van miljoene 80 kN repetisies (MISA).

Dus moes die DKP-ontwerpmodel basies voorspel hoeveel herhalings van die standaard aslas (MISA) die plaveisel 20mm sou laat vervorm (ongeag die huidige spoordiepte indien dit 'n bestaande plaveisel is). Dit sou weereens 'n benadering wees want die sporingstempo is nie noodwendig liniêr eweredig aan die lasrepetisies nie (para 4.2.3) maar indien hierdie benadering belowende resultate lewer kon verdere navorsing in die verband gedoen word.

Een van die voordele daaraan verbonde om 'n plaveisel se dravermoë aan te gee in terme van MISA in plaas van MESA tree hier na vore in die sin dat alle sterktegebalanseerde plaveisels met dieselfde Plaveiselstruktuurnommer (DSN_{800}) dieselfde dravermoë in terme van MISA sal besit, ongeag die Balansnommer (BN_{100}), omdat die las-ekwivalensiefaktor (F) altyd gelyk aan eenheid bly.

4.10/.....

4.10

$$\begin{aligned}\text{Met ander woorde } F &= \left[\frac{\text{Kalibrasie-aslas}}{SA} \right] \\ &= \left[\frac{80}{80} \right]^n \\ &= 1 \text{ (ongeg die waarde van } n\text{)}\end{aligned}$$

Dus is daar slegs 'n enkele kalibrasieverhouding tussen DSN_{800} en MISA soos getoon in Figuur 23. Hierdie verhouding is voorlopig aanvaar vir "gemiddelde" toestande (vogtoestand en materiaalkwaliteit) en sou dan in die praktyk en met die SVN verifieer word.

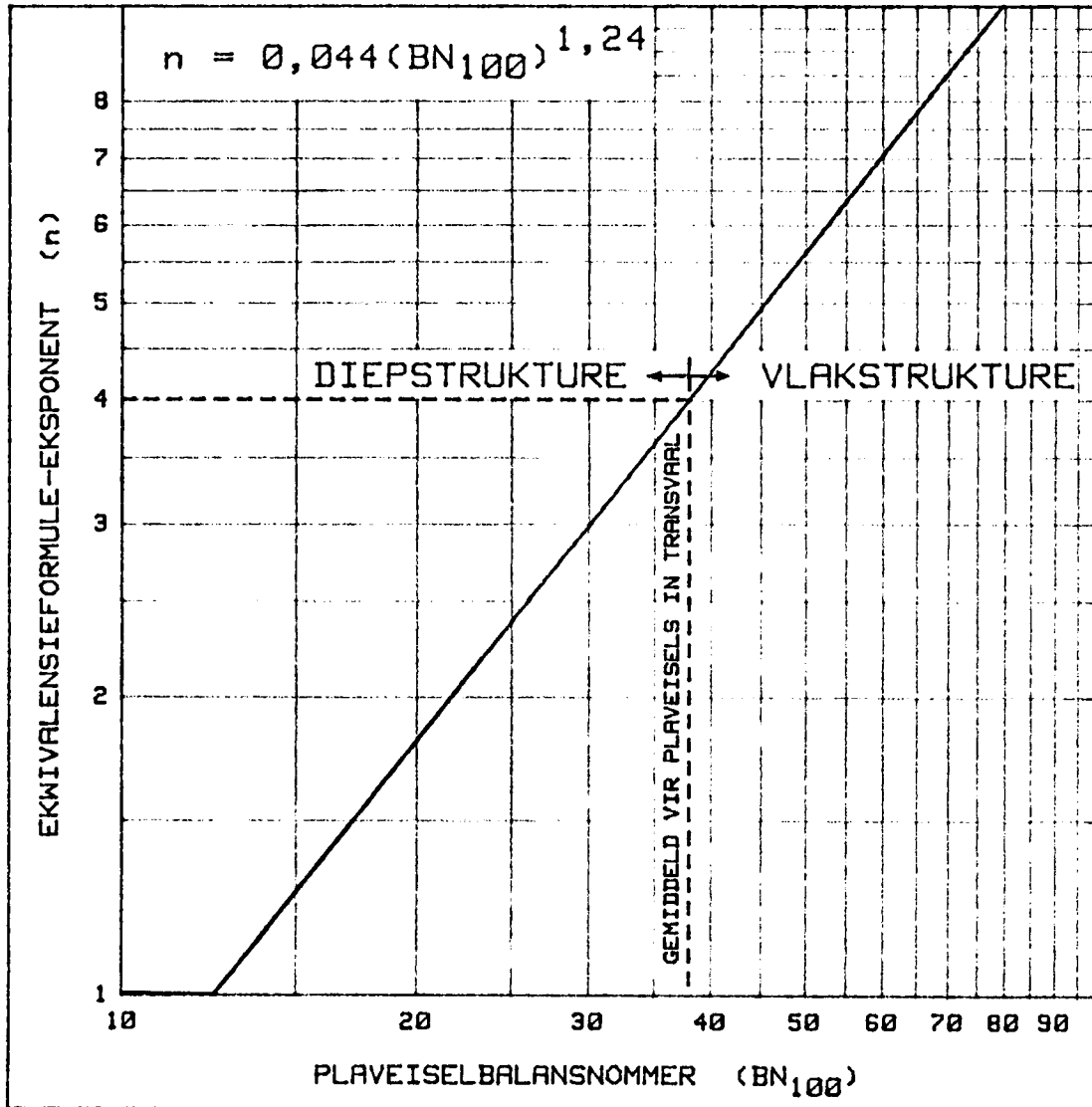
Let op dat alhoewel die gebruik van die DKP aanvanklik met plaveiselelevaluering begin het en daar nou 'n DKP-ontwerpmodel voorgestel word, dit geensins beteken dat plaveisels nie op dieselfde wyse evalueer kan word nie. Die probleem ontstaan egter wanneer die plaveisel wat evalueer word nie sterktegebalanseerd is nie en dus streng gesproke nie op die wyse evalueer kan word nie.

Die vermoede bestaan dat 'n aanpassing nodig sal wees om voorsiening te maak daarvoor dat die plaveisel minder of meer lassesensitief behoort te wees as dit ongebalanseerd is. Op hierdie stadium word voorsien dat hierdie aanpassing gemaak sal moet word aan die ekwivalensieformule-eksponent "n" en word gelaat vir verdere navorsing. Toepassing van hierdie voorgestelde ontwerpmodel word in hoofstuk 6 bespreek.

Alhoewel die voorafgaande ontwikkelde plaveiselgedragfilosofie belowend gelyk het sou dit eers prakties verifieer moes word. Hiervoor is die Swaarvoertuignabootserprogram onder andere benut soos in die opvolgende hoofstuk beskryf.

4.11/.....

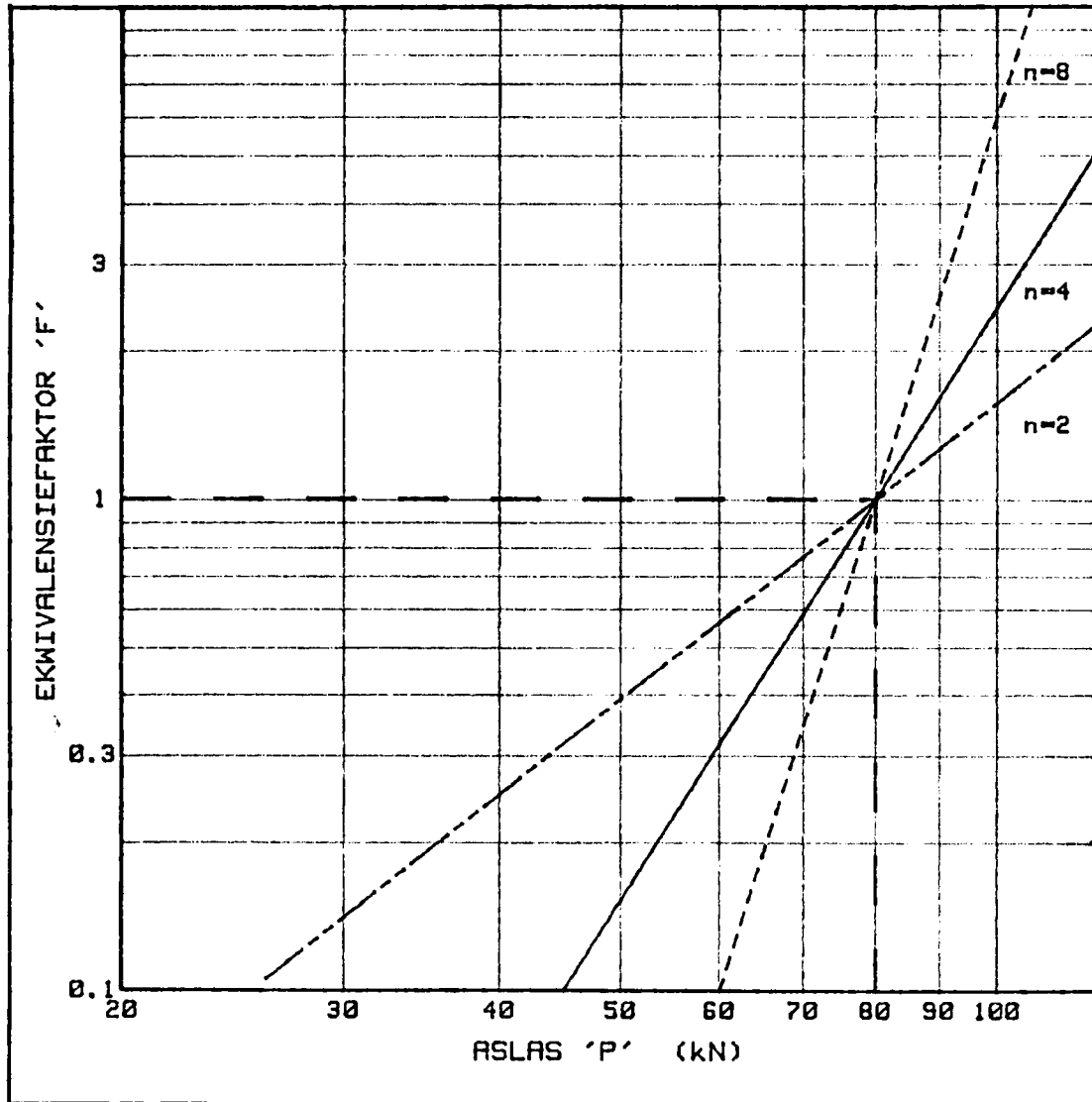
4.11



VERBAND TUSSEN PLAVEISELBALANSNOMMER EN DIE
EKWIVALENSIEFORMULE-EKSPONENT VIR
STERKTEGEBALANSEERDE PLAVEISELS

FIGUUR 19

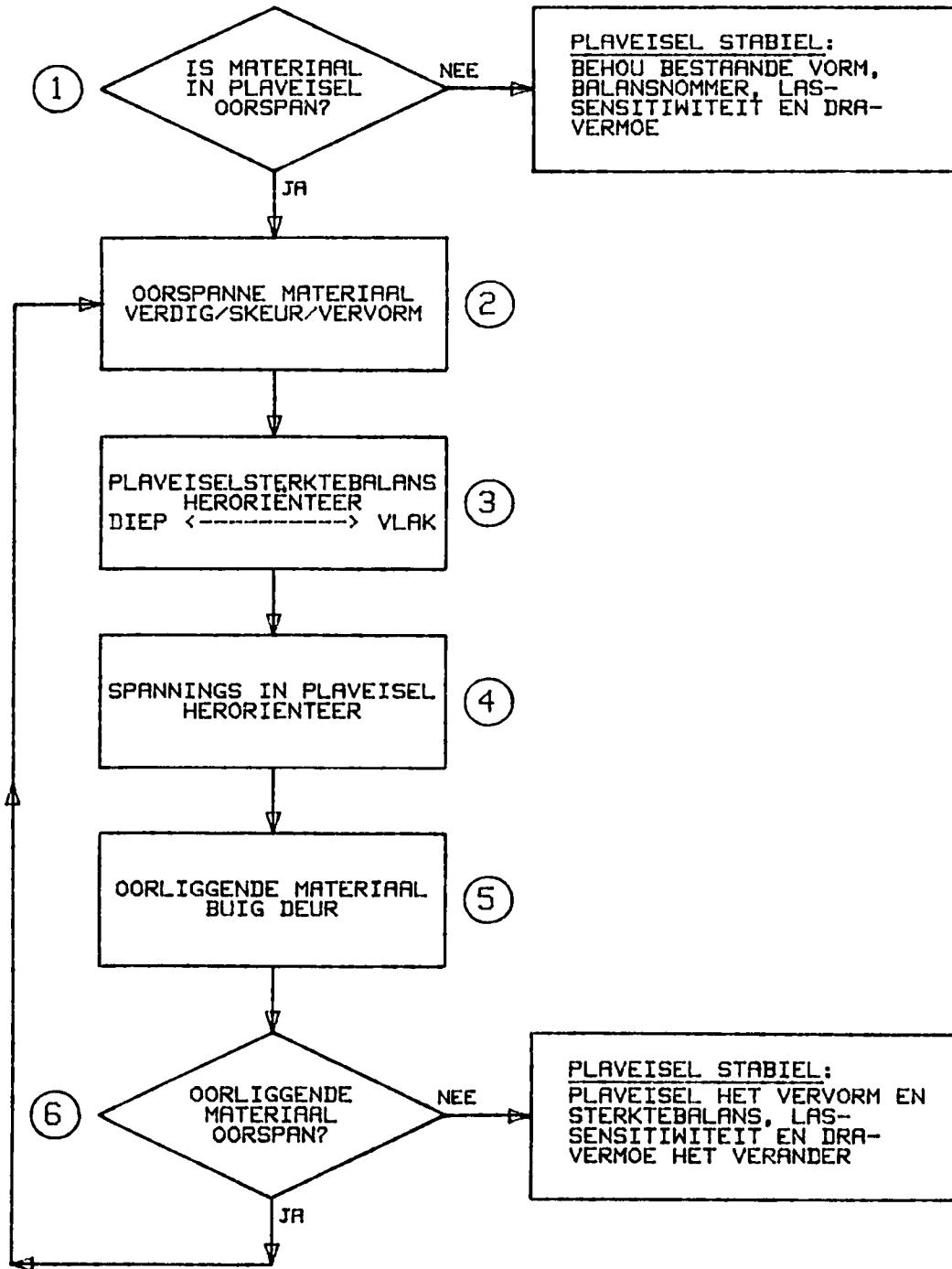
4.12



DIE EFFEK VAN 'n VERANDERING IN EKSPONENT 'n
OP DIE EKWIVALENSIEFAKTOR 'F' IN DIE
EKWIVALENSIEFORMULE $F=(P/80)^n$

FIGUUR 20

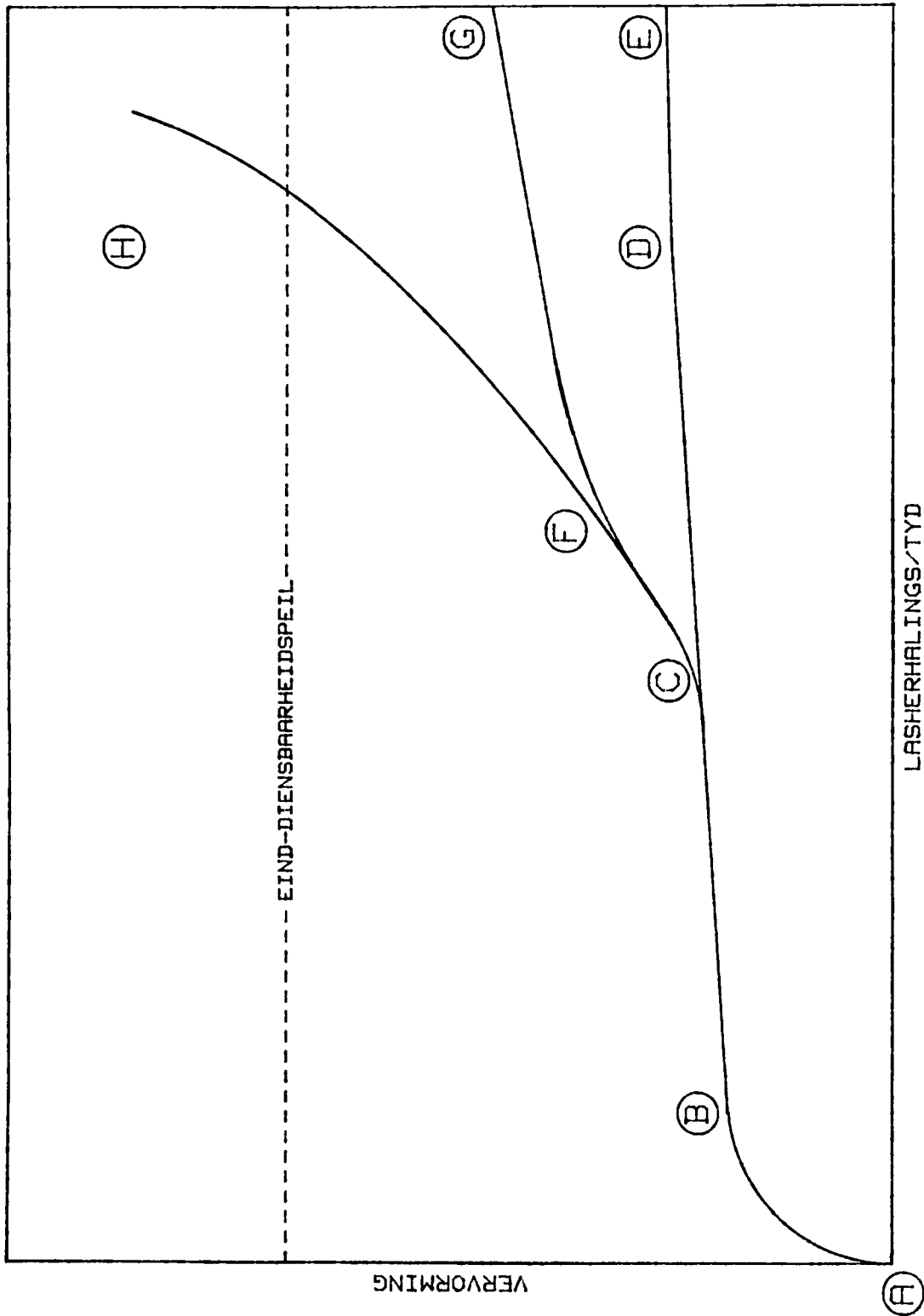
4.13



VERKEERSOMVORMING VAN 'n PLAVEISEL

FIGUUR 21

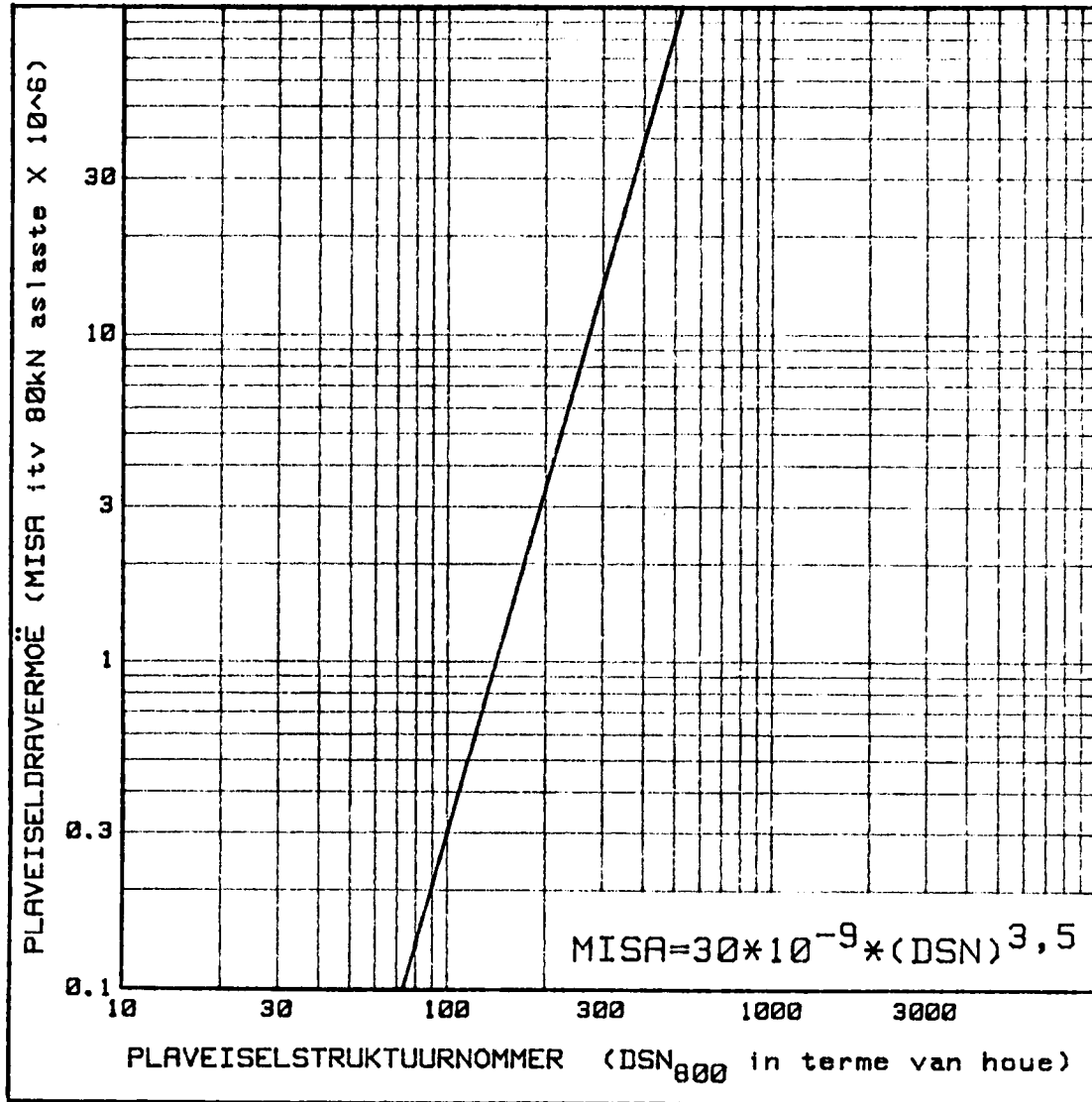
4.14



VERHOUDING TUSSEN LASHERHALINGS/TYD
EN VERVORMING (VAN VERWYSING 13 en 16)

FIGUUR 22

4.15



VERBAND TUSSEN PLAVEISELSTUKTUURNOMMER
EN PLAVEISELDRIVERMOE VIR GEMIDDELDE
DREINERINGSSTOESTANDE

FIGUUR 23

VERIFIËRING VAN PLAVEISELGEDRAGKONSEPTE

Gedurende 1978 het die TPD sy langverwagte Swaarvoertuig-nabootser (SVN) in diens geneem. (Sien Bylaag B vir byskrywing van masjien). Met die opstel van die SVN se werksprogram is besluit dat dit tot 'n groot mate navorsing-georiënteerd sal wees maar dat elke fase afgerond sal word met praktiese verifiëring van die navorsing as kontrole en demonstrasie van die SVN se vermoë [14].

Aangesien die plaveiselgedragkonsepte en -filosofie soos met die DKP waargeneem toe reeds tot 'n groot mate ontwikkel was, is die geleentheid te baat geneem om terselfdertyd ook verifiëring daarvan met behulp van die SVN-toetsprogram te soek.

5.1 Konsepte wat verifieer moes word

Die volgende konsepte soos waargeneem en ontwikkel met behulp van die DKP-metings moes verifieer word.

5.1.1 Plaveiselstrukturnommer - hou dit verband met die basiese plaveiseldravermoë, en kan dit gekorreleer word met die SVN bevindings.

5.1.2 Plaveiseldiepte - is 800 mm 'n billike plaveisel-diepte vir algemene evalueringsdoeleindes.

5.1.3 Plaveiselsterktebalans - neig plaveisels in die algemeen na 'n "gebalanseerde" toestand volgens die verkeersomvormingskonsep en omgekeerd, bly gebalanseerde plaveisels basies gebalanseerd.

5.1.4 Lassensitiwiteit - hou die Plaveiselbalansnommer verband met die lassensitiwiteit in terme van eksponent "n" in die ekwivalensieformule $F = (P/SA)^n$ en wat is die verband tussen BN_{100} en "n".

5.1.5 DKP-Ontwerpmodel - hou die model basies verband met die praktiese gedrag van plaveisels - hoe korreleer dit met die SVN-toets bevindings.

5.2/.

5.2 Die SVN-Toetsprogam

Gedagtig aan die algemene besluit dat die SVN vir eers hoofsaaklik gebruik sal word om ons kennis aangaande die basiese gedrag van plaveisels aan te vul (navorsing) en die voorafgaande items wat deur DKP-monitorwerk aan die lig gekom het, is besluit om die toetsprogram te begin met die mees basiese plaveiseltipes, naamlik ligte natuurlike-gruis plaveisels. In die breë gesien sal dan gaandeweg oorbeweeg word na swaarder en/of gestabiliseerde gruis plaveisels. Aangesien die voorbereidende werk en metings verbonde aan 'n SVN-toets redelik breedvoerig behandel word in die verwysings [16, 17 en 18] word hier slegs na die DKP-aandeel daaraan verbonde verwys.

Omdat die ontwikkelende plaveiselgedragfilosofie grootliks gesteun het op die Plaveiselsterktebalanskonsep is verder besluit om ook meer sekerheid hieromtrent te verkry. Kandidaatpaaie is dus met die DKP ondersoek met die oog op die opsporing van plaveisels wat sogenaamd Sterktegebalanseerd is asook met 'n Plaveiselstruktuur nommer wat ooreenstem met die ligte TPD klas I - II plaveisels ($<0,4$ MISA) volgens die korrelasieverhouding wat toe reeds in ontwikkeling was (Figuur 23).

'n Belangrike aspek van die be-oogde toetsterrein wat met behulp van die DKP-metings evalueer word, is die strukturele eenvormigheid van die betrokke gedeelte van die pad. Aangesien die plaveisel onder verskillende wiellaste getoets word sodat die verskillende lassensitiviteite en ekwivalensiefaktore evalueer kan word is dit wenslik dat die plaveiseleienskappe en dravermoë nagenoeg eenvormig bly - veral oor die lengte van 'n spesifieke toetsstrook.

Net voor die aanvang van 'n SVN-toetse is DKP-metings in die toetsstrook gemaak wat gedien het as die "nullesings". Tydens die toets is DKP-metings periodiek saam

5.3/.....

met die ander "SVN-metings" soos spoordiepte, multi-diepte- en oppervlakte defleksies, kraakvorming, ens gedoen.

Omdat die plaveisel so min moontlik versteur wou word, is daar vir die SVN-toetswerk van los DKP-kegelpunte gebruik gemaak wat agterbly in die gat as die stang uitgetrek word. Nogtans is so min moontlik DKP-lesings geneem gedurende die toetswerk en die optimum meetpunt bepaal volgens die draaipunte van die vervorming/lasher-halingskrommes (Sien Figuur 22 en 28).

Tabel 5.1 toon die paaie wat in die SVN-toetsprogram gebruik is gedurende die tydperk Maart 1976 tot Desember 1983.

5.3 Resultate

Soos in voorafgaande bespreek (Hoofstuk 3), word plaveiselsterkte per sé uitgedruk in terme van die aantal houes (van die DKP-hamer) benodig vir die DKP om die volle diepte van die plaveisel te penetreer. Die simbool wat vir Plaveiselstruktuurnommer gebruik word is DSN_{800} (in die geval vir 'n plaveisel diepte van 800 mm).

Variasie van hierdie parameter is direk gemonitor vir elke SVN-toets en kon grafies illustreer word op die laagsterkte diagram (para 2.2). Sodoende kon die effek van die las op die plaveiselstruktuur monitor word. Dieselfde geld natuurlik vir die effek van water-toediening of verandering van wiellas.

Die volgende waarnemings is gemaak:

- i) Sommige plaveisellae se sterkte het afgeneem (Figuur 24)
- ii) Sommige plaveisellae se sterkte het dieselfde gebly (Figuur 25)
- iii) Sommige plaveisellae se sterkte het toegeneem (Figuur 26).

5.4/.....

5.4

- iv) Die verandering in laagsterkte het gewoonlik binne 'n diepte van 600 - 800 mm plaasgevind vir wielbelastings tot op 100 kN (Fig. 24 en 26).
- v) Die effek van waterindringing in 'n plaveisel kan dramaties wees (figuur 27).
- vi) Plaveiselsterkte (DSN_{800}) asook verandering daarvan het oorwegend verband gehou met die dra vermoë van die plaveisel soos weerspieël deur die aslasrepetisies, met ander woorde indien die DSN_{800} waarde afgeneem het is 'n ooreenstemmende afname in lasrepetisies geregistreer om 'n spesifieke reaksie in die plaveisel teweeg te bring. (Figuur 28). Die voorafgaande waarnemings verifieer onder andere ook die verkeersomvormingskonsep (para 4.2.3).

Met ander woorde sodra water die plaveiselmateriaal binnedring kan die skuifsterkte van die materiaal verlaag - veral as die vogtoestand bokant "optimum" styg (Figuur 11). Alhoewel sekere materiale minder vogsensitief is het dit opgeval dat alle plaveisels wat getoets is in 'n mindere of meerdere mate vogsensitief is.

Die ongerlinge sterkteverband tussen die verskillende lae in die plaveisel, of te wel die Plaveiselsterktebalans, (para 3.3) is gemonitor deur die balanskromme vir elke DKP-meting te superponeer op die bundel van sogenaamde standaard Plaveiselsterktebalanskrommes soos voorgestel deur Figuur 18.

- vii) Sommige plaveisels se Balansnommers het verander (Figuur 29).
- viii) Sommige plaveisels se Balansnommers het aanvanklik verander net om later weer terug te keer na die aanvangsbalansnommer (Figuur 30).
- ix) Plaveisels wat aanvanklik nie so goed gebalanseerd was nie se balans het opvallend verbeter (Figuur 31).

5.5/.....

5.5

- x) 'n Ander aspek van die Plaveiselsterktebalanskrommes wat opval is dat die balanskrommes van die SVN-toetsseksies so goed ooreenstem met die sogenaamde standaardkrommes (Figuur 18) dat aanpassing van die standaardkrommes op hierdie stadium nie nodig lyk nie.

Een van die aanvanklike doelstellings met die SVN-toetsprogram was om 'n beter begrip van die ekwivalensiefaktor vir die verskillende wiellaste te bekom [10, 14].

Soos in para 4.2.2 bespreek was daar reeds 'n voorlopige verband tussen Plaveiselbalansnommer (BN_{100}) en ekwivalensie-eksponent "n" voorgestel volgens Figuur 19. Deur die SVN-resultate te analiseer is hierdie verband verder ondersoek.

Daar is besluit om eers die toetse met 'n 40 kN wiellas te analiseer en sodoende die geval waar die ekwivalensiefaktor $F = 1$ en dus ook Figuur 23 te verifieer. Hierdie evaluering is grafies voorgestel vir elke toets deur die werklike lasherhalings volgens die SVN te vergelyk met die voorspelde lasherhalings volgens die DKP-model vir 20mm vervorming.

Daar is sorg gedra om slegs die resultate van relatief goed gebalanseerde plaveisels te gebruik om sover moontlik enige variasie in eksponent "n", soos voorsien, te vermy. Gelukkig was daar voldoende bruikbare gevalle aangesien die toetsterreine aanvanklik in 'n groot mate geselekteer was om sterktegebalanseerd te wees. Figuur 33 dien as voorbeeld.

Die vermoede dat die verband tussen plaveiselstruktuur-nommer (DSN_{800}) en plaveiseldra vermoë (MISA) volgens Figuur 23 slegs vir "gemiddelde" vogtoestande geld en dat soortgelyke verhoudings bestaan vir "nat"- en "droë"-toestande kon dus nou ook evalueer word. Die vogtoestand van die toetsplaveisel is dus in elke geval nagegaan en gekwalifiseer met betrekking tot grensparameters naamlik "droog", "gemiddeld" en "nat"

5.6/.....

5.6

en aangebring op die grafiese voorstellings soortgelyk aan Figuur 33 vir elke toets.

Daar is gevind dat die korrelasie tussen die SVN-herhalings en die DKP-model voorspellings baie goed vergelyk indien dieselfde patroon gevolg word met betrekking tot vogtoestand as wat tydens die toets geheers het.

In sommige gevalle is 'n "deurweekte" vogtoestand nodig gevind en gedefinieer - byvoorbeeld wanneer die toetsplaveisel erg gekraak was en dit goed gereën of water kunsmatig toegedien is oor 'n aansienlike periode.

Na aanleiding daarvan dat die gemiddelde vogtoestand inbestaande plaveisels normaalweg in die omgewing van optimum vir die betrokke materiaal is [19], is besluit om die benaming van "gemiddeld" in Figuur 23 te verander na die wetenskaplike meer logiese en beduidende benaming van "optimum".

Die riglyne vir "droë", "nat" en "deurweekte" toestande is dus op Figuur 23 aangebring soos deur Figuur 34 geïllustreer. Op die oomblik wil dit voorkom asof hierdie riglyne parallel is met 'n gemeenskaplike formule waarin slegs die vogfaktor C_m verskil naamlik:

$$MISA = C_m \times 10^{-9} (DSN_{800})^{3,5} \quad \dots(3)$$

waar C_m = 6,5 vir deurweekte toestande
 = 14 vir nattoestande
 = 30 vir optimumtoestande
 = 64 vir droëtoestande

Figuur 35 illustreer die toepassing van Figuur 33, en kan die effek van die vogtoestand van die plaveisel duidelik gevolg word deurdat die korrelasie punt met toenemende las herhaling gaandeweg versit in die rigting van die "natter" riglyne.

Dit is opgelet dat die spasiëring tussen die verskillende vogtoestandriglyne in Figuur 34 nie eweredig is nie maar blykbaar nagenoeg 'n logaritmiëse spasiëringsverhouding volg.

5.7/.....

5.7

Hierdie tipe verband strook met algemene waarnemings in die praktyk asook by SVN-toetse na die dramatiese effek van water op die werkverrigting van 'n plaveisel.

Let dus op dat die effek van water op 'n plaveisel twee keer in ag geneem word wanneer die DKP-model gebruik word.

Eerstens neem DN vir 'n materiaal af as dit nat word - dus DSN_{800} neem af, en tweedens beïnvloed die heersende vogtoestand die werkverrigting van 'n plaveisel en word 'n ander (laer) DSN_{800} /MISA- verband gebruik (Fig. 34).

Ter aanvulling word daarop gewys dat dit normale praktyk is om groter werkverrigtingsekerheid (veiligheidsfaktor) te verlang vir 'n plaveisel met stygende diensdoelstelling vir die betrokke pad. In 'n sekere sin kan dit ook vermag word deur van riglyn te verander op Figuur 34.

Die vermoede bestaan ook dat alhoewel hierdie ontwerpmodel oorwegend opgestel is vir natuurlike gruis plaveiselsamestellings dit sonder noemenswaardige verandering aangewend sal kan word vir gesementeerde plaveiselsamestellings maar met vermoedelik toepaslike hoër "n"-waarde - sodat die MESA vir 'n betrokke verkeerspektrum styg en dus kompenseer in terme van die MISA-klassifikasie van die plaveisel.

Die ontwerpmodel deur Figuur 34 voorgestel is vergelyk met bekende standaard lokale plaveiselontwerpvoorstelle (TPA [11] en TRH 4 [15]) soos in Figuur 36 en 37 getoon, deur die plaveiselstruktuur nommer (DSN_{800}) vir elk van die standaardontwerpe te bepaal met behulp van die DN vs KDV en EDS-verhoudingskrommes (Figure 10 en 14). Die korrelasie lyk aanvaarbaar. Die stippellyne in Figuur 36 toon die opwaartse aanpassing in dra vermoë van sommige van die TPD-katalogusontwerpe wat gemaak is na aanleiding van SVN-resultate [14].

5.8/.....

5.8

(Huidige analyses dui daarop dat Figuur 19 aangepas sal moet word indien die volgende tendense bewys word:

- i) Elke wiellas het blykbaar 'n eiesoortige Eksponent "n"/Balansnommer-verhouding.
- ii) Die riglyne is sterk geboë - vermoedelik hiperboliese funksies.
- iii) Die riglyne dui op laer "n" -waardes as tot nog toe gebruik - veral vir relatief diepstrukture).

Die opgelegde taak naamlik om die ontwikkelde plaveiselgedragfilosofie te verifieer met behulp van die SVN-toetsprogram het dus tot hede baie suksesvol verloop en alhoewel dit voortgesit word, kan hierdie parameters en plaveiselgedragkonsepte sekerlik nou reeds met 'n groot mate van vertroue implimenter word soos in die opvolgende hoofstuk toegelig.

'n Samevattende verslag van die verskillende SVN-toetse met die gepaardgaande DKP-inligting en -evaluering waarop hierdie verhandeling gebaseer is sal volg onder die titel: DKP - Inligting En -Evaluering van SVN-Toetse Vir Die Periode 1978 - 1983".

5.9/.....

5.9

SVN TOETS NR	JAAAR GETOETS	PAD NOMMER	PLAVEISELSTUKTUUR *	TOETSWIEL- LAS (kN)	LASHER- HALINGS (X10 ⁻⁶)	AANTAL E80's** (X10 ⁻⁶)
28	1976	P205/2	100BS, 100G1, 500G7	80	0,39	7,1
		GILLOOLY	(MET SVN 3)			
33	1978	P205/1; C17	20AO; 50AG; 320G1A; 200C4; 100G7	40	0,50	0,5
34			20AO; 50AG; 320G1A; 200C4; 100G7	65	2,00	15,4
36	1978/79	1955; K17	35AG; 125G1; 150G4; 1000(KDV<3)	40	2,00	2,0
37			35AG; 125G1; 150G4; 1000(KDV<3)	60	2,00	11,0
38			35AG; 125G1; 150G4; 1000(KDV<3)	100	0,50	23,5
43	1979	P6/1	40ST; 200G5; 100G8; 200G9	80	0,96	17,6
44			40ST; 200G5; 100G8; 200G9	100	0,19	8,9
45			40ST; 200G5; 100G8; 200G9	40	0,25	0,3
75	1979/80	P123/1	40ST; 200G5; 150G6; 200G8	100	0,02	0,9
76			40ST; 200G5; 150G6; 200G8	40	0,24	0,2
77			40ST; 200G5; 150G6; 200G8	60	0,48	2,6
91			40ST; 200G5; 150G6; 200G8	100	0,01	0,5
92			40ST; 200G5; 150G6; 200G8	40	0,62	0,6
93			40ST; 200G5; 150G6; 200G8	100	0,01	0,5
101	1980	P157/1	30AS; 200G2; 100C4; 200G7	70	1,50	15,7
			30AS; 200G2; 100C4; 200G7	100	0,63	29,5
					2,13	45,2
107	1980	P157/2	35AG; 140G1A; 255C3; 125C5/G6	70	0,48	5,0
			35AG; 140G1A; 255C3; 125C5/G6	100	0,66	31,0
			35AG; 150G1A; 255C3; 125C5/G6	40	0,29	0,3
			35AG; 150G1A; 255C3; 125C5/G6	100	0,29	14,0
					1,72	50,3
113	1981	P67/1	40ST; 100C5; 100G7; 200G6	80	0,26	4,8
114			40ST; 100C5; 100G7; 200G6	80	0,03	0,6
115			40ST; 100C5; 100G7; 200G6	80	0,39	7,2
116			40ST; 100C5; 100G7; 200G6	40	1,12	1,1
116x			40ST; 100C5; 100G7; 200G6	40	0,17	0,2
136	1981	P39/1	50AS; 170SLAK; 170C3; 110C4; 120G8	70	0,56	5,9
			50AS; 170SLAK; 170C3; 110C4; 120G8	100	0,94	44,1
					1,50	50,0
164			50AS; 170SLAK; 170C3; 110C4; 120G8	70	1,08	11,3
170	1982	JAN SMUTS (LUGHAWE)	70AS; 100G1; 2x150C3; 3x150C4; 150G6	100	0,124	5,8
			70AS; 100G1; 2x150C3; 3x150C4; 150G6	200	0,021	18,1
172			70AS; 100G1; 2x150C3; 3x150C4; 150G6	200	0,028	24,1
177			70AS; 100G1; 2x150C3; 3x150C4; 150G6	200	0,005	4,3

TPA SVN-TOETSPROGRAM VIR DIE TYDPERK
 MAART 1978 - DESEMBER 1983

TABEL 5.1

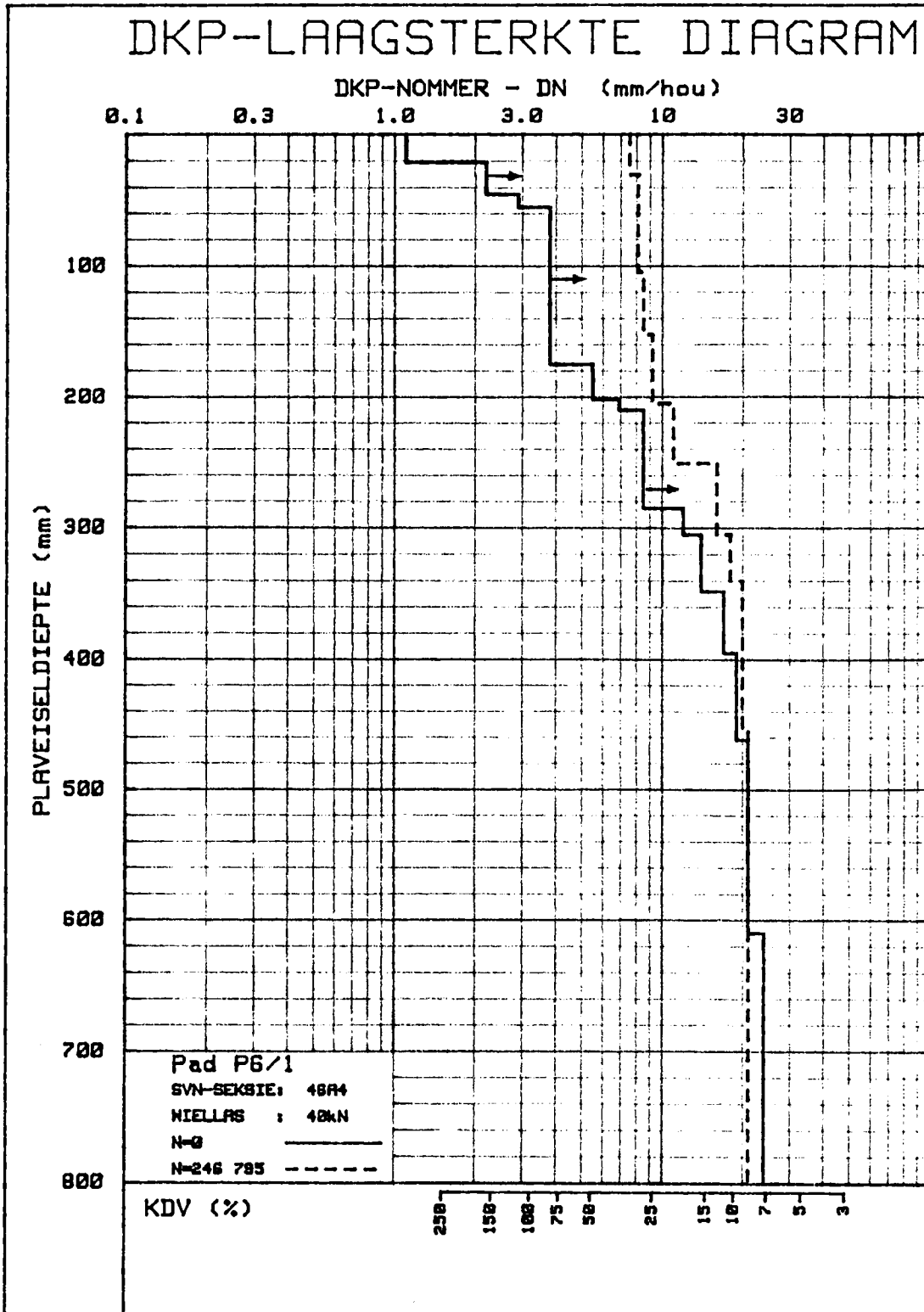
5.10

SVN TOETS NR	JAAR GETOETS	PAD NOMMER	PLAVEISELSTUKTUUR *	TOETSWIEL- LAS (kN)	LASHER- HALINGS (X10 ⁻⁶)	AANTAL E80's** (X10 ⁻⁶)
192	1982	P95/1	25AS;100C3;125G7	100	0,175	8,2
193			25AS;70C3;110G7	40	0,600	0,6
194			25AS;70C3;110G7	70	0,785	8,2
195			25AS;70C3;110G7	100	0,080	3,8
196			25AS;70C3;110G7	100	0,050	2,3
220	1982	30	25AS;110C1;10G5;90C2	70	0,233	2,4
			25AS;110C1;10G5;90C2	100	0,319	15,0
238	1983	30	25AS;170C1;70G5;110C2	70	0,222	2,3
			25AS;170C1;70G5;110C2	100	0,300	14,1
236			25AS;170C1;70G5;130C2	40	0,986	1,0
			25AS;170C1;70G5;130C2	70	0,100	1,0
			25AS;170C1;70G5;130C2	100	0,028	1,3
214			55AS;170C1;70G5;110C2	40	0,412	0,4
			55AS;170C1;70G5;110C2	70	0,090	0,9
			55AS;170C1;70G5;110C2	100	0,241	11,3
219			Bit.rub.;25AS;170C1;70G5;110C2	40	0,053	0,1
			Bit.rub.;25AS;170C1;70G5;110C2	70	0,112	1,2
			Bit.rub.;25AS;170C1;70G5;110C2	100	0,115	5,4
237			Bit.rub.;25AS;170C1;70G5;110C2	40	0,069	0,1
			Bit.rub.;25AS;170C1;70G5;110C2	70	0,101	1,1
247			Bit.rub.;25AS;170C1;70G5;110C2	100	0,063	3,0
			Bit.rub.;25AS;170C1;70G5;110C2	40	0,085	0,1
			Bit.rub.;25AS;170C1;70G5;110C2	70	0,077	0,8
248			25AS;110C1;10G5;90C2	40	0,060	0,1
			25AS;110C1;10G5;90C2	70	0,090	0,9
TOTAAL (1976-1983)				24,21	400,2	
* VERWYS NA TRH4 (1984) [15] VIR VERDUIDELIKINGS ** n = 4,2 in (P/40) ⁿ waar P die toetswielas is						

TPA SVN-TOETSPROGRAM VIR DIE TYDPERK
 MAART 1978 - DESEMBER 1983

TABEL 5.1 (VERVOLG)

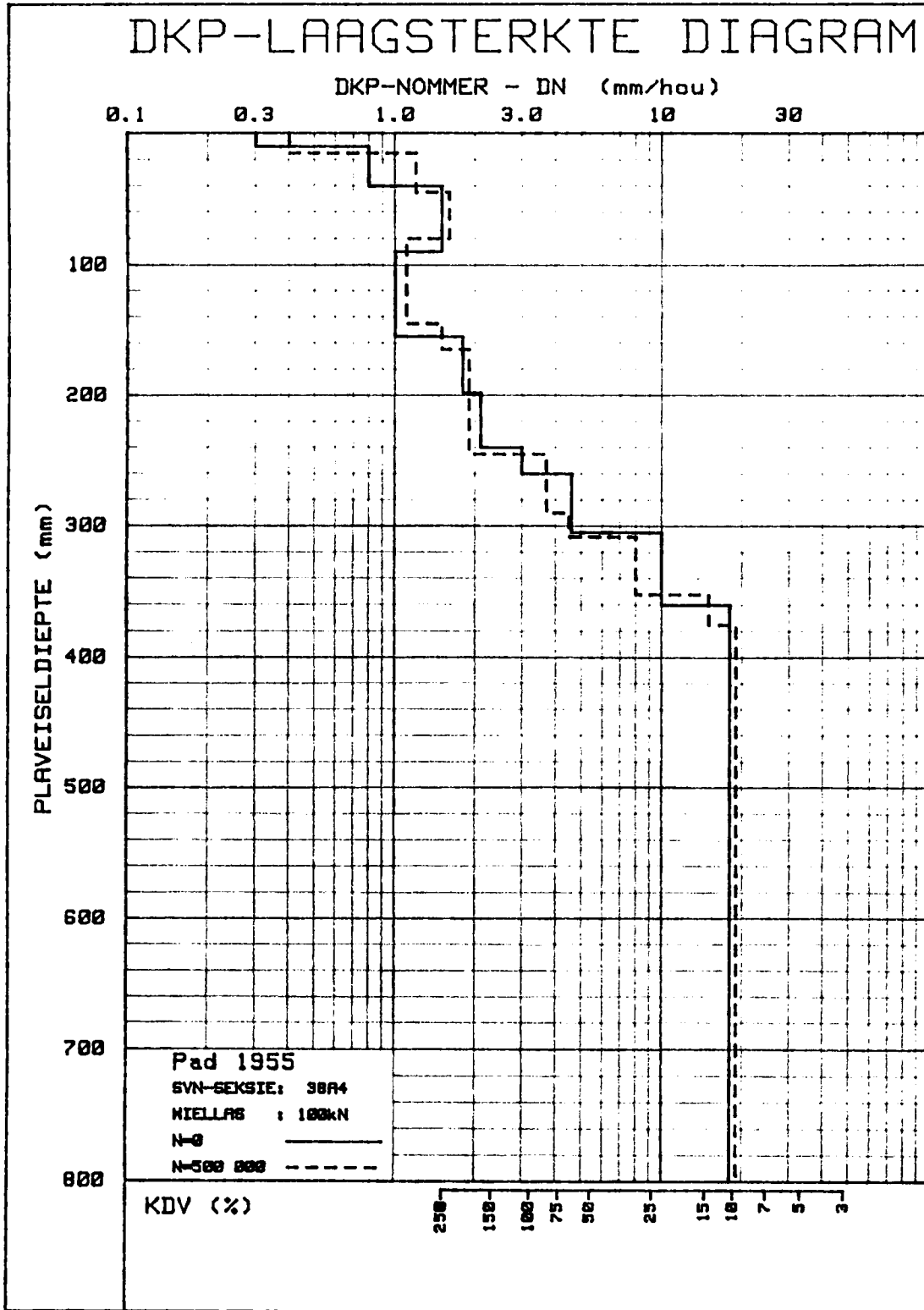
5.11



PLAVEISELSTERKTE NEEM AF

FIGUUR 24

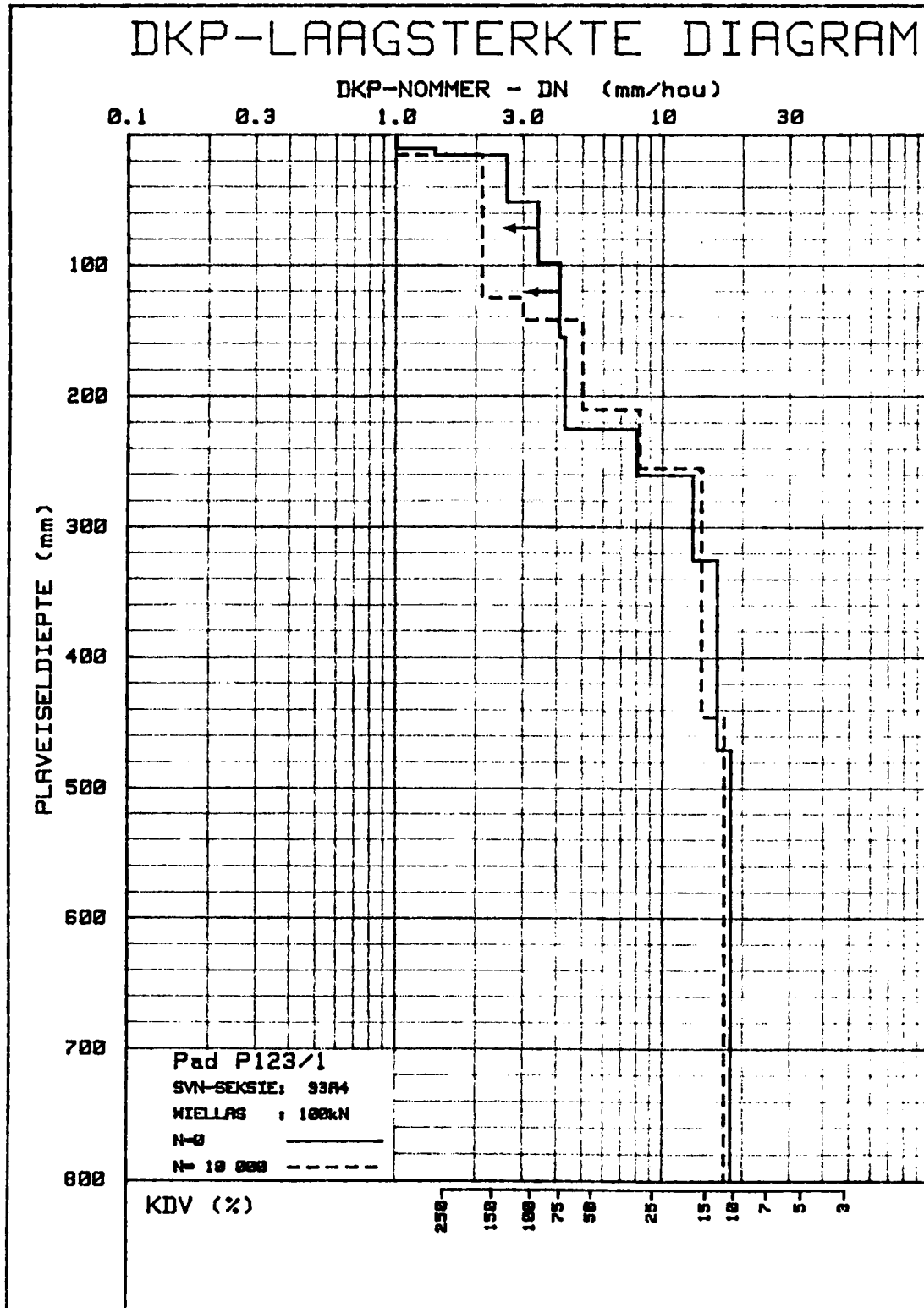
5.12



PLAVEISELSTERKTE BLY DIESELFDE

FIGUUR 25

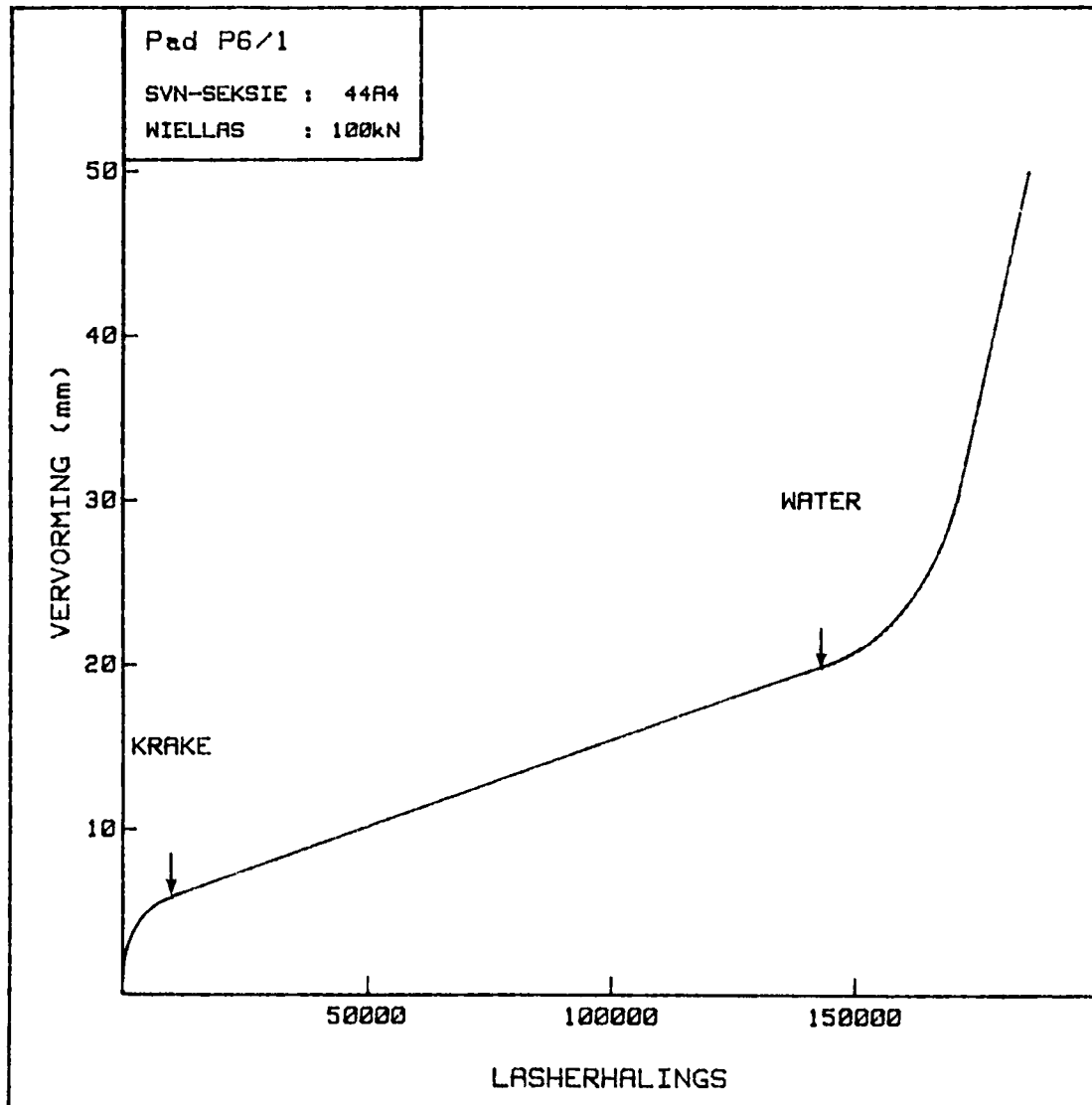
5.13



PLAVEISELSTERKTE NEEM TOE

FIGUUR 26

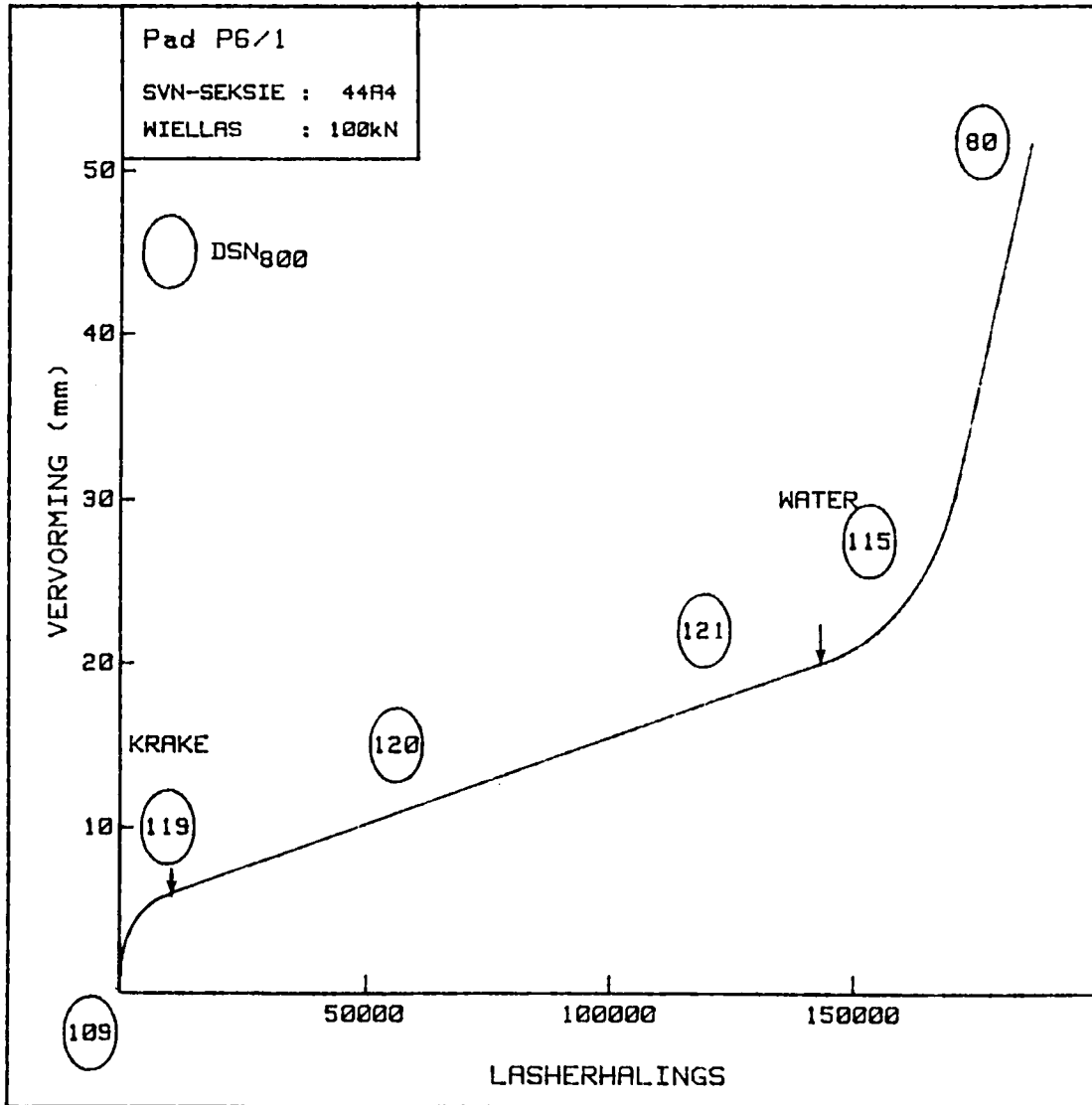
5.14



DIE EFFEK VAN WATERINDRINGING OP
DIE GEDRAG VAN 'n PLAVEISEL

FIGUUR 27

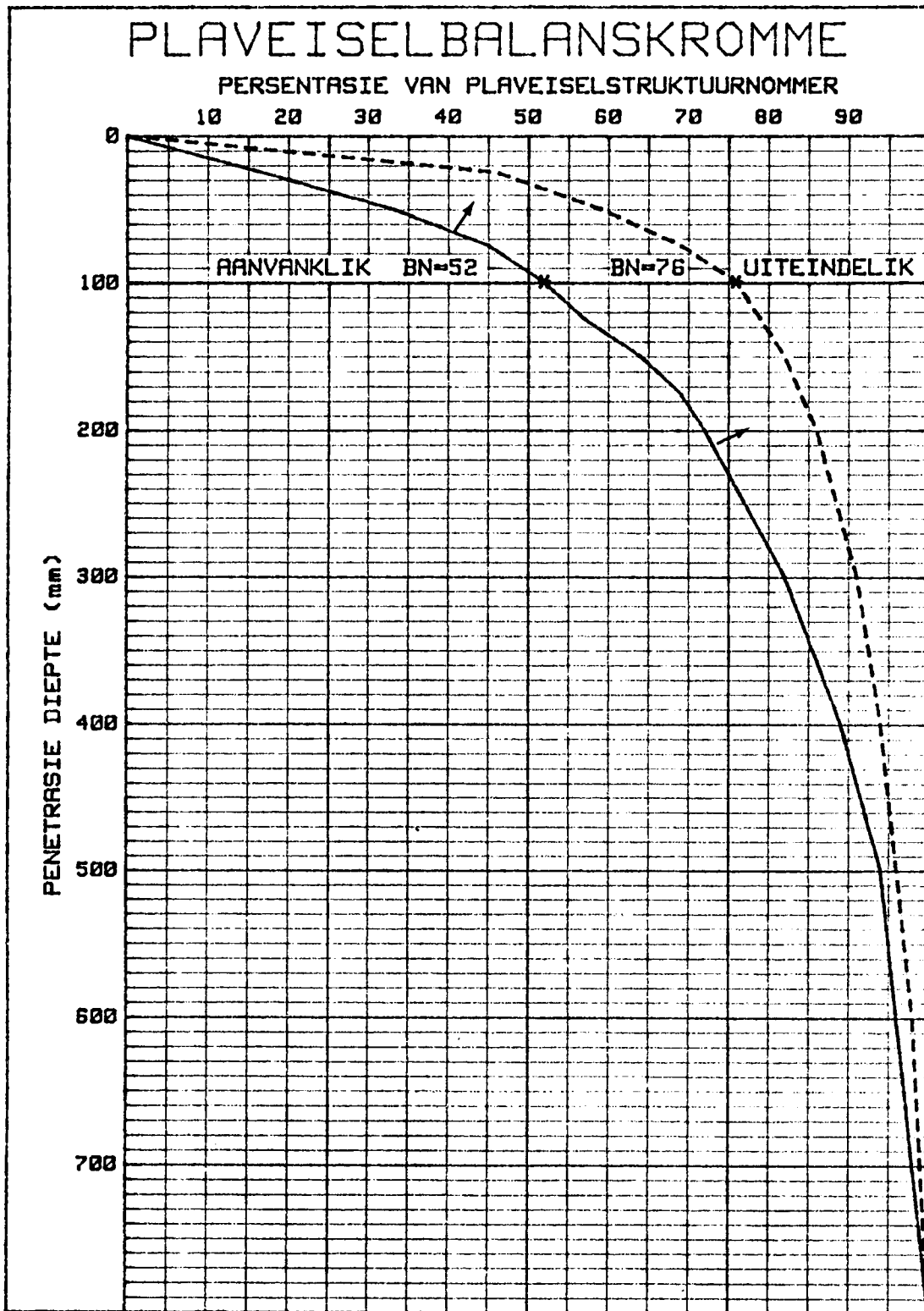
5.15



DIE EFFEK VAN DIE PLAVEISELSTRUKTUURNOMMER
(DSN800) OP DIE GEDRAG VAN 'n PLAVEISEL

FIGUUR 28

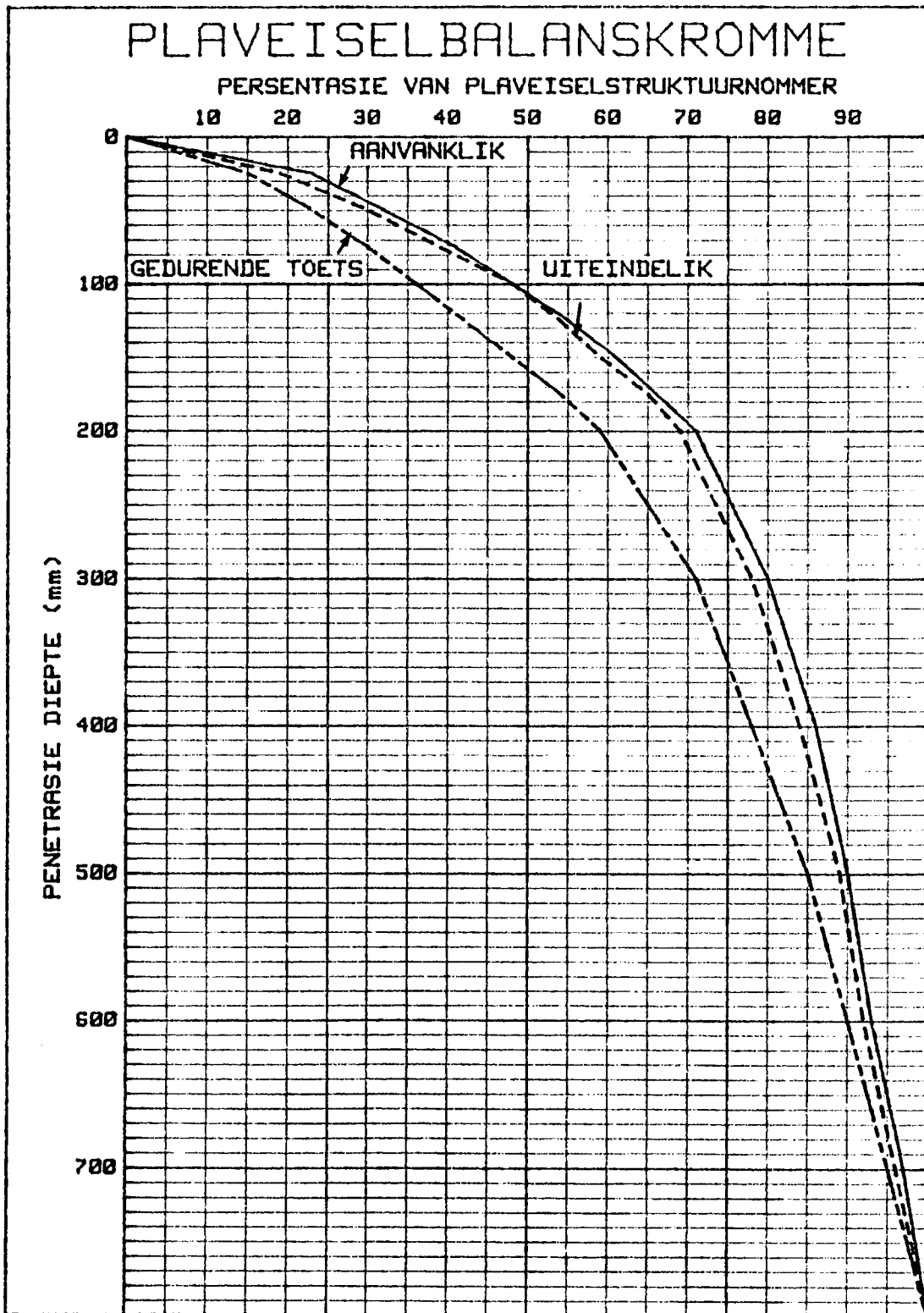
5.16



PLAVEISELBALANS VERANDER

FIGUUR 29

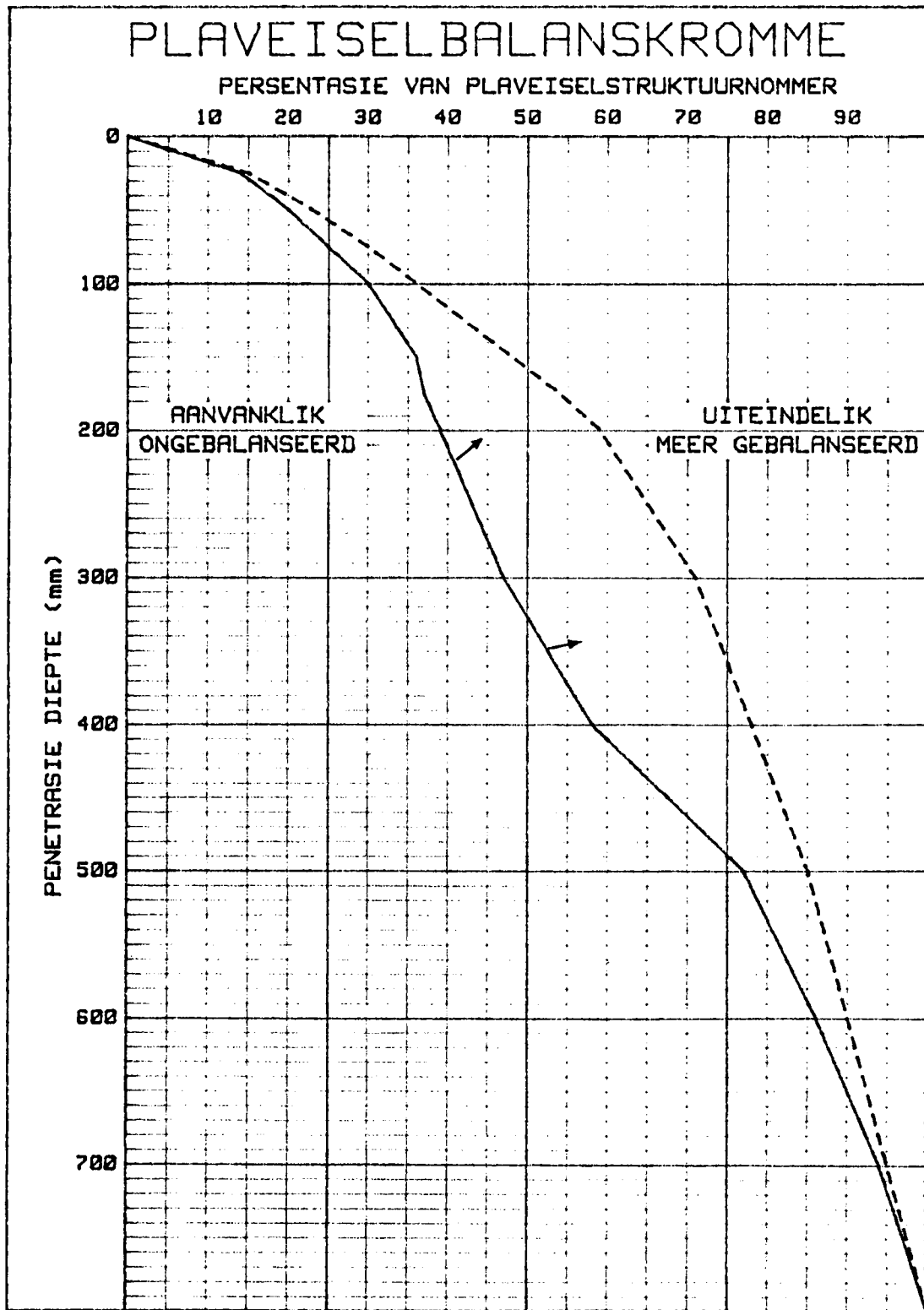
5.17



PLAVEISELBALANS VERANDER EN KEER
TERUG NA DIESELFDE AS AAN DIE BEGIN

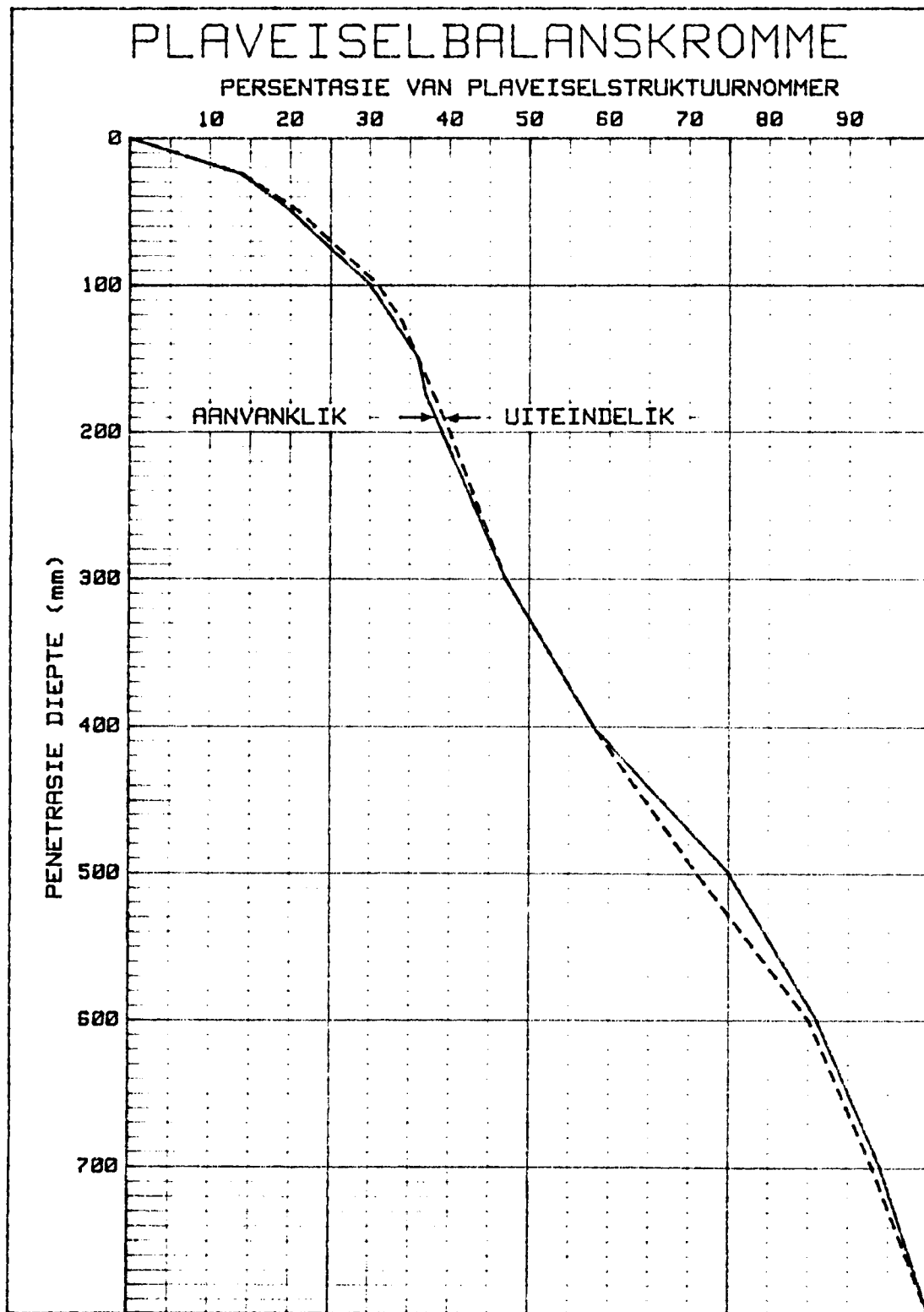
FIGUUR 30

5.18



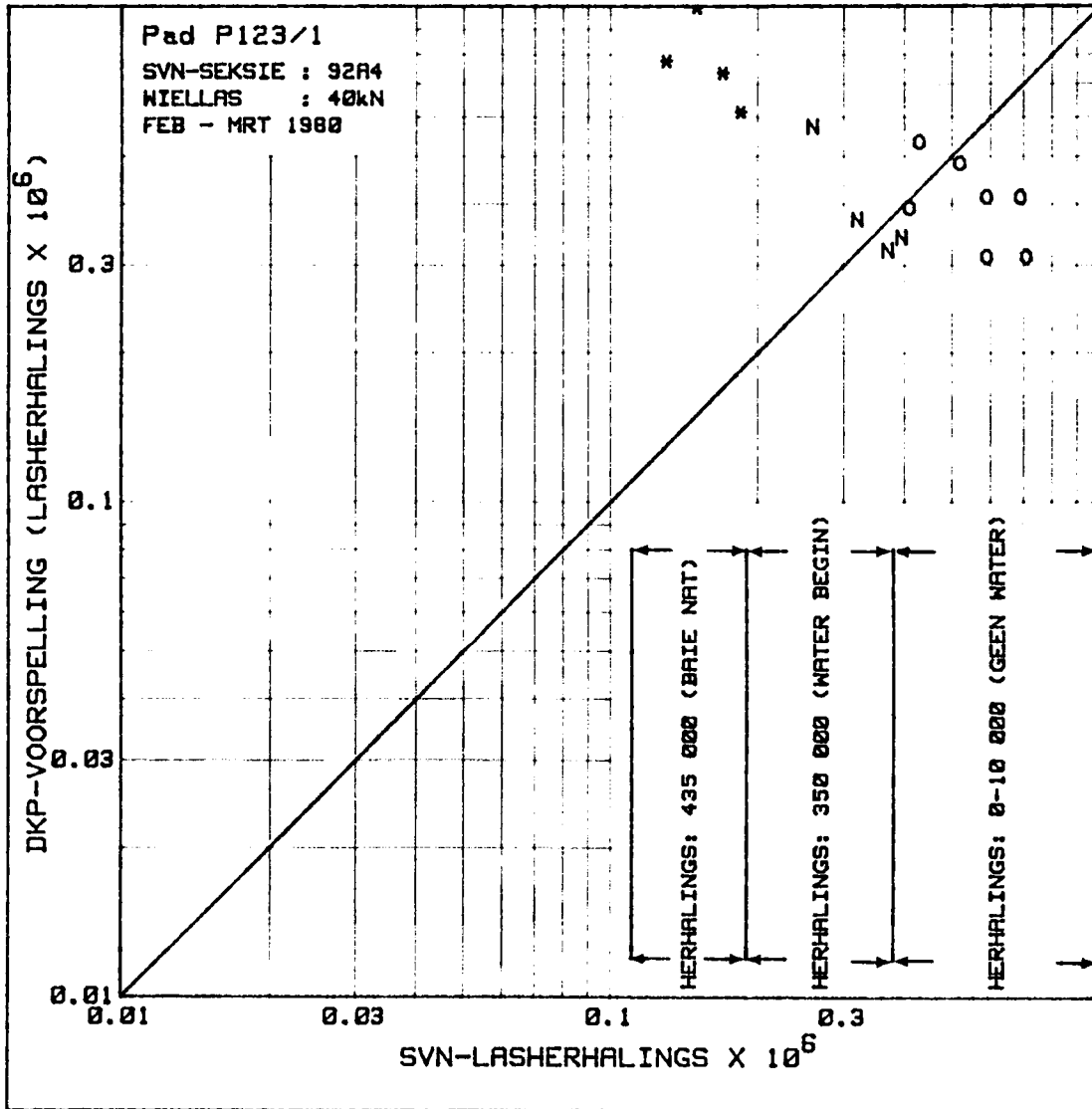
PLAVEISELBALANS VERBETER

FIGUUR 31



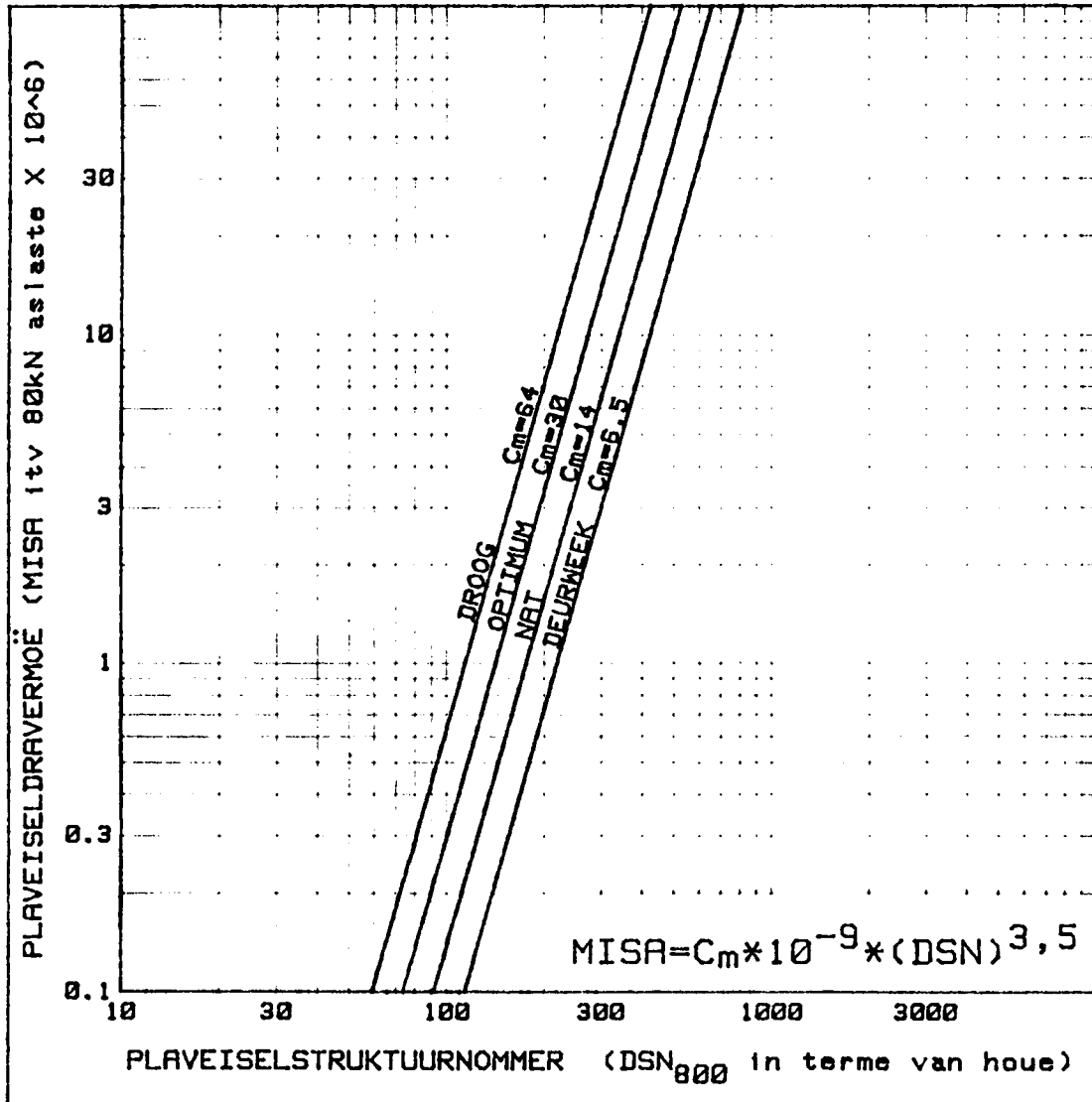
PLAVEISELBALANS BLY DIESELFDE

FIGUUR 32



KORRELASIE TUSSEN DKP-VOORSPELLING VOLGENS
Fig 23 EN WERKLIKE SVN-LASHERHALINGS

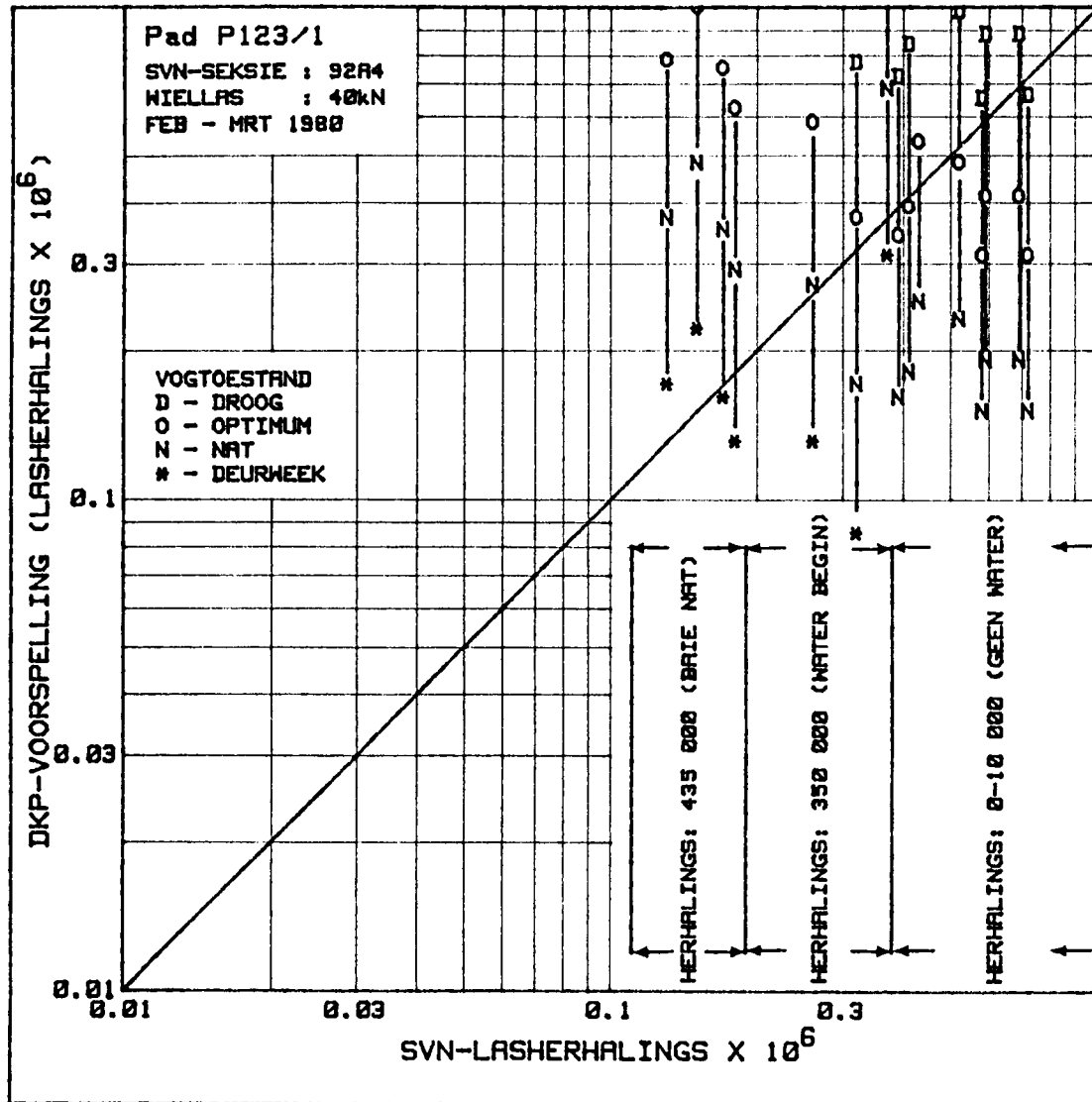
FIGUUR 33



VERBAND TUSSEN PLAVEISELSTUKTUURNOMMER EN PLAVEISELDRIVERMOE VIR VERSKILLENDE DREINERINGSSTOESTANDE

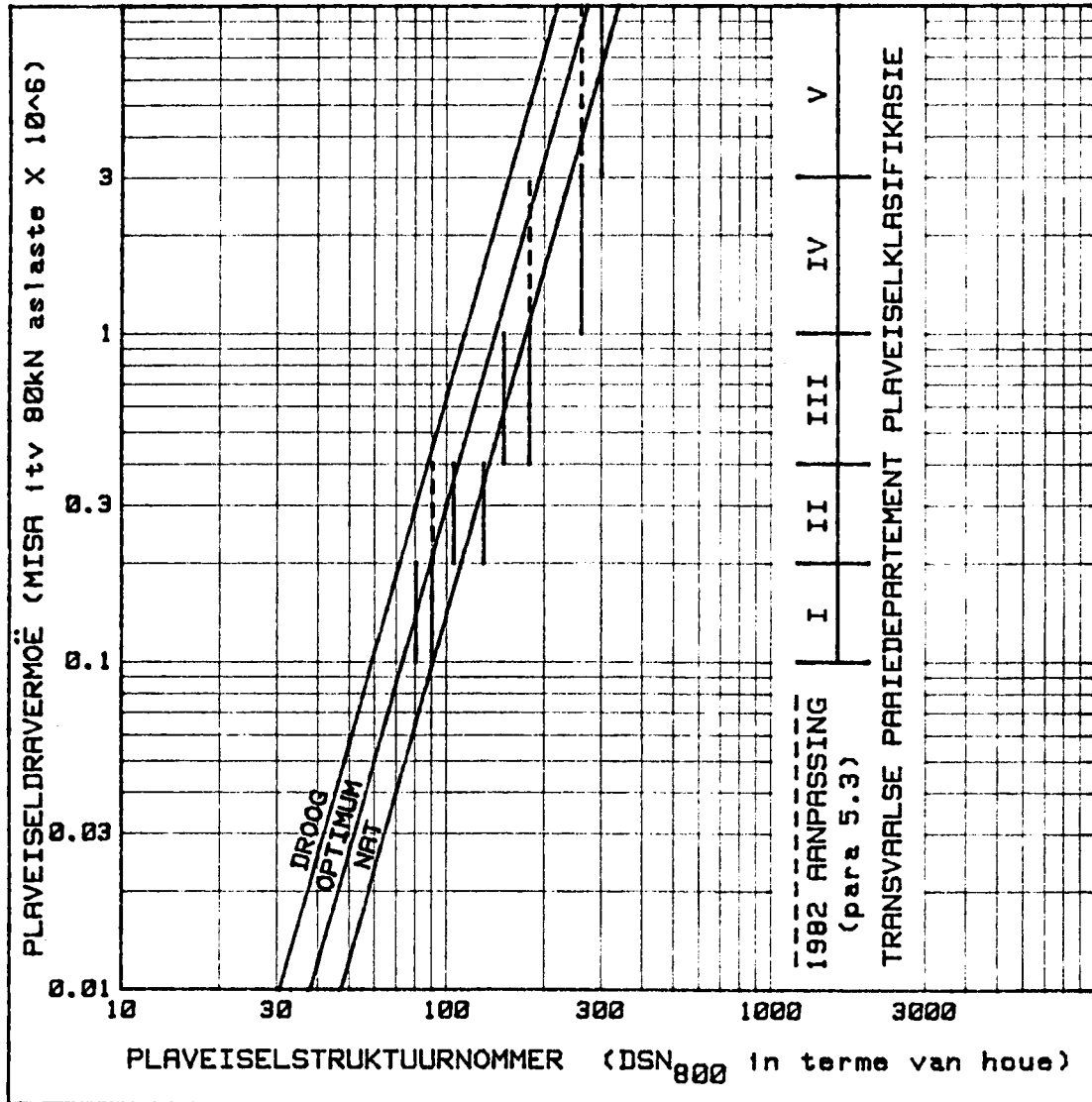
FIGUUR 34

5.22



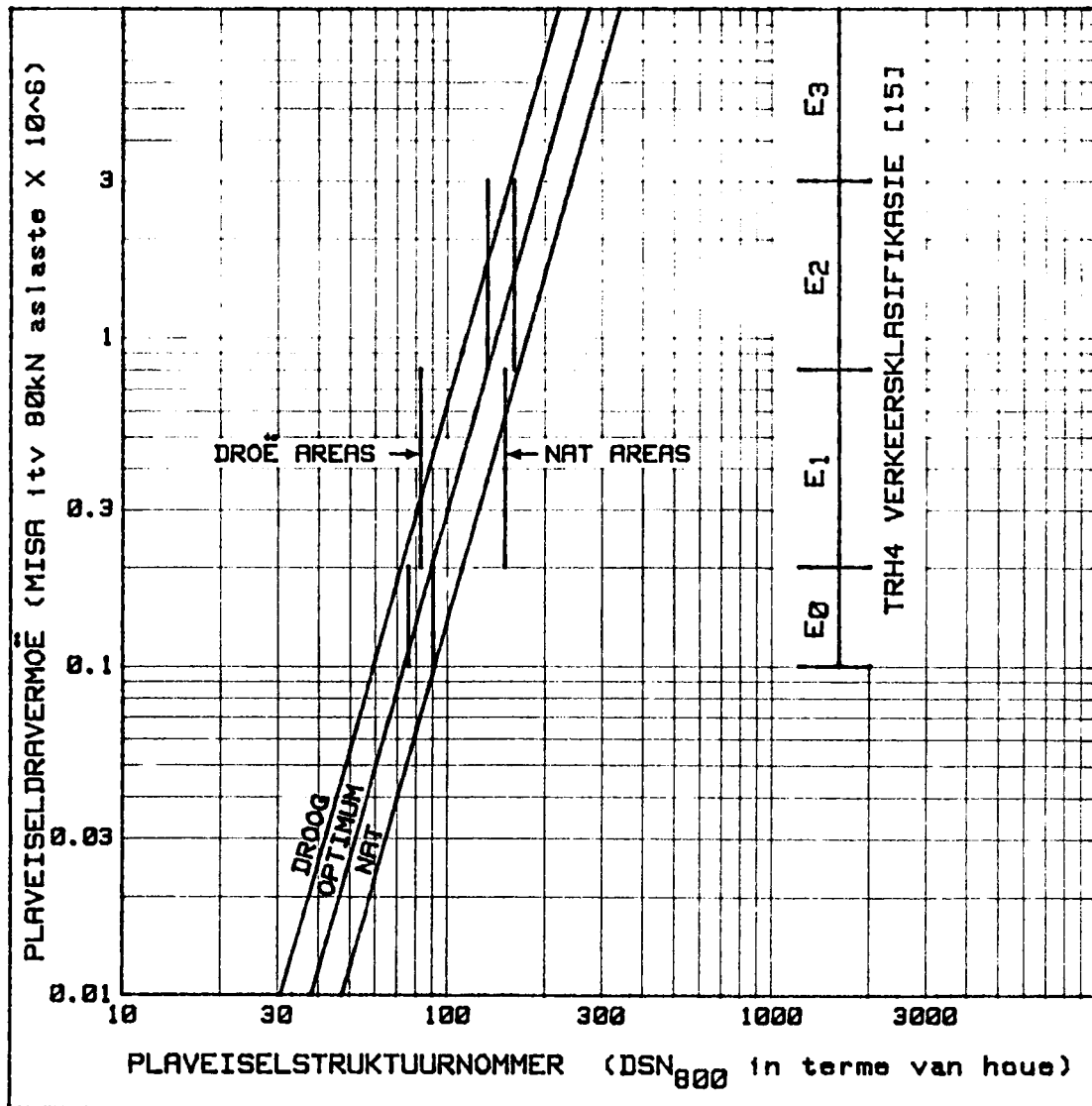
KORRELASIE TUSSEN DKP-VOORSPELLING VOLGENS Fig 34 EN WERKLIKE SVN-LASHERHALINGS

FIGUUR 35



VERGELYKING TUSSEN DIE 1978 TPA
STANDAARD PLAVEISELONTWERPKATALOGUS
EN DIE DKP-ONTWERPMODEL

FIGUUR 36



VERGELYKING TUSSEN DIE 1984 TRH4
NATUURLIKE GRUIS PLAVEISELONTWERP-
KATALOGUS EN DIE DKP-ONTWERPMODEL

FIGUUR 37

TOEPASSINGS

Alhoewel daar in hierdie verhandeling hoofsaaklik gewag gemaak is van die DKP se vermoë om in situ skuifsterkte te meet en die moontlikheid om dit visueel voor te stel om sodoende 'n plaveisel as sisteem te evalueer of te moddelleer moet dit nie uit die oog verloor word dat die instrument velerlei basiese toepassings het nie - die opvallendste waarvan hier genoem word. Toepassing van die DKP op die plaveisel as sisteem sal eerstens bespreek word waarna 'n aantal van die mees voor die handliggende basiese toepassings genoem sal word.

6.1 Woord van Vermaning

Die volgende basiese aspekte van die DKP moet in gedagte gehou word om sinvolle waarnemings en afleidings te kan maak:

- i) Dit is 'n ligte draagbare instrument met beperkte energie en kapasiteit.
- ii) Die instrument is gekalibreer met mate soos in Figuur 2 geïllustreer - enige verandering daarvan soos byvoorbeeld 'n langer kegelstang kan die traagheidsmoment van die instrument verander en dus ook die kalibrasie indien die aandrywings-energie net met die verandering tred hou nie.
- iii) Die instrument meet die in situ skuifsterkte (DN of KDV) van die materiaal en sal dus na alle waarskynlikheid nie ooreenstem met die laboratorium waar van die materiaal wat onder ander toestande (vog, digtheid en gradering) uitgevoer word nie.

6.2 DKP-Plaveiselontwerpmodel

Aannemende dat 'n sterktegebalanseerde plaveisel volgens voorafgaandebespreking verlang word en dat ander algemene

plaveiselontwerpparameters in gedagte gehou word, kan as volg tework gegaan word.

Evalueer die beoogde grondlaagmateriaal sodat dit waar moontlik optimaal benut kan word as deel van die beoogde plaveisel - 'n moontlikheid wat onder andere deur hierdie ontwerpmetode gebied word [20].

Aangesien die plaveiselsamestelling vir verkeerslas op die plaveisel beïnvloed (para 4.2.2) moet eerstens besluit word op die Plaveiselbalansnommer (BN_{100}) waarna gestreef word. Hierdie keuse hang hoofsaaklik van 'n paar faktore af soos getoon in Tabel 6.1. Dit kom basies daarop neer dat vir swaar aslaste 'n minder lassensitiwe (dieper) plaveisel aangewese is, en indien goeie in situ of ondersteunende materiaal beskikbaar is dit benut behoort te word deur 'n relatief diepstruktuur voor te skryf in verplaas van 'n meer oorbruggendevlakstruktuur.

Indien die ruimte (diepte) waarin die plaveisel ingepas moet word egter beperk is en/of die ondersteunende materiaal relatief duur is, kan 'n vlakker plaveiselsamestelling voorgestel word - en andersom. Normaalweg varieer die Plaveiselbalansnommer van natuurlik gebalanseerde plaveisels in Transaal tussen 35 en 45 met 'n gemiddelde van 38, en daar word voorgestel dat daar in die algemeen daarby gehou word.

Tabel 6.1: Faktore wat die keuse van plaveiselsterktebalans beïnvloed.

FAKTOR	VOORKEUR PLAVEISELBALANSNOMMER	
	DIEP ($BN_{100} \rightarrow 12,5$)	VLAK ($BN_{100} \rightarrow 80$)
Verkeer	Baie oorbelasting	Min oorbelasting
Plaveiselondersteuning	Goed	Swak
Plaveiseldikte	Onbeperk	Beperk
Materiaalkoste	Duur kroonlaag	Duur ondersteunende plaveisellae

Nadat op die plaveiselbalanstipe besluit is kan die verkeerslas in terme van MESA (80 bereken word vir die gekose ontwerpperiode deur gebruik te maak van Figuur 40 en die standaard ekwivalensie formule $F=(P/80)^n$ toe te pas op elke aslas in die verkeerspektrum. Indien 'n verkeerspektrumanalise (AWA) nie beskikbaar is nie en goeie benadering nogtans verlang word kan gebruik gemaak word van swaarvoertuigspektrumsimulasie [21]. (Dit is 'n wiskundige model waarmee die samestelling van die swaarvoertuigkomponent van 'n verkeerspektrum, bepaal kan word vanaf 'n enkelvoudige hand- of masjientelling).

Met behulp van die ontwerpverkeer (MESA) in terme van $10^6 \times E80$) kan die nodige ontwerpdravermoë van die plaveisel in terme van die Plaveiselstruktuurgetal (DSN_{800}) vanaf Figuur 34 verkry word, afhange van die voorsiene vogtoestand waaronder die plaveisel diens sal doen. Hierdie metode lewer natuurlik 'n gemiddelde lassensitiwiteit en plaveiseldravermoë maar indien verlang, kan vir seisoenale variasie volgens ondervinding toegelaat word.

Die gemiddelde werksterkte (nie geweekte laboratoriumwaardes nie) van die verskillende plaveisellae kan nou bekom word deur gebruik te maak van die toepaslike Plaveiselsterktebalanskromme (Figuur 18), nadat besluit is op die dikte van die verskillende plaveisellae (volgens praktiese en ekonomiese oorwegings). Inteenstelling kan die toepaslike laagdikte in ooreenstemming met 'n bepaalde laagsterkte ook op hierdie wyse bepaal word.

Die laagsterkte kan op verskeie maniere met behulp van die balanskromme bepaal word. Een van die maniere is om vertikale lyn, waarvan die lengte eweredig is aan betrokke laagdikte, op die toepaslike balanskromme en diepte te plaas sodat die onderpunt van die lyn die betrokke balanslyn raak (Figuur 38).

6,4/.....

6.4

Die persentasie van die plaveiselstruktuurnommer, DSN_{800} , wat met hierdie posisie ooreenstem minus die persentasie van die Plaveiselstruktuurnommer vir die vorige laag, verteenwoordig die sterkte bydrae van die laag onder beskouing as 'n persentasie van DSN_{800} . Hierdie bydrae mag nou omgerekend word na **in situ** laagsterkte (DSN) en deur gebruik te maak van die betrokke laagdikte na gemiddelde **in situ** DN, KDV of EDS soos verlang. (Hou egter in gedagte dat ongeag die Plaveiselsterktebalans, die kroonlaagsterkte nie laer behoort te wees as die bandkontakdruk van die swaarvoertuie in die verkeerspektrum nie, as algemene voorsorg teen skuifswigting van die kroonlaag).

Figuur 39 toon 'n voorbeeld van 'n plaveiselontwerp vir 'n plaveiseldraervermoë van 0,55 MISA gebaseer op 'n Balansnommer van 40. Die DKP-ontwerpmodelvloeiagram word in Figuur 40 getoon.

Let op dat hierdie metode met geringe aanpassing van die prosedure ook gebruik kan word om te bepaal watter addisionele materiaal benodig word bo-op bestaande materiaal om 'n gebalanseerde plaveisel te bekom, met ander woorde grondlaagbedekking ("subgrade cover") kan bepaal word. Soortgelyk kan die herwinningswaarde ("salvage value") van bestaande plaveisels evalueer word.

Hierdie ontwerpmodel is basies vir natuurlike gruis, dun-deklaag-plaveisels ontwikkel. Navorsing is egter tans aan die gang om te bepaal tot watter mate die metode toegepas kan word op plaveisels met gesementeerde lae en watter veranderinge aan die parameters nodig is - resultate lyk belowend op hierdie stadium. 'n Verdere verfyning waarna ook gestrewe word is om formules op te stel vir die Plaveiselbalanskrommes (Figuur 18) sodat die hele bewerking met meer gemak deurgevoer kan word - verrekenariseer.

6.5/.....

6.3 Basiese gebruike van die DKP

6.3.1 Terugvulling

'n Redelik eenvoudige toepassing van DKP-metings is die verifiëring van terugvullingkwaliteit. Deur metings in die terugvulling te vergelyk met metings in die bestaande opvulling op plaveisel kan minstens verseker word dat dieselfde dra vermoë weer daargestel is.

6.3.2 Identifisering van potensiele swigsand

'n DKP-meting kan in die in situ materiaal gedoen word waarna die onmiddellike omgewing (< 300 mm radius) deurweek word deur water in die DKP-gat te gooi en te laat dam op die oppervlakte. 'n Volgende DKP-meting word dan gedoen in die onmiddellike omgewing wat nou deurweek is. Indien die DN van die tweede meting aansienlik hoër is as dié van die eerste meting s'n, kan swigsandtoestande vermoed word en is dit raadsaam om meer gesofistikeerde evaluering te doen.

6.3.3 Konstruksiekontrolle

Alhoewel digtheid normaalweg tydens grondwerke gemonitor word is skuifsterkte streng gesproke die bepalende faktor in soverre dit plaveiselwerkverrigting betref.

Deur gebruik te maak van die DKP kan die in situ skuifsterkte deurlopend gemonitor word, al is dit dan net om te verseker dat die dra vermoë van 'n gebied eenvormig voortbou of is. Tipiese toepassing hiervan kan gesien word waar groot opvullings teen hoë tempo gebou word en normale kontrole tegnieke te tydrowend word - DN kan in so 'n geval teen digtheid ook gekalibreer word vir die spesifieke materiaal en toestande.

6.3.4 Benuttingsgraad van verdigtingstoerusting

Wanneer die effektiwiteit van verskillende rollers nagegaan of vergelyk wil word bied die DKP 'n vinnige

6.6/.....

metode om verandering in verdigting met diepte te monitor. Die verskillende DKP-metings kan dan met behulp van die Laagsterkte Diagram (Figuur 5) vergelyk word.

6.3.5 Gestabiliseerde lae

Aangesien die sterkte van gestabiliseerde materiaal aanvanklik behoort te vermeerder met verloop van tyd kan verskeie anomalieë verbonde aan swak stabilisasiewerk met 'n DKP opgespoor en evalueer word. Hier word gedink aan stabilisasiediepte, oneweredige vermenging of "lense" onvoldoende nabehandeling en sterkte toename met tyd om te verifieer dat ontwerpsterktes bereik is [22].

6.3.6 Middellynmonsterneming

Middellynmonsterneming kan aangevul word met behulp van DKP-metings. Vergelyking van in situ dra vermoë met laboratorium resultate van die materiaal kan insiggewend wees in die sin dat die in situ dra vermoë van 'n grond gewoonlik hoër is as die laboratorium-waarde (KDV). Indien dit nie die geval is nie word baie los materiaal en/of oormaat water vermoed en behoort ondersoek te word.

Ten slotte word die tipiese DN-waardes vir verskillende materiale (volgens TRH 14 [23] in tabel 6.2 aangegee.

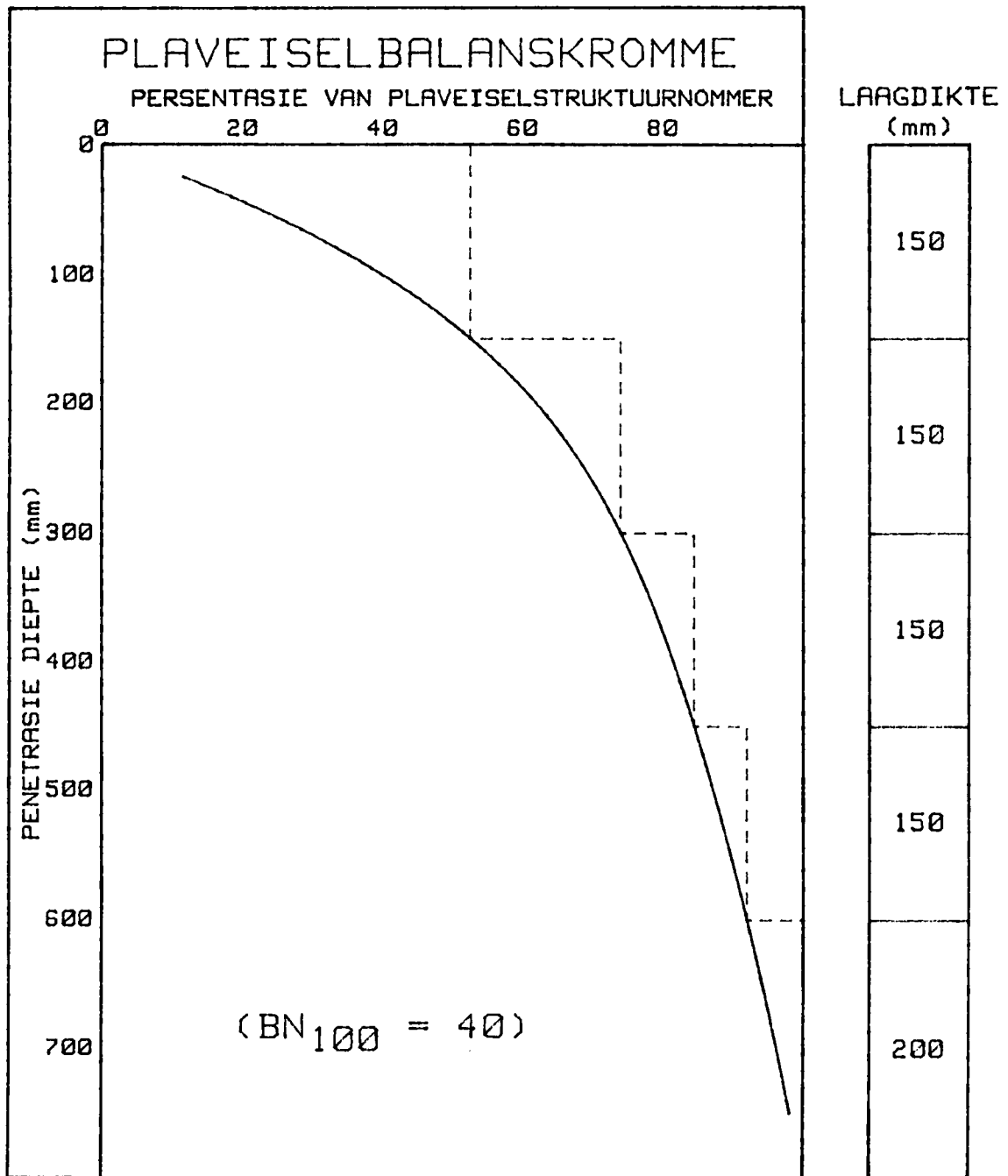
6.7/.....

Tabel 6.2: Tipiese DN-waardes vir verskillende materiale

Materiaal volgens TRH 14	Spesifikasie	DN mm/hou
G 1 : Gebreekte klip	88-88% SD	1,4-1,1
G 2 : Klipslag	100-102% G.AASHTO	1,8-1,4
G 3 : Klipslag	98% G.AASTHO	< 2,0
G 4 : Natuurlike Gruis	KDV > 80	< 3,7
G 5 : Natuurlike Gruis	KDV > 45	< 5,7
G 6 : Natuurlike Gruis	KDV > 25	< 9,1
G 7 : Natuurlike Grond	KDV > 15	< 14
G 8 : Natuurlike Grond	KDV > 10	< 19
G 9 : Natuurlike Grond	KDV > 7	< 25
G10 : Natuurlike Grond	KDV > 3	< 48
C 3 : Gesementeerde Gruis	1,5-3,0 MPa	1,8-0,6
C 4 : Gesementeerde Gruis	0,75-1,5 MPa	3,4-1,8

7.1/.....

6.8



VOORBEELD VAN DIE GEBRUIK VAN
DIE DKP-PLAVEISELONTWERPMODEL

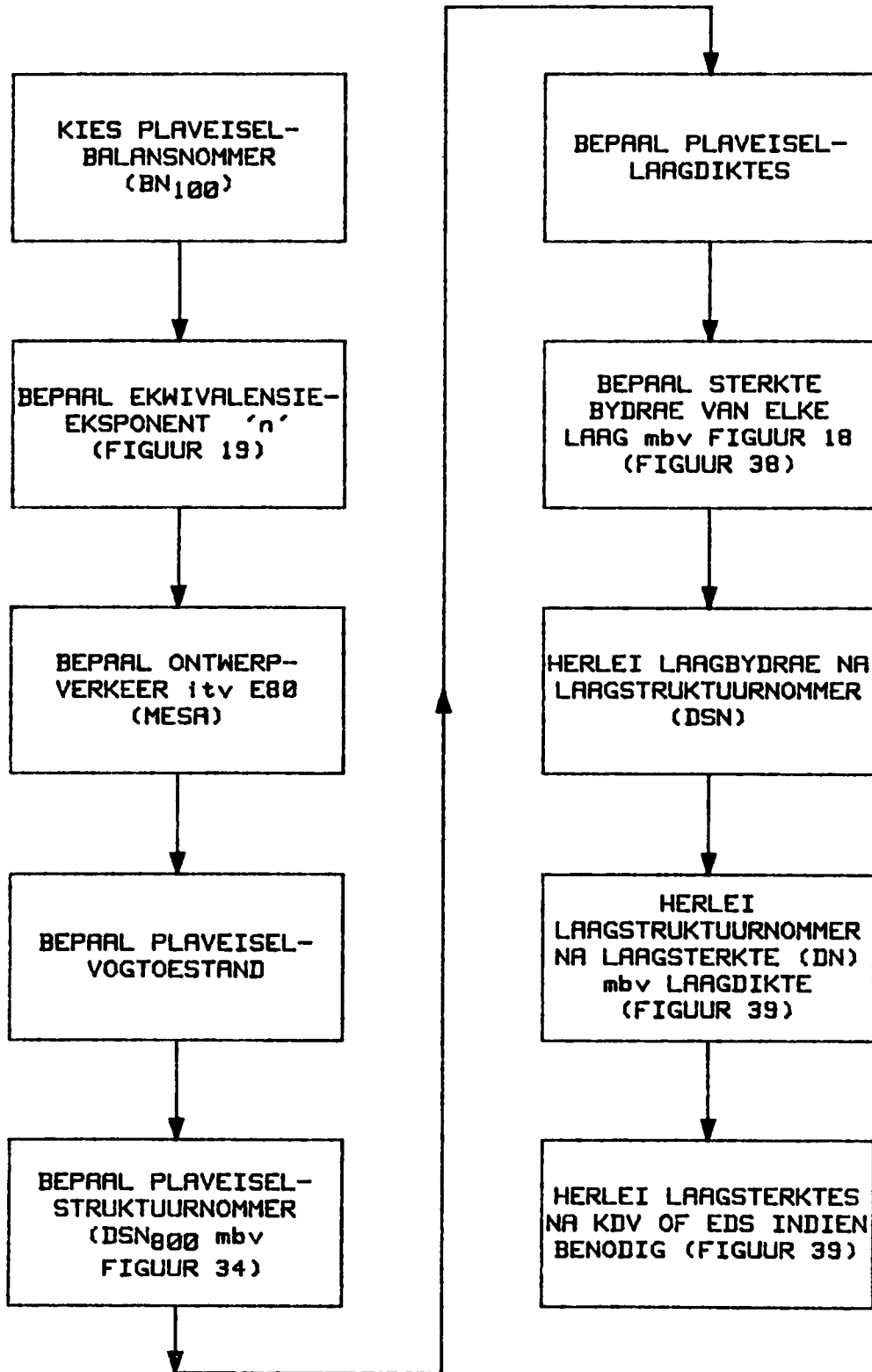
FIGUUR 38

6.9

LAAGDIKTE (mm)	GEMIDDELDE ONTWERPSTERKTES	
	DN	KDV
150	2.2	150
150	5.7	45
150	11	20
150	16	12
200	20	9

VOORBEELD VAN DIE GEBRUIK VAN
 DIE DKP-PLAVEISELONTWERPMODEL

FIGUUR 39



VLOEIDIAGRAM VAN DKP-ONTWERPMODEL

FIGUUR 40

HOOFSTUK 7

GEVOLGTREKKINGS

In die voorafgaande hoofstukke is die toepassing van 'n basiese geotegniese meetinstrument, naamlik die Dinamiese Kegelpenetro-meter (DKP), in die padplaveiselveld bespreek. Die resultate wat tydens die gebruikperiode verkry is, is sistematies evalueer na bruikbaarheid asook basiese navorsingpotensiaal.

Deur toepassing van die DKP is die moontlikheid bekom om deur direkte waarneming die toestand van 'n padplaveisel te evalueer en te monitor - 'n stap vorentoe ter toeligting van plaveiselgedrag - 'n deurbraak.

Die volgende is 'n opsomming van die meer belangrike gevolgtrekkings waartoe geraak is.

- i) Die DKP se hanteerbaarheid, sensitiwiteit en herhaalbaarheid is goed genoeg om 'n praktiese bydrae as meetinstrument in die padmaak bedryf te kan lewer.
- ii) 'n DKP-sterkteparameter naamlik die DKP-Nommer (DN) in terme van mm/hou is ontwikkel.
- iii) Die DKP meet, soortgelyk aan die KDV, hoofsaaklik die materiaal se skuifsterkte, en die DKP-Nommer (DN) korreleer baie goed met KDV en EDS.
- iv) 'n Grafiese metode is ontwikkel waarvolgens DKP-metings in die veld aangeteken kan word om 'n visuele beeld van in situ toestande te verkry.
- v) 'n Grafiese metode is ontwikkel waarvolgens verskillende DKP-sterkte profiele met mekaar vergelyk kan word met behulp van die Laagsterkte Diagram.
- vi) DKP-Plaveiselgedragparameters naamlik Struktuurnommer (BN_{100}) is ontwikkel.
- vii) DKP-Plaveiselgedragkonsepte is ontwikkel naamlik

7.2/.....

Plaveiselsterktebalans, Verkeersomvorming, Lassen-sitiwiteit in terme van ekwivalensiefaktorformule-eksponent "n" en Plaveiselbalansnommer, Plaveisel-dra vermoë in terme van 80 kN aslasrepetisies (MISA) en Verkeerslas in terme van ekwivalente 80kN aslasrepetisies (MESA).

- viii) Spanningskonsentrasiepunte in 'n plaveisel kan met behulp van 'n DKP-meting identifiseer word.
- ix) 'n Verklaring vir die waarneming dat plaveisels met oënskynlik dieselfde sterkte onder soortgelyke verkeerstoestande soms uiteenlopend kan reageer is voorgestel.
- x) 'n Plaveiselevalueringdiepte van 800 mm blyk voldoende vir algemene padgebruik te wees.
- xi) DKP-metings kan gebruik word om grondlaagbedekkings dikte ("subgrade cover") te bepaal en ook wat die sterkte samestelling daarvan behoort te wees vir optimum dra vermoë.
- xii) Daar is aangetoon dat 'n plaveisel as 'n sisteem fungeer.
- xiii) 'n Benadering tot die verband tussen plaveiselsamestelling en las-ekwivalensiefaktor is voorgestel.
- xiv) 'n DKP-Ontwerpmetode (hoofsaaklik vir natuurlike gruis plaveisels met 'n relatief dun deklaag) wat voorsiening maak vir droë-, optimum-, nat- en deurweekte vogtoestande word voorgestel.

8.1/.....

HOOFSTUK 8

AANBEVELINGS

Dit word aanvaar dat die navorsing wat vir hierdie verhandeling gedoen is nog slegs aan die spreekwoordelike oppervlakte gekrap het en dat hierdie verhandeling as 'n inleiding tot die ondersoek na die gedrag van plaveisels met behulp van die DKP dien.

Gebiede wat verdere ondersoek en/of verfyning regverdig is die volgende:

- i) Die Instrument: Verbetering van die robuustheid, dieptebereik, outomatisasie, ens.
- ii) Kalibrasie: Die kalibrasie van DN met KDV en EDS behoort van tyd tot tyd nagegaan te word, met meer inligting en 'n statistiese passing behoort uitgevoer te word.
- iii) Plaveiselgedrag:
 - a) Die effek en implikasies op plaveiselgedrag-voorspelling van DKP-metings onder verskillende wielbelastings (Belaste DN) teenoor onbelaste metings soos tans geneem (Onbelaste DN). Die verband tussen metings onder hierdie verskillende toestande behoort meer lig te werp op plaveisels se lassensitiwiteit en hoe verskillende materiale en plaveiselsamestellings hierdie gedrag beïnvloed.
 - b) Die swigmeganismes en eindtoestande vir verskillende plaveiselsamestellings (natuurlike gruis, gesementeerde gruis, asfalt ens). ter uitbouing van die DKP-Ontwerpmodel om hierdie samestellings te kan hanteer.
 - c) Die gedagte dat die verskillende Sterktebalans-krommes moontlik net verskillende afsnitte van een basiese kromme is en dat, indien

8.2/.....

wel, die effektiewe maksimum las wat die plaveisel ondervind bepaal behoort te kan word met die DKP.

- d) Die evaluering van ongebalanseerde plaveisels deur middel van 'n "weegproses" waartydens die ekwivalensie-eksponent "n" aangepas word om voorsiening te maak daarvoor dat die ongebalanseerde plaveisel minder of meer lassesensitief sal reageer.
- e) Die konsep dat 'n plaveisel se lassesensitiwiteit "n" ook verband hou met die spesifieke wielas volgens die nuutste inligting vanaf SVN-toetse.
- f) Die verfyning van die DKP-Ontwerpmodel om voorsiening te maak vir plaveiselmateriaalkwaliteit, rygemak en die eie soortige verkeersomvormingsgedrag van verskillende plaveiselsamestellings (natuurlike gruis, gesementeerde gruis, asfalt ens).

9.1/.....

HOOFSTUK 9

VERWYSINGS

1. Burrow, J.C. 1975, Investigation Of Existing Road Pavement In Transvaal.
Transvaal Roads Department Report L1/75, Pretoria.
2. Van Vuuren, D.J. 1969, Rapid Determination Of CBR With The Portable Dynamic Cone Penetrometer.
The Rhodesian Engineer.
3. Kleyn, E.G. 1975, The Use Of The Dynamic Cone Penetrometer (DCP). Transvaal Roads Department, Report L2/74, Pretoria.
4. Kleyn, E.G., Maree, J.H., Savage, P.F. 1982. The Application Of A Portable Pavement Dynamic Cone Penetrometer To Determine In Situ Bearing Properties of Road Pavement Layers And Subgrades in South Africa. ESOPT II, Amsterdam, Netherlands.
5. Kleyn, E.G., van Heerden, M.J.J. and Rossouw, A.J. 1982. An Investigation To Determine The Structural Capacity And Rehabilitation Utilization Of A Road Pavement Using the Pavement Dynamic Cone Penetrometer. Internation Symposium On Bearing Capacity of Roads and Airfields, Trondheim, Norway.
6. Smith, R.B. and Pratt, D.N. 1983, A Field Study Of In Situ California Bearing Ratio And Dynamic Cone Penetrometer Testing For Road Subgrade Investigations. Australian Road Research 13(4), December 1983.
7. Bester, M.D., en Hallat, L. 1977, Dinamiese Kegel-pylstaaf (DKP) Universiteit van Pretoria, Pretoria.

9.2/.....

8. De Villiers, P.J. 1980, Dinamiese Kegelpelstaaf Korrelasie met Eenassige Druksterkte. Universiteit Van Pretoria, Pretoria.
9. Kleyn, E.G. 1974, Ondersoek Na Die Swigting Op P16/2 En Pad 869 - Northam. TPD Verslag S2/74, Pretoria.
10. Kleyn, E.G. and Savage, P.F. 1982, The Application Of The Pavement DCP To Determine The Bearing Properties And Performance Of Road Pavements. Internation Symposium On Bearing Capacity Of Roads And Airfields, Trondheim, Norway.
11. Plaveisel en Materiaalontwerp Handleiding. Transvaalse Paaiedepartement, Handleiding L1/78, Pretoria.
12. Maree, J.H. van Zyl, N.J.W. and Kleyn, E.G. 1981, The Heavy Vehicle Simulator Test On Freeway P157/(1 and 2) Between Pretoria And Jan Smuts Airport. NITRR Report RP/11/80. Pretoria.
13. Maree, J.H. 1982. Aspekte Van Die Ontwerp En Gedrag Van Padplaveisels Met Korreelmateriaalkroonlae. Doktorsale Proefskrif, Universiteit van Pretoria, Pretoria.
14. Marais, G.P., Maree, J.H. and Kleyn, E.G., 1982. The Impact Of HVS Testing On Transvaal Pavement Design. ACT 1982. Pretoria.
15. TRH 4, 1984. Structural Design Of Interurban And Rural Road Pavements. NITRR, CSIR, Pretoria.
16. Freeme, C.R., R.G.Meyer and B.Shackel 1981, A Method For Assessing The Adequacy Of Road Pavement Structures Using A Heavy Vehicle Simulator. Proc. IRF World Meeting, Stockhölms.

9.3/.....

17. Maree, J.H., Freeme, C.R. and Kleyn, E. G., 1982 Heavy Vehicle Simulator Testing In South Africa. Internation Colloquium On Full Scale Pavement Tests, Zürich, Switzerland.
18. Maree, J.H., van Zyl, N. J. W. and Kleyn, E. G. 1982 Evaluation Of A Freeway Pavement Using A Combination Of Heavy Vehicle Simulator Testing And Mechanistic Analysis Methods. Internation Symposium On Bearing Capacity of Roads and Airfields, Trondheim Norway.
19. Haupt, F.J. 1981, Prediction Of Subgrade Moisture Conditions. Proceedings Of The 10th International Conference On Soil Mechanics And Foundation Engineering. Stockholm, Sweden.
20. Kleyn, E.G. en van Heerden, M.J.J., 1983. Using DCP Soudings To Optimize Pavement Rehabilitation. ACT 1983, Johannesburg.
21. Kleyn, E.G. en van Heerden, M.J.J., 1981. Swaarvoertuigspektrumsimulasie Met Behulp Van Enkelvoudige Verkeerstellings. TPD Verslag S2/80, Pretoria.
22. Marais, F.J., 1981. Sterktetoename Van Gestabiliseerde Lae. TPD Verslag S2/81, Pretoria.
23. TRH 14, 1984. Standards For Road Construction Materials, NITRR, CSIR, Pretoria.

BYLAAG A

AANVANKLIKE PLAVEISELEVALUERINGSMETODE

AANVANKLIKE PLAVEISELEVALUERINGSMETODE [3]

(Nie meer in gebruik nie)

1. Fondamentbalansgrafiek.

Die Fondamentbalansgrafiek was basies 'n DKP-kurwe op logskaal. Die DKP-Nommer (mm/hou) oor 'n sekere gebied is dan in blokpatroon hierop aangebring - verwys na Figuur A1. wat verkry is vanaf DKP-metings soos geïllustreer deur Figure A2, A3 en A4. Die diagram is getrek vanaf die onderkant van die seël (<20mm diepte) tot op 'n diepte van 800mm - wat volgens die inligting ingewin genoegsaam was om te verseker dat enige materiaal wat 'n beduidende invloed op die plaveisel mag hê, ingesluit is.

Wanneer die Fondamentbalansgrafiek gesamentlik getrek word vir 'n paar punte op 'n pad wat ondersoek word, staan die probleemsones in die plaveisel duidelik uit, basies deurdat die DN vir dié gebied té ver regs uitbeweeg (groter DN), veral as verskillende kleure gebruik word vir die punte wat as "geswig" en "nie geswig" geklassifiseer word. Van groter belang egter, was dat opgemerk is dat die Fondamentbalansgrafiek vir plaveisels wat nie geswig het nie, verskil van dié wat wel geswig het - opeenvolgende DN in 'n plaveisel moet blykbaar 'n sekere "balans" handhaaf vir die plaveisel om suksesvol te reageer.

Deur proefondervindelik riglyne te gebruik, en die Fondamentbalansgrafiek- areas daarom te "balanseer", is afgelei dat die Fondamentbalansgrafiek-areas links, of onder die betrokke Riglyn, minstens net so groot of groter moet wees as die areas regs, of bokant die Riglyn, vir die plaveisel bevredigend te reageer. Daar is besluit dat 'n 45° Riglyn (as beide asse dieselfde skaal het) voorlopig die beste resultate lewer. (Figuur A5). Ook is opgemerk dat daar blykbaar 'n minimum sterkte of geskiktheid vir die kroonlaag is, wat indie nie nagekom nie, swigting in die kroonlaag tot gevolg

A2/.....

het al is die res van die plaveisel nog so sterk. Hierdie perk is voorgestel deur 'n vertikale grenslyn wat die Riglyn sny op 'n diepte van ongeveer 100 tot 125 mm.

Dus was daar blykbaar twee strukturele vereistes vir goeie werkverrigting van die plaveiselsisteen nodig, naamlik:

- i) Die sterkte of geskiktheid van die verskillende lae behoort 'n sekere balans te handhaaf.
- ii) Die Kroonlaag behoort tot op 'n diepte van minstens 100 mm te beantwoord aan 'n minimum geskiktheidsvereiste.

Met hierdie konsepte tot beskikking kon plaveisels toe met meer sekerheid en gemak evalueer word.

Die feit dat die Fondamentbalansgrafiek oorwegend visueel opgestel moes word was egter steeds gesien as 'n nadeel vir die persoon wat nie oor genoegsame ondervinding beskik het nie. Verwerking van die metode sodat die posisie van die Riglyn matematies bepaal kon word is toe gedoen, en 'n DKP-Faktor gedefinieer.

2. Die DKP-Faktor

Die DKP-Faktor is gepostuleer as die area ingesluit deur die Fondamentbalansgrafiek.

Ter vereenvoudiging is die area wat deur die Fondamentbalansgrafiek ingesluit word, bereken en vergelyk met die area wat deur die Riglyn ingesluit is. Dit het dus daarop neergekom dat die area deur die Fondamentbalansgrafiek ingesluit nie die area deur die Riglyn ingesluit mog oorskry nie, indien die plaveisel bevredigend moes fungeer.

$$\int_{20}^{800} A_F < \int_{20}^{800} A_R \quad \dots(1)$$

waar: A_F = Area Fondamentbalanskurwe

A_R = Area Riglyn

A3/.....

Die linkerkant van vergelyking (1) is die DKP-Faktor van die plaveisel genoem en kon regstreeks vanaf die DKP-kurwes bereken word as volg.

Deur die logaritme van die DN oor 'n gebied te vermenigvuldig met die logaritmiese verskil tussen die twee dieptes wat die eindpunte van die gebied aandui, kon 'n element van die DKP-Faktor verkry word. Deur hierdie elemente te sommeer is die DKP-Faktor verkry.

$$h = 800$$

$$h = 20 \sum (\log DN_{h_n h_{n+1}}) (\log h_{n+1} - \log h_n) \equiv \text{DKP-Faktor..(2)}$$

Waar:

$DN_{h_n h_{n+1}}$: DN oor gebied h_n tot h_{n+1}

h_n : Diepte in mm vanwaar $DN_{h_n h_{n+1}}$ geld

h_{n+1} : Diepte in mm tot waar $DN_{h_n h_{n+1}}$ geld

Deur die DKP-Faktormetode te gebruik kon die plaveiseltoestand van verskillende seksies pad direk met mekaar vergelyk word.

3. Bepaling van die Riglyn en Grensgebied

Berekening van die Riglyn se DKP-Faktor was relatief eenvoudig omdat dit die area van 'n driehoek is. Die plasing van die Riglyn het egter sorg geverg.

Op paaie het daar gewoonlik grensgevallen voorgekom, met ander woorde plekke waar die plaveisel nie goed fungeer nie maar tog nie "geswig" het nie.

Die gemiddelde DKP-Faktor van grensgevallen het proefondervindelik saamgeval met die posisie van die geskikte Riglyn. Die standaardafwyking vanaf die gemiddeld het dan die bandwydte of koevert aangetoon van die sogenaamde "Grensgebied" van die betrokke plaveisel. Indien die menslike evaluasie van die plaveisel konsekwent was oor die betrokke seksie pad, het die Grensgebied 'n relatief nou band gevorm, soos getoon in Figuur A6.

Dit is opgelet dat die Grensgebied vir soortgelyke strukturele samestellings binne dieselfde gebied op die Fondamentbalansgrafiek val.

Deur hierdie metode van analise toe te pas op 'n verskeidenheid paaie met verskillende plaveiselsamestellings is Figuur A7 verkry, wat die aanvanklike Grensgebiedsone vir die verskillende samestellings getoon het.

Alhoewel geensins beweer kon word dat die skeiding tussen die verskillende sones so pertinent was nie, kon dit tog van nut vir oriëntering wees. Met ander woorde sones 1, 2 en 3 het die Grensgebiedsone wat normaalweg gevind was vir paaie met klipkroonlae, een of meer gestabiliseerde lae, en geen gestabiliseerde lae, respektiewelik getoon.

Van die diagram kan gesien word dat hoe meer gestabiliseerde lae in die plaveisel voorkom, hoe verder na links het die grensgebied versit, dus hoe beter ondersteuning deur dieper liggende lae is nodig om die plaveisel na wense te laat fungeer. So kon opgelet word dat 'n plaveisel met 'n klipkroonlaag ongeveer dieselfde stutlaag-vereiste getoon het as wat van 'n gestabiliseerde kroonlaag geverg het.

Daar was intertyd voorsien dat die verdeling van die sones self nog verfyning sal ondergaan.

4. Plaveiselevaluering

(Ou metode)

Om 'n plaveisel te kon evalueer aan die hand van voorafgaande is as volg te werk gegaan:

- i) Noteer 'n aantal punte langs die seksie pad, verkies met behulp van Lacroix-defleksiegrafieke, sodat minstens 12 DKP-kurwes verkry kan word as verteenwoordigend van die drie basiese toestande van

A5/.....

die plaveisel, naamlik "nie geswig", "grensgeval" en "geswig".

- ii) Verkry die DKP-kurwes en werk DKP-nommers uit vir die verskillende hellings. Selfs sonder onder-vinding is aanwesige plaveiselanomalieë hier reeds leesbaar.
- iii) Werk elke DKP-kurwe se DKP-Faktor uit.
- iv) Verkry die gemiddelde DKP-Faktor van die "grensgevalle" en die standaard afwyking.
- v) Plaas die Riglyn op die Fondamentbalansgrafiek sodat die DKP-Faktor van die Riglyn ooreenstem met die gemiddelde DKP-Faktor van die "grensgevalle"
- vii) Plaas die twee perke van die Riglyn (met ander woorde die Grensgebied) op die Fondamentbalansgra-fiek weerskante van die Riglyn sodat die DKP-Faktor van die twee perke gelyk is aan die riglyn DKP-Fak-tor, (+) en (-) die standaard afwyking, respektiewe-lik.
- viii) Trek die vertikale gedeelte van die grensgebied vir die kroonlaag waar die grensgebied die 100 mm diepte lyn sny.

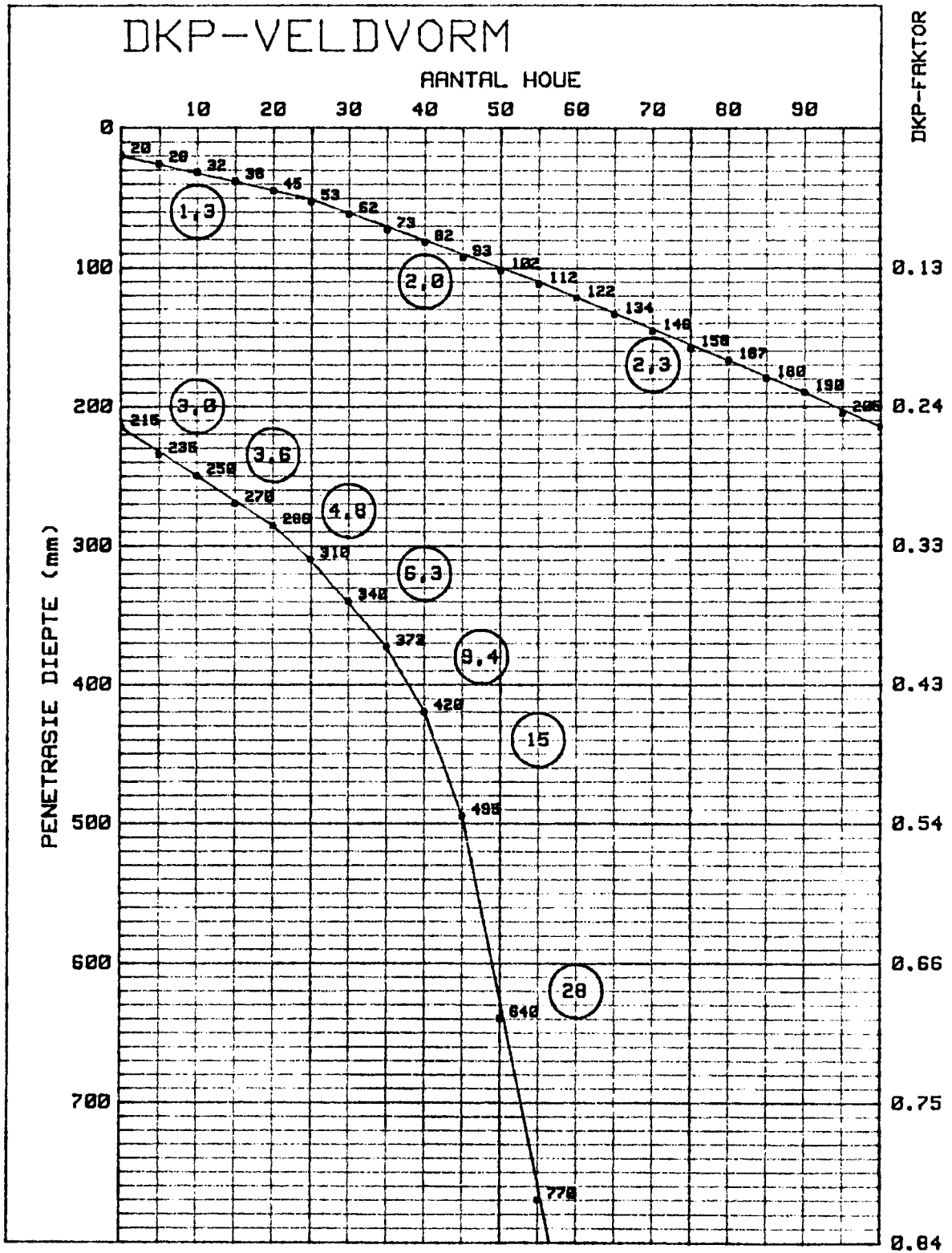
Indien hierdie grensgebied om die Riglyn baie breed is (sê meer as 15 mm) was die evaluering nie baie konsekwent nie, en behoort weer nagegaan te word.

- ix) Trek die "grensgeval" kurwes op die Fondamentbalans-grafiek in en hou tred met die verloop van elkeen as aanvoelingstoets vir die plasing van die grensge-bied.
- x) Trek die kurwes vir die "geswig" toestand in op dieselfde vel maar met 'n ander kleur - so ook die "nie geswig" kurwes. Indien 'n groot aantal DKP-kurwes so saamgetrek word mag die Fondamentba-lansgrafiek oorvol raak vir gemaklike interpretasie, en behoort meer velle gebruik te word.

A6/.....

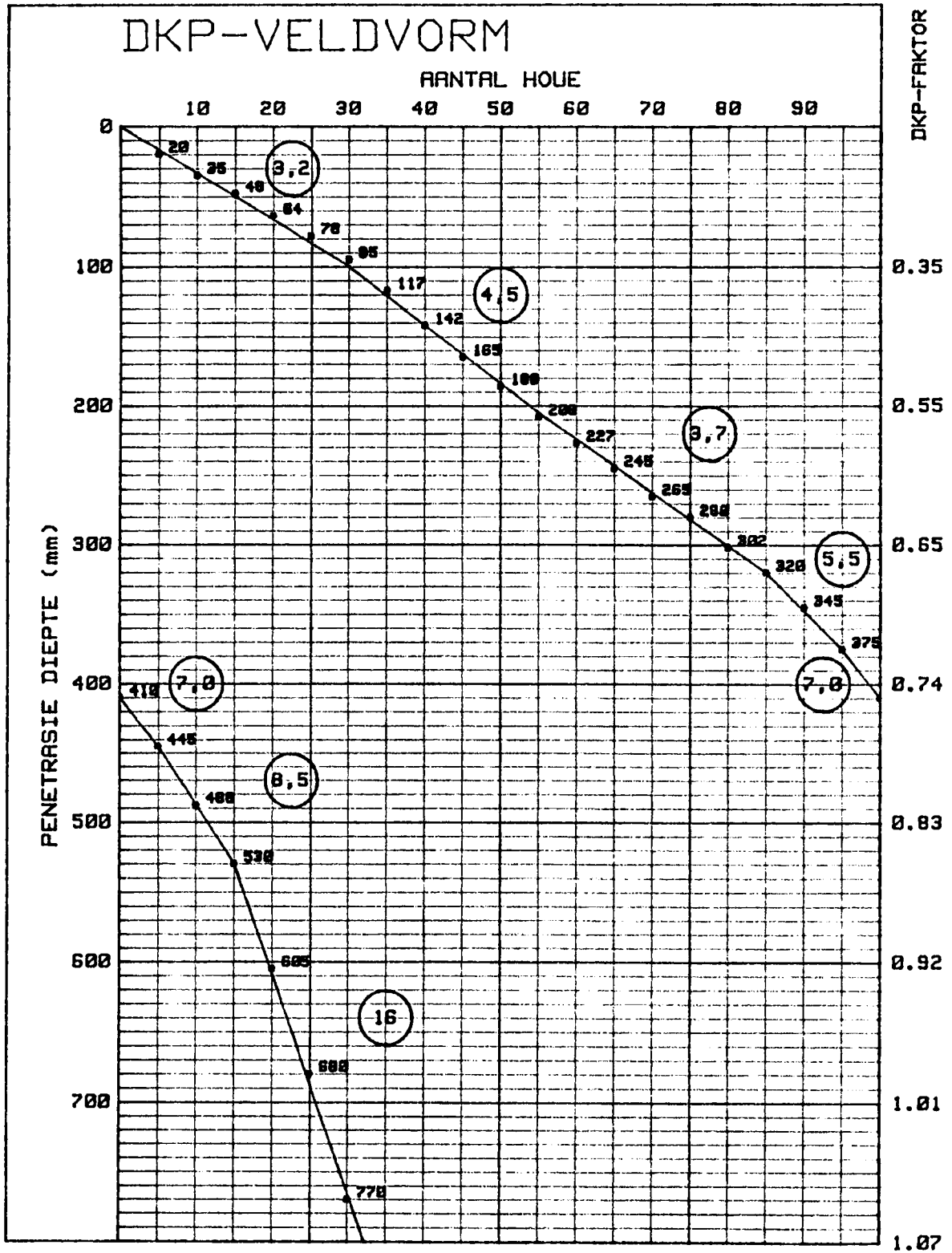
- xi) Indien tred gehou word met elke DKP-kurwe wat getrek word, sal 'n patroon gou vorm aanneem wat, gemeet aan para. 3, aantoon waar onbalans of anomalieë is.
- xii) Tesame met die DKP-Faktor vir elke DKP-kurwe behoort interpretasie van die plaveisel-toestand punt vir punt gedoen te kan word. Daar moet onthou word dat dit 'n kwessie van balans om die Riglyn is en dat enkele punte wat verby Grensgebied na regs uitwyk nie noodwendig aantoon dat die plaveisel sal swig nie.

Addisionele laboratorium toetse van monsters kan gedoen word ter verkryging van die Atterberg-grense indien verlang of ter bevestiging van DKP-neigings.



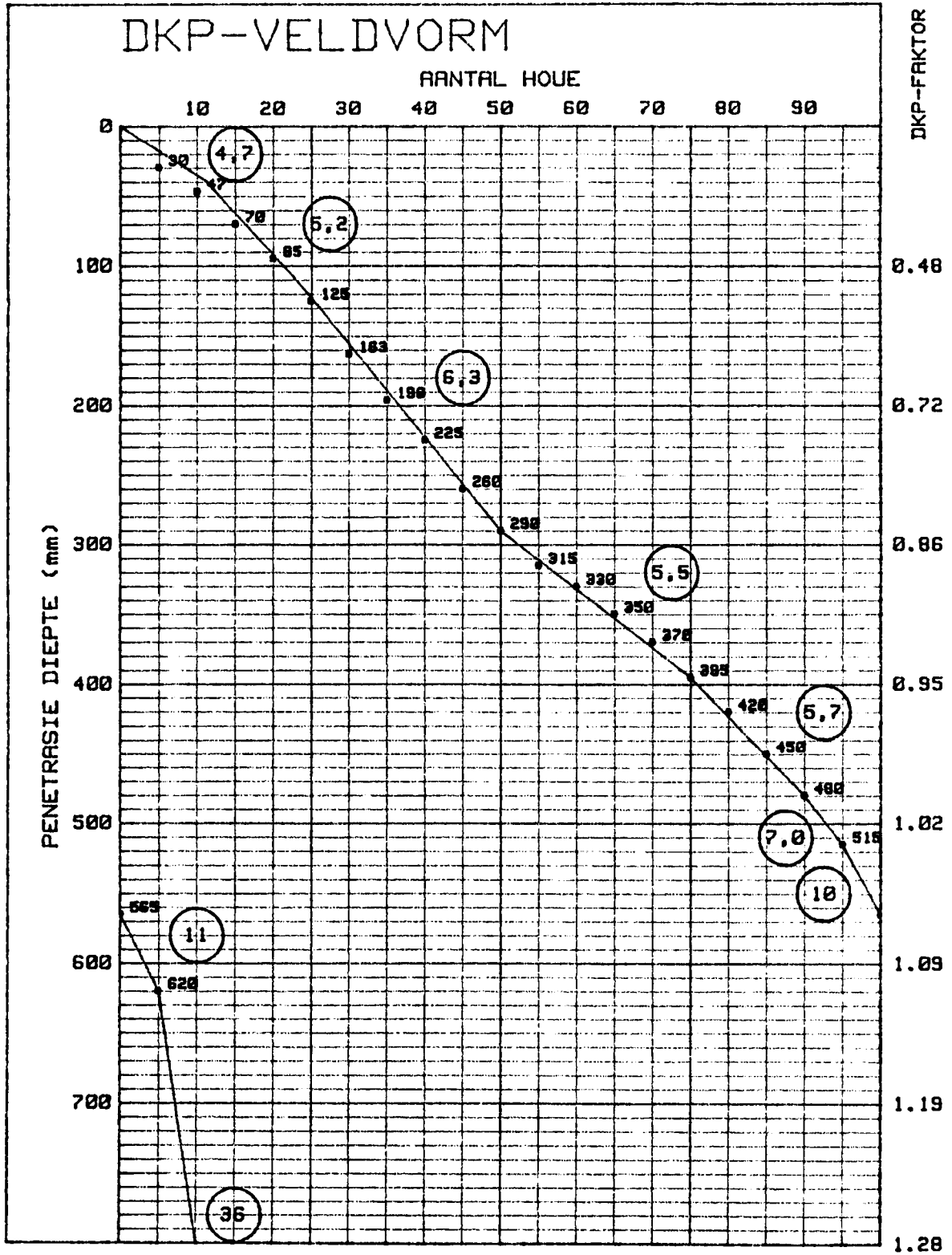
DKP-VELDVORM (NIE GESWIG)

FIGUUR A1



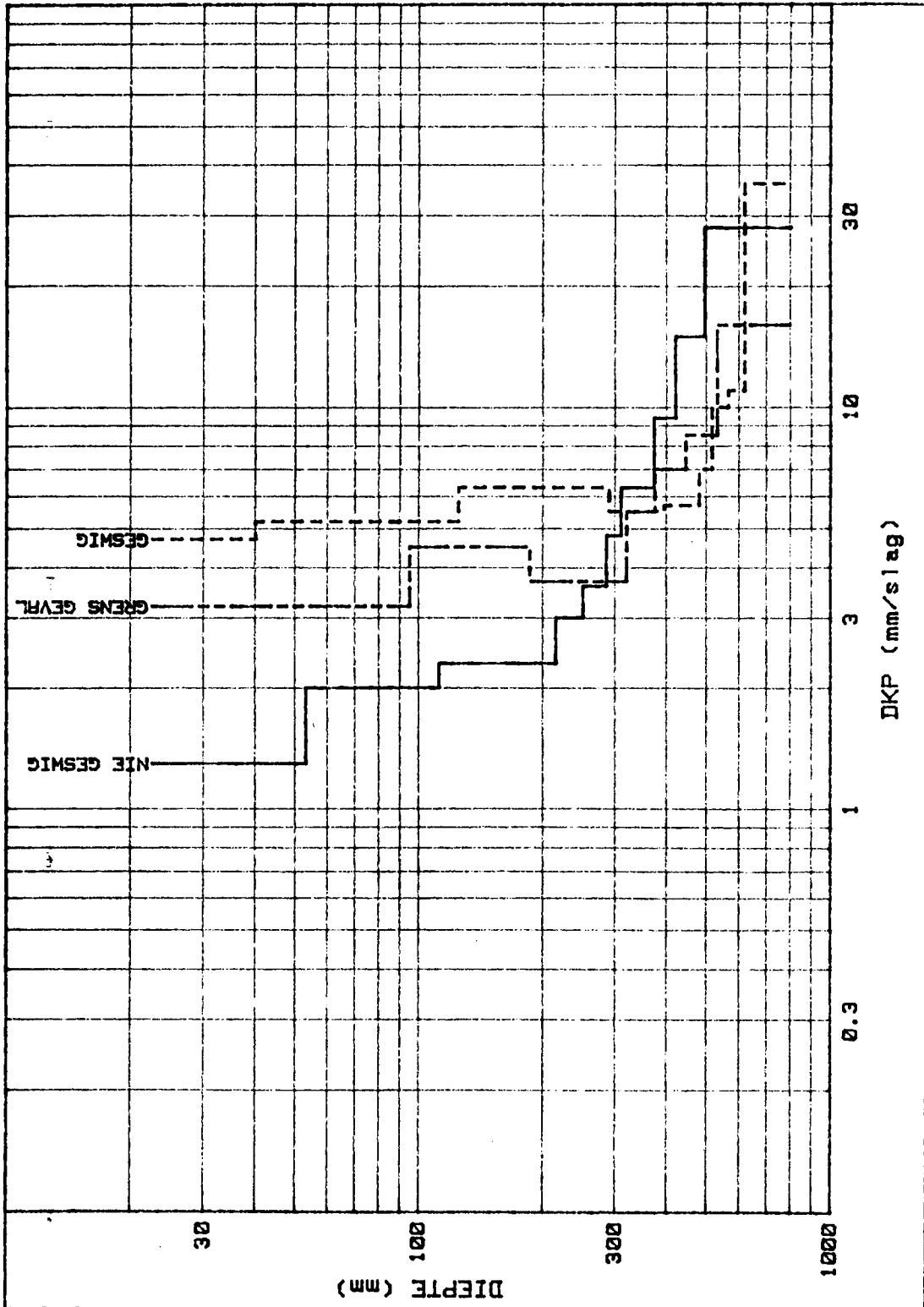
DKP-VELDVORM (GRENS GEVAL)

FIGUUR A2



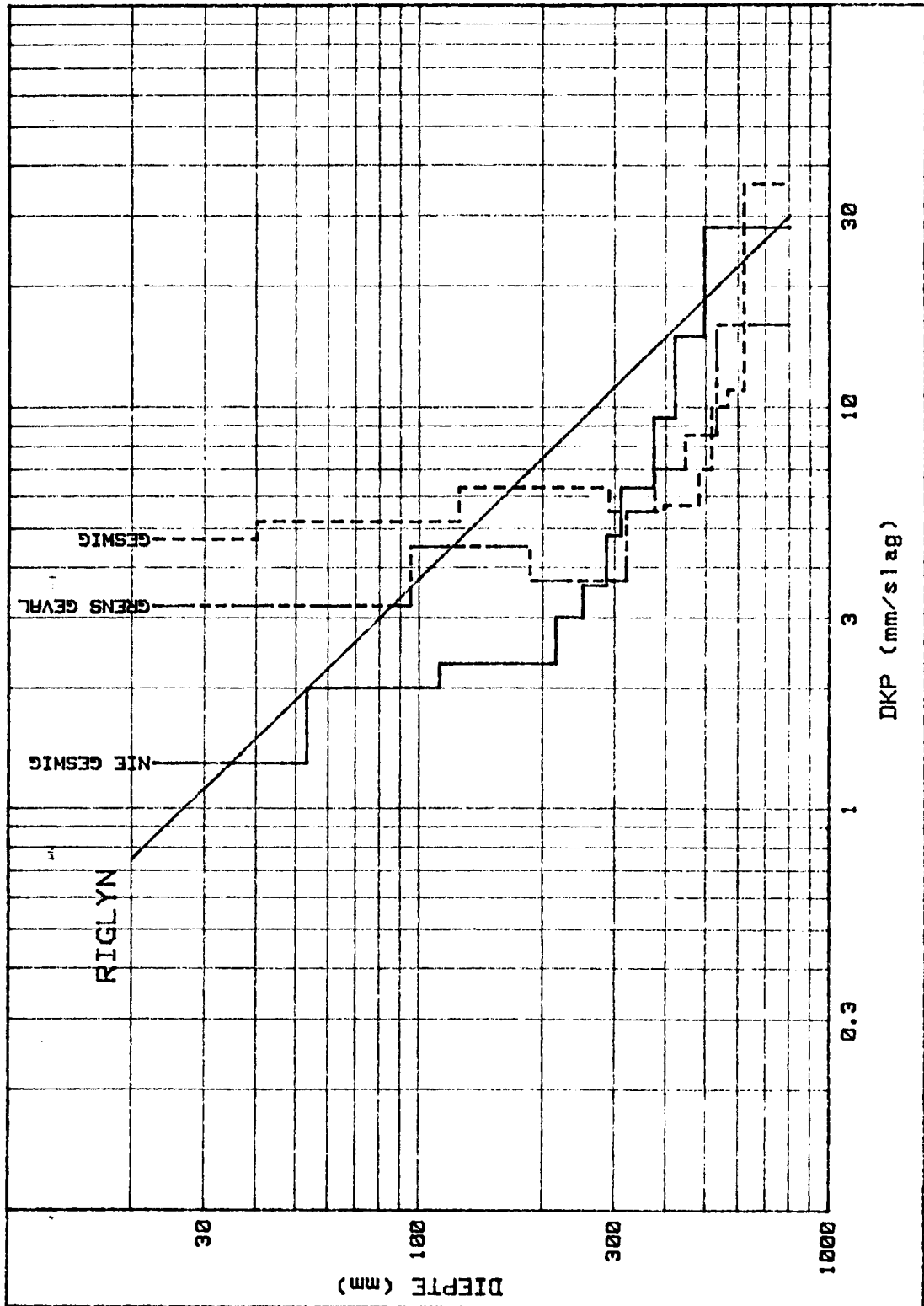
DKP-VELDVORM (GESWIG)

FIGUUR A3



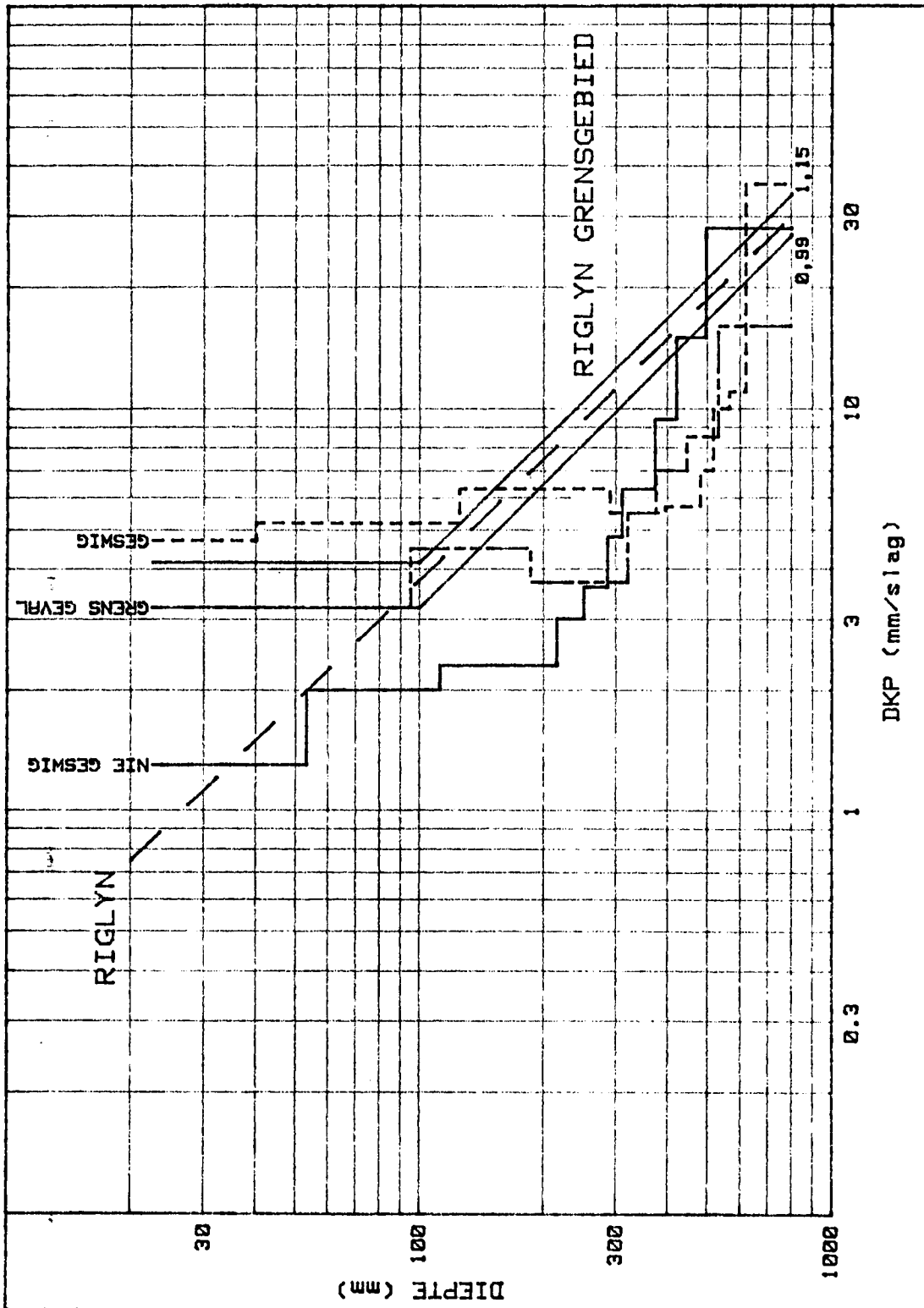
FONDAMENTBALANS

FIGUUR A4



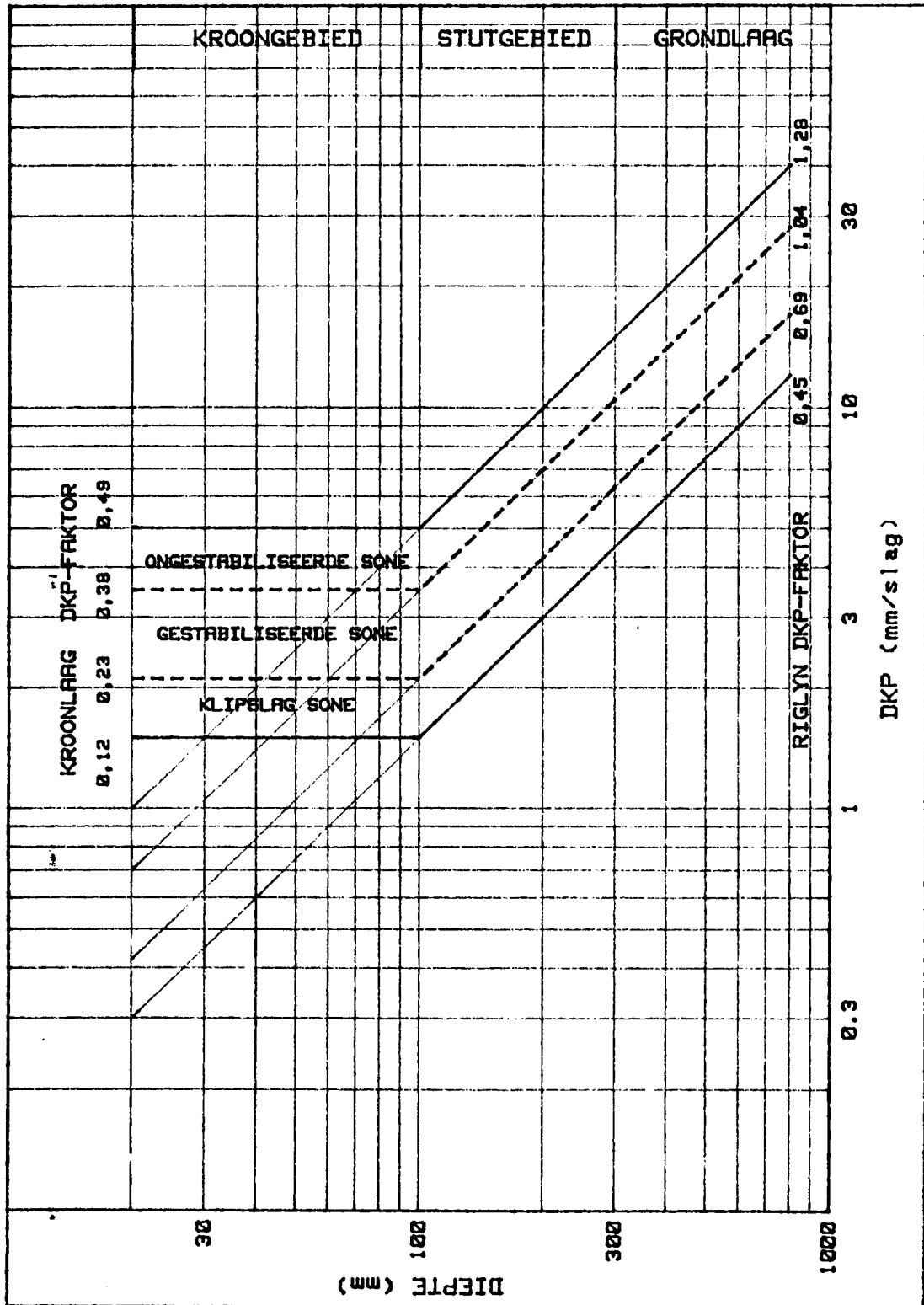
FONDAMENTBALANS

FIGUUR A5



FONDAMENTBALANS

FIGUUR A6

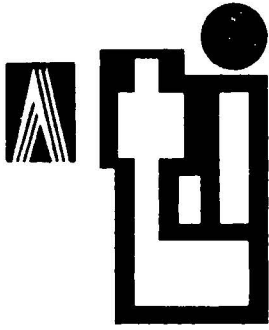


FONDAMENTBALANS

FIGUUR A7

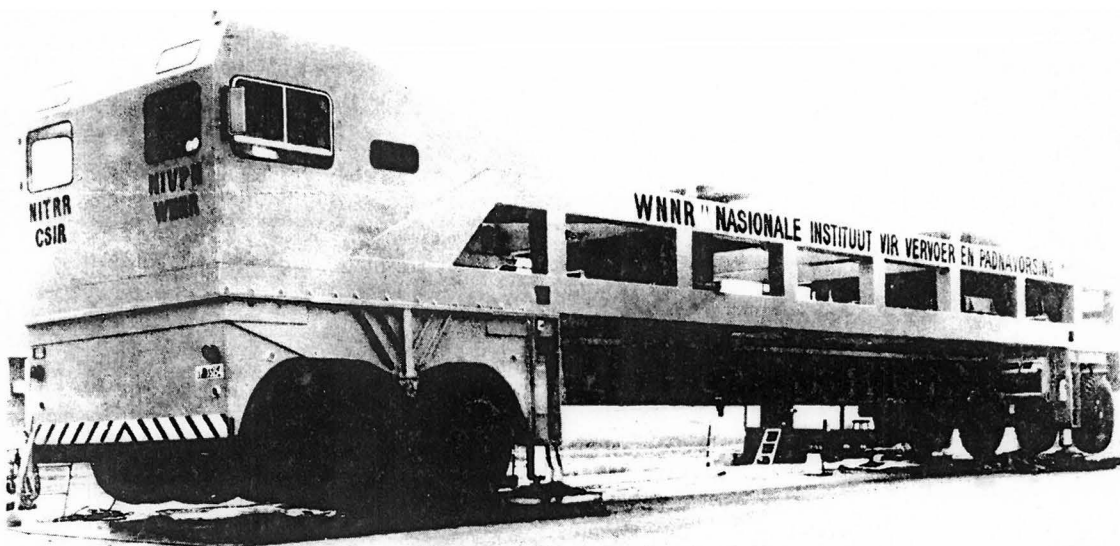
BYLAAG B

DIE SWAARVOERTUIGNABOOTSER



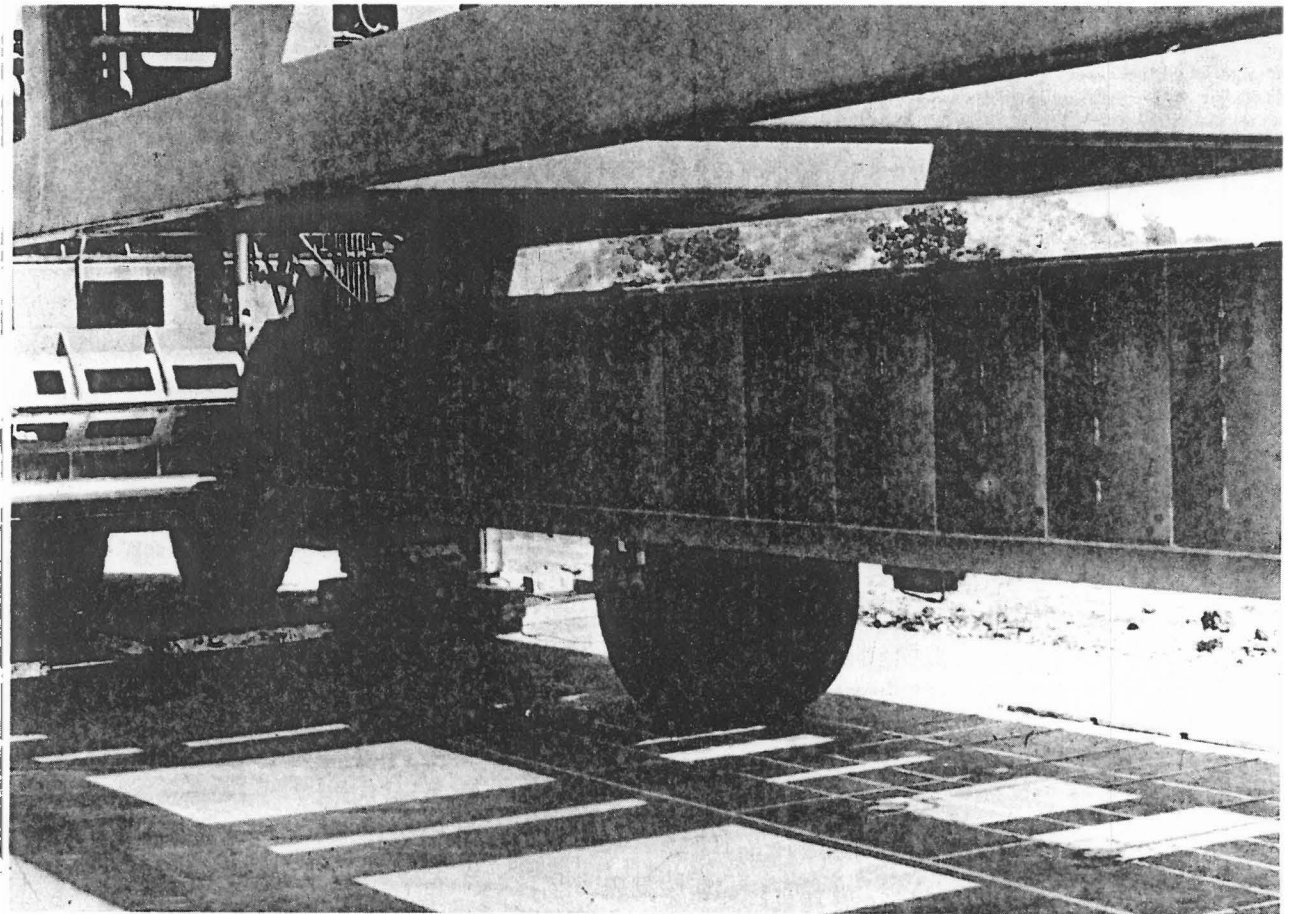
tegniese inligting vir die nywerheid

SWAARVOERTUIGNABOOTSER



Dit het in die laaste jare geblyk dat dit moeilik of selfs onmoontlik is om padplaveisels se werkverrigting uitsluitlik op grond van laboratoriumtoetsgegewens te voorspel. Daar was gevolglik wêreldwye belangstelling in die ontwikkeling van metodes om versnelde toetse met volkskaalse padplaveisels uit te voer. Toerusting om dit te doen, is in lande soos Amerika, Denemarke, Australië, Duitsland, Japan en Suid-Afrika ontwikkel. Die Suid-Afrikaanse bydrae, die Swaarvoertuignabootser (SVN) wat deur die WNNR se Nasionale Instituut vir Vervoer- en Padnavorsing (NIVPN) ontwikkel is, is moontlik die veelsydigste van die verskillende toetsopstellings wat tot dusver ontwikkel is, want dit is die enigste toerusting wat mobiel is en vir toetse op normaal geboude padoppervlakke gebruik kan word.

In hierdie uitgawe van *TI* word 'n kort oorsig gegee oor die ontwikkeling, belangrikste navorsingsdoelwitte en bedryfskenmerke van die Suid-Afrikaanse SVN-vloot wat deur die NIVPN bedryf word.



Die toetswiel waarmee plaveisels belas word

Historiese agtergrond

Die eerste SVN is gebou met behulp van fondse wat deur die Departement van Vervoer beskikbaar gestel is en is in Oktober 1970 in gebruik geneem. Teen die einde van 1972 is betekenisvolle gegewens oor toetsgedeeltes van paaie S12 en N1/21 in Transvaal met hierdie masjiene versamel. Die gegewens was so bemoedigend dat die bou van nog drie SVN-stelle in 1972 aangepak is. Hierdie masjiene het 'n aantal ontwerpverbeterings beliggaam wat berus het op ervaring wat met die oorspronklike SVN opgedoen is. Die geld vir die masjiene is deur die NIVPN, die Departement van Vervoer en die Transvaalse Provinsiale Administrasie voorsien, en die voertuie is tussen April 1976 en Desember 1978 in gebruik geneem. Tot dusver is met hierdie masjiene geslaagde versnelde verkeersbelastingstoetse op oor die 30 padplaveisels in Transvaal uitgevoer.

Navorsingsdoelwitte

Hoewel SVN-onderseke by plaveisel-evaluering feitlik deurgaans groot nut het, is die voordeel-kosteverhouding veral gunstig wat die volgende breë navorsingsgebiede betref:

- die ondersoek van nuwe en bestaande plaveiselontwerpe
- die voorspelling van ekonomiese gebruiksduur
- die bepaling van wielbelastingekwivalente
- die vinnige bepaling van die potensiele uitwerking van wysigings in die wetgewing met betrekking tot wiel- of asbelasting
- die ondersoek van herstelmetodes
- die vinnige evaluering van nuwe konstruksiemetodes en
- die evaluering van plaaslike materiaal en die uitwerking van klimaat.

Hierdie lys is nie alomvattend nie, maar illustreer nogtans die veelsydigheid van SVN-toetse waardeur voorsiening gemaak kan word vir die verskeidenheid vereistes van moderne padorganisasies.

Beskrywing van die masjiene

Die SVN-eenhede is groot voertuie wat of onder eie krag beweeg of deur 'n voorhaker gesleep word. Onder aan elke voertuig is 'n toetsbalk bevestig wat of 'n enkele of 'n dubbele toetswiel

dra. Hierdie wiel kan vorentoe en agtertoe oor 'n afstand van 8 m oor die pad gery word sodat die opeenvolgende ritte oor 'n totale dekbreedte van 1,5 m strek. Die wielbelasting kan na keuse tot 100 kN en die wielspoed tot 14 km/h gevarieer word. Die masjiene kan op dié wyse 'n plaveisel aan die versnelde uitwerking van verkeer blootstel teen wielbelasting wat gekies kan word om enige voertuig wat op die pad in gebruik is, na te boots. Die SVN-masjiene is volkome selfstandig en verskaf self al die hidrouliese en elektriese krag wat vir hul bedryf nodig is, asook vir hulptoerusting soos instrumentwaens, slaap- en kantoorwoonwaens, ens. Die SVN-vloot kan op enige plek bedryf word, of elektriese krag plaaslik beskikbaar is al dan nie.

Die vernaamste kenmerke van die SVN-masjiene (modelle SVN 2, 3 en 4) word in die volgende tabel saamgevat:

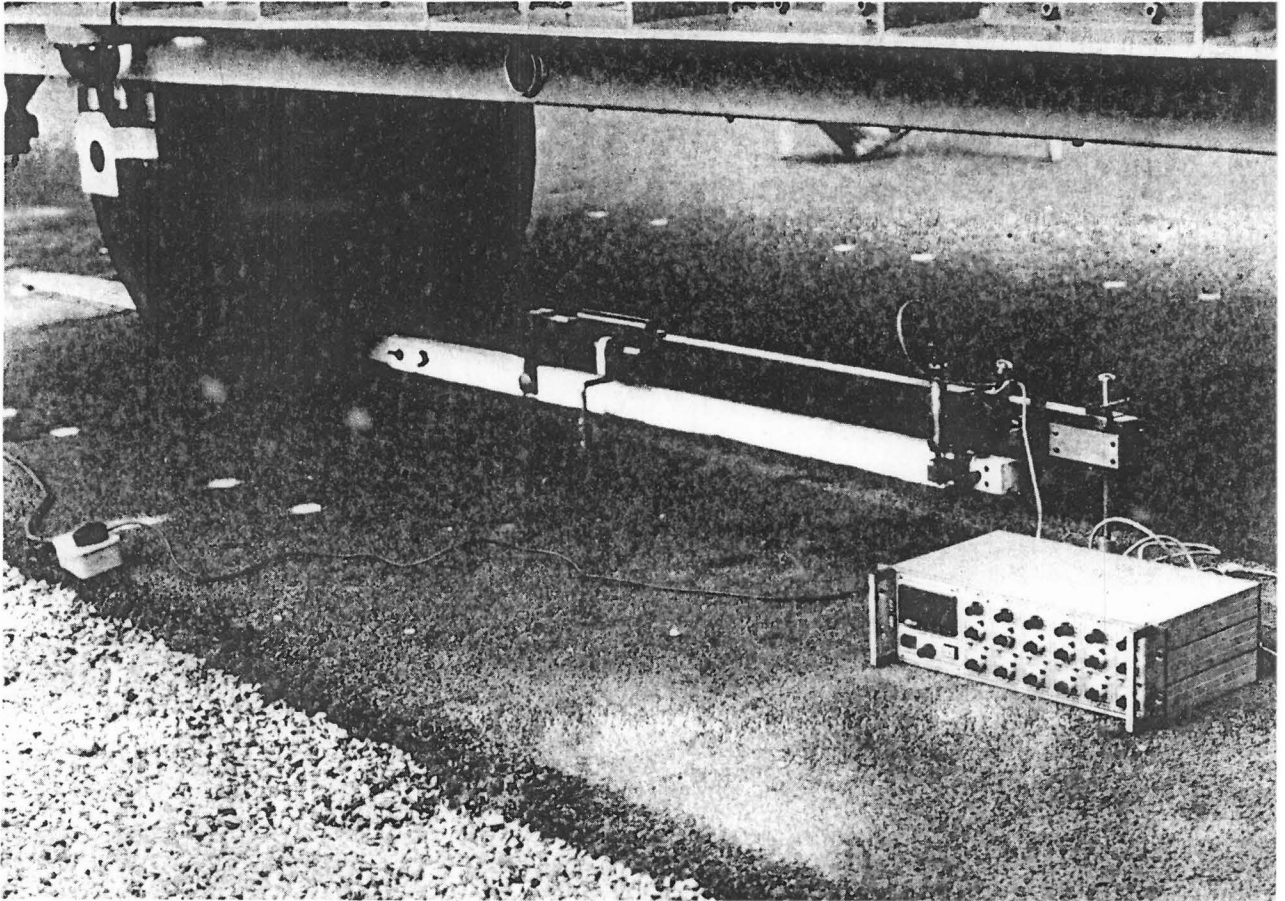
KENMERK	SPEKIFIKASIE
Maksimum asbelasting	0 - 100 kN dinamies 0 - 150 kN staties
Toetswiel	Enkel of dubbel
Buiteband	1 000 x 20
Toetslengte	8 m
Toetsbreedte	Veranderlik tot 1,5 m
Belastingspreiding	Veranderlik of vas soos verkies
Toetstempo	0 - 1 300 herhalings per uur (tot 28 000 herhalings per dag)
Toetsspoed	Tot 14 km/h
Voertuiglengte	11,6 m
Voertuigbreedte	3,7 m
Voertuighoogte	4,2 m

Instrumente

Gelyktydig met die ingebruikneming van die SVN-masjiene het die NIVPN 'n aantal gespesialiseerde elektroniese toestelle ontwikkel vir die vinnige versameling en verwerk-



'n Meerdieptedieksiemeter word in 'n padplaveisel aangebring



'n Geoutomatiseerde Benkelman-balk waarmee die defleksie van plaveisels gemeet word

ing van gegewens ten opsigte van elke plaveisel wat getoets word. Hierdie toestelle sluit die volgende in:

- **'n Outomatiese profielmeter**
'n Stewige motorgedrewe profielmeter wat die dwarsprofiel van die toetsgedeelte in enige stadium van die toets vinnig en noukeurig meet.
- **'n Meerdieptedefleksiemeter**
'n Veelsydige instrument wat vinnig in enige plaveisel aangebring kan word voor die toets plaasvind en wat beide kortstondige en permanente vervormings van die plaveisel by 'n gekose diepte deurlopend monitor en registreer.
- **'n Geoutomatiseerde Benkelman-balk**
Dit is 'n gewysigde Benkelman-balk wat die verkryging van elektroniese gegewens vergemaklik.
- **'n Spesiale rekenaar (ADAS II)**
Elke SVN is voorsien van 'n elektroniese rekenaar wat die gegewens wat verkry word, verwerk en onmiddellik 'n grafiek van die verwerkte gegewens teken sodat die SVN-bedieners die vordering van elke toets deurlopend kan monitor. Die gegewens word op magnetiese kassette geregistreer

en is na gelang van die vereistes vir latere uitvoerige evaluering in die kantoor beskikbaar.

Die elektriese aandrywing vir die instrumente en die rekenaar word deur die SVN self verskaf.

Bedryfskenmerke

Die SVN kan op roetinegrondslag vir sewe dae bedryf word. Elke masjien kan tot 22 uur per dag bedryf word omdat 2 uur vir versiening nodig is. Normaalweg word hierdie versiening uitgevoer terwyl die masjien stil staan tydens die besigtiging en inspeksie van toetsgedeeltes.

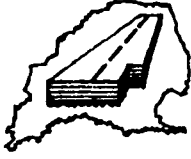
Elke SVN word deur twee bedieners beman wat opgelei is in die bedryf en onderhoud van die masjien asook van die toetsinstrumente en die rekenaar. Hierdie manne word bygestaan deur 'n span van vier ongeskoolde assistente wat skofte werk.

Nadere inligting

Besonderhede oor die SVN-masjiene en hul toetsprogramme is in 'n aantal NIVPN-verslae gepubliseer wat op versoek verskaf sal word. Nadere inligting kan verkry word van die Direkteur, Nasionale Instituut vir Vervoer- en Padnavorsing, WNNR, Posbus 395, Pretoria, 0001.

BYLAAG C

STANDAARDVORMS



TRANSVAALSE PAAIEDEPARTEMENT

TAK MATERIALE

DKP-ONDERSOEK

VORM LM 6

89/84

L4/ _____


PADNOMMER : _____ **DATUM** : _____
AFSTAND : _____ **OPNEMER** : _____
POSISIE : L M R

SPORING	DIFF. VAGERSK	POMPING	KRIEKE:	STABILISASIE	KROKODIL	LANGS
---------	---------------	---------	---------	--------------	----------	-------

	10	20	30	40	50	60	70	80	90																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19																					
	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	720	740	760	780

PENETRASIE DIEPTE (mm)

of
4



TRANSVAALSE PAAIEDEPARTEMENT

TAK MATERIALE

DKP-LAAGSTERKTE DIAGRAM

VORM LM 8

05/84

L4/_____

PADNOMMER : _____ **DATUM** : _____
AFSTAND : _____ **OPNEMER** : _____
POSISIE : L M R

SPORING

DIFF. VASBAK

POMPING

KRAKE:

STABILISASIE

KROKODIL

LANGS

DKP-GETAL (mm/hou)

0.2 1.0 10 50

PLAVEISELDIEPTE (mm)

100

200

300

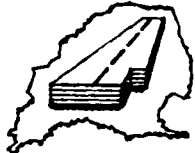
400

500

600

700

800



TRANSVAALSE PAAIEDEPARTEMENT
TAK MATERIALE
OPSOMMING VAN DKP-ONDERSOEK

VORM LM 9

85/84

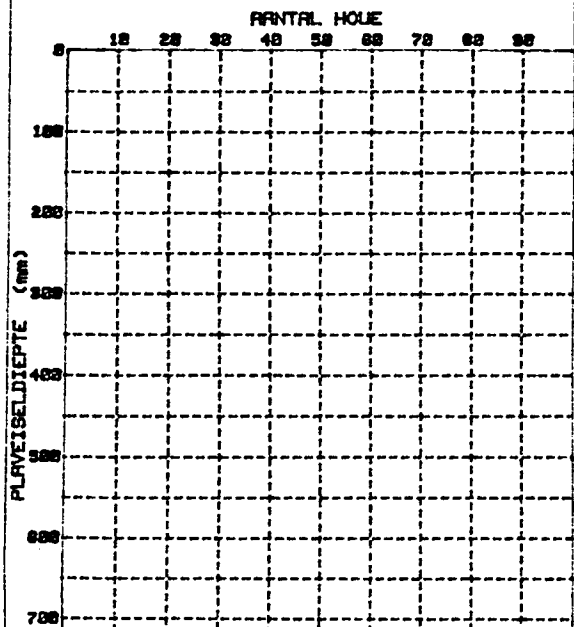
STREEK :
PAD NR :
AFSTAND :
POSISIE : L M R
TOESTAND : GEBNIG OORSPAN NIE GEBNIG
 SPOOR VABERK POMP KRANKE STAB. KROK. LANGS
DATUM :

PLAVEISELEIENSKAPPE
STRUKTUURGETAL :
BALANSNOMMER :
80kN-ASSE (n=4.2) :
80kN-ASSE (n=) :
VERKEER :

GEMIDDELDE EKWIVALENTE STERKTES		KDV	EDS
VAN	TOT		
0	150		
150	300		
300	450		
450	600		
600	750		

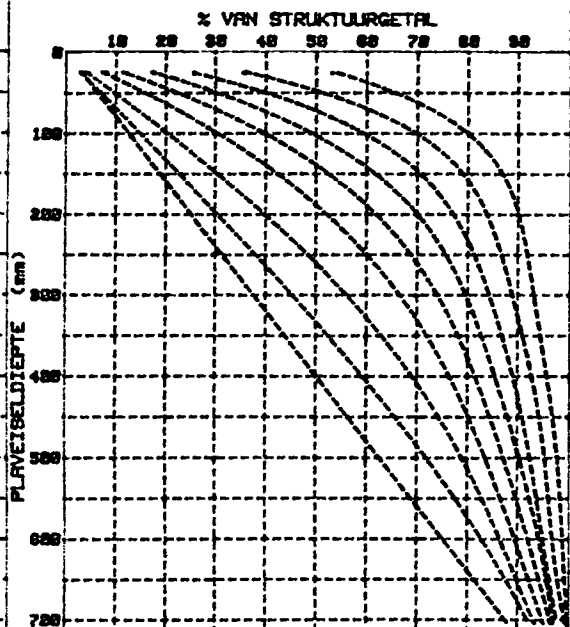
DKP-KROMME

VORM LM8



BALANSKROMME (DKPØ)

VORM LM7



LAAGSTERKTEDIAGRAM

VORM LM6

