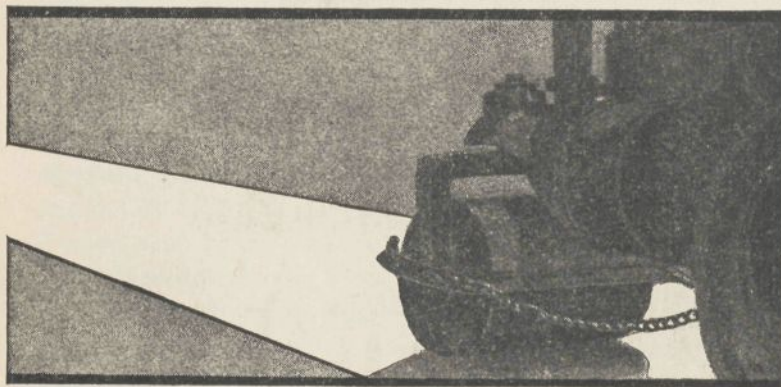


No. 185

18-10 - '39

PUBLICATIE
VAN DE
NEDERLANDSCH - INDISCHE
WEGENVEREENIGING
CENTRAAL PROEFSTATION EN STUDIE-
BUREAU OP WEGENGEBIED
GEVESTIGD TE BANDOENG



ECONOMISCHE HELLINGEN VOOR
WEGEN MET TJKARTRANSPORT.



1005 F44

A.G. NIX & CO. BANDOENG



ECONOMISCHE HELLINGEN VOOR WEGEN MET TJKARTRANSPORT.

1. Bij verbetering en aanleg van wegen in geaccidenteerd terrein hier te lande wordt veelal de eisch gesteld, dat deze wegen tevens geschikt moeten worden gemaakt voor tjikarverkeer.

Daarbij doet zich uiteraard in de allereerste plaats de vraag voor, welke maximum doorgaande helling, bij een normale belading en bespanning, voor tjikars toelaatbaar is.

Op Java werd tot dusverre veelal de eisch gesteld, dat deze maximum helling hoogstens $1/20$ mocht bedragen.

Daar deze eisch in sommige gevallen echter dusdanige belangrijke financieele consequenties met zich brengt, dat van wegverbetering of- aanleg geheel zou moeten worden afgezien, werd door één der groote wegbeheerders op Java aan het N. I. W. V.-bureau de vraag voorgelegd, welke maximum doorgaande langshelling in wegen, loopende door geaccidenteerd terrein, voor tjikars toegelaten kan worden.

Aangezien dit vraagstuk van groot algemeen belang is te achten, werd besloten het door het N. I. W. V.-bureau hierover uitgebrachte rapport in eenigszins omgewerkten vorm in deze algemeene publicatie op te nemen, ten einde allen wegbeheerders in staat te stellen van de over dit onderwerp bestaande theorieën en gegevens kennis te nemen.

2. Voorzoover kon worden nagegaan, zijn geen specifiek Indische cijfers over het betrokken vraagstuk beschikbaar. In de Amerikaansche en Europeesche literatuur van de laatste decennia wordt dit onderwerp voorts slechts sporadisch behandeld, hetgeen ook niet te verwonderen valt in verband met de verdringing der fysieke tractie door het moderne motorverkeer.

In thans verouderde Europeesche handboeken, zooals „Waterbouwkunde” door Henket, Schols en Telders van 1885 en het „Handbuch der Ingenieurwissenschaften” van 1903, worden echter uitvoerige gegevens aangetroffen over de doelmatigste hellingen voor wegen met paardenkarrentransport. Waar dit soort transport in de 19de eeuw in Europa nog van groote beteekenis was, werden hierover toendertijd vele ervaringscijfers verzameld en verhandelingen gepubliceerd.

Behalve van het vermelde in bovengenoemde boekwerken is in het onderstaande ook nog gebruik gemaakt van de cijfers betreffende tractieweerstanden van tijkars op ijzeren velgen en op luchtbanden opgenomen in het artikel van ir. H. Veer in „I. B. T. Locale Techniek” No. 4 van 1935.

3. De trekkracht, welke een trekdier op een helling kan uitoefenen, bedraagt:

$$k = \mu (Q + Q_1) + (Q + Q_1 + G) \operatorname{tg} \alpha \quad \dots \dots \quad (1)$$

waarin μ = tractieweerstandscoefficiënt

Q = nuttige last van een vrachtkar

Q_1 = eigen gewicht „ „ „

G = gewicht van het trekdier

α = hellingshoek

Uit deze formule blijkt, dat de trekkracht met den hellingshoek α snel toeneemt; bij $\operatorname{tg} \alpha = \mu$, (hetgeen bij een asfaltweg reeds plaats heeft bij een helling van ongeveer 1/50), is de trekkracht reeds meer dan het dubbele der trekkracht op den horizontalen weg.

Het verband tusschen trekkracht k , arbeidsduur t en snelheid c van een trekdier wordt — binnen bepaalde uiterste grenzen — aangegeven door de **formule van Maschek**, welke luidt:

$$k = K \left(3 - \frac{c}{C} - \frac{t}{T} \right) \dots \dots \dots (2)$$

waarin K, C en T resp. de *gemiddelde* trekkracht, snelheid en arbeidsduur van een trekdier voorstellen.

Bewezen kan worden, dat de arbeid $A = k.c.t.$ een *maximum* wordt, indien k, c en t gelijk zijn aan de gemiddelden van K, C en T.

De *maximum* waarde voor A is dus: $A = K. C. T.$

Voorts kan ook bewezen worden, dat de arbeid bij ontwikkeling van een bepaalde trekkracht k, een *betrekkelijk* maximum wordt voor $\frac{c}{C} = \frac{t}{T}$, zoodat de formule dan geschreven kan worden:

$$k = K \left(3 - 2 \frac{c}{C}\right) = K \left(3 - 2 \frac{t}{T}\right) \dots \dots \dots (3)$$

4. Alvorens deze formules te kunnen toepassen, dienen allereerst de waarden van den coëfficiënt μ en van de grootheden Q, Q₁, G, K, C en T te worden vastgesteld.

De grootte van μ hangt van verschillende factoren af, zooals de effenheid van het wegdek, de aard van den wielband, het type van den vrachtwagen, alsook van den toestand waarin de vrachtwagen verkeert. Voor een effen weg, luchtbanden en groote wielen is μ *geringer* dan voor een oneffen weg, ijzeren banden en kleine wielen, terwijl bij wielen welke een sterk slingerenden gang vertoonen, μ *groter* wordt dan bij een behoorlijk onderhouden wagen.

Voor een tijkar of grobak kunnen de volgende weerstandscoëfficiënten worden aangenomen:

Wegsoort	μ voor tijkar of grobak op	
	ijzeren velgen	luchtbanden
Geasphalteerde weg (niet al te effen).	1/50	1/70
Middelmatige steen- slagweg.	1/25	1/45

Onder „normale belading” van een tjikar wordt hier verder verstaan de volgens de „Wegverkeerswetgeving” toelaatbare *maximum*-belading van een tjikar met velgen ter breedte van 8 cm, dus $2 \times 8 \times 100 = 1600$ kg in totaal. Het eigen gewicht van een dergelijke tjikar kan aangenomen worden op 600 kg.

Indien het gewicht van een sapi of karbouw op Java wordt gesteld op 400 kg, wordt dus in dit geval:

$$Q = \text{nuttige last} = 1000 \text{ kg}$$

$$Q_1 = \text{gewicht tjikar} = 600 \text{ „}$$

$$G = \text{„ trekdier} = 400 \text{ „}$$

Voorts is aangenomen, dat de „normale bespanning” van de hierbedoelde normale tjikar bestaat uit 2 trekdieren.

In de literatuur wordt opgegeven, dat de *normale* trekkracht K van een trekdier ongeveer $1/5$ van zijn gewicht bedraagt, zoodat K in dit geval $400/5 = 80$ kg zou worden. De gemiddelde snelheid C en de gemiddelde arbeidsduur T kunnen voorts resp. van 0,6 — 1,5 m/sec en van 6 — 10 uur variëren.

Voor de trekdieren op Java behooren deze cijfers in verband met slechte voeding en klimaat, zeker niet te hoog te worden aangenomen. Gemeend wordt, dat voor karbouwen en sapi's de volgende gemiddelde waarden gelden:

$$\text{gemiddelde trekkracht} = K = 60 \text{ kg}$$

$$\text{„ snelheid} = C = 0,8 \text{ m/sec (ca. 3 km/h)}$$

$$\text{„ arbeidsduur} = T = 6 \text{ uur.}$$

5. Uitgaande van deze *normale* tjikar met *normale* bespanning en de daarvoor geldende coëfficiënten en grootheden, alsmede onder gebruikmaking van bovenstaande formules is de achterin opgenomen grafiek opgezet, waarin zoowel het verloop der trekkracht als dat van den verrichten maximum arbeid zijn aangegeven.

Met behulp van formule (1) is voor elke helling de bijbehorende trekkracht k berekend en wel voor het geval $\mu = 1/25, 1/45, 1/50$ en $1/70$. Op die wijze zijn 4 rechte lijnen verkregen (zie grafiek), welke het verloop van de trekkracht voorstellen t. o. v. de helling. Voor b. v. $\mu = 1/25$ bedraagt $k = 32$ kg bij $\text{tg } \alpha = 0$, om rechtlijnig toe te nemen tot 152 kg bij $\text{tg } \alpha = 0,1$. De punten A_0 t/m D_0 geven aan bij welke hellingen de trekkracht $k = 60$ kg.

De krommen, welke het verloop van den verrichten hoeveelheid arbeid aangeven, zijn berekend door substitutie der voor elke helling reeds bekende trekkracht k in formule (3). Daar K , C en T bekende constanten zijn, kunnen direct uit deze formule eerst c en t , en vervolgens ook $A = k.c.t.$ worden becijferd.

Deze arbeidskrommen vertoonen maxima (punten A t/m D) bij die hellingen, waarvoor $k = K = 60$ kg, hetgeen in overeenstemming is met het hiervoren reeds vermelde.

Uit het verloop der krommen blijkt voorts duidelijk, dat bij hellingen, welke slechts weinig grooter of kleiner zijn dan de door A , B , C en D aangeduide, de afname van den hoeveelheid verrichten arbeid betrekkelijk gering is, doch dat deze afname bij grooter afwijking hoe langer hoe sterker wordt.

De door deze punten A t/m D aangegeven hellingen zijn de doelmatigste, indien *uitsluitend* wordt gelet op het verkrijgen van een maximum hoeveelheid *arbeid* (tm) per dag. Wordt echter de eisch gesteld, dat een bepaalde *hoogte* moet worden bereikt bij de *geringste vervoerkosten*, dan dienen sterkere hellingen te worden toegepast, dan de met A t/m D aangeduide. Wel-is-waar wordt door de grootere helling de door de trekdieren ontwikkelden arbeid per dag geringer (zie grafiek), doch door den alsdan verkregen *korteren weg* kan met dien geringeren arbeid toch een grootere hoogte worden bereikt.

Voor de berekening der in den weg aan te houden hellingen, voor het geval, dat een bepaalde *hoogte* dient te wor-

den overwonnen met de *geringste* vervoerskosten, worden in de genoemde boekwerken formules opgegeven, waarbij rekening is gehouden òf met uitsluitend opgaand vervoer of afgaand vervoer, òf met opgaand en afgaand vervoer tezamen en eventueel nog met ledigen teruggang. Deze berekeningen zijn evenwel te uitvoerig om te worden overgenomen en wordt hiervoor naar die boekwerken verwezen.

Volstaan moge hier worden met het noemen der formule; welke volgens **prof. Launhardt** de voordeeligste waarde aangeeft van de klimming, bij *uitsluitend opgaand vervoer*, en welke luidt:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{K}{Q + Q_1 + G} - \frac{1}{3} \mu \dots \dots \dots (4)$$

Bij toepassing dezer formules op ons geval worden waarden voor $\operatorname{tg} \alpha$ gevonden van 0,0367 enz. Deze hellingshoeken zijn in de grafiek aangeduid door de op de 4 arbeidskrommen gelegen punten A_1 t/m D_1 , waarvan de ordinaten tevens aangeven de op die hellingen verrichte hoeveelheid arbeid.

Indien rekening wordt gehouden met *opgaand en afgaand vervoer tezamen* moeten, volgens de theorie van prof. Launhardt, de doelmatigste hellingen voor uitsluitend opgaand vervoer, vermenigvuldigd worden met den factor 1,18. Alsdan worden hellingen verkregen, welke in de grafiek zijn aangeduid door de punten A_2 t/m D_2 . Deze hellingen variëren van 0,0433 tot 0,0533 en zijn dus nagenoeg gelijk aan 0,05 of 1/20.

Het blijkt dus, dat indien uitgegaan wordt van de „normale tjikar” met 1600 kg totale belading en „normale bespanning” met 2 trekdieren, de meest economische helling ongeveer 1/20 bedraagt. Al naar gelang der grootte van μ moet die helling eventueel iets groter of kleiner worden genomen.

6. Alle tot dusverre berekende doelmatigste hellingen voor de „normale tjikar” zijn *optima*. Dit beteekent, dat het verkleinen der helling even zoo goed onvoordeelig is met het oog op de te bereiken maximum hoeveelheid arbeid of de minimum vervoerskosten, als het vergrooten der helling. Wordt een grootere helling genomen, dan moet, om het maximum-rendement te verkrijgen, de nuttige last worden *verminderd*, terwijl zij bij een kleinere helling *vergroot* moet worden.

In het voorgaande is dus uitgegaan van een onveranderlijke lading en bespanning van de tjikar en zijn daarvoor de meest economische hellingen berekend, met het oog òf op het bepalen van een maximum hoeveelheid arbeid per dag (punten A t/m D) òf op het bereiken der geringste vervoerkosten bij een bepaald te overwinnen hoogteverschil. In het laatste geval kan dan nog onderscheid worden gemaakt tusschen uitsluitend opgaand vervoer (punten A₁ t/m D₁), opgaand-én afgaand vervoer tezamen (punten A₂ t/m D₂) enz. Maar omgekeerd kan natuurlijk ook worden uitgegaan van een *bepaalde helling* en daarvoor de voordeeligste belading berekend.

Indien b.v. voor een helling van 0,070 de voordeeligste nuttige last berekend moet worden voor *alleen opgaand* vervoer dan wordt wederom gebruik gemaakt van formule (4). De voor de „normale tjikar” geldende waarden in deze formule invullende en $\mu = 1/25$ stellende, wordt dan:

$$0,070 = \frac{2.60}{Q + 600 + 2.400} - \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{25},$$

waaruit volgt $Q = 41$ kg, terwijl voor $\mu = 1/45$, $1/50$ of $1/70$ de nuttige last Q resp. wordt 150 kg, 165 kg of 204 kg.

Het blijkt dus, dat bij een helling van 0,070 de „voordeeligste nuttige last” voor opgaand vervoer reeds zóó klein is geworden, dat alsdan van een economisch vervoer in het geheel geen sprake meer is. Alleen door een tjikar of grobak met een geringer eigen gewicht te nemen en gebruik te maken

van méér dan 2 trekdieren zou de nuttige last tot een meer bruikbare waarde kunnen worden opgevoerd.

Wil men nu nog de voordeeligste nuttige last bij een helling van 0,070 berekenen voor het geval van *opgaand én afgaand vervoer tezamen*, dan wordt eerst 0,070 gedeeld door den factor 1,18 van prof. Launhardt. Voor de alsdan verkregen helling $\frac{0,070}{1,18} = 0,0593$ wordt wederom met behulp van formule (4) de waarde van Q bepaald en voor $\mu = 1/25, 1/45, 1/50$ of $1/70$ waarden voor den nuttigen last Q verkregen van resp. 253 kg, 399 kg, 418 kg en 472 kg. Terwijl, zooals in paragraaf 5 is aangetoond, voor de „normale tjikar” met een nuttigen last van 1000 kg een helling van ca. 0,050 de meest economische is, zou dus bij het vergrooten van de helling tot 0,070, de nuttige last — al naar gelang van de grootte van μ — tot de helft of een kwart van de oorspronkelijke waarde moeten worden teruggebracht om nog een „economisch” transport mogelijk te maken.

Er moge hierbij ook gewezen worden op de omstandigheid, dat bij deze groote hellingen de invloed van het eigen gewicht der voertuigen belangrijk is toegenomen. Elke 100 kg minder eigen gewicht beteekent 100 kg meer nuttige last en bij een besparing van b. v. 300 kg op het eigen gewicht van de tjikar, zou de nuttige last kunnen worden opgevoerd tot 553 kg, 699 kg, 718 kg en 772 kg, waardoor dan dus toch nog een redelijke hoeveelheid belading medegevoerd zou kunnen worden, waaruit blijkt hoezeer in bergstreken de lichte tjikar het aangewezen vervoermiddel is.

7. Het antwoord op de in paragraaf 1 gestelde vraag luidt dus, dat uitgaande van de aangenomen „normale” beladen en bespannen tjikar en van minimum vervoerkosten voor opgaand en afgaand verkeer, dat een bepaald hoogteverschil moet overwinnen, de hellingen *niet* grooter mogen zijn dan ca. 1/20.

Steilere hellingen *kunnen* uiteraard wel worden toegepast, maar het transport met „normale” tijkars wordt dan oneconomisch.

Bij de vorige berekeningen werden de *aanlegkosten* buiten beschouwing gelaten. Geschiedt dit echter wel, dan kan het uit een algemeen standpunt bekeken *economischer* zijn de hellingen b.v. *grooter* te nemen dan volgens de voorgaande berekeningen gevonden is, doordat de besparing aan rente en afschrijving op de aanlegkosten *grooter* is dan de meerdere vervoerkosten. Zijn alle détails van het te verwachten vervoer bekend, dan kan elk bepaald geval berekend en nagegaan worden, welk tracee het voordeeligst is.

8. In de literatuur wordt nog opgegeven, dat trekdieren over een afstand van 600-750 m t i j d e l i j k de dubbele gemiddelde trekkracht kunnen uitoefenen, indien zij daarna mogen rusten. Over een afstand van 600-750 m kan dus in ons geval een sapi of karbouw tijdelijk $2 \times 60 = 120$ kg trekken, welke trekkracht overeenkomt met hellingen, aangegeven door de punten A_3 t/m D_3 (zie grafiek).

9. Ten slotte moge worden vermeld, dat door berekening is aan te toonen, dat *elke* afwijking van dezelfde doorlopende helling een kostenvermeerdering tot gevolg heeft. Om tot het bereiken van een bepaalde hoogte den weg in den aanvang een grooter helling dan de gemiddelde te geven en naar mate geklommen wordt en de krachten der trekdieren afnemen, de helling te verminderen, is dus *niet juist*.

Evenzoo is het, met het oog op een voordeelig transport, *onjuist* een lange doorlopende klimming, (welke in overeenstemming staat tot de grootte van den nuttigen last), door horizontale, of flauw klimmende gedeelten te onderbreken.

In de praktijk kan zulks echter uiteraard niet altijd worden vermeden.

...the ... of the ...

...the ... of the ...

...the ... of the ...

...the ... of the ...

...the ... of the ...

...the ... of the ...

...the ... of the ...

...the ... of the ...

...the ... of the ...

...the ... of the ...

...the ... of the ...

...the ... of the ...

...the ... of the ...

OMSCHRIJVING.	Weerstandscoefficiënt μ	Helling, waarbij trekkraft $k = 60$ kg.	Doelmatigste helling bij alleen opgaand vervoer	Doelmatigste helling bij opgaand en afgaand vervoer	Helling, waarbij trekkraft $k = 120$ kg
Ijzeren velgen en steenslagweg	$1/25 = 0,040$	A: $\text{tga} = 0,0233$	$A_1 = \text{tga} = 0,0367$	$A_2 = \text{tga} = 0,0433$	$A_3 : \text{tga} = 0,0733$
Rubber banden en steenslagweg	$1/45 = 0,022$	B: " $= 0,0351$	$B_1 = " = 0,0426$	$B_2 : " = 0,0502$	$B_3 : " = 0,0852$
Ijzeren velgen en asfaltweg	$1/50 = 0,020$	C: " $= 0,0367$	$C_1 = " = 0,0433$	$C_2 : " = 0,0511$	$C_3 : " = 0,0867$
Rubber banden en asfaltweg	$1/70 = 0,014$	D: " $= 0,0404$	$D_1 = " = 0,0452$	$D_2 : " = 0,0533$	$D_3 : " = 0,0902$

Gebruikte formules:

Trekkraft van een trekdier $= k = K \left(3 - \frac{c}{C} - \frac{t}{T} \right)$

Arbeid " " " $= A = k \cdot c \cdot t.$

Trekkraft $= k \mu (Q + Q_1) + (Q + Q_1 + G) \text{ tga}$

Aangenomen:

$K = 60$.—kg = gemiddelde trekkraft van een sapi

$C = 0,8$ m/sec = snelheid. of karbouw.

$T = 6$.—uur = arbeidsduur per dag

$Q = 1000$ kg = nuttige last van een tjikar.

$Q_1 = 600$ " = eigen gewicht

$G = 400$ " = gewicht van een sapi of karbouw.

α = hellingshoek.

μ = weerstandscoefficiënt.

Grafiek der doelmatigste hellingen voor een tjikar met normale belading (1600 kg totaal gewicht) en bespannen met 2 trekdieren.

