

NN31545.1081

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
WageningenKANTTEKENINGEN BIJ BESTEKSVORWAARDEN TER BEPERKING
VAN BANDSPANNING VAN DUMPERS EN TREKKERS

ir. D. Boels

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS
0000 0102 1472

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-middelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking



0000 0102 1472

1081 180 8 99 - 02

I N H O U D

	Blz.
1. INLEIDING	1
2. PROBLEEMSTELLING	1
2.1. Schaden als gevolg van rijden	3
2.2. Omstandigheden waaronder schade optreden	4
2.3. Samenhang wiellast, bandspanning, insporingsdiepte en vochttoestand	6
2.4. Samenhang toelaatbare werkomstandigheden aantal werkbare dagen	9
SAMENVATTING EN CONCLUSIES	10
LITERATUUR	12

1. INLEIDING

Ter beperking van schade aan de bodem als gevolg van het uitvoeren van grondverzetswerk in het kader van een ruilverkaveling, heeft de plaatselijke commissie van de rvk 'De Bjirmen' voorgesteld dien aangaande enkele besteksbepalingen te laten opnemen. Onder meer stelt zij voor de bandspanning van trekkers en karren niet hoger te doen zijn dan 0,8 atm. De spoorbreedte van de karren zou gelijk moeten zijn aan die van de trekkers, terwijl de rijsnelheid maximaal 16 km per uur mag zijn.

Op verzoek van de Landinrichtingsdienst zullen aspecten en consequenties van de voorgestelde besteksbepalingen aangaande de bandspanning worden toegelicht.

2. PROBLEEMSTELLING

Het gewicht van transportmiddel en lading wordt via de banden overgebracht op de bodem. De gemiddelde spanning in het dragend vlak vermenigvuldigd met het oppervlak van het dragend vlak is gelijk aan het gewicht van transportmiddel en lading. Onder het dragend vlak wordt hier het contact oppervlak verstaan tussen banden en bodem. De spanning in dit dragend, wordt of bepaald door de bandspanning en de karkasstijfheid van de band, of door het draagvermogen van de bodem. Het eerste is het geval indien het draagvermogen van de bodem groter is dan de bandspanning plus karkasstijfheid, het tweede geval komt voor indien het omgekeerde geldt, wat veelvuldig aan de orde is bij transport over niet verharde oppervlakten (vochtige gronden). Wanneer nu het draagvermogen van de bodem de spanning in het draagvlak bepaalt, zal de band gaan insporen. Tijdens het in-

sporen treden er een aantal processen op. Op een vochtige bodem treedt er enige verdichting op waarbij het draagvermogen van de bodem toeneemt. De insporing gaat zover tot of het draagvermogen van de bodem gelijk is aan de bandspanning + karkasstijfheid, of het produkt van nieuw draagvermogen en oppervlak van het draagvlak gelijk is aan het gewicht van het transportmiddel en lading. In dit geval, waarin het draagvermogen van de bodem door verdichting is ontstaan, neemt de insporingsdiepte niet toe bij een tweede keer rijden door hetzelfde spoor.

Op een natte bodem, treedt ook insporing op, echter de bodem wordt nauwelijks verdicht. De grond stroomt hier a.h.w. onder de banden vandaan, waarbij de grondspanning toeneemt tot de bandspanning en karkasstijfheid. De insporingsdiepte wordt in zo'n geval bepaald door de bandspanning etc. en de duur van de belasting. Bij snel rijden treedt een geringere insporingsdiepte op dan bij langzaam rijden.

Wordt door een spoor zoals in dit geval is ontstaan een tweede keer gereden, dan zal de insporingsdiepte toenemen. De bodemdruk waarbij juist insporing optreedt wordt de grensspanning genoemd. De grensspanning is op een droge grond groter dan op een natte grond. Voor een lichte zavelgrond zonder ploegzool, is voor verschillende vochtgehalten in de toplaag de grensspanning berekend uit gemeten insporingen aan bulldozers (1). De rekenwijze van (STEINHARDT (2)) is hierbij gevolgd.

Tabel 1. Grensspanning op lichte zavelgrond zonder ploegzool bij verschillende vochtgehalten

Vochtgehalte (gew. %)	20	22	24	25
Grensspanning (kg cm ²)	3,3	1,2	0,8	0,5

Komt wel een ploegzool voor, of is een grasmat aanwezig, dan zijn de grensspanningen i.h.a. hoger.

2.1. Schaden als gevolg van rijden

Wanneer door het rijden sporen ontstaan treden er in de bodem verdichtingen of verknedingen op. Bij verdichting blijft vaak structuur herkenbaar, zij het dat de grote poriën in aantal afnemen. De structuur is niet meer herkenbaar bij verkneding. Verkneding kan vaak worden gezien op bietenpercelen die onder natte omstandigheden zijn gerooid of waar de bieten onder natte omstandigheden zijn afgevoerd. Verdichting ziet men vaak op gerooide aardappelpercelen. Verdichtingen in de bouwvoor geven zelden problemen, daar ze door grondbewerking zijn op te heffen en de structuur niet wezenlijk is aangetast.

Hierbij dient te worden aangetekend dat deze verdichtingen zijn veroorzaakt door trekkers waarvan de bandspanning 1,5 à 2,5 ato is en door landbouwwagens met een bandspanning van 2 à 4 ato.

Verkneding van de bouwvoor komt jaarlijks over wisselende oppervlakten voor. Volgens schattingen gebeurt dit op ca. 10% van het bietenareaal. Vooral op zavel- en kleigronden resulteert dit in structuurverval. Structuurherstel blijkt steeds mogelijk. Tenzij de structuur zeer slecht is, is de reactie van het gewas op de structuur in veel gevallen onduidelijk. Wel kan een slechte structuur de oorzaak zijn dat de grond in het voorjaar later bewerkbaar is dan bij goede structuur dan wel dat meerdere bewerkingen nodig zijn om een acceptabel zaaibed te maken. Doordat dan in het voorjaar later gezaaid of gepoot kan worden of dat mede in verband met het tijdstip een ander gewas moet worden geteeld, ontstaat er een opbrengst-depressie.

Door het rijden ontstaan niet alleen veranderingen in de bouwvoor. In de ondergrond kunnen soms verdichtingen optreden, die de opbrengsten nadelig beïnvloeden. Berekend werd dat wanneer trekkers met motorvermogens van 150-300 KW (200-400 PK), bandspanning 1,5-2,5 ato, in de landbouw zouden worden toegepast, gerekend moet worden op een dikkere ploegzool op zavelgronden. De gemiddelde opbrengsten zouden daardoor ca. 4% lager zijn (3). Verdichtingen in de ondergrond op dumpertransportbanen werden niet vastgesteld (4). Dumpers zijn uitgerust met banden die een spanning hebben van 3-8 ato en een wiellast van 2-4 ton. Wel komen elastische vervormingen voor

tot 1,20 m onder maaiveld bij het rijden met landbouwwagens, uitgerust met tandemas, bandspanning 4 at en totaal gewicht van 8-16 ton (4).

Op grasland komen opbrengstreducties voor wanneer er zeer regelmatig met zware trekkers over wordt gereden. Volgens Fribourg (5) is de opbrengstreductie dan 30-40%, terwijl Hakanson (6) 8% reductie meet. Beklemtoon¹ dient te worden dat de genoemde schaden betrekking hebben op jaarlijks terugkerende gelijke berijdingsintensiteit over grote oppervlakten.

2.2. O m s t a n d i g h e d e n w a a r o n d e r s c h a d e n o p t r e d e n

Er kan pas schade optreden wanneer er veranderingen in de bodem optreden (verdichting of verknedingen) die niet door normaal gebruikelijke cultuurmaatregelen kunnen worden opgeheven en die invloed hebben op de gewasopbrengst. Zo zou men extra noodzakelijke grondbewerkingen of noodzakelijke geworden herinzaai van graslandpercelen (of gedeelten daarvan) schade kunnen noemen. Opbrengstreducties in het (de) volgende gewas(sen) zijn eveneens schaden. Schaden, veroorzaakt door veranderingen in de bouwvoor hebben een tijdelijk karakter (denk aan 'kapot' gereden bietenpercelen), terwijl schaden, veroorzaakt door veranderingen in de ondergrond op zavelgronden vaak een blijvend karakter hebben (7) (8). Deze laatste dienen zoveel mogelijk beperkt te blijven.

Gebleken is dat deze schaden nauw samenhangen met de insporingsdiepten terwijl de insporingsdiepten samenhangen met de vochttoestand van de bodem (1), (7). Opgemerkt dient te worden dat pas schade optreedt indien een zekere insporingsdiepte wordt overschreden (b.v. voor bulldozers ca. 0,05 m bij veelvuldig rijden).

Omstandigheden waaronder schaden optreden zijn derhalve te definiëren bij gegeven bandspanning, bandbreedte en wiellast, als een vochttoestand van de bodem waarbij een zekere insporingsdiepte wordt overschreden. Als gevolg van het rijden met een trekkerwiel door de open ploegvoor, zijn de bouwlandgronden in de bodemlaag vanaf de ploegdiepte tot ca. 0,2 m daaronder verdicht. Deze verdichting is ontstaan bij een bodemdruk van ca. 2 kg per cm².

Uit grondbak onderzoek is gebleken dat de bodem tot een diepte van ca. 0,5 à 0,7 keer de wielbreedte onder het wiel wordt verdicht. Bij gebruikelijke bandbreedten van ca. 0,40 m zou de grond tot ca. 0,15 m onder de bouwvoor zijn verdicht.

Om te voorkomen dat bij toepassing van bredere banden en/of van banden met hogere dan de gebruikelijke bandspanning extra verdichtingen optreden, moet de toegestane insporingsdiepte zodanig worden gekozen dat of de bodemdruk op ploegdiepte kleiner blijft dan ca. 2 kg cm^{-2} , dan wel dat de diepte tot waar de band de bodem zou verdichten niet groter is dan de diepte tot waar de bodem door landbouwkundig gebruik reeds is verdicht. De druk van ca. 2 kg cm^{-2} geldt voor omstandigheden waaronder redelijk kan worden geploegd. In drogere omstandigheden mag deze druk groter zijn.

De samenhang tussen de bandspanning, P, toegestane insporingsdiepte, Z, dikte bouwvoor, D en dikte v.d. verdichte laag onder de bouwvoor, d, kan worden beschreven met:

$$P = P_0 \left(1 + \left\{ \frac{1}{1 + \frac{d}{D - Z}} \right\} \right) \quad (1)$$

Aan deze samenhang ligt de veronderstelling ten grondslag dat het afsteunend oppervlak rechtevenredig met de diepte onder de band toeneemt, en dat de diepte onder de band waar nog net verdichting plaats vindt, gelijk is aan de halve bandbreedte. P_0 is de druk waarbij de verdichte laag is gevormd (onder ploegomstandigheden).

Bij een bouwvoordikte van 0,25 m, een ploegzool van 0,15 m en een druk van 2 kg cm^{-2} waarbij de ploegzool is gevormd, geldt (tabel 2).

Tabel 2

Toelaatbare insporingsdiepte (cm)	5	7,5	10	12,5	15	20
Toelaatbare bandspanning (ato)	3,1	3,08	3,0	2,9	2,8	2,5

Opgemerkt zij, dat de verbanden in tabel 2 uitsluitend gelden onder omstandigheden waaronder redelijk kan worden geploegd. Voorts gelden zij voor situaties waarin de spanning in het draagvlak bepaald worden door de bandspanning (i.h.a. bij grote wiellasten). Grotere insporingsdiepte dan bij een bepaalde bandspanning overeenkomt veroorzaakt extra verdichting en dus schade.

Omstandigheden waaronder schaden kunnen optreden zijn derhalve ook te definiëren als die vochttoestand van de bodem waarbij, bij gegeven bandspanning, de insporingsdiepte groter is dan de toelaatbare insporingsdiepte.

2.3. Samenhang wiellast, bandspanning, insporingsdiepte en vochttoestand

De insporingsdiepte van een starwiel met diameter D en breedte b kan worden benaderd met (9):

$$Z = \left[\frac{3W}{(3-n)(K_c + bK_\phi) D^n} \right]^{\frac{2}{2n+1}} \quad (2)$$

Hierin is W - wielbelasting (lb)

b - wielbreedte (inch)

$\left. \begin{array}{l} n \\ K_c \\ K_\phi \end{array} \right\}$ bodemparameters

Z - insporingsdiepte (inch)

(NB. 1 lb (= 1 pound) = 0,4536 kg, 1 inch = 2,54 cm)

Enkele waarden van de bodemparameters zijn in tabel 3 weergegeven.

Tabel 3. Enkele waarden van K_c , K_ϕ en n voor een lichte zavel en een klei (Naar BEKKER, 1969)

Vochtgehalte		K_c		K_ϕ		n	
lichte zavel	klei	lichte zavel	klei	lichte zavel	klei	lichte zavel	klei
11		11		6		0,9	
13		5		7		0,8	
19		20		9		0,16	
20		16		7		0,17	
21		14		38		0,4	
22	22	2,5	45	2,2	120	0,18	0,2
23		15		27		0,4	
23	24	5	30	20	80	0,7	0,17
26	26	5,3	20	6,8	45	0,3	0,17
29	28	1,6	1,0	2,7	30	0,6	0,16
30	30	7,5	8	0,1	20	0,4	0,16
31		1,5		1,2		0,4	
32	32	0,7	5	1,2	10	0,5	0,15

Luchtbanden platten tijdens het rijden iets af waardoor het lijkt alsof een starwiel met een veel grotere diameter wordt gebruikt. De afplatting hangt af van de wiellast, W^x , en de bandspanning, P . TERPSTRA en PERDOK (10) geven de volgende empirische relatie

$$D = \left\{ \frac{W^x}{qP^x} + 1 \right\} \cdot D^x \quad (3)$$

Hierin is: W^x - wiellast in kg

p - bandspanning in ato

D^x - diameter van de band (inch)

D - diameter van overeenkomstig starwiel (inch)

x } parameters, afhankelijk van de aard v.h. bodemoppervlak
 q }

Voor een graanstoppel is $q = 400$ en $x = 1,6$, voor geploegd land is $q = 1000$ en $x = 1,9$.

Wanneer nu een bepaalde insporingsdiepte niet mag worden overschreden, kan per geval worden nagegaan of de bandspanning p moet worden aangepast dan wel de wiellast W . De bandspanning hangt nu samen met de wiellast volgens:

$$p = \left[\frac{W^x}{q \left[\frac{1}{D^x} \left\{ \frac{6,614^x}{(3-n)(K_c + bK_\phi)} \cdot z - \frac{2n+1}{2} \right\}^2 - 1 \right]} \right]^{\frac{1}{x}} \quad (4)$$

Hierin is: p - bandspanning in ato
 D^x - diameter van de band (inch)
 W^x - wiellast in kg
 z - insporingsdiepte (inch)
 b - wielbreedte (inch)

De samenhang tussen bandspanning, wiellast en insporingsdiepte is voor een middelzware zavel weergegeven in fig. 1 a tot en met c.

Wanneer een bandspanning wordt voorgeschreven en een maximale insporingsdiepte, dan kan er ook onder de nattere omstandigheden worden gereden door verminderen van de wiellast. Zo kan bij een bandspanning van 2 ato en een maximale insporingsdiepte van 10 cm bij een vochtgehalte van 26% worden gereden met een wiellast van ca. 1 ton, bij 25% vocht is dat ca. 3 ton en bij 24% vocht ca. 4 ton. Echter het voorschrijven van een bandspanning is niet nodig. Het formuleren van een maximaal toegestane insporing (gemeten t.o.v. oorspronkelijk maaiveld) is voldoende.

De aannemer kan dan door combinatie van bandspanning en wiellast trachten de toegestane insporingsdiepte niet te overschrijden.

De directie is ten alle tijde in staat vast te stellen in hoeverre er aan de voorwaarden is voldaan.

Voorts dient bedacht te worden dat het niet mogelijk is trekkers met banden uit te rusten die een bandspanning hebben van minder dan ca. 1,1 ato. Bij lagere bandspanning gaat de velg in de band slippen.

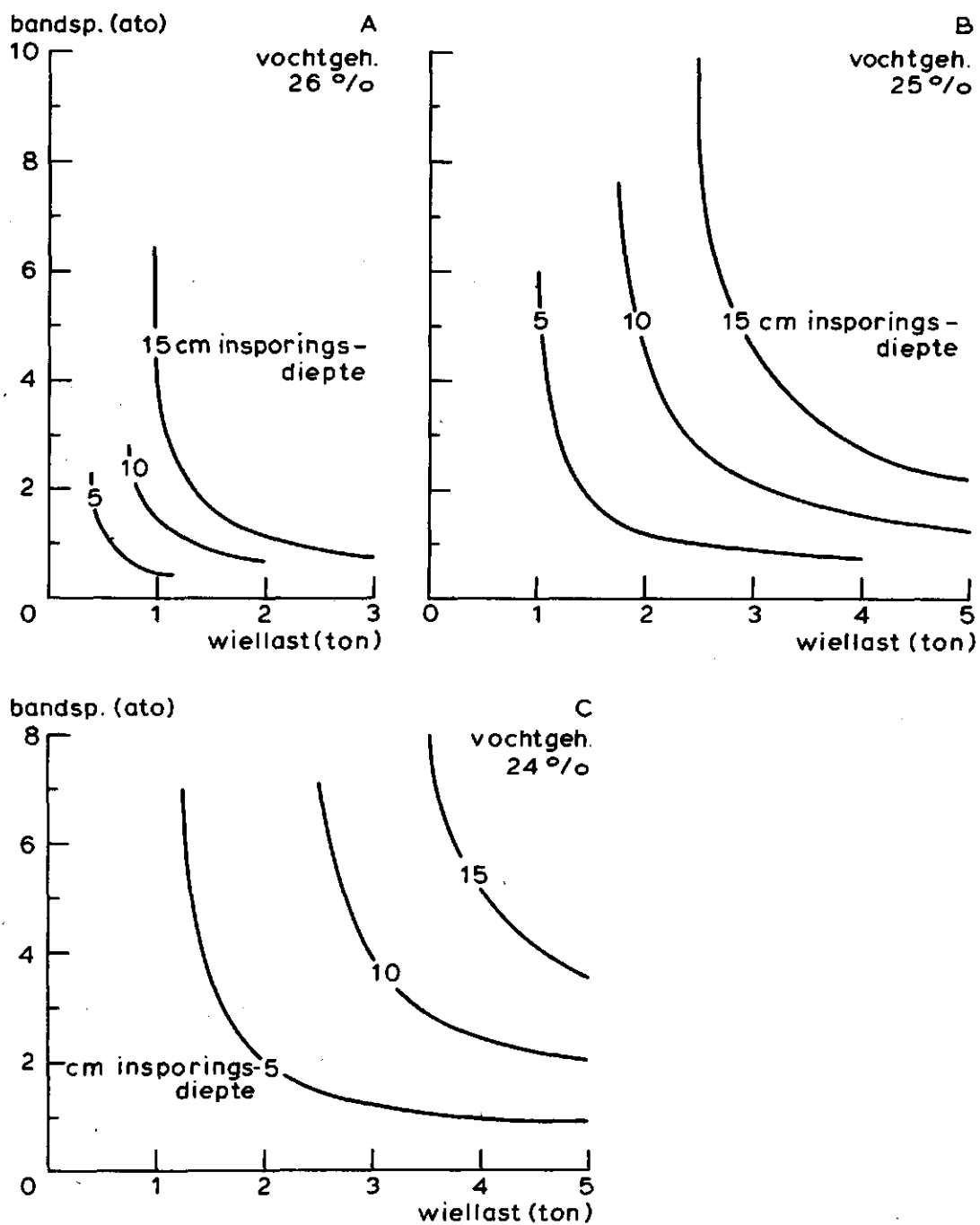


fig. 1. Verband tussen bandspanning en wiellast bij verschillende insporingsdieptes.

Toepassen van lage bandspanningen houdt in dat daardoor de toelaatbare wiellast geringer is dan bij banden met hogere spanning.
De toelaatbare wiellast is rechtevenredig met de bandspanning.

2.4. Samenhang toelaatbare werkomstandigheden aantal werkbare dagen

Een toelaatbare werkomstandigheid is die vochttoestand van de bodem waarbij bij de gegeven wijze van werken en de gebruikte transportmiddelen, geen schaden of verschijnselen optreden die niet worden getolereerd. Treden deze laatste wel op, spreekt men van een niet toelaatbare werkomstandigheid. Kern van deze definitie is dat stilzwijgend is aangenomen dat de aannemer met steeds dezelfde wiellast en dezelfde bandspanning werkt. De directie op het werk dient dan een idee te hebben van wat niet toelaatbaar is.

In dat geval beïnvloedt de directie het aantal werkbare dagen. De samenhang tussen het gemiddeld aantal werkbare dagen en de vochttoestand in de bouwvoor van een middelzware zwavel waarbij het werk wordt stilgelegd, is ontleend aan BUITENDIJK (11) (tabel 4).

Tabel 4.

Vochttoestand (vochtsp.) waarbij werk wordt stilgelegd	60	70 (26%)	80	90 (25%)	100 (24% vocht)
Gemiddeld aantal werkbare dagen (1 sept. t/m 30 nov.)	54	48	42	37	30

Het aantal werkbare dagen is in de periode 1 september tot en met 30 november ca. 30 wanneer bij een bandspanning van 4 at en wiellast van 2,5 ton, een insporingsdiepte van ca. 10 cm niet mag worden overschreden. Zou de insporingsdiepte ca. 12 cm mogen zijn, dan is het aantal werkbare dagen ca. 40 dagen.

Zou een insporingsdiepte van ca. 17 cm worden geaccepteerd, dan zou het aantal werkbare dagen ca. 50 zijn.

Neemt men aan dat in die periode een zekere hoeveelheid werk moet worden gedaan, dan betekent een geringer aantal werkbare dagen de inzet van meer materiaal en hogere kosten. Een indicatie hiervan is in tabel 5 weergegeven

Tabel 5

Toegestane maximale insporingsdiepte (cm)	Aantal werkbare dagen (1 sept. t/m 30 nov.)	Relatieve kosten
10	30	100%
12	40	75%
17	50	60%

Een maximale toegestane insporingsdiepte wordt niet in alle perioden gerealiseerd. In het geval deze maximale diepte 17 cm is, is de insporingsdiepte op 10 dagen 12-17 cm, op 10 dagen 10-12 en op 30 dagen minder dan 10 cm.

SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Schaden aan de cultuurtoestand van de bodem kunnen door twee oorzaken ontstaan. De ene oorzaak is dat door verkneding structuurbederf in de bouwvoor optreedt, de andere oorzaak is verdichting van de bodem onder de bouwvoor door hogere dan normaal gebruikelijke bodembelastingen. In de akkerbouw treedt structuurbederf jaarlijks op over relatief kleine oppervlakten (ca. 10% van het areaal bieten wordt gemiddeld onder slechte omstandigheden geoogst). De ervaring is, dat structuurverval door grondbewerking snel te verbeteren is en dus geen blijvende schade geeft. Bodemverdichting onder de bouwvoor heeft daarentegen wel een blijvend effect, terwijl door mechanische ingrepen meestal geen blijvende verbetering is te bereiken.

Schaden van deze soort moeten zoveel mogelijk worden voorkomen. Ze ontstaan bij bepaalde vochttoestand van de bodem niet wanneer bij zekere bandspanning, een bepaalde insporingsdiepte niet wordt overschreden (b.v. een insporingsdiepte van 0,10 m, een bandspanning van 3 atm en hoge wiellast bij vochttoestand v.d. bodem waarbij redelijk kan worden geploegd).

Uit onderzoek is gebleken dat er een goede samenhang bestaat tussen insporingsdiepte en optredende schade (bij bulldozers). Beperking van schade kan eenvoudig worden bewerkstelligd door een maximaal toegestane insporingsdiepte voor te schrijven. De aannemer heeft dan nog de mogelijkheid door het aanpassen van de bandspanning of de wiellast (dus de dumper meer of minder vol te laden) de toegestane insporingsdiepte niet te overschrijden. Met de keuze van de maximaal toegestane insporingsdiepte wordt het aantal werkbare dagen en dus de uitvoeringskosten beïnvloed.

Op een middelzware zavelgrond beschikt de aannemer gemiddeld over 30 werkbare dagen (periode 1 sept. t/m 30 nov.) wanneer de insporingsdiepte niet groter mag zijn dan 0,10 m.

Zou de insporingsdiepte 0,12 m mogen zijn, dan neemt het aantal werkbare dagen toe tot 40 dagen, terwijl dit aantal kan oplopen tot 50 dagen indien insporingsdiepten tot 0,17 m worden getolereerd.

Tot slot zij opgemerkt, dat de bandspanning van trekkerbanden minstens 1,1 atm. moet zijn om te voorkomen dat de velg in de band gaat slippen wanneer grote trekkrachten worden uitgeoefend.

LITERATUUR

- (1) BOELS, D. en L. HAVINGA (1974). Verdichting en bouwvoor verschraling door ploegen en afschuiven bij verschillende vochtgehalte. Nota 785 ICW.
- (2) STEINHARDT, R. (1974). Evaluation Penetration Resistance and wheel sinkage response to soil water suction changes in a draining clay soil. Soil Sci of Amer. Proc. 38, 3: 519-522.
- (3) BOELS, D. (1977). Enkele kanttekeningen bij de toepassing van zware krachtbronnen in de akkerbouw. Discussie-nota TNO werkgroep 'Praktijk toepassingen in de akkerbouw' jan. 1977.
- (4) DANFORS, B. (1974). Packning i alven, in: Jordpackning-Markstruktur gröda Meddelande nr 354. Jordbrukstekniska Institutet Uppsala, Zweden.
- (5) FRIBOURG, H.A. et al (1975). Wheel traffic and regrowth and production of summer annual grasses. Agron. Journal 67, 3: 423-426.
- (6) HÅKANSON, I. (1973). Tung Körning vid skörd av slättervalt. Tre Jörsök På röbäcksdalen 1969-1972. Rapporter från jordbearbetnings avdelingen nr 33. Lantbrukshögskolan, Uppsala, Zweden.
- (7) BOELS, D. (1976). Bepalen van de kwaliteit van ploegen en afschuiven op lichte zavelgronden. Cultuurtechn. Tijdschrift 5. Verspr. Overdr. ICW 185.
- (8) HAVINGA, L. (1975). Blijvend effect van diepe grondbewerking. Cultuurtechn. Tijdschr. 15, 3. Verspr. Overdr. ICW 180.
- (9) BEKKER, M.G. (1969). Introduction to terrain-vehicle systems. The University of Michigan Press Ann Arbor.
- (10) TERPSTRA, J. en U.D. PERDOK (1977). Berijdbaarheid en bewerkbaarheid van de grond. Symposium Werkbaarheid en Bedrijf 13 mei 1977, Wageningen (Xnr 2872/06/77-03-18 IMAG).
- (11) BUITENDIJK, J. (1976). Modelonderzoek naar samenhang mechanisatiegraad, toelaatbare werkomstandigheden en de opbrengst van suikerbieten op een middelzware zavel. Nota 895 ICW