

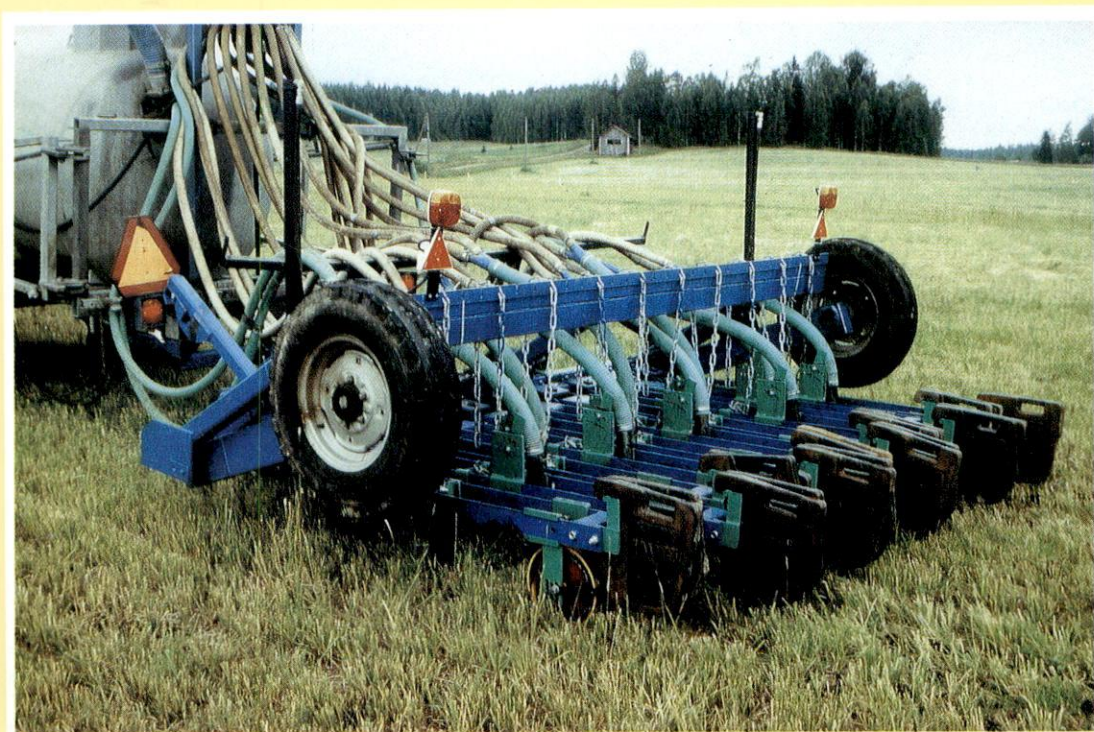
PETRI KAPUINEN

# LANNAN LEVITYS KASVUSTOON

APPLICATION OF SLURRY IN GROWING CROPS

**OSA 1. Lietelannan sijoituslaitteen rakenteelliset vaatimukset  
suomalaisissa olosuhteissa**

**PART 1. Structural requirements for a slurry injector in Finnish conditions**



**VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS 72**

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

VIHTI 1996

**MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS**  
Agricultural Research Centre of Finland

**VAKOLA**

**Maatalousteknologian tutkimuslaitos**

Osoite  
Vakolantie 55  
03400 VIHTI

Puhelin  
(09) 224 251  
Telekopio  
(09) 224 6210

**Institute of Agricultural Engineering**

Address  
Vakolantie 55  
FIN-03400 VIHTI  
FINLAND

Telephone int.  
+358 9 224 251  
Telefax int.  
+358 9 224 6210

PETRI KAPUINEN

# **LANNAN LEVITYS KASVUSTOON**

**APPLICATION OF SLURRY IN GROWING CROPS**

**OSA 1. Lietelannan sijoituslaitteen rakenteelliset vaatimukset  
suomalaisissa olosuhteissa**

**PART 1. Structural requirements for a slurry injector in Finnish conditions**

**VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS 72**

**MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS**

**VIHTI 1996**

# SISÄLLYSLUETTELO

## KUVAILULEHDET

### ALKULAUSE

1	JOHDANTO .....	8
2	VANNASTYYYPIT .....	10
3	SIJOITUSLAITTEEN VARUSTEET .....	11
3.1	Leikkurit .....	11
3.2	Tiivistyspyörät .....	12
3.3	Työsyvyyden säätömekanismit .....	12
3.4	Laukaisulaite .....	12
3.5	Jakolaite ja jakoputkisto .....	13
4	SIJOITUSVANTAIDEN VETOVASTUS .....	14
4.1	Sijoitusvantaan vetovastuksen eri komponentit .....	14
4.2	Vantaan mitoituksen vaikutus vetovastukseen .....	16
4.2.1	Vannaskulman, vantaan kärkipalan ja vantaan kiinnityksen vaikutus vantaan vetovastukseen .....	16
4.2.2	Vantaan siiven vaikutus vetovastukseen .....	17
4.2.3	Leikkurin vaikutus vantaan vetovastukseen .....	19
4.2.4	Sijoitussyvyyden vaikutus sijoitusvantaan vetovastukseen .....	19
4.3	Maalajin ja maan kosteuden vaikutus sijoitusvantaan vetovastukseen ...	20
4.4	Tiivistyspyörän vetovastus .....	21
4.5	Ajonopeuden vaikutus vantaan vetovastukseen .....	22
5	VANTAIDEN AIHEUTTAMAT KASVUSTOVAURIOIT .....	23
5.1	Vantaan mitoituksen ja rakenteen vaikutus kasvustovaurioihin .....	23
5.1.1	Vannaskulman ja vantaan leveyden vaikutus kasvustovaurioihin .	23
5.1.2	Sijoitusvantaan siiven vaikutus kasvustovaurioihin .....	25
5.1.3	Vantaan kärjen vaikutus kasvustovaurioihin .....	26
5.1.4	Leikkurin vaikutus vantaan aiheuttamiin kasvustovaurioihin ....	26
5.1.5	Sijoitussyvyyden vaikutus vantaan aiheuttamiin kasvustovaurioihin .....	27
5.1.6	Tiivistyspyörän vaikutus vantaan aiheuttamiin kasvustovaurioihin .....	27

5.2	Maalajin ja maan kosteuden vaikutus vantaan aiheuttamiin kasvustovaurioihin .....	28
5.3	Vantaiden välisen etäisyyden vaikutus vantaiden aiheuttamiin kasvustovaurioihin ja ravinnepitoisuuden tasaisuuteen .....	29
5.4	Työlevyyden vaikutus kasvustovaurioihin .....	30
6	YHTEENVETO SIJOITUSLAITTEEN VAATIMUKSISTA .....	32
7	SAMMANFATTNING .....	34
8	SUMMARY .....	37
	LÄHDELUETTELO .....	40
	LIITTEET	

Tekijät (toimielimestä: toimielimen nimi, puheenjohtaja, sihteeri)		Julkaisun laji	
Petri Kapuinen		Tutkimusselostus	
		Toimeksiantaja	
		Maatilatalouden kehittämisrahasto	
		Toimielimen asettamispvm	
		21.2.1994	
Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)			
Lannan levitys kasvustoon			
Osa 1. Lietelannan sijoituslaitteen rakenteelliset vaatimukset suomalaisissa olosuhteissa			
Julkaisun osat			
Osa 1. Lietelannan sijoituslaitteen rakenteelliset vaatimukset suomalaisissa olosuhteissa			
Osa 2. Lietelannan levitysmahdollisuudet kasvavaan viljanoraaseen			
Tiivistelmä			
<p>Kasvustoon sijoittamista varten tarkoitettu sijoitusvannas on kompromissi kasvustovaurioiden ja vetovastuksen väliltä. Mullokseen sijoitettaessa pelkästään minimoidaan vetovastus muokkausvaikutuksen ollessa vielä kuitenkin riittävä. Mullokseen ja kasvustoon sijoittavan vantaan erilaisuus voidaan toteuttaa kärkikappaleiden vaihdolla.</p> <p>Savimailla kasvustovauriot ovat pienimmät kosteuspitoisuudessa, jossa vantaan vetovastus on suurimmillaan. Karkeilla maalajeilla maan kosteuspitoisuus ei juuri vaikuta vantaan vetovastukseen. Kasvustoon sijoittamiseen tarkoitettun vantaan tulee muokata maata mahdollisimman vähän. Tähän tarkoitukseen soveltuvat parhaiten kiinteäteräiset vantaat. Sijoitettaessa 60 m<sup>3</sup>/ha lietelantaa kosteuspitoisuudeltaan 30 %:seen hietasavimaahan pystyvantaiden vetovastus on noin 1,8 kN työlevyden metriä kohti. Luisto saa olla korkeintaan 10 %.</p> <p>Vantaan siipi on tärkein ja vantaan kärki toiseksi tärkein kasvustovaurioita lisäävä vantaan rakenneosana. Vantaan ja siiven ainevahvuuden tulee olla alle 15 mm. Vantaan rakenne ja vannaskulma ovat merkittävimmät vetovastukseen ja kasvustovaurioihin vaikuttavat tekijät. Mullokseen sijoitettaessa kannattaa käyttää noin 45 °:een vannaskulmaa. Vantaan leveyden tulisi olla noin 2/3 sijoitusyvyvyydestä. Kasvustoon sijoitettaessa kannattaa käyttää pystypiikkiä. Vantaan vetovastuksen lisäyksestä huolimatta maata nostamaton 3 cm leveä vantaan siipi on tarpeellinen, jotta vantaalla voidaan sijoittaa riittävästi lietettä lisäämättä työsyvyyttä, mikä lisäisi nopeasti kasvustovaurioita. Ammoniakin haihtumisen estämiseksi ja siivellisen vantaan toimivuuden takaamiseksi sijoitusyvyvyyden tulisi kuitenkin olla vähintään noin 6 cm. Vantaan kärjestä on hyötyä lähinnä vantaan tunkeutumisen parantamisessa. Siksi se tulisi mahdollisuuksien mukaan korvata lisäpainotuksella. Ravinteiden tasaisen jakautumisen saavuttamiseksi vantaiden tai niiden siipien kärkien väli voi olla korkeintaan noin 30 cm. Välin tulisi olla säädettävissä.</p> <p>Vantaan, leikkurit ja tiivistyspyörän käsittävien sijoitusyksiköiden on käännyttävä sivusuunnassa kiinnityspalkkiin nähden, jotta sijoituslaitteella voidaan tehdä ainakin loivia kaarteita. Niiden on käännyttävä myös pystysuunnassa, jotta ne voisivat yksilöllisesti mukautua maanpinnan korkeustasojen vaihteluihin. Aktiiviselta jakolaitteelta sijoitusvantaalle johtavan putken halkaisijan tulee olla 30 - 100 mm, ja putken sulkeuduttava, kun vannas nostetaan maasta. Kasvustoon sijoitettaessa vantaan edessä on oltava säädettävissä oleva kiekoleikkuri vantaiston tukkeutumisen estämiseksi. Vannasta seuraava tiivistyspyörä on tärkeä sijoitettaessa lietelantaa kuivaan maahan. Se toimii samalla matalan sijoitusyvyvyyden jokaiselle vantaalle vaatimana yksilöllisenä sijoitusyvyvyyden säätöelimenä. Tiivistyspyörään kohdistuvan painon tulee olla noin 2,5 kN tiivistyspyörän leveyden metriä kohti. Painatusta on voitava säätää vantaaseen kohdistuvan pystyvoiman mukaisesti.</p>			
Avainsanat (asiasanat)			
Sijoitusvannas, sijoittaminen, vetovastus, maan kosteuspitoisuus, savimaa, karkeat maalajit, luisto, vantaan siipi, vantaan kärki, leikkurit, tiivistyspyörä, kasvustovauriot, sijoitusyvyvyys, vannaskulma, vannasväli, kääntyvyys, työsyvyyden mukautuminen, painatus, jakolaite, putkiston mitoitus.			
Muut tiedot			
Saatavana Maatalouden tutkimuskeskuksen maatalousteknologian tutkimuslaitokselta (MTT/VAKOLA)			
Puhelin (09) 224 251			
Telekopio (09) 224 6210			
Sarjan nimi ja numero		ISSN	ISBN
VAKOLAn tutkimusselostus 72		0782-0054	
Kokonaissivumäärä	Kieli	Hinta	Luottamuksellisuus
	Tiivist. englanti, ruotsi		Julkinen
Jakaja		Kustantaja	
VAKOLA, Vakolantie 55, 03400 VIHTI			

Authors (if organ: name of organ, chairman, secretary)  Petri Kapuinen	Type of publication <b>Study report</b>
	Comissioned by
	Date of setting up organ 21.2.1994
English and Swedish title of publication  <b>Application of slurry in growing crops          Part 1. Structural requirements for a slurry injector in Finnish conditions</b>	
Parts of publication  <b>Part 1. Structural requirements for a slurry injector in Finnish conditions          Part 2. Application of slurry in growing cereals</b>	
Abstract  <p>An injector tine for injection of slurry in fields with growing crops is a compromise between design for minimized damage to the crops and design for minimized draught resistance. When injecting slurry in tilled soil, on the other hand, only the draught resistance is minimized, but so that the tillage of the soil and therewith the mixing of slurry with the soil is still sufficient. The different requirements of tines for injecting in crops and in tilled soil can be met with changeable tips.</p> <p>On clays the damages to the crop are smallest when the moisture content of the soil is such that the draught resistance is biggest. On coarse soils the moisture content of the soil does not affect the draught resistance appreciably. Tines for injecting in crops should be designed so that they till the soil as little as possible. Tines with fixed share is the best type for this purpose. When injecting 60 m<sup>3</sup> slurry/ha in sandy clay with 30% moisture using vertical tines, the draught resistance is about 1.8 kN per metre working width. The wheel slip may be max. 10%.</p> <p>The most important part contributing to crop damages is the tine wing and the second most important is the tine tip. The thickness of the tine leg and wings must be under 15 mm. The design and rake angle of the tine are the most important factors affecting draught resistance and crop damages. About 45° rake angle is best when injecting in tilled soil. The tine width should be about 2/3 of the injection depth. A vertical tine is best when injecting in crops. Although wings on the tines increase draught resistance, 3 cm wide wings, designed so that they do not lift the soil, are necessary on the tines to make it possible to inject enough of slurry without increasing injection depth, which would increase the crop damages rapidly. To prevent evaporation of ammonia and to ensure proper function of winged tines, the injection depth should in any case be at least about 6 cm. The task of the tine tip is to improve the penetration ability, and should be replaced with additional load on the tines as far as possible. For even distribution of nutrients, the lateral distance between the tines or their wing tips should be adjustable and max. 30 cm.</p> <p>The tine units, comprising a tine, a disc coulter and a press wheel, should be able to swing laterally in relation to the tanker to allow at least wide turns with the equipment. They should also be able to swing vertically, so that each tine unit can follow the height variations of the ground individually. The diameter of the pipes from the active flow distributor to the tines should be 30 – 100 mm. It must be possible to shut off the pipes immediately when the tines are lifted up from the ground. When injecting in crops there must be an adjustable disc coulter in front of the tine to prevent accumulation of plant material that would cause blockage. A press wheel after the tine is important when injecting in dry soil. The press wheel also serves as the regulating device for the injection depth which is needed for shallow injection. The load on the press wheel should be about 2.5 kN per metre of the width of the wheel. The load should be adjustable according to the vertical force acting on the tine.</p>	
Key words <b>Injector tine, injection, draught resistance, soil moisture content, clay soil, coarse soils, wheel slip, tine wing, tine tip, disc coulter, press wheel, crop damage, injection depth, leg rake angle, tine distance, swivel feature, adaptation of injection depth, load, flow distributor, pipe dimensions.</b>	
Additional information  <b>Available at from the Institute of Agricultural Engineering (MTT/VAKOLA)</b> Phone +358 9 224 251 Fax +358 9 224 6210	
Name of series, number <b>VAKOLAn tutkimusselostus 72</b>	ISSN <b>0782-0054</b>
Pages	Language <b>Finnish, tables and figures: English, Summaries: English, Swedish</b>
Sold by <b>VAKOLA, Vakolantie 55, FIN 03400 VIHTI, FINLAND</b>	Price FIM

## ALKULAUSE

Maatalouden tutkimuskeskuksen maatalousteknologian tutkimuslaitos (MTT/VAKOLA) sai Maatilatalouden kehittämisrahastolta yksivuotiseen Lannan levitys kasvustoon -nimiseen tutkimukseen 200 000 markan rahoituksen. Tutkimus alkoi huhtikuussa 1994 ja päättyi elokuussa 1995. Tutkimus käsitti kaksi osaa: Lietelannan sijoituslaitteen rakenteelliset vaatimukset suomalaisissa olosuhteissa ja Lietelannan levitysmahdollisuudet kasvavaan viljanoraaseen. Kummastakin osasta on julkaistu oma erillinen raportti, joista ensimmäinen on nyt kädessäsi. Jälkimmäisessä osassa käsitellään levityskaluston pyörien ja sijoitusvantaisten aiheuttamia vaurioita viljakasvustossa ja keinoja niiden vähentämiseksi. Tämä osa käsittelee sijoituslaitteen konstruointia ja mitoitusta erityisesti ajatellen lietelannan sijoitusta kasvavaan nurmeen suomalaisissa olosuhteissa. Lähtökohdaksi on otettu lietelannan sijoituksesta kasvavaan nurmeen kotimaassa ja ulkomailla saatu tutkittu tieto. Ulkomailta saatua tietoa on sovellettu suomalaisiin olosuhteisiin. Soveltamisessa on jouduttu ottamaan huomioon, että Suomessa kasvukausi on merkittävästi lyhempi kuin Keski-Euroopassa, jolloin sijoitusmahdollisuudet ovat ajallisesti rajallisemmat. Vaikka vuoden aikana sijoitettava lietemäärä on merkittävästi pienempi kuin Keski-Euroopassa, on kerralla sijoitettava määrä suurempi, koska Suomessa mielekkäitä sijoituskertoja jäljellä olevan kasvukauden pituuden ja toisaalta nurmien kantavuuden takia on vain yksi vuodessa. Tavoitteena on ollut löytää suunnitteluperusteet sijoituslaitteelle, jonka käyttö johtaa yhtä aikaa kompromissina sekä kohtuulliseen satoon että ravinteiden hyvään hyväksikäyttöön. Suunnitteluperusteiden pohjalta rakennettiin prototyyppi, joka kattoi kannessa näkyvän sijoituslaitteen yhden vannasyksikön. Maatalouskoneiden tutkimussäätiö rahoitti kokonaisen sijoituslaitteen valmistamisen. Se on tarkoitettu lähinnä koetoimintaan, joten se on käytännön kannalta vielä hieman monimutkainen. Jatkotutkimuksissa hienosäädetään laitteen yksityiskohtia. Jatkotutkimusten valmistuttua suunnitellaan markkinakelpoinen tuote.

Tutkimuksen vastuullisena tutkijana toimi agr., MMM Petri Kapuinen. Sen tekemiseen osallistui myös agr.yo. Anssi Manninen. Tutkimuksen valvojakunnan puheenjohtajana toimi ylitarkastaja Sini Wallenius maa- ja metsätalousministeriöstä. Muut jäsenet olivat tutkimusjohtaja Erkki Kemppäinen ja professori Markus Pyykkönen Maatalouden tutkimuskeskuksesta sekä vt. lehtori Ilkka Sipilä Helsingin yliopiston maa- ja kotitalousteknologian laitokselta. Käsikirjoituksen tarkastamiseen on osallistunut lisäksi MML Laura Alakukku ja tutkimusassistentti Risto Sinisalo. Julkaisun ulkoasusta vastaa Tuovi Laaksonen. Maatalouden tutkimuskeskuksen maatalousteknologian tutkimuslaitos kiittää maa- ja metsätalousministeriötä sekä tutkimuksen valvojakuntaa ja Maatalouskoneiden tutkimussäätiötä, jotka omalta osaltaan ovat edistäneet tutkimuksen tekoa ja onnistumista.

Vihdissä 1. lokakuuta 1996

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

Maatalousteknologian tutkimuslaitos

## 1 JOHDANTO

Lannankäsittelytavat tulevat Suomen EU-jäsenyyden takia muuttumaan siitä, mihin on totuttu. Kun Suomi vielä harjoitti kansallista maatalouspolitiikkaa, riitti, että lanta mullattiin maahan mahdollisimman nopeasti, parhaassa tapauksessa sijoittamalla niin, että siitä ei aiheutunut hajuhaittoja eikä se selvästi jäänyt pellon pinnalle sateen ja lumen sulamisvesien huuhtottavaksi. Uuden ajan mukanaan tuomat Euroopan yhteisön ympäristötuen ehdot edellyttävät enemmän. (ANON. 1995.) Esimerkiksi kaksi kertaa niitettävälle säilörehunurmille sallitaan 200 kg liukoista typpeä hehtaarille, mikä ei merkittävästi rajoita lietalannan levittämistä nurmille, koska silloin on mahdollista levittää noin 133 m<sup>3</sup> lypsykarjan lietalantaa hehtaarille vuodessa, jos muita typpilannoitteita ei käytetä ja kyseisen lietalannan liukoisen typen pitoisuus on KAPUISEN ja KARHUSEN (1990, liite 1) tutkimuksen mukainen 1,5 kg/m<sup>3</sup>. Fosforin määrä asettaa rajan lannan levittämiseksi ennemmin kuin typen määrä. Sallittu käyttömäärä 30 kg kasveille käyttökelpoista fosforia (kaksi niittoa, kaksi levitystä, tyydyttävä fosforiluokka) on jo noin 67 m<sup>3</sup>:ssä lypsykarjan lietalantaa (KAPUIINEN ja KARHUNEN 1990, liite 1). Ympäristötuen ehtojen (ANON. 1995) mukaisen nurmihehtaarille sallitun fosforimäärän tuottaa jo noin kaksi ja puoli lypsylehmää. Tulevaisuudessa käytettävät sijoituslaitteet onkin mitoitettava silmällä pitäen tämän suuruisia levitysmääriä (22 + 44 m<sup>3</sup>/ha). Tämä sen tähden, että suurin osa karjatilojen pelloista tulee olemaan nurmena, ja karjanlantaa on levitettävä käytännössä koko peltoalalle joka vuosi.

Nykyisin markkinoilla olevan lietalannan sijoituskalusto on mitoitettu tulevaisuuden lannan sijoittamisen kannalta aivan liian suurille levitysmäärille. Kalusto edustaa pääsääntöisesti tyyppiä, joka on tarkoitettu hyvin suuren lantamäärän sijoittamiseen. Edellä esitetyltä pohjalta kehitys tulee johtamaan nykyisestä harvaan ja syvälle multaavasta sijoituslaitteesta matalaan mutta vastaavasti tiheämpään multaavaan sijoituslaitteeseen.

Suurimmat paineet sijoitustekniikan käyttöönottoon on nautakarjatiloiilla. Suomessa Euroopan yhteisön jäsenyyden mukanaan tuomat rehujen uudet hintasuhteet johtavat siihen, että yhä suurempi osa nautakarjatilojen pelloista on nurmella. Väki-rehu on edullisinta ostaa. Tällöin ainoaksi mahdolliseksi lannan levityspaikaksi jää nurmi. Lannan levittämistä nurmeen joko hajalleen tai letkulevittimellä on tutkittu paljon, ja sitä on alettu pitää hyväksyttävänä myös rehun laadun kannalta. (esim. DÖHLER 1990, RODHE ym. 1988.) Vaikka keinot rehuhygienian säilyttämiseen lannan pintalevityksenkin yhteydessä on löydetty ja typen häviötkin on saatu merkittävästi pienemään tavanomaisen hajalevityksen typpitappioista, ei tässä mielessä ole vielä pintalevityksessä päästy lähellekään sitä tasoa, joka on sijoituksella saavutettavissa. Rehuhygieniaa on parantanut erityisesti korjuumenetelmien kehittyminen. Lannan sijoittamisesta saatava hyöty typpitappioiden pienemisen muodossa ei ole merkittävä alle +10 °C:een lämpötilassa, mutta lannan sijoittamisesta saatava hyöty kasvaa jyrkästi lämpötilan noustessa +10 °C:sta ylöspäin (LANDE CREMER 1986, s. 99).

Sijoitetun lannan typen vaikutus nurmisadon muodostuksessa poikkeaa pintaan levitetyn lannan vastaavasta. Sijoitetun lannan tyyppi ei tule kokonaan hyödynnetyksi ensimmäisessä sadossa, vaan suuri osa siitä tulee hyödynnetyksi vasta myöhemmissä sadoissa. LANDE CREMERin (1986, s. 102) mukaan nurmi hyödyntää keväällä sijoitetun lannan tyypestä ensimmäisen vuoden neljän sadon kesken järjestyksessä 20, 45, 20 ja 15 %. Myös SNIJDERS ym. (1987, s. 16) ovat saaneet samankaltaisia tuloksia: Ensimmäisenä vuotena hyödynnetyksi sijoitetun lannan tyypestä 30 % tulee hyödynnetyksi ensimmäisessä ja 39 % toisessa sadossa. Kuiva-ainesadoissa tämä tulee vielä selvemmin esille. Lietelannan sijoituksella saatavasta sadonlisäyksestä ensimmäisen niiton osuus on 15 %, toisen 43 %, kolmannen 21 %, neljännen 12 % ja loppujen niittojen 9 %. Hajalevitetyn liotelannan tyypestä ensimmäinen sato hyödyntää 50 %, toinen 18 %, kolmas 13 % ja loput sadot 19 %. Kuiva-ainesadonlisäykset jakaantuvat vastaavasti 43 %, 22 %, 17 % ja 18 %. Sijoitetun lannan typen hyödyntäminen keskittyy siten sijoituksen jälkeiseen toiseen satoon. Vaikka lannan sijoittaminen nurmeen keväällä onkin suomalaisissa olosuhteissa huonompi vaihtoehto kuin sijoittaminen ensimmäisen sadonkorjuun jälkeen, pystyvät muutkin kuin levitystä seuraava ensimmäinen sato hyödyntämään suomalaisissakin olosuhteissa sijoitetun lannan typen paremmin kuin pintaan levitetyn. Jotta liotelannan sijoituksesta nurmeen saataisiin täysi hyöty, olisi sijoituksen jälkeen korjattava sijoitusvuonna vähintään kaksi satoa. Lisäksi jos lanta sijoitetaan, voidaan rehunkorjuussa ja -säilönnässä käyttää yksinkertaista tekniikkaa.

Typen tappioiden aiheuttaman ympäristön saastumisen lisäksi uudeksi ympäristöongelmaksi on havaittu väkilannoitteiden pintalevityksen jälkeen erityisesti nurmilta vesistöihin huuhtoutuvan vesiliukoisien fosforin suuri määrä. Samoin käynee myös karjanlannan pintalevityksen jälkeen. Kun lannoittamattoman kesantonurmen fosforipäästöt ovat hyvin pienet verrattuna viljapellojen vastaaviin päästöihin, lannoitetuista nurmista huuhtoutuu pintalannoituksen takia selvästi enemmän vesiliukoista fosforia kuin viljapelloista. Juuri vesiliukoinen fosfori aiheuttaa sisävesiemme rehevöitymistä, jopa siinä määrin, että myös nurmien väkilannoitefosfori tulisi sijoittaa. Sen sijaan maapartikkeleissa eroosion mukana vesistöihin kulkeutuva fosfori on vain vähäisessä määrin vesieliöstön hyödynnettävissä. (YLI-HALLA 1995, TURTOLA ja JAAKKOLA 1985, s. 1 - 2.)

Nurmiviljelyssä sijoitustekniikan kehittäminen on ympäristösuojelun kannalta ensiarvoisen tärkeää, vaikkakin viljelijän viljelyn kautta sen avulla saamat taloudelliset hyödyt jäävät vähäisiksi suhteessa sen käytön aiheuttamiin kustannuksiin. Toisaalta maataloudelle aiheutuvia kustannuksia voidaan melko helposti vähentää tukemalla sijoituslaitteiden hankintaa esimerkiksi erityisympäristötuen muodossa. Menetelmän käytön muuttuvat kustannukset ovatkin jo pienemmät kuin viljelijän menetelmän käytöstä saamat hyödyt. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli kehittää sijoituslaite, joka olisi nimenomaisesti tarkoitettu suomalaisiin olosuhteisiin ja jonka käytöllä saavutettavat hyödyt ylittäisivät käytön muuttuvat kustannukset: työmenekin kasvun ja mahdolliset satotappiot sekä kattaisivat mahdollisimman suuren osan menetelmän kiinteistä kustannuksista. Tässä

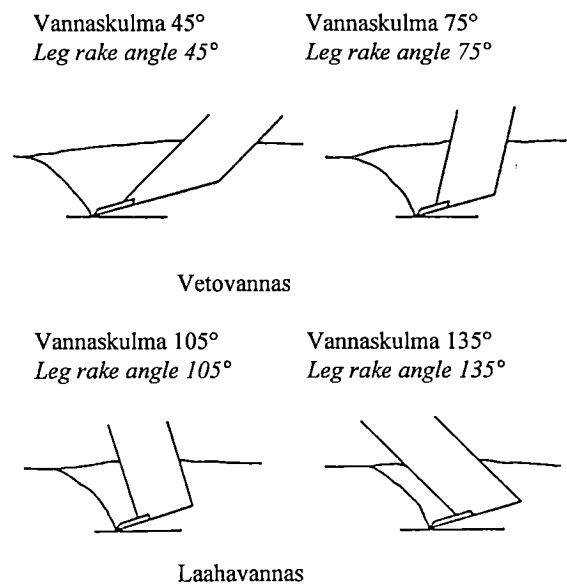
raportissa on käyty läpi sijoituslaitteen suunnittelussa tärkeät mitoitustekijät kansainvälisistä lähteistä ja sopeutettu ne suomalaisiin olosuhteisiin. Tämän selvityksen pohjalta on lopuksi esitetty suomalaisiin olosuhteisiin soveltuvan sijoituslaitteen ominaisuudet ja eräs toteutus on kuvattu julkaisun kannessa.

## 2 VANNASTYYPIT

Lietelannan sijoittamiseen soveltuvat vantaat voidaan toimintatapansa perusteella jakaa kiinteäteräisiin laaha-, veto- ja siipivantaisiin sekä pyöriväteräisiin kiekko- ja lautasvantaisiin. Pyöriväteräiset vantaat ovat raskaampia ja kalliimpia kuin kiinteäteräiset. Lisäksi niissä on enemmän kuluvia osia kuin kiinteäteräisissä vantaissa. (ANON. 1989.)

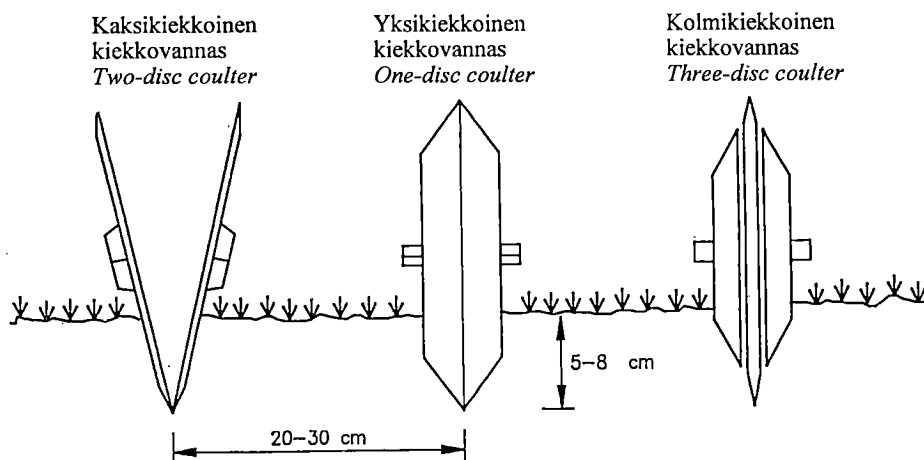
Laahavannas on sivusta katsoen yli  $90^\circ$  kulmassa ja vetovannas alle  $90^\circ$  kulmassa vantaan edessä olevan maanpintaan nähden (kuva 1). Kumpikin näistä vannastyypeistä voidaan varustaa siivellä, jolloin ne ovat siipivantaita. Siipivantaan siipi tekee maahan kokoisensa onkalon, johon liete johdetaan. Jos siipi on nostava, onkalo on jopa poikkileikkausta suurempi. Siiven avulla voidaan ravinteiden jakaumaa leveysuunnassa parantaa (WARNER ja GODWIN 1988, s. 299).

Kiekkovantaissa on yhdestä kolmeen kiekkoa (kuva 2). Kaksikiykkoinen vannas poikkeaa rakenteeltaan yksi- ja kolmekiekkoisesta vantaasta. Siinä ovat kaksi kiekkoa



**Kuva 1.** Kiinteäteräiset veto- ja laahavantaat (WARNER ja GODWIN 1988, s. 291).

**Figure 1.** Injector tines with fixed share (WARNER and GODWIN 1988, p. 291).



**Kuva 2.** Yksi-, kaksi- ja kolmekiekkoinen kiekkovannas (ANON. 1992b, s. 40).

**Figure 2.** Disc coulters with one, two and three discs (ANON. 1992b, p. 40).

ovat auraavassa kulmassa toisiinsa nähden sekä kallistetut yläreunasta ulospäin. Kiekkojen reunat koskettavat edestä toisiaan. Vannas muodostaa kiilaamalla vaon, johon liete johdetaan. Yksikiekkoinen kiekkovannas sen sijaan on kuin kyntöauran leikkuri, mutta sen leveys on suuri, noin 25 mm. Se painaa pyöriessään maahan vaon, johon liete johdetaan. Kolmikiekkoinen vannas on kuin yksikiekkoinenkin, mutta siinä on keskellä vantaan tunkeutuvuutta parantava kiekkoleikkuri, jonka tekemän viillon sen kummallakin puolella olevat kiekot leventävät vaoksi. (ANON. 1992b, s. 40.)

Lautasvantaassa (kuva 3) on kovera lautanen, joka on kallistettu pystysuoran suhteen ja on vinossa ajosuunnan suhteen, sekä kyntöauran maapuolen kaltainen osa. Lautasvannas leikkaa kaistaleen maata ja siirtää sitä sivulle kohottaen. Lautasen ja kiinteäteräinen vannasosan väliin jää vako, johon liete sijoitetaan (KEPNER ym. 1982 s. 162, ANON. 1989, s. 25).

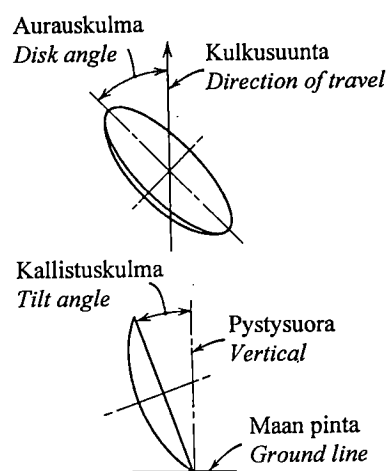
Pyöriväteräisillä vantailla on niiden toimintatavan takia vaikea muodostaa samanaikaisesti sijoituksen kannalta riittävän kokoinen vako ja pitää kasvustovauriot riittävän pieninä. Lisäksi vako jää auki, jolloin siihen johdetusta lannasta haihtuu ammoniakia. Kiinteäteräiset vantaat ovat ainoa varteenotettava vaihtoehto sijoitettaessa lietelantaa kasvustoon.

Pyöriväteräiset vantaat, erityisesti lautasvantaat, soveltuvat parhaiten lannan sijoittamiseen mullokseen, jossa ei kasvustovaurioista tarvitse välittää. Koska tässä tutkimuksessa käsitellään lannan levitystä kasvustoon, ei pyöriväteräisiä vantaita käsitellä tässä raportissa tämän enempää.

### 3 SIJOITUSLAITTEEN VARUSTEET

#### 3.1 Leikkurit

Leikkurin tehtävänä on katkaista kasvinjätteet vantaan edeltä. Ilman leikkureita vantaisto tukkiintuisi kasvinjätteistä. Leikkureita on kahta tyyppiä: kiekkoleikkurit ja veitsileikkurit. Yleisimpiä ovat kiekkoleikkurit. Kiekkoleikkurit leikkaavat pyörivän liikkeensä ansiosta kasvinjätteitä ja maata veitsileikkureita paremmin, ja niiden vetovastus on pienempi kuin veitsileikkureiden. (BERNACKI ja HAMAN 1976, s. 166, ANON. 1994a, s. 47.) Leikkureiden on leikattava hieman vannasta syvemmältä, koska leikkurit eivät katkaise kaikkia kasvinjätteitä. Kun pyörivä leikkuri kulkee vannasta syvemmältä, se painaa vantaan alle kasvinjätteet, jotka eivät katkea, jolloin vantaisto ei tukkeennu. Leikkureiden käyttö vähentää lisäksi vantaiden vetovoiman tarvetta ja kulumista. Myös pellon pinnan ja



**Kuva 3.** Lautasvannas (KEPNER ym. 1982, s. 162).

**Figure 3.** Disc coulter (KEPNER 1982, p.162).

kasvuston vauriot sekä vantaiden tukkeutuminen vähenevät, sillä leikkureita käytettäessä vantaat eivät revi maata ja kerää kasvinjätteitä eivätkä katkaise kasvien juurikontaktia niin helposti kuin tapahtuisi ilman leikkureita (KEPNER ym. 1982, s. 139, ANON. 1989, s. 15, ANON. 1994a, s. 47).

### 3.2 Tiivistyspyörät

Sijoitusvantaan perään voidaan asentaa tiivistyspyörä, joka painaa ja sulkee vantaan auki kohottaman vaon kiinni. Tiivistyspyörän käyttö on erityisen tärkeää kuivissa olosuhteissa, koska muutoin kasvien juurikontakti maahan saattaa katketa. Jos kasvi menettää juurikontaktin, se kuolee, ja kasvusto harvenee vaurioalueella, ja sato pienenee. (HANN ym. 1987, s. 3.) Tiivistyspyörän tasoittama maanpinta helpottaa myös sadonkorjuuta, ja rehun laatu paranee, kun maata ja lantaa ei korjuun yhteydessä nouse mukaan. Rehun sekaan joutunut maa ja lanta saattavat alentaa rehun laatua erityisesti, jos rehu korjataan tuoreena.

### 3.3 Työsyvyyden säätömekanismit

Sijoituslaitteen suurin työsyvyys säädetään yleensä jalaksilla tai kannatuspyörillä, jotka voivat vaikuttaa yhteisesti kaikkien sijoitusvantaisten työsyvyyteen. Tämä on mahdollista silloin, kun sijoitusvyvyys on suuri, selvästi yli 10 cm. Sijoitettaessa matalaan on sijoitusvantaisten työsyvyyden mukauduttava yksilöllisesti maanpinnan epätasaisuuksiin, koska muutoin osa vantaista nousisi ajoittain liian matalaan tai jopa pintaan, jolloin nurmen pinnalle joutuisi lantaa ja maata.

Jos vantaisten maahakuisuus on liian pieni tai vantaiston oma paino on niin pieni, että vantaat pyrkivät kohoamaan maasta, täytyy niitä painattaa. Painatus voidaan toteuttaa lisäpainoin tai hydraulisynterillä. (ANON 1992a, ANON 1992b, ANON 1992c.) Hydraulisynterin painatusvoima pidetään vakiona hydraulikkapiiriin painepuolelle asennetulla paineakulla. Paineakun paine säädetään kullekin sijoitustilanteelle sopivaksi paineenalennusventtiilillä, joka asennetaan traktorin hydraulikkasta paineakkuun johtavaan hydraulikkaletkuun. Ylimääräinen paine purkautuu paluupuolen hydraulikkaletkuun. Paineakun painetta ei kannata pitää liian suurena, koska tällöin syvyydensäätöelimenä toimiva tiivistyspyörä kohdistaa kasvustoon tarpeettoman suuren kuorman, jolloin kasvusto vaurioituu tarpeettomasti. Paineen on oltava kuitenkin riittävä, jotta tiivistyspyörä pysyisi tiukasti maan pinnassa ja sen mukana vannas oikeassa työsyvyudessa myös kohdissa, jossa maa on tavallista kovempaa.

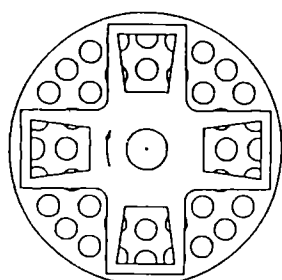
### 3.4 Laukaisulaite

Sijoituslaitteessa tarvitaan vannaskohtainen laukaisulaite vantaan eteen sattuvien esteiden varalta. Se voi olla murtopultti, jousi tai paineakku ja hydraulisynteri. Murtopultti on yksinkertaisin ja halvin, mutta siinä mielessä huono, että sen katkeamista on vaikea havaita

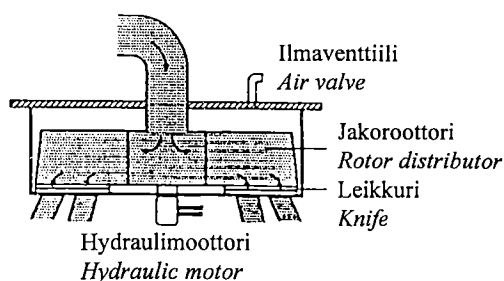
traktorin ohjaamosta. Kireydeltään säädettävä jousi on murtopulttia parempi ratkaisu, sillä esteen ohitettuaan vannas palaa automaattisesti normaaliin työasentoon. Jousen sijaan voidaan käyttää hydraulisylinteriä, jonka laukaisuherkkyys säädetään muuttamalla paineakun painetta. Vastaavasti laukaisulaite voidaan toteuttaa myös siten, että vannasyksikkö pysyy normaalisti maassa tiivistyspyörän varassa lisäpainojen avulla, mutta nousee ylös maasta vantaan törmätessä esteeseen. Murtopulttia lukuunottamatta laukaisulaite on osa työsyvyyden säätöjärjestelmää.

### 3.5 Jakolaite ja jakoputkisto

Jakolaitteen tehtävänä on jakaa liete tasaisesti vantaiden kesken. Se ei saa tukkeutua helposti. Se voi olla joko passiivinen tai aktiivinen. Passiivinen jakaja toimii lietteen omalla virtausvoimalla. Passiiviset jakolaitteet ovat lieriön, laatikon tai yksinkertaisimmillaan putken muotoisia. Passiiviset jakolaitteet ovat herkkiä tukkeutumaan lietteen kuiva-aineesta, eivätkä annostele lietettä vantaille kovinkaan tasaisesti. Lisäksi lietteen virtausnopeus vaikuttaa niissä voimakkaasti jaon tasaisuuteen. Parhaiten passiiviset jakolaitteet toimivat virtsaa levitettäessä. Ne soveltuvat käytettäväksi syvälle ja harvaan sijoittavissa sijoituslaitteissa, joissa lietettä jakolaitteesta vantaille johtavat putket ovat läpimitaltaan suuret ja määrältään harvalukuiset. RÖNNINGENin ja WESETHin (1976, s. 4) mukaan passiivinen jakolaite tukkeutuu nautanlietteestä, jos vantaisiin lähtevien yhteiden halkaisija



Roottorijakolaite päältä katsottuna  
*Distributor seen from above*



Roottorilaite sivulta katsottuna  
*Distributor seen from the side*

**Kuva 4.** Aktiivinen hydraulimoottorikäyttöinen jakolaite (ANON. 1994b).

**Figure 4.** Active slurry flow distributor driven by a hydraulic motor (ANON. 1994b).

on vain 46 mm. Jos niiden halkaisija on 70 mm, ne eivät tukkiinnu, mutta lantavirran jakautuminen vantaiden kesken on hyvin epätasaista. Siksi matalaan ja pienellä vannasvälillä sijoittavassa sijoituslaitteessa tarvitaan aktiivinen jakolaite (kuva 4). Aktiivisen jakolaitteen sisällä pyörii yleensä hydraulimoottorikäyttöinen roottori. Se annostele lietteen sijoituslaitteen koosta riippuen samanaikaisesti vain 2, 4, 6 tai 8 syöttöputkeen kerrallaan. Tällöin syöttöputket eivät tukkeennu helposti, koska virtaus keskittyy sysäyksittäin vuorollaan kuhunkin letkuun. Aktiivisen jakolaitteen roottorissa on myös terä, joka katkaisee lannan mukana tulleen kuivikkeen

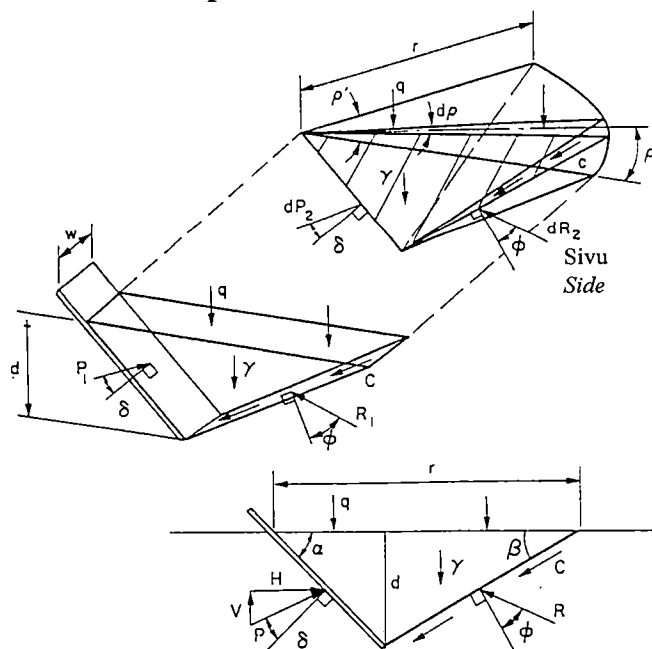
korret ja mahdolliset muut tukoksen aiheuttajat. Jakajalta vantaisiin ja edelleen maahan liete johtuu pääasiassa painovoiman avulla. Putkissa tulisi olla sulkijat, jotka estäisivät lietteen virtauksen vantaiden ollessa ylhäällä. (ANON. 1980, s. 13, ANON. 1992b, s. 40.)

Lietelannan virtausominaisuudet ovat HOWARDin (1979, s. 17) mukaan samat kuin paperiteollisuuden massasulputilla. Käytännön alaraja aktiivisesta jakolaitteesta vantaalle johtavan putken ja itse vannasputken sisähalkaisijalle on 30 mm (ANON. 1966). Putkien sisäpinnan tulee olla mahdollisimman sileä, ja jyrkkiä mutkia sekä kulmia tulee välttää. ROLFESin ym. (1977, s. 530) mukaan lietteen virtausnopeuden putkissa ja letkuissa on oltava 0,3 - 3,1 m/s. Jos virtausnopeus on liian pieni, lietteen erottuva kuiva-aine alkaa kasautua aiheuttaen tukoksia putkiston mutkiin ja kapeikkoihin. Esimerkiksi sijoitettaessa lietettä 60 m<sup>3</sup>/ha vannasvälin ollessa 30 cm yhdestä vantaasta tulee metriä kohden 2 l lietettä. Jos ajonopeus on 5 km/h, sijoitusvantaalle johtavien putkien halkaisijan tulee olla 32 - 102 mm. Pumpulta passiiviselle jakolaitteelle tulevan putken halkaisija mitoitetaan vantaiden lukumäärän mukaan ja aktiiviselle jakolaitteelle tulevan putken samanaikaisesti avoinna olevien liitäntöjen mukaan. Esimerkiksi, jos 20:sta putkesta neljä on yhtä aikaa auki, sijoitusvantaalle johtavien putkien poikkipinta-alan on oltava viisinkertainen edellä esitettyyn nähden eli halkaisijan tulee olla 71 - 228 mm.

## 4 SJOITUSVANTAIDEN VETOVASTUS

### 4.1 Sijoitusvantaan vetovastuksen eri komponentit

Kiinteäteräisen sijoitusvantaan vastusvoima voidaan laskea maan ominaisuuksien ja vantaan mitoituksen perusteella kaavalla 1. Kaavan ratkaisemisessa tarvittavat kulmat ja muut suureet on esitetty kuvassa 5. Vastusvoima koostuu neljästä komponentista: maan siirtämisestä, maan koheesios- ta, maahan kohdistuvan pystysuoran voiman voittamisesta sekä maan ja vantaan välisestä kitkavoimasta. Näistä koheesio sekä maan ja vantaan välinen kitkavoima muodostavat leikkauksen voiman. Työsyvyyden



Kuva 5. Kaavaan 1 liittyvät kulmat ja eräät suureet (MCKYES ja ALI 1977, s. 46).

Figure 5. Angles and some quantities relating to formula 1 (McKAYES and ALI 1977, p. 46)

kasvu vaikuttaa hyvin nopeasti siirrettävän maan määrään. Siirrettävän maan massa kasvaa neliössä työsyvyyden kasvuun nähden, kuten kaavasta 1 voidaan todeta. (STAFFORD ja TANNER 1983a, s. 251, MCKYES 1985, s. 38, ANON. 1989.) Kitkavoimaan vaikuttaa maan tilavuuspaino, partikkeleiden karkeus ja niiden välisten sidosten voimakkuus. Koheesion osuus kasvaa maan savespitoisuuden lisääntyessä. (SPOOR 1975, s. 129 - 130.) STAFFORDin (1979, s. 49) mukaan 87 - 98 % vantaan vetovastuksesta selittyy koheesiol- la. Koheesio puolestaan koostuu molekylaarisesta ja pintakoheesiosta. Molekylaarinen koheesio perustuu kemiallisiin sidoksiin, ja se on merkittävä maan kosteuden ollessa pieni. Kun maan kosteuspitoisuus on suuri, on pintakoheesio vallitseva. Se muodostuu fysikaali- sista sidoksista: van der Waals- ja vetysidoksista. (SPOOR 1975, s. 130, ROPILO 1986, s. 6.) Maan koheesio- ja kitkavoimien lisäksi vantaaseen vaikuttaa maan ja vantaan väliset adheesio- ja kitkavoimat (STAFFORD ja TANNER 1983b, s. 321). Niiden osuus vetovoimasta on vain noin 12 % (STAFFORD 1979, s. 49). Maan ja vantaan väliseen kitkaan vaikuttaa vantaan pintamateriaali mutta erityisesti sen pinnan tasaisuus (SPOOR 1975, s. 131 - 132). Vantaiden pinnan tulee siten olla sileä. Maan tiivistyminen levityska- luston pyörien alla lisää sijoitusvantaan vetovastusta. Saven lisäksi savinen hieno hieta ja hiesu ovat alttiita tiivistymiselle. Maan tiivistyminen lisää erityisesti maan koheesiota ja maan ja vantaan välistä kitkaa. (SÖHNE 1953, s. 78, BUTTERFIELD ja ANDRAWES 1972, s. 19 - 20.) Siten vantaan vetovastus on pyöränjäljen tallaamassa kohdassa suurempi kuin sen sivussa. Kaavassa 1  $N_b$ ,  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_{ca}$  ovat maalajista, sen koheesiosta, adheesiosta ja sisäisestä kitkakulmasta sekä vantaan työsyvyyden ja -leveyden suhteesta riippuvia vakioita (MCKYES 1985, liite 2). Ne ovat löydettävissä liitteestä 1. Maan ja terän välinen kitkakulma on yleensä 50 - 90 % maan sisäisestä kitkakulmasta.

$$P = (\bar{\nu} \cdot g \cdot d^2 \cdot N_b + c \cdot d \cdot N_c + q \cdot d \cdot N_q + c_a \cdot d \cdot N_{ca}) \cdot w \quad (1)$$

jossa

$P$  = vastusvoima, kN

$\bar{\nu}$  = maan tilavuuspaino, t/m<sup>3</sup>

$g$  = maan vetovoiman kiihtyvyys, m/s<sup>2</sup>

$d$  = työsyvyys, m

$c$  = maan koheesio, kPa

$q$  = maan pinnalla oleva tasainen kuorma, kN

$c_a$  = maan ja terän välinen adheesio, kPa

$w$  = vantaan työleveys, m

where

$P$  = resistance force, kN

$\bar{\nu}$  = density of soil, t/m<sup>3</sup>

$g$  = acceleration of gravitation, m/s<sup>2</sup>

$d$  = working depth, m

$c$  = cohesion of soil, kPa

$q$  = even load on the soil surface, kN

$c_a$  = adhesion between soil and tine share, kPa

$w$  = working width of tine, m

Sijoitusvantaan vastusvoima sisältää sekä pysty- että vaakakomponentin. Vastusvoiman vaakakomponentti  $H$  eli vetovastus voidaan laskea vastusvoimasta  $P$  kaavalla 2 (MCKYES ja ALI 1977, s. 45). Vetovastus on voima, joka tarvitaan vantaan vetämiseen.

$$H = P \cdot \sin(\alpha + \delta) + c_a \cdot d \cdot w \cdot \cot \alpha \quad (2)$$

jossa

$\alpha$  = vannaskulma

$\delta$  = maan ja terän välinen kitkakulma

where

$H$  = horizontal component of the resistance force  $P$

$\alpha$  = leg rake angle of tine

$\delta$  = angle of friction between soil and tine share

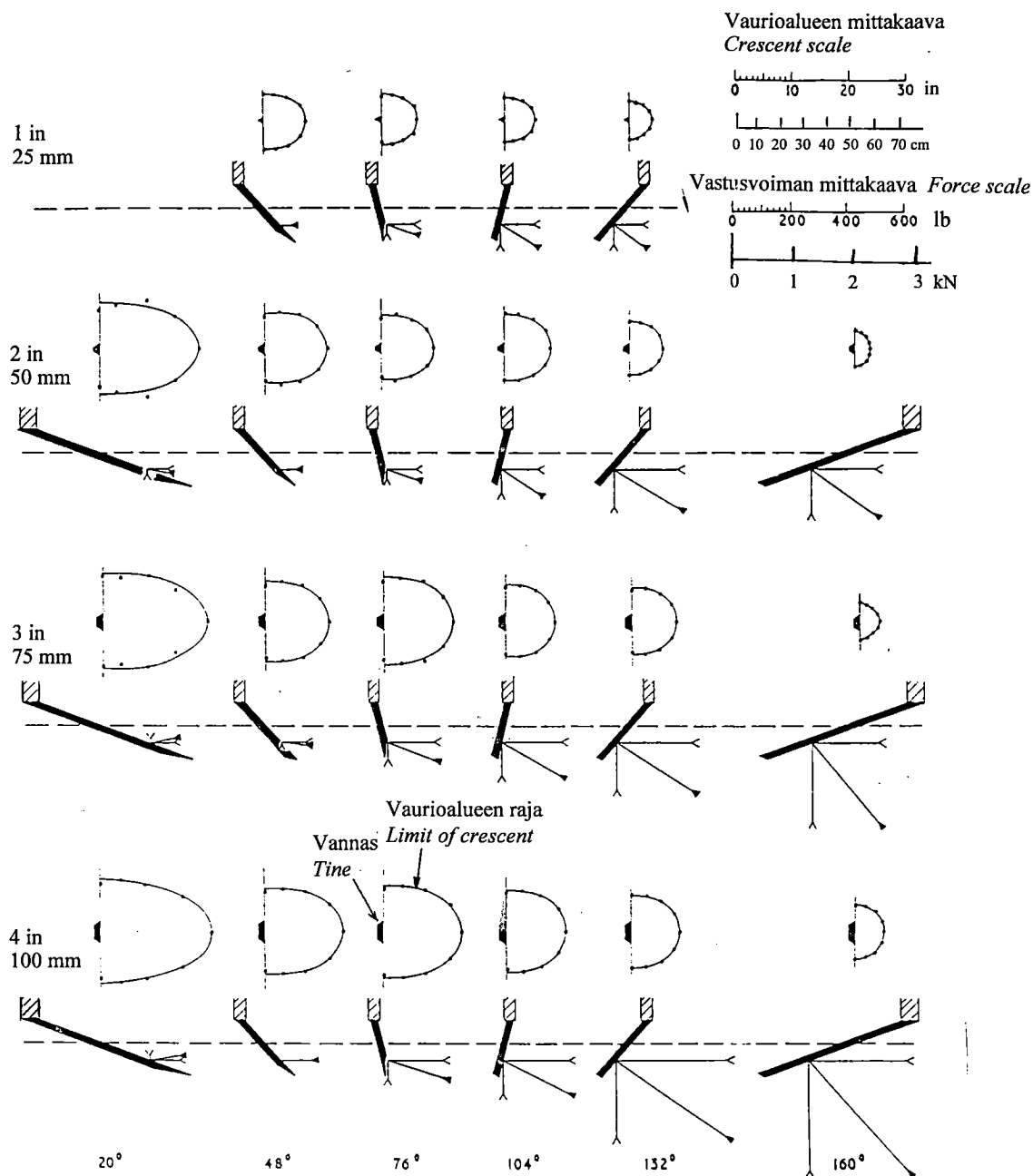
Jos vannaskulma on  $45^\circ$ , vantaan vastusvoima on vaakasuorassa. Pystyvantaan vastusvoima pyrkii kohottamaan vannasta maasta, koska se on  $20^\circ$ :en kulmassa vaakatasosta ylöspäin. Terävän kulman alueella yhden asteen muutos vannaskulmassa vastaa  $2/3^\circ$ :en muutosta vastusvoiman suunnassa. (PAYNE ja TANNER 1959, s. 325.) Vantaan leveyden ja työsyvyyden suhteella ei ole vaikutusta vantaan maahakuisuuteen (ROPILO 1986, s. 20). Sen sijaan työsyvyyden kasvu lisää vantaan maahakuisuutta (REICH 1977, s. 131).

## 4.2 Vantaan mitoituksen vaikutus vetovastukseen

### 4.2.1 Vannaskulman, vantaan kärkipalan ja vantaan kiinnityksen vaikutus vantaan vetovastukseen

Vannaskulman kasvaessa vantaan vetovastus kasvaa. Siten laahavantaan vetovastus on suurempi kuin poikkileikkaukseltaan yhtä suuren vetovantaan samassa työsyvyydessä. Tämä johtuu siitä, että vantaan maata eteen- ja alaspäin kiilaava vaikutus voimistuu vannaskulman muuttuessa vetovantaasta laahavantaaseen päin. Samasta syystä laahavantaan maahakuisuus on pienempi kuin vetovantaan, ja sen työsyvyyttä on vaikeampi hallita kuin vetovantaan. Vannaskulman kasvaessa  $20^\circ$ :sta  $160^\circ$ :een suorapintaisen ja kärjettömän vantaan vetovastus kasvaa peräti 5-kertaiseksi. (PAYNE ja TANNER 1959, s. 325.) PAYNEn ja TANNERin (1959, s. 321) mukaan vetovastus kasvaa nopeasti, kun vannaskulma kasvaa yli  $50^\circ$ :een. Esimerkkejä erilaisista vannaskulmista on esitetty kuvissa 1 ja 6. WARNERin ja GODWINin (1988, s. 291) mukaan vetovastuksen kasvu ei ole kuitenkaan näin suuri, ja vetovastus kasvaa merkittävästi vasta, kun vannaskulma kasvaa yli  $80^\circ$ :een, jos vannas varustetaan loivalla noin  $15^\circ$  kulmassa maanpinnan tasoon nähden olevalla kärkipalalla. Tällaisen kärkipalalla varustetun vantaan vetovastus kasvaa vannaskulman kasvaessa  $45^\circ$ :sta  $135^\circ$ :een vain 75 - 100 %, ja vannaskulman kasvaessa  $45^\circ$ :sta  $105^\circ$ :een vetovastus kasvaa ainoastaan 30 - 50 %. (HANN ym. 1987.) Vantaan vetovastus kasvaa siten 45 - 50 %  $45^\circ$ :en vannaskulmassa olevan vantaan vetovastuksesta, kun vannaskulma kasvaa  $105^\circ$ :sta  $135^\circ$ :seen. Laahavantaan vetovastuksen kasvu on siten varsin suuri verrattuna vetovantaan vetovastuksen kasvuun, kun vannaskulman kasvu on yhtä suuri.

Joustopiikkiin kiinnitetyn vantaan vetovastus on 20 - 30 % pienempi kuin vastaavan jäykästi kiinnitetyn vantaan (MÖLLER 1959, s. 94). Tämä pätee ainoastaan silloin, kun maa on muokkauksen kannalta parhaassa kosteuspitoisuudessa.



**Kuva 6.** Erilaisia vannaskulmia ja niiden vaikutus vastusvoiman suuntaan ja sen vaakasuuntaisen ja pystysuuntaisen osan suuruuteen (PAYNE ja TANNER 1959, s. 317).

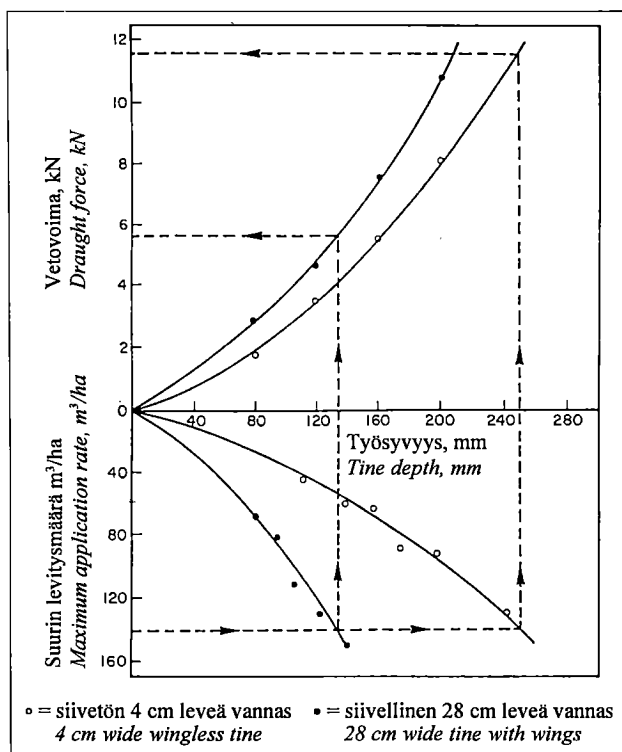
**Figure 6.** Different leg rake angles of the tine and their effect on the direction of the resistance force and the magnitude of its horizontal and vertical components (PAYNE and TANNER 1959, p. 317).

#### 4.2.2 Vantaan siiven vaikutus vetovastukseen

Siivellinen sijoitusvannas käyttäytyy hanhenjalkaterän tavoin, jos siiven nostokorkeus on merkittävä. Jos nostokorkeus on pieni, vannas ei muokkaa maata kuten hanhenjalkaterä. (MCKYES 1985, s. 54, 80.) Jälkimmäisessä tapauksessa tavallisesti erittäin suuren osuuden vetovastuksesta kattava maan koheesion osuus vetovastuksesta jää pieneksi. Joka tapauksessa siipi kohottaa maata yläpuolellaan paksuutensa verran. Siksi laskettaessa siivellisen sijoitusvantaan, jonka siiven nostokorkeus on merkittävä, vetovastusta kaavan 1

mukaan vantaan työleveys määritetään sen suurimman leveyden mukaan eli siiven kärjestä siiven kärkeen, vaikka itse vantaan ojas onkin siipeä kapeampi. Siivellisen vantaan vetovastus on kuitenkin pienempi kuin siivettömän pyrittäessä kummallakin samaan levitysmäärään, koska siivellisen vantaan käyttö mahdollistaa pienemmän sijoitusvyödyden kuin siivettömän vantaan käyttö ja koska vantaan vetovastus sen poikkileikkauksen pinta-alaa kohti on pienempi kuin siivettömän. Esimerkiksi, jos sijoitusvantaiden väli on 65 cm, kuten kuviosta 1 ilmenee, 140 m<sup>3</sup>/ha lietettä voidaan sijoittaa 28 cm leveällä siipivantaalla 13 cm:n syvyyteen, kun taas 4 cm leveällä vantaalla sijoitettaessa on käytettävä 25 cm:n sijoitusvyödyttä. Leveämmän vantaan käyttö vähentää tässä tapauksessa yhden vantaan vetovastusta noin 6 kN eli 54 % verrattuna saman määrän sijoittamiseen kapealla vantaalla. (WARNER ja GODWIN, 1988.)

Suomen olosuhteissa suurimmat mielekkäät sijoitusmäärät ovat noin 60 m<sup>3</sup>/ha eli alle puolet edellisen esimerkin mukaisesta määrästä. Jos sijoitusvantaiden väli on 65 cm, 60 m<sup>3</sup>/ha lietelantaa voidaan 28 cm siipivantaalla sijoittaa 11 cm:n sijoitusvyödydellä. Vetovastus on tällöin 3,2 kN, kuten kuviosta 1 voidaan todeta. 4 cm leveällä siivettömällä vantaalla saman määrän sijoittamiseen tarvitaan 13,5 cm:n sijoitusvyödyys. Yhden vantaan vetovastus on tällöin 6,5 kN. Eroa siipivantaan hyväksi on 3,3 kN. Leveän siivellisen sijoitusvantaan käyttö mahdollistaa vetovastuksen pudottamisen puoleen kapean siivettömän sijoitusvantaan vetovastuksesta pienentämällä sijoitusvyödyttä levitysmäärän pysyessä kuitenkin muuttumattomana. Jos sijoitettava lietemäärä on vain 40 m<sup>3</sup>/ha mutta sijoitusvantaiden väli edelleen 65 cm, tarvittava sijoitusvyödyys leveää siivellistä vannasta käytettäessä on vain 5,5 cm ja kapeampaa vannasta käytettäessä 7,5 cm. Yhden vantaan vetovastus olisi tällöin leveää siivellistä vannasta käytettäessä 1,8 kN ja kapeampaa vannasta käytettäessä 2,5 kN. 28 cm leveällä siivellisellä vantaalla ei kuitenkaan voida sijoittaa näin matalaan, koska siiven päällä oleva maakerros irtaaisi paikaltaan. Näin pientä levitysmäärää käytettäessä leveän siivellisen vantaan käyttö kapean asemesta pienentää vantaan vetovastusta enää noin 28 %. Siten siivellisten sijoitusvantaiden käytöstä on hyötyä



**Kuvio 1.** Työsyvyyden vaikutus levitysmäärään ja vantaan vetovastukseen vantaiden välin ollessa 65 cm siivellisellä ja siivettömällä vantaalla (WARNER ja GODWIN 1988, s. 294).

**Diagram 1.** Effect of working depth (tine depth) on the application rate and the draught force for injector tines with and without wings, when the lateral distance between the tines is 65 cm (WARNER and GODWIN 1988, p. 294).

erityisesti levitysmäärien ollessa suuria. Siiven käytön merkitys suomalaisissa olosuhteissa on selvästi pienempi kuin keskieuropalaisessa olosuhteissa. Suomalaisissa olosuhteissa vannasväliä tulee pienentää ja siipeä kaventaa edellä esitetyn esimerkin mukaisesti. Esimerkiksi RODHEN ja SALOMONIN (1992, s. 29 - 30) mukaan sijoitettaessa lanta 5 - 8 cm:n syvyyteen on siivettömien vantaiden välin on oltava noin 25 cm, jos sijoitettava lantamäärä on noin 25 tn/ha. Esimerkiksi sijoitettaessa 6 cm:n syvyyteen 8 cm leveällä siipivantaalla käyttäen 40 cm:n vannasväliä voidaan sijoittaa 60 m<sup>3</sup>/ha, jos vantaan ja vantaan siiven ainevahvuus ja samalla nostokorkeus on noin 20 mm ja oletetaan, että koko ontelo täyttyy lietteellä. Käytettäessä 90° vannaskulmaa hietasavella 30 %:n kosteuspitoisuudessa yhden vantaan vetovastus olisi tällöin kaavan 1 sivu 15 sekä kuvioiden 2 ja 3 sivu 20 mukaan 0,7 kN c<sub>a</sub>:n ollessa nolla (MCKYES 1985, s. 81). 2 cm:n levyistä vannasta käyttämällä jouduttaisiin sijoittamaan 12 cm:n syvyyteen vastaavan lietemäärän sijoittamiseksi, jolloin vetovastus olisi 0,9 kN. Jos vannasväliä pienennettäisiin edelleen 30 cm:iin, voitaisiin käyttää 3 cm:n levyistä sijoitusvannasta sijoitussyvyyden pysyessä 6 cm:ssä ja levitysmäärän pysyessä 60 m<sup>3</sup>:ssa hehtaaria kohti. Tällöin vantaan vetovastus olisi 0,33 kN. Vastaavasti, jos sijoitusvantaan leveys olisi vain 2 cm, jouduttaisiin sijoittamaan 9 cm:n syvyyteen. Vetovastus olisi tällöin 0,56 kN.

#### 4.2.3 Leikkurin vaikutus vantaan vetovastukseen

Leikkureita käyttämällä vähennetään vantaiden vetovastusta ja kulumista (ANON. 1989). Kiekkoleikkurin vetovastus on maan laadusta riippuen 20 - 40 N työsyvyyden senttimetriä kohti (BERNACKI ja HAMAN 1976, s. 178). WARNERIN ym. (1991) mukaan laboratorikokeissa karkeassa hiedassa 15 cm sijoitussyvyydellä maan kosteuspitoisuuden ollessa 6,0 % ja tilavuuspainon 1 400 kg/m<sup>3</sup> leikkurin vetovastus oli 0,20 kN, ja maan kosteuspitoisuuden ollessa 7,1 % ja tilavuuspainon 1 500 kg/m<sup>3</sup> leikkurin vetovastus oli 0,31 kN. Vastaavasti vantaan vetovastukset olivat 0,37 kN ja 0,76 kN, kun vantaan siiven leveys oli 300 mm ja vannaskulma 45°. Näin ollen leikkurin vetovastus on 40 - 55 % vantaan vetovastuksesta. Esimerkiksi 6 cm:n työsyvyydessä kiekkoleikkurin teoreettinen vetovastus on 120 - 240 N. Pellolla tehdyissä kokeissa leikkurin ja vantaan vetovastukset olivat olleet vastaavalla maalajilla ja työsyvyydellä huomattavasti suuremmat kuin laboratorikokeissa. Maan kosteuspitoisuuden ollessa 8,5 % ja tilavuuspainon 1 500 kg/m<sup>3</sup> leikkurin vetovastus oli 1,45 kN, ja maan kosteuspitoisuuden ollessa 7,0 % ja tilavuuspainon 1 600 kg/m<sup>3</sup> leikkurin vetovastus oli 1,59 kN. Vastaavasti vantaiden vetovastukset olivat 2,62 kN ja 3,44 kN. Leikkurin vetovastus oli pellolla tehdyissä kokeissa kutakuinkin yhtä suuri osuus vantaiden vetovastuksesta kuin laboratoriossakin tehdyissä kokeissa, 46 - 55 %.

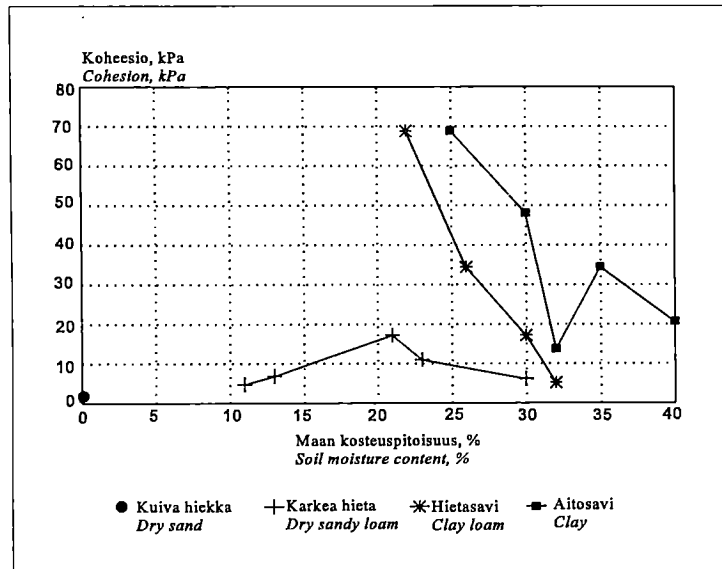
#### 4.2.4 Sijoitussyvyyden vaikutus sijoitusvantaan vetovastukseen

Vantaan vetovastus kasvaa sijoitussyvyyden kasvaessa eri maalajeilla eri tavoin. Kitkamaalajeilla, kuten hiekalla ja hiedalla, vantaan vetovastus kasvaa polynomiaalisesti työsyvyyden kasvaessa. Koheesiomaalajeilla, kuten erilaisilla savilla, vetovastus kasvaa neliössä

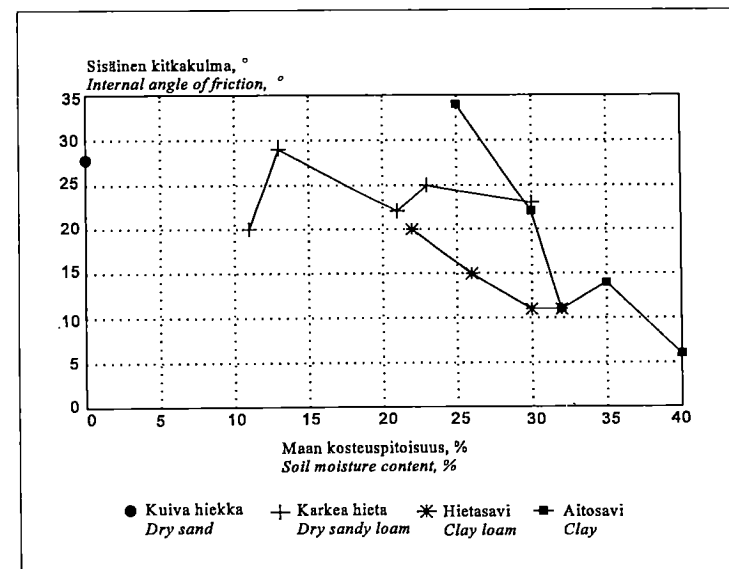
sijoitusyvyyden kasvuun nähden. Siten lietettä ei kannata ainakaan koheesiomaalajeilla sijoittaa yhtään syvemmälle kuin on välttämätöntä. (ANON. 1989, DRASFIELD ym. 1964, s. 220.)

#### 4.3 Maalajin ja maan kosteuden vaikutus sijoitusvantaan vetovastukseen

Maalaji ja maan kosteuspiitoisuus vaikuttavat maan koheesioon, adheesioon ja sisäiseen kitkakulmaan huomattavasti. Maan leikkauslujuuden osan, koheesiovoiman, osuus vetovastuksesta voi olla jopa 87 - 98 % (STAFFORD 1979, s. 49). Koheesiovoimat ovat pienimmillään, kun maan kosteuspiitoisuus on hieman kutistumisrajaa suurempi (SPOOR 1975, s. 130). Myös muut maan leikkauslujuuden osat kuin koheesio huomioon ottaen maan leikkauslujuus on pienimmillään, kun sen kosteuspiitoisuus on hieman kutistumisrajaa pienempi (SPOOR 1975, s. 131). Savimaan kosteuspiitoisuus on tällöin 17 - 19 % (SITKEI 1983, s. 65). Suurimmillaan maan leikkauslujuus on hieman alemman muovailtavuusrajan yläpuolella. Maan kosteuspiitoisuuden kasvaessa tästä kohti ylempää muovailtavuusrajaa vantaan vetovastus pienenee jälleen. (SPOOR 1975, s. 131.) Kuvioissa 2 ja 3 on kuvattu maan kosteuspiitoisuuden vaikutusta eräiden maalajien koheesioon ja sisäiseen kitkakulmaan. Koheesion, adheesioon



**Kuvio 2.** Eräiden maalajien kokeesion muuttuminen maan kosteuspiitoisuuden muuttuessa (ANON. 1989 ja McKEYS 1985).  
**Diagram 2.** The effect of soil moisture content on the cohesion of the soil for some soil types (ANON. 1989 and McKEYS 1985).



**Kuvio 3.** Eräiden maalajien sisäisen kitkakulman muuttuminen maan kosteuspiitoisuuden muuttuessa (ANON. 1989 ja McKEYS 1985).

**Diagram 3.** The effect of soil moisture content on the internal angle of friction of the soil for some soil types (ANON. 1989 and McKEYS 1985).

sekä maan sisäisen kitkakulman suureneminen lisäävät vantaan vetovastusta. Koheesio kuvaa maan sisäistä kitkavoimaa ja adheesio maan ja vantaan välistä kitkavoimaa. Sisäinen kitkakulma kuvaa maan leikkauslujuutta maan siirtymisen suuruutena suhteessa siihen kohdistuvaan voimaan mittauslaitteessa. (ANON. 1989.) Kuivassa maassa adheesio on pieni eikä aiheuta suurta vastusta.

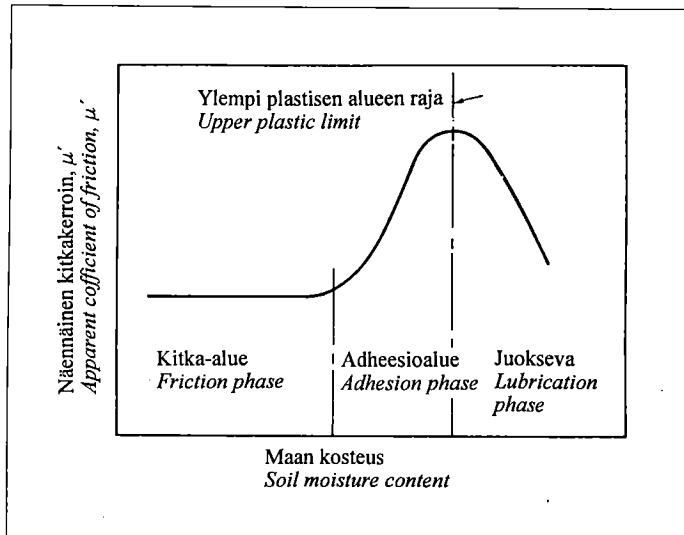
Kuviossa 4 on esitetty adheesio muuttuminen maan kosteuspuitoisuuden muuttuessa. Kosteuspuitoisuuden kasvaessa se alkaa kasvaa vasta kieritysräjällä ja saavuttaa huippunsa juoksutusrajalla. Maan kosteuspuitoisuuden noustessa juoksutusrajan yli alkaa vesi toimia voiteluaineena maan ja vantaan välillä, ja adheesio pienenee uudelleen.

Maan käyttäytyminen vantaan ympärillä muuttuu sen kosteuspuitoisuuden noustessa tietyn rajan yli. Tätä kosteampi maa virtaa

vantaan ohi plastisesti, ja tätä kuivempi maa murtuu. Savimaissa tämä kosteuspuitoisuuden raja on noin 29 % ja hiekkamaissa noin 13 - 16 %. Myös vannaskulman kasvattaminen 45°:sta kohti 90°:tta muuttaa savimaan käyttäytymistä samaan suuntaan kuin maan kosteuspuitoisuuden kasvu alemman muovailtavuusrajan alapuolella. Vannas, jonka vannaskulma on 45°, murustaa maata jännitysten avulla syvyydelle, joka vastaa 2,7-kertaista vantaan työleveyttä. Pystyvantaan murustaminen jännitysten avulla ulottuu vain syvyydelle, joka vastaa 0,6-kertaista vantaan työleveyttä. Syvemmillä maa murustuu virtausperiaatteella, jolloin vantaan vaikutusalue on kapea. (STAFFORD 1979, s. 50 - 51, O'CALLAGHAN ja MCCULLEN 1965, s. 252, 254, PAYNE ja TANNER 1959, s. 319.)

#### 4.4 Tiivistyspyörän vetovastus

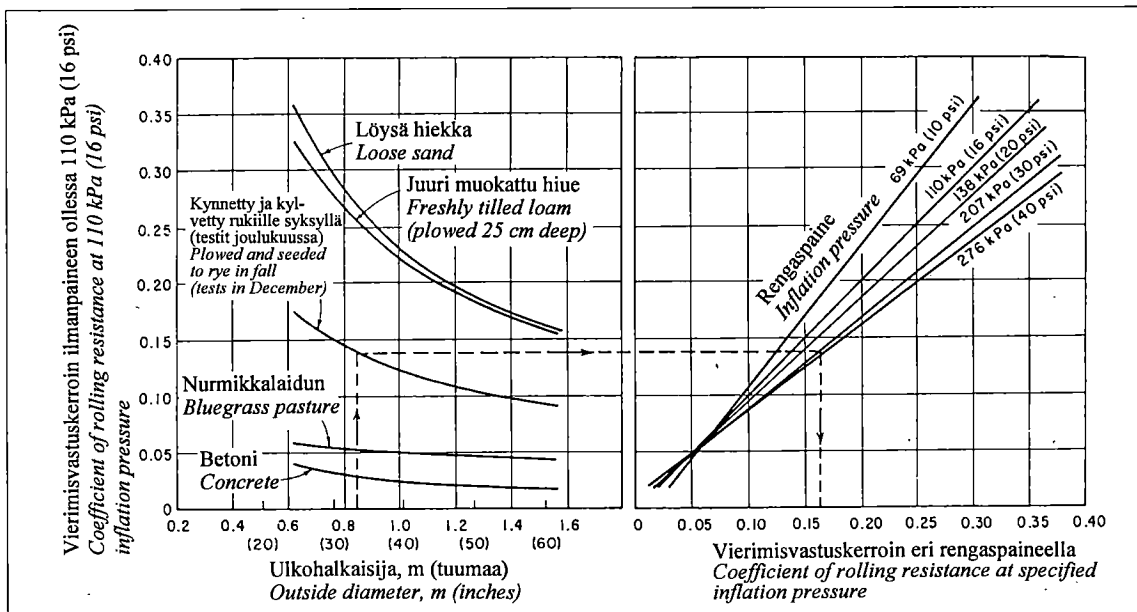
Kovan tiivistyspyörän vetovastukseen vaikuttaa sen paino, halkaisija, leveys, pinnan muoto sekä maan kovuus. Ilmakumirenkaisen tiivistyspyörän vetovastukseen vaikuttaa periaatteessa myös rengaspaine. Rengaspaineella ei ole kuitenkaan käytännön merkitystä, sillä tiivistyspyörän ilmakumirenkaassa joudutaan käyttämään niin suurta painetta, että ilmakumirenkaallisen tiivistyspyörän ominaisuudet ovat samanlaiset kuin kovankin tiivistyspyörän. Jos tiivistyspyörän rengas joustaisi, sijoitusyvyys ei säilyisi vakiona. (ANON. 1968, s. 386, WONG 1989, s. 202 - 210.)



**Kuvio 4.** Maan kosteuspuitoisuuden vaikutus maan ja metallin väliseen adheesioon (KEPNER ym. 1982, s. 120).

**Diagram 4.** Effect of soil moisture content on the adhesion between soil and metal (KEPNER et al. 1982, p. 120).

Tiivistyspyörän vetovastus pienenee sen halkaisijaa suurennettaessa ja suurenee sen painoa lisättäessä. Kuperapintaisen tiivistuspyörän vetovastus on suurempi kuin vastaavan kokoisen sileä- tai koverapintaisen. Sileäpintaisen tiivistuspyörän vetovastus on näistä kolmesta vaihtoehdosta pienin. Pyörän pinnan muodon merkitys on kuitenkin vähäinen. Nurmella ei pyörän halkaisijalla tai rengaspaineella ole juurikaan vaikutusta vierimisvastuskertoimeen, kuten kuviosta 5 selviää.



**Kuvio 5.** Ilmakumirenkaallisen pyörän halkaisijan ja renkaan ilmanpaineen vaikutus pyörän vierimisvastuskertoimeen (KEPNER ym. 1982, s. 509).

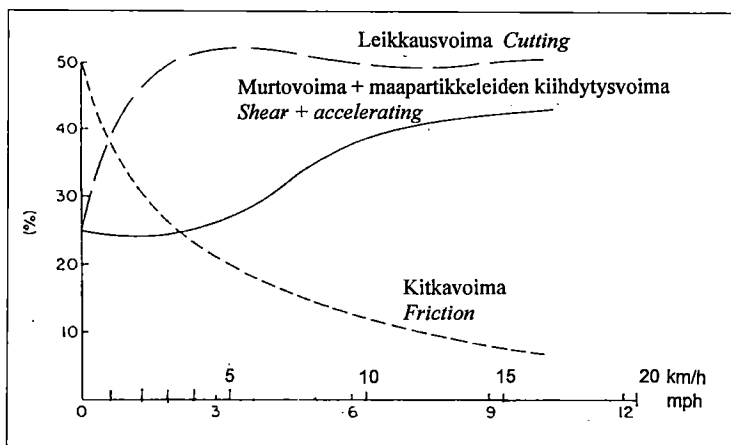
**Diagram 5.** Effect of the diameter and air pressure of an air-filled rubber tyre on the coefficient of rolling resistance (KEPNER et al. 1982, p. 509).

#### 4.5 Ajonopeuden vaikutus vantaan vetovastukseen

Vantaan vetovastus kasvaa ajonopeuden kasvaessa. Ajonopeuden muutos vaikuttaa vantaan vetovastukseen erityisesti savimailla. Kitkamailla ajonopeuden vaikutus vantaan vetovastukseen on pieni. Savimaillakin ajonopeuden kasvu lisää vetovastusta vain vähän, kun maan kosteuspitoisuus on alempaa muovailtavuusrajaa pienempi. Tällöin maan koheesiosta aiheutuva vetovastus kasvaa logaritmisesti ajonopeuden kasvaessa, jolloin vetovastuksen kasvunopeus hidastuu ajonopeuden kasvaessa. Sen sijaan, jos savimaan kosteuspitoisuus on alempaa muovailtavuusrajaa suurempi, ajonopeuden kasvu lisää vetovastusta eksponentiaalisesti. (ROWE ja BARNES 1961, s. 57, STAFFORD ja TANNER 1983a, s. 245, DRANSFIELD ym. 1964, s. 220, STAFFORD 1979, s. 50.) Vantaan vetovastuksen kasvu ajonopeuden kasvaessa johtuu pääasiassa vantaan irrottamien maapartikkeleiden kiihtyvyyden kasvusta, mikä lisää niiden sisäistä kitkaa, sekä maan leikkaamiseen tarvittavan voiman suurenemisesta. Sen sijaan ajonopeus ei vaikuta vantaan ja maan väliseen adheesivoimaan eikä maan sisäiseen kitkaan. Se vaikuttaa kuitenkin maan ja vantaan väliseen kitkaan. Vantaan ja maan välinen kitka kasvaa logaritmisesti ajonopeuden kasvaessa. (KEPNER ym. 1982, s. 133, ANON. 1968, s. 318, ROWE ja BARNES 1961, s. 57, STAFFORD ja

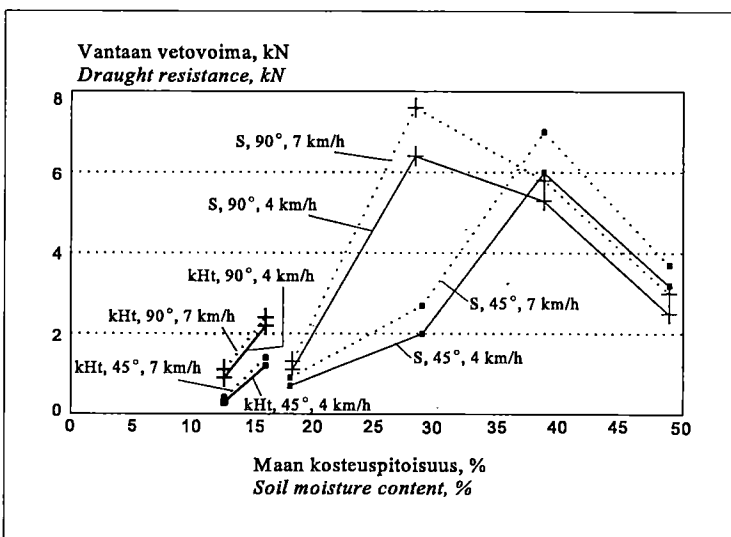
TANNER 1983a, s. 245 - 258, STAFFORD ja TANNER 1983b, s. 325.) Näiden tekijöiden osuudet vantaan vetovastuksesta eri ajonopeuksilla voidaan todeta kuvioista 6.

STAFFORD (1979) on tutkinut ajonopeuden vaikutusta 40 mm leveään ja 150 mm syvyydessä työskentelevän vantaan vetovastukseen. Maalajit olivat karkea hieta ja savi, joissa oli erilaisia kosteuspiitoisuuksia. Vannaskulmat olivat 45° ja 90°. Kuviossa 7 on esitetty vetovastuksen muutos ajonopeuden kasvaessa 4 kilometristä tunnissa 7 kilometriin tunnissa, minkä voidaan katsoa olevan sopiva nopeusalue lietteen sijoituksessa. Kuten kuviossa 7 voidaan havaita, ajonopeuden nosto lisää vetovastusta eniten savimailla kosteuspiitoisissa, jossa adheesion vaikutus on suuri. Muuten ajonopeudella ei ole kovin suurta vaikutusta vantaan vetovastukseen.



**Kuvio 6.** Leikkaamisen, kitkan ja maapartikkeleiden liike-energian suhteellinen osuus savimaata työstävän terän vetovastuksesta (ANON. 1968, s. 318).

**Diagram 6.** Relative shares of cutting, friction and kinetic energy (shear + acceleration) of the draught resistance of a tine tilling clay soil (ANON. 1968, p. 318).



**Kuvio 7.** Ajonopeuden ja maan kosteuden vaikutus vantaan vetovastukseen karkeassa hiedassa ja savessa vannaskulmien ollessa 45 ja 90° (STAFFORD 1979, s. 45 - 46).

**Diagram 7.** Effect of travelling speed and soil moisture content on the draught resistance of a tine tilling sandy loam and clay at 45 and 90° leg rake angle. kHt = sandy loam, S = clay (STAFFORD 1979, p. 45 - 46).

## 5 VANTAIDEN AIHEUTTAMAT KASVUSTOVAURIOT

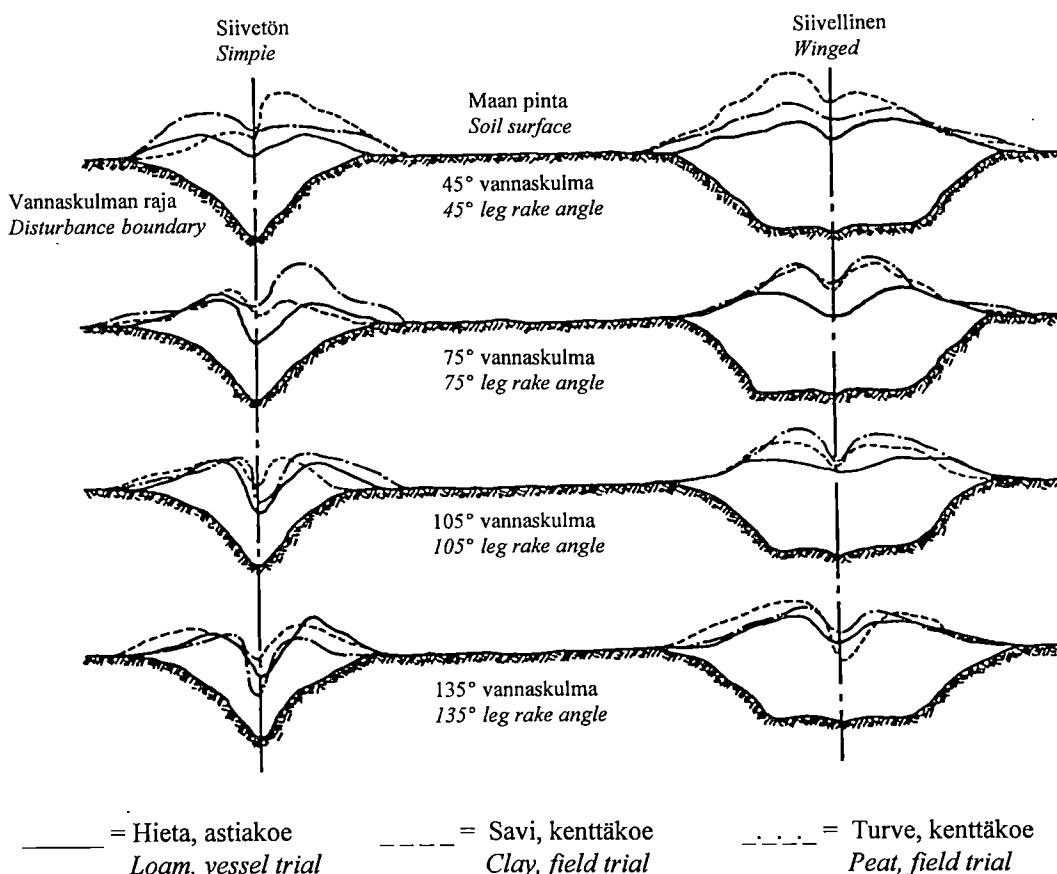
### 5.1 Vantaan mitoituksen ja rakenteen vaikutus kasvustovaurioihin

#### 5.1.1 Vannaskulman ja vantaan leveyden vaikutus kasvustovaurioihin

Vetovantaan aiheuttamat kasvustovauriot ovat suuremmat kuin laahavantaan aiheuttamat, koska se nostaa maata edessään ja turmelee kasvustoa sekä tekee pellon pinnasta epätasai-

sen. Tämä tappaa kasvuston kuivissa oloissa sijoitusvaon kohdalla. Lisäksi pellon epätasaisuus vaikeuttaa sadonkorjuuta ja alentaa sadon laatua. Laahavannas sen sijaan ei kohota maata, vaan painaa sitä alaspäin. (WARNER ja GODWIN 1988, s. 288.) Myös ruotsalaisissa tutkimuksissa parhaaksi sijoitusvannastyypiksi on todettu laahavannas (RODHE ym. 1988, s. 5).

Vannaskulmalle tulee etsiä sellainen kompromissi, jota käyttämällä kasvustovauriot jäävät pieniksi, eikä vetovastus kasva kohtuuttomaksi. Vaihtelevien olosuhteiden takia vannaskulman tulisi olla säädettävä. HANNin ym. (1987) mukaan  $105^\circ$ :n vannaskulmaa käyttämällä kasvustovauriot jäävät pieniksi eikä vetovastus ole kuin 30 - 50 % suurempi kuin käytettäessä  $45^\circ$ :een vannaskulmaa. Tämä vetovastuksen kasvu saattaa olla hyvin merkityksetön verrattuna kasvustovaurioiden vähentymiseen. Vannaskulman kasvattaminen aina  $100^\circ$ :seen saakka vähentää maan pintaan syntyviä vaurioita ilman, että vantaan vetovoima tai vannasta kohottava voima kasvaisi merkittävästi (WARNER ja GODWIN 1988, s. 287). Myös ARAYAn (1994, s. 51) mukaan sijoitusvantaan vannaskulman tulisi olla  $90^\circ$ . Kuvassa 7 on esimerkkejä vannaskulman vaikutuksesta maan pinnan muotoon sijoituksen jälkeen.



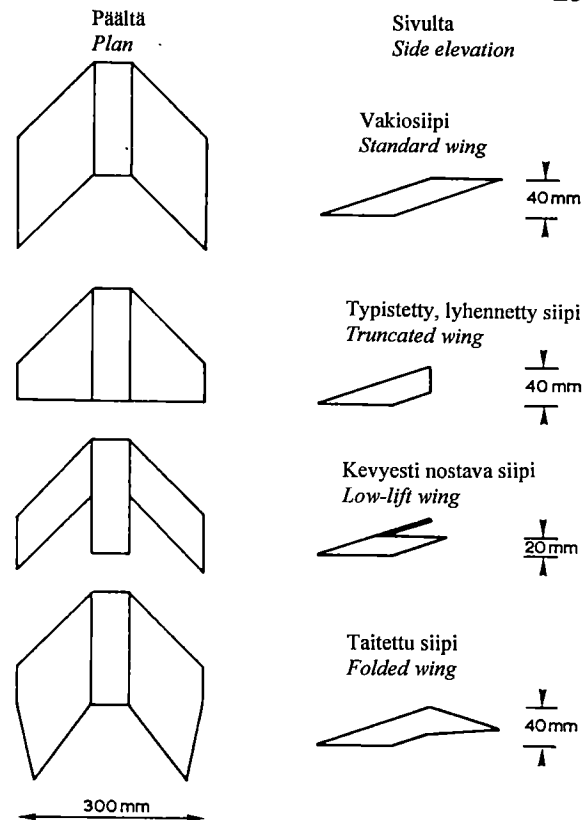
**Kuva 7.** Vannaskulman vaikutus maanpinnan muotoon sijoituksen jälkeen käytettäessä siivellistä ja siivetöntä vannasta lietalannan sijoittamiseen hieta-, savi- ja turvemaalla (WARNER ja GODWIN 1988, s. 292).

**Figure 7.** Effect of leg rake angle of the tine on the shape of the soil surface after injecting slurry with a tine with wings and without wings on loam, clay and peat soil (WARNER and GODWIN 1988, p. 292).

PAYNEN ja TANNERIN (1959, s. 319) mukaan pystyvantaan leveyden tulee useimmissa maalajeissa olla suurempi kuin 38 mm, jotta se muokkaisi maata. Sijoitettaessa lantaa kasvustoon tavoitteena on muokata maata mahdollisimman vähän. Parhaimmillaan tilanne on, kun maa käyttäytyy elastisesti. Elastisesti maa käyttäytyy vasta, kun vantaan leveys on alle 10 mm (Zelenin Ref. PAYNE 1956, s. 36). Myös ARAYA (1994, s. 51) mukaan sijoituslaitteen vantaan leveyden tulisi olla alle 15 mm. Siten sijoitusvantaan ojaksen tulee olla leveydeltään mieluiten alle 10 mm, mutta kuitenkin korkeintaan 38 mm.

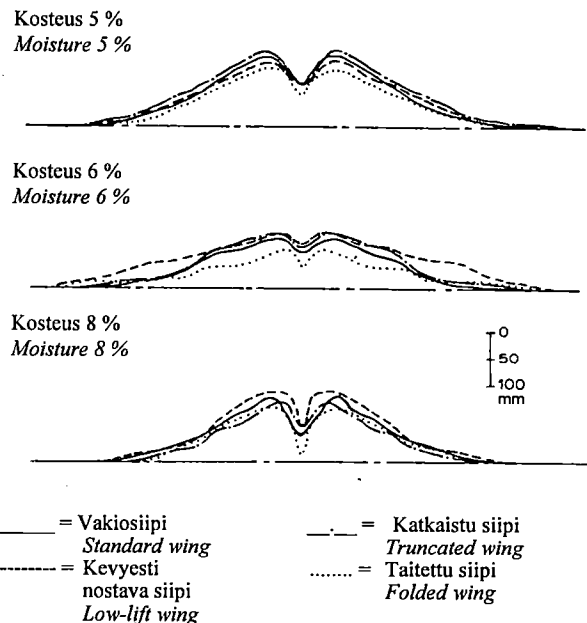
### 5.1.2 Sijoitusvantaan siiven vaikutus kasvustovaurioihin

Siipivantaan avulla liete voidaan sijoittaa matalaan ja vaakatasoon aerobeihin olosuhteisiin, jolloin siinä ei muodostu kasveille myrkyllisiä yhdisteitä, kuten sijoitettaessa siivettömällä vantaalla syvälle ja pystytasoon anaerobisiin oloihin (TUNNEY ja MOLLOY 1986, s. 97). Sijoitusvantaan siipi vaurioittaa kasvustoa enemmän kuin siivetön leventämällä vantaan aiheuttamaa kohoumaa pellon pinnassa sekä katkaisemalla kasvien juurikontaktin leveämmältä alueelta. Toisaalta se mahdollistaa vannasvälin suurentamisen, koska siivellistä vannasta käyttämällä saavutetaan tasaisempi ravinnejakauma ja suurempi levitysmäärä vannasta kohden. Kuvassa 8 on erilaisia siipivantaan siipimalleja. Kuvasta 9 ilmenee niiden käytön vaikutus kolmessa eri kosteuspitoisuudessa olleen savimaan maanpinnan muotoon sijoituksen jälkeen. Siiven malli ei näytä juurikaan vaikuttavan kasvustovaurioiden suuruu-



Kuva 8. Erilaisia siipivannasmalleja (WARNER ym. 1991, s. 198).

Figure 8. Different types of tines with wings (WARNER et al. 1991, p. 198).



Kuva 9. Kuvan 8 erilaisten siipimallien vaikutus vantaan aiheuttamiin muutoksiin savimaan pinnanmuodossa sijoituksen yhteydessä (WARNER ym. 1991, s. 199).

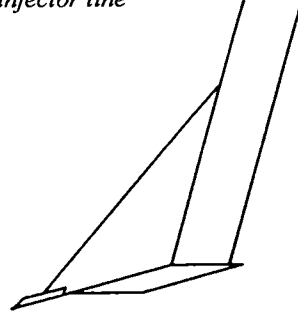
Figure 9. The deforming effect on the surface of clay soil of the different types of tines in figure 8 (WARNER et al. 1991, p. 199).

teen, kunhan sen leveyttä, korkeutta tai nostokulmaa ei muuteta. Taitettu siipi näyttää kuitenkin muuttavan maanpinnan profiilia vähiten. (WARNER ym. 1991, s. 199 - 200.)

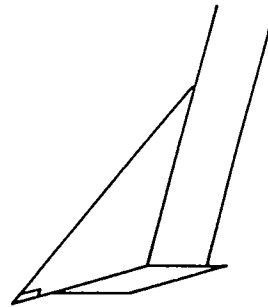
### 5.1.3 Vantaan kärjen vaikutus kasvustovaurioihin

Kuvassa 10 esitetään kärjellisen ja kärjettömän vantaan välinen rakenne-ero (WARNER ym. 1991, s. 197). Maahakuinen pienessä kulmassa maanpinnan tasoon nähden oleva vantaan kärki aiheuttaa suurimmat kasvustovauriot. Tämä johtuu siitä, että juuri vantaan kärki irrottaa päällään olevan maan, kuten vantaan kärki kyntöauroissa. Irronnut maakerros nousee vantaan ja siiven nostamana ylöspäin. Kasvusto vaurioituu, ja pellon pinta tulee epätasaiseksi. Kärjen ja maanpinnan välisen kulman suurentaminen vähentää sijoituksessa muodostuvia vaurioita maanpinnassa ja kasvustossa. Kärjetön vannas työntää maata edellään ja kiilaa sivuilleen mutta ei kohota sitä. Sijoitusvantaan tulisi olla kärjetön, jos se ilman sitä saadaan pysymään maassa. Kärjellinen vannas on kuitenkin parempi vaihtoehto kuin pienessä vannaskulmassa oleva vannas.

Kärjellinen sijoitusvannas  
*Tipped injector tine*



Kärjetön sijoitusvannas  
*Non-tipped injector tine*



**Kuva 10.** Kärjellinen ja kärjetön sijoitusvannas (WARNER ym. 1991, s. 197).

**Figure 10.** Tipped and non-tipped injector tine (WARNER et al. 1991, p. 197).

### 5.1.4 Leikkurin vaikutus vantaan aiheuttamiin kasvustovaurioihin

Leikkuriton vannas kerää kasvinjätteistä eteensä kasvavan kasan, joka vantaan liikkuessa pellon pintaan nähden rikkoo sitä ja vaurioittaa siinä kasvavaa kasvustoa (KEPNER ym. 1982, s. 139). Kasvustoon sijoitettaessa on käytettävä pyörivää leikkuria. Veitsileikkuri ei riitä, koska se pystyy leikkaamaan ainoastaan maata, ei irrallisia kasvinjätteitä. Se ei myöskään paina kasvinjätteitä vantaan alle, kuten pyörivä leikkuri. Kuvasta 11 ilmenee leikkurittoman ja leikkurillisen vantaan toiminta nurmessa.



**Kuva 11.** Leikkurillisen ja leikkurittoman vantaan toiminta nurmessa, jonka pinnalla on jonkin verran kasvinjätteitä. Leikkuriton vannas kerää kasvinjätteitä.

*Figure 11.* The function of a tine with a disc couler in front of it and a tine without disc couler on grassland with somewhat plant residues on the surface. The tine without couler collects plant residues.

### 5.1.5 Sijoitussyvyyden vaikutus vantaan aiheuttamiin kasvustovaurioihin

Matalaan sijoittavan vantaan siipi saattaa kuivassa maassa katkaista kasvien juurien kontaktin maahan. (HANN ym. 1987, s. 7.) Tämä tappaa kasvuston vantaan vaikutusalueelta. Syväälle sijoitettaessa vantaan siipi ei suoraan vaurioita juuristoa, mutta etenkin kosteissa olosuhteissa liete voi joutua anaerobisiin olosuhteisiin, jolloin liete mätänee ja siinä muodostuu kasveille myrkyllisiä yhdisteitä (TUNNEY ja MOLLOY 1986, s. 97). Nurmen satotappiot kasvavat sijoitussyvyyden kasvaessa, koska vantaan aiheuttama vaurioalue levenee sijoitussyvyyden kasvaessa. LANDE CREMERin (1986, s. 100) mukaan nurmen kuiva-ainesato laskee noin 50 kg/ha sijoitussyvyyden senttimetriä kohti. Vantaan siipi vaurioittaa juuristoa sijoitussyvyyden yläpuolelta ainakin siiven paksuuden ja nostokorkeuden verran.

### 5.1.6 Tiivistyspyörän vaikutus vantaan aiheuttamiin kasvustovaurioihin

Sijoitusvantaan tekemän vaon sulkevan tiivistyspyörän käyttö on välttämätöntä juurikontaktien katkeamisen aiheuttamien kasvustovaurioiden vähentämiseksi (WARNER ja GODWIN 1988, s. 299). Ilman vannasta seuraavaa tiivistyspyörää sijoitusvako jää auki, ja varsinkin kuivissa oloissa kasvusto kuolee sen ympäriltä juurikontaktien menettämisen vuoksi. Kuvassa 12 on esitetty esimerkki sijoitusvantaan tekemän vaon poikkileikkauksesta ennen kuin tiivistyspyörä on tiivistänyt vakoa ja sen jälkeen.

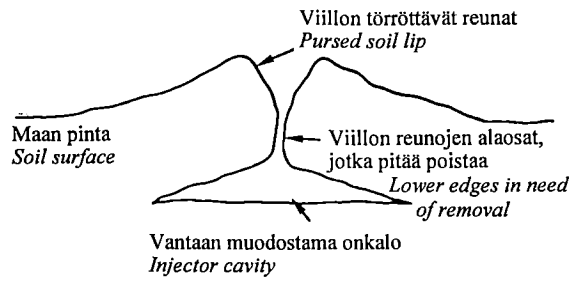
Halkaisijaltaan 25 cm olevan tallaspyörän nurmen pintaan kohdistaman painon tulisi olla 2,5 kN sen leveyden metriä kohti. Parhaan nurmisadon saamiseksi tallaspyörän painoa ei tule nostaa niin suureksi, että sijoitusvantaan jälkeensä jättämä maavalli painuu kokonaan nurmen alkuperäisen pinnan tasoon. Tallaspyörän nurmen pintaan kohdistama paine on sopiva, kun sijoitusvantaan nostama maavalli painuu noin puoleen korkeudestaan. Savimailla nurmisatoa voidaan parantaa käyttämällä tiivistyspyörän keskilinjalle kiinnitettyä kapeaa leikkaavaa noin 2,5 cm korkeaa vannetta. Hietamaalla ja savimaan ollessa kostea tästä vanteesta on haittaa, joten se on oltava poistettavissa. (WARNER ym. 1991, s. 202 - 206.)

Sijoituksen jälkeen sijoitusvako sulkeutuu osittain tiettyssä ajassa painovoiman vaikutuksesta. Tiivistyspyörän tulee täydentää tätä luonnollista sulkeutumista vasta sen jälkeen, kun tämä luonnollinen painuminen on lakannut. Jos tiivistyspyörä on liian lähellä sijoitusvannasta, joudutaan käyttämään tarpeettoman painavia tiivistyspyöriä, ja tarpeettoman väkivaltaisen sijoitusvaon sulkeminen turmelee kasvuston tiivistyspyörän tallaamalta alueelta. Esimerkiksi kasvattamalla vantaan ja tiivistyspyörän etäisyyttä 65 cm:stä 88 cm:iin vaon sulkeutuminen ja pellon pinnan tasaisuus paranee oleellisesti. (WARNER ym. 1991, s. 201, 206.)

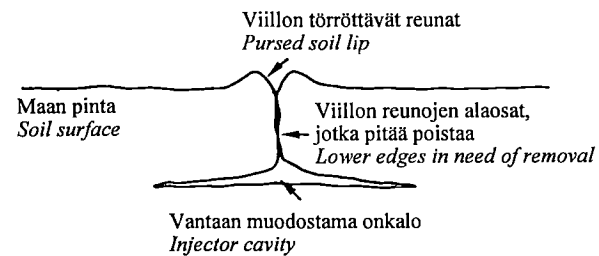
## 5.2 Maalajin ja maan kosteuden vaikutus vantaan aiheuttamiin kasvustovaurioihin

Maan kosteuspitoisuuden ollessa pieni vannas rikkoo maan edessään kokkareiksi ja nostaa niitä pintaan, kun taas kosteuspitoisuuden ollessa suuri maa liukuu vantaan ohi, eikä selviä vaurioita ilmene. Pienen ja suuren kosteuspitoisuuden alueen raja on tässä mielessä hieman kieritysrajan alapuolella, ja kasvustovauriot ovat pienimmillään tästä aina kenttäkapasiteettiin asti. (STAFFORD 1979, HALL 1986, s. 87, GODWIN 1985, s. 70.) Savimailla sijoitusvantaiden nurmeen aiheuttamat kasvustovauriot ovat siten pienimmillään, kun vetoastus on suurimmillaan. Hietasaven kieritysraja on noin 25 % ja aitosaven noin 45 %.

Ennen tiivistystä  
Before pressing



Tiivistyksen jälkeen  
After pressing



0  
50  
100  
150  
mm

**Kuva 12.** Sijoitusvantaan tekemän vaon poikkileikkaus ennen ja jälkeen tiivistyspyörän tiivistystä (WARNER ym. 1991, s. 200).

**Figure 12.** The cavity produced by the injector tine before and after it is pressed by the press wheel (WARNER et al. 1991, p. 200).

Kitkamaalajeilla kosteuspitoisuus voi sijoituksen aikaan olla huomattavasti alhaisempi kuin savimailla. Näillä mailla on voidaan sijoittaa pienin kasvustovaurioin jo niiden ollessa 8 %:n kosteuspitoisuudessa. (WARNER ja GODWIN 1988, s. 296 - 297.)

### 5.3 Vantaiden välisen etäisyyden vaikutus vantaiden aiheuttamiin kasvustovaurioihin ja ravinnejakauman tasaisuuteen

LARSENin ja KELLERin (1985) kolmivuotisissa kokeissa sijoitusvantaiden ollessa 3,5 cm leveät ja työsyvyyden 10 - 15 cm satotappiot olivat olleet pienemmät vannasvälin ollessa 60 cm kuin 30 cm. Satotappiot olivat olleet vielä pienemmät, kun oli käytetty 37,5 cm leveää siipivannasta 75 cm:n vannasvälillä. Nurmi oli jyrätty sijoituksen jälkeen. Sijoitusvantaiden aiheuttamien vaurioiden aiheuttama sadonalennus oli suurin toisessa sadossa, kun nurmea oli vaurioitettu sijoitusvantailla kahteen kertaan, keväällä ja ensimmäisen niiton jälkeen. Vantaiden aiheuttama satotappio toisessa sadossa oli keskimäärin jopa 37 %, kun vantaiden väli oli 30 cm. Vannasvälin ollessa 60 ja 75 cm toisen sadon satotappio oli keskimäärin 27 %. Kun nurmea oli vaurioitettu vantailla keväällä sekä ensimmäisen ja toisen sadon korjuun jälkeen, 60 cm:n vannasväli tuotti pienimmän tappion kaikkien kolmen niiton yhteisessä sadossa. Savimailla satotappio oli selvästi suurempi kuin hietamailla. Savimailla satotappio oli yhdenkin vaurioituskerran jälkeen 15 - 19 % ja kolmen vaurioituskerran jälkeen 20 - 30 %. Hietamailla vastaavat satotappiot olivat järjestyksessä 8 - 10 % ja 14 - 26 %. Vastaavasti HALLin (1986, s. 82) mukaan sijoitusvantaiden aiheuttamat vauriot alentavat nurmisatoa 15 - 20 %. Sijoitusvantaat aiheuttavat siten huomattavia satotappioita kasvavassa nurmessa vaurioittamalla kasvustoa.

Vantaiden aiheuttama satotappio kasvaa vannasvälin pienentyessä. Toisaalta vannasvälin pienentäminen parantaa nurmisatoa parantamalla ravinnejakaumaa. Siten vantaiden väli on kompromissi vantaiden aiheuttamien kasvustovaurioiden ja ravinteiden epätasaisen jakauman välillä. Kun lannan lannoitusvaikutus otetaan huomioon, sijoitusvantaiden aiheuttama nurmen satotappio oli LARSENin ja KELLERin (1986, s. 76) mukaan hiekkamaalla 10,7 - 11,7 % ja hiuemailla 17,0 - 20,6 % yhden sijoituskerran jälkeen riippuen sijoitusvantaiden välistä. Sijoituskertojen lisääminen kolmeen lisää satotappioita, mutta ei yleensä suhteessa sijoituskertojen määrään. Kuitenkin jos nurmeen sijoitetaan lantaa kannattaa kerralla lannoittaa useampaa kuin yhtä satoa varten. Nurmen satotappio kolmen sijoituskerran jälkeen on hiekkamaalla 16,3 - 28,8 % ja hiuemailla 22,2 - 33,6 %. Hiekkamailla nurmen satotappio oli pienin sijoitusvantaiden välin ollessa 60 cm sijoituskertojen lukumäärästä riippumatta, kun muut sijoitusvantaiden välivaihtoehdot olivat 30 ja 75 cm. Hiuemailla tilanne oli lähes sama. Kuitenkin yhden sijoituskerran satotappio jäi hieman pienemmäksi, jos sijoitusvantaiden väli oli 30 cm 60 cm:n asemesta. Myös BURGIN ym. (1967, s. 8) mukaan lannoitusvantaiden välien etäisyys saa nurmea lannoitettaessa olla korkeintaan 30 cm. Sen sijaan HALLin (1986, s. 80, 85 - 86) mukaan sijoitusvantaiden aiheuttama satotappio on pienempi sijoitusvantaiden välin ollessa 65 cm kuin

50 cm tai 85 cm, jos vantaassa on 28 - 30 cm:n levyinen siipi. Myös WARNERin ja GODWINin (1988) mukaan 28 cm leveää siipivannasta käytettäessä sijoitusvantaiden sopiva väli keskeltä keskelle on 65 cm. Savimaassa sijoitusvantaiden välillä on suurempi merkitys kuin hietamailla. Yleensä sato on alhaisin sijoitusvantaan ojaksen kohdalla. Toinen alhaisen sadon alue on kahden sijoitusvantaan välin keskellä. Sato on korkein sijoitusvantaan ojaksen jättämästä jäljestä jonkin verran sivussa, kutakuinkin sijoitusvantaan siiven kärjen kohdalla. Sijoitusvantaiden sopiva väli on olosuhteista ja siiven leveydestä riippuen 30 - 65 cm.

#### 5.4 Työleveyden vaikutus kasvustovaurioihin

Sijoituskaluston työleveys on aina pieni ja sen tähden pyörien tallaaman alueen osuus niin suuri, että kasvustoon levityksessä satotappio muodostuu aina liian suureksi, jos pyörien alueella sallitaan merkittävä tai täydellinen kasvuston tuhoutuminen. Sijoituskaluston vetävien pyörien luisto saa olla enintään 10 %, koska suurempi luisto lisää kasvustovaurioita merkittävästi (ARTS ym. 1992, s. 8 - 10). Lietevaunun pyörien vierintävastus ja toisaalta sijoitusvantaiden vetovastus saa olla korkeintaan traktorin vetokyvyn suuruisen kyseisellä vetopyörien 10 %:n luistolla. Vetävät pyörät saavat luistaa enemmän ainoastaan ennen orastumista. Aika ennen orastumista onkin paras aika sijoittaa lietelantaa viljakasvustoon.

Suuri työleveys vähentää sijoituksesta aiheutuvia kasvustovaurioita, koska tällöin kaluston pyörien tallaaman alueen osuus työleveydestä jää pienemmäksi kuin pientä työleveyttä käytettäessä. Koska levityskaluston pyörien aiheuttamat tallausringot ovat yleensä suuremmat kuin itse sijoitusvantaiden aiheuttamat, työleveyden merkitys on suuri. Työleveyden suurentaminen lisää kuitenkin samalla sijoituslaitteen vetovastusta. Tämä puolestaan lisää kasvustovaurioita vetävien pyörien tallaamalla alueella. HANN ym. (1987) mukaan vetävien pyörien luiston nurmisatoa alentavaa vaikutusta voidaan pienentää alentamalla levityskaluston pyörien nurmeen aiheuttamia pintapaineita. Pintapaineiden alentaminen vähentää satotappioita, vaikka luisto ei vähenisikään. Tavallisen levityskaluston aiheuttamat satotappiot pyöränjäljen alueella olivat luiston ollessa noin 2 % ja 20 % noin 40 % ja 60 % vastaavassa järjestyksessä. Kun luisto syöttöletkulevityksessä on noin 2 % ja traktori on varustettu normaalilla rengastuksella, on satotappio traktorin pyörien tallaamalla alueella noin 30 %. Jos traktorin rengasvarustus sallii rengaspaineiden laskemisen 40 kPa:iin satotappio laskee noin 12 %:iin. Matalapainerengastuksesta on hyötyä myös vaunulevityksen yhteydessä. HANNin ym. (1987) mukaan matalapainerenkaiden käyttö puolittaa ajourien syvyyden vaunulevityksessä ja vähentää ne kahteen kolmasosaan syöttöletkulevityksessä. Matalapainerenkaat tekevät tavallisia renkaita leveämmät raiteet, jolloin raiteiden leveyden kasvu kumoaa pienemmät satotappiot pyörien tallaamalla alueella. Pyöränjälkien aiheuttamia satotappioita voidaan pienentää vain pienentämällä luistoa vetovastusta pienentämällä. Eräs keino tässä on syöttöletkukaluston käyttö. Rengaspaineet kannattaa kuitenkin pitää niin pieninä kuin mahdollista, normaalia-

kin rengastusta käytettäessä. Todennäköisemmin työleveyden kasvattamisella voidaan vähentää kasvustovaurioita kunnes vetopyörien luisto ylittää 10 %. Luiston kasvaessa tästä kasvustovauriot lisääntyvät hyvin nopeasti, jolloin luiston lisääntymisen aiheuttamat kasvustovauriot lisäävät kasvustovaurioita todennäköisesti nopeammin kuin mitä työleveyden leventämisellä saavutettava tallatun alueen osuuden pieneneminen niitä vähentää. Siten työleveys kannattaa mitoittaa niin, että vetävien pyörien luisto on noin 10 %.

Levityskaluston vetovastus koostuu pyörien vierintä- ja vantaiden vetovastuksesta. Lietevaunun vierintävastus  $F_v$  voidaan laskea kaavalla 3.

$$F_v = R \cdot f \quad (3)$$

$F_v$ = vierintävastus, kN	$F_v$ = rolling resistance, kN
$R$ = lietevaunun akselipaino, kN	$R$ = axle load of the slurry tanker, kN
$f$ = vierintävastuskerroin, f	$f$ = coefficient of rolling resistance, f

Ulkohalkaisijaltaan 0,6 - 0,8 m:n renkaan vierintävastuskerroin nurmella on renkaan ilmanpaineesta riippumatta noin 0,06 - 0,07. Vierintävastuskerroin on sitä pienempi mitä suurempi renkaan halkaisija on. Nurmella vierintävastuskerroin ei merkittävästi pienene, vaikka renkaan ulkohalkaisija olisikin edellä esitettyä suurempi. Esimerkiksi lietevaunun, jonka telipaino on 8 000 kg (80 kN), pyörien vierintävastuksesta aiheutuva vetovastus on nurmella rengastuksesta riippuen 4,8 - 5,6 kN. Viljan oraalla ajettaessa vierintävastuskerroin on selvästi suurempi kuin nurmella ajettaessa, ja se pienenee selvästi renkaan ulkohalkaisijan kasvaessa ainakin 1,6 metriin saakka. Esimerkiksi traktorinrengas 13.6/12-38 on halkaisijaltaan juuri tämän kokoinen. Renkaan ulkohalkaisijan kasvaessa tästä ei vierintävastuskerroin enää merkittävästi pienene. Renkaan ulkohalkaisijan ollessa 0,6 metriä vierintävastuskerroin on orasmaassa 0,18 eli noin 2,6-kertainen vastaavaan nurmella vallitsevaan vierintävastuskertoimeen nähden. Siten renkaan ulkohalkaisijan ollessa 0,6 metriä samaisen lietevaunun pyörien vierintävastuksesta aiheutuva vetovastus on oraspellolla 14,4 kN. Renkaan ulkohalkaisijan kasvaessa orasmaan ja nurmen välinen ero vierintävastuskertoimessa pienenee. Renkaan ulkohalkaisijan ollessa 1,6 metriä sen vierintävastuskerroin orasmaassa on 0,09 eli 2,2-kertainen vastaavaan nurmella vallitsevaan. Siten renkaan ulkohalkaisijan ollessa 1,6 metriä samaisen lietevaunun pyörien vierintävastuksesta aiheutuva vetovastus on oraspellolla 7,2 kN eli vain puolet siitä, mikä se on renkaan ulkohalkaisijan ollessa 0,6 metriä. Siten levitettäessä lantaa orasmaahan levityskaluston pyörien ulkohalkaisijan tulisi olla vähintään noin 1,5 metriä. Nurmella voidaan käyttää vierintävastuksen puolesta vaikka tavallisia kuorma-auton renkaita. (MCKIBBEN ja DAVIDSSON 1940.)

Sijoitettaessa lantaa esimerkiksi kosteuspitoisuudeltaan 30 %:seen hietasavimaahan 6 cm:n syvyyteen vantaalla, jonka siiven leveys on 8 cm ja vannaskulma 90°, vantaan vetovastus on 0,7 kN. Jotta tässä tapauksessa voidaan sijoittaa lantaa 60 m<sup>3</sup>/ha ja jotta myös

ravinteiden jakautuminen olisi riittävän tasainen, tulee vantaiden välin olla 40 cm. Vaikka sijoituslaitteen työleveys olisi niinkin suuri kuin 4 metriä, eli sijoituslaitteessa olisi 10 vannasta, sijoituslaitteen kaikkien vantaiden vetovastus olisi vain 7 kN. Nurmella tällaisen lietevaunun sijoitusvantaiden vierintävästus on noin 55 - 60 % lietevaunun kokonaisvetovastuksesta. Täyden lietevaunun telipaino on 8 tonnia, ja saman vaunun ollessa tyhjä telipaino on noin 3 tonnia. Sijoitettaessa lähes tyhjällä lietevaunulla nurmeen sijoitusvantaiden osuus sen vetovastuksesta on huomattava, noin 70 %, koska lietevaunun pyörien vetovastus pienenee yli 60 % täysinäisen lietevaunun pyörien vetovastuksesta. Kun edellisen esimerkin mukaisen täysinäisen lietevaunun pyörien vierintävästuksen aiheuttaman vetovastuksen ja vantaiden yhteinen vetovastus nurmella on noin 11,8 - 12,5 kN, tyhjän lietevaunun tapauksessa se on noin 10,0 - 10,5 kN.

4-vetotraktorin vetovoima saadaan kaavalla 4 yhteenlasketusta etu- ja taka-akselin akselipainosta lietevaunun aisapaino huomioon ottaen. Takapyörävetoisesta traktorista otetaan huomioon ainoastaan taka-akselin akselipaino aisapaino huomioon ottaen. Saadusta vetovoimasta on lisäksi vähennettävä etuakselin vierintävästus.

$$F = \mu \cdot R \quad (4)$$

$F$  = vetovoima, kN

$\mu$  = kehävoimakerroin

$R$  = vetävien akseleiden akselipaino, kN

$F$  = traction force, kN

$\mu$  = coefficient of traction

$R$  = axle load on the driving axles, kN

Kehävoimakerroin on kostealla nurmella noin 0,25 ja kuivalla nurmella noin 0,3 luiston ollessa korkeintaan 10 % (ANON. 1989). Esimerkiksi jos nelivetotraktorin molempien akselien yhteinen akselipaino aisapainoineen on 6 000 kg (60 kN), mikä vastaa edellisen esimerkin täysinäisen lietevaunun vetämistä noin 3 500 kg painavalla traktorilla, sen vetovoima on nurmen kuivuudesta riippuen 15 - 18 kN. Siten se kykenisi vetämään edellä esitettyä lietevaunua ja sijoituslaitetta nurmella riippumatta lietevaunun rengasvarustuksesta. Sen sijaan sijoitettaessa orasmaahan lietevaunun renkaiden halkaisijan tulee olla vähintään noin 1,5 metriä, jotta kyseinen traktori kykenisi sitä vetämään. Ainoastaan pintalevitys orasmaahan on juuri ja juuri mahdollista käytettäessä pienihalkaisijaisia renkaita lietevaunussa.

## 6 YHTEENVETO SJOITUSLAITTEEN VAATIMUKSISTA

Kasvustoon sijoittamista varten tarkoitettujen sijoitusvantaiden suunnittelussa ja konstruoinnissa joudutaan tekemään kompromissi kasvustovaurioiden ja vetovastuksen välillä. Mulkokseen sijoittamisessa pelkästään minimoidaan vetovastus muokkauksen ollessa kuitenkin riittävä. Savimailla kasvustovauriot ovat pienimmillään, kun vetovastus on suurimmillaan. Karkeilla maalajeilla maan kosteuspitoisuudella ei ole juuri vaikutusta vetovastukseen. Kasvustoon sijoitettaessa vantaiden tulee olla sellaiset, että ne muokkaavat

maata mahdollisimman vähän. Silloin kasvustovauriot ovat pienimmät. Kasvustoon sijoittamiseen soveltuvat parhaiten kiinteäteräiset vantaat. Mullokseen sijoitettaessa tilanne on päinvastainen. Vantaiden tulee muokata maata niin paljon, että lanta tulee perusteellisesti sekoitetuksi maahan. Mullokseen sijoittamiseen voidaan käyttää myös pyöriväteräisiä vantaita. Sijoitettaessa kosteuspitoisuudeltaan 30 %:seen hietasavimaahan 60 m<sup>3</sup>/ha lietelantaa vetovastus on pystyvantaita käytettäessä noin 1,8 kN työlevyden metriä kohden. Tällöin työlevydelteään 3-metrinen sijoituslaitteen vantaiden vetotehon tarve on noin 16 kW, jos ajonopeus on 3,6 km/h. Lisäksi sijoituslaitteen muut komponentit, kuten tallauspyörät ja leikkurit, aiheuttavat vetovastusta. Sijoituslaitteen osuus sijoittavan lietevaunun vetovastuksesta on noin 55 - 70 % riippuen vaunun täyttöasteesta ja rengasvarustuksesta.

Merkittävin vetovastukseen ja kasvustovaurioihin vaikuttava tekijä on vannaskulma, jos vantaan rakennetta ei oteta huomioon. Sijoitettaessa kasvustoon sopiva kompromissi vannaskulmasta on pystysuorassa oleva vannas. Mullokseen sijoitettaessa kannattaa käyttää melko pientä vannaskulmaa, koska silloin vetovastus on pieni, vantaan tunkeutuvuus maahan hyvä ja lanta tulee muokatuksi maahan. Kasvustovaurioita lisäävistä rakenteellisista tekijöistä vantaan siipi on tärkein ja vantaan kärkipala toiseksi tärkein. Vantaan siipi lisää vetovastusta, jos vantaan ojaksen leveyttä tai työsyvyyttä ei muuteta. Vastaavasti kärkikapale vähentää vetovastusta. Vantaan siipi on kuitenkin yleensä tarpeellinen, koska sen avulla maahan saadaan riittävä määrä lietettä sijoitusyvyuden ollessa kuitenkin kohtuullinen. Siipi ei saa olla tarpeettoman nostava. Sijoitusyvyuden kasvaessa kasvustovauriot lisääntyvät hyvin nopeasti, jolloin tarkoituksenmukaisesta siivestä on enemmän hyötyä kuin haittaa. Vantaan kärkipalasta saatava hyöty rajoittuu vantaan parempaan tunkeutuvuuteen. Koska se aiheuttaa merkittäviä kasvustovaurioita, se on mahdollisuuksien mukaan parempi korvata lisäpainotuksella. Koska vantaalle asetettavat vaatimukset eroavat kasvustoon ja mullokseen levittämisen välillä näin paljon, on kumpaankin tarkoitukseen oltava erilaiset vantaat. Kummankin sijoitustilanteen vaatimukset voidaan kuitenkin toteuttaa yhdellä ja samalla sijoituslaitteella vaihtamalla vantaan kulutuskappaletta. Kasvustoon sijoituksessa ojaksen ja siiven tulee olla ainevahvuudeltaan alle 15 mm. Mullokseen sijoitettaessa tämä kulutuskappale korvataan leveällä noin 45°:een vannaskulmassa olevalla kulutuskappaleella. Vantaan leveyden tulisi tällöin olla noin 2/3 sijoitusyvyydestä.

Ammoniakin haihtumisen estämiseksi on sijoitusyvyuden oltava vähintään noin 6 cm. Se välttämätöntä myös siivellisen vantaan toimivuuden kannalta. Kun liete ei joudu liian syvälle maanpinnan alapuolelle, säilyy se aerobisissa tilassa ja denitrifikaatio jää vähäiseksi. Kasvustoon levityksessä tätä tavoitetta edesauttaa omalta osaltaan vantaan siipi, joka jakaa lannan tasaisemmin horisontaalitasossa kuin siivetön vannas. Suomalaisissa olosuhteissa jo 3 cm leveä siipi on riittävä. Ravinteiden tasaisen jakautumisen saavuttamiseksi siivettömien vantaiden väli saa olla korkeintaan 30 cm. Siivellisten vantaiden siiven kärkien väli voi olla korkeintaan samaiset 30 cm. Olosuhteiden vaihtelun takia vantaiden välin tulisi olla säädettävä.

Sijoitusvannasyksiköiden, jotka käsittävät itse vantaan lisäksi leikkurin ja tiivistuspyörän runkorakenteineen, on käännyttävä sivusuunnassa suhteessa kiinnityspalkkiin, jotta sijoituskalustolla voidaan tehdä ainakin loivia kaarteita. Niiden on myös käännyttävä pystysuunnassa, jotta kukin sijoitusvannasyksikkö voi mukautua yksilöllisesti maanpinnan korkeustason vaihteluihin. Vannas kannattaa kiinnittää sijoitusvannasyksikön runkoon joustopiikillä, koska tällöin vetovastus pienenee tietyissä sijoituksen kannalta optimaalisissa olosuhteissa suhteessa vastaavaan kiinteään kiinnitykseen. Kasvustoon sijoituksessa vantaiden edellä on oltava kiekkeleikkuri vantaiden tukkeutumisen estämiseksi. Sen asemaa suhteessa vantaaseen on voitava säätää pituus-, korkeus- ja sivusuunnassa. Tiivistuspyörä on tärkeä erityisesti sijoitettaessa lantaa kuivaan maahan, mutta se toimii samalla matalan sijoitussyvyyden vaatimana sijoitussyvyyden säätöelimenä muussakin tapauksessa. Sen tulisi seurata sijoittavan vantaan jäljessä vajaan metrin päässä. Siihen kohdistuvan paineen tulee olla noin 2,5 kN tiivistuspyörän leveyden metriä kohti. Koska tiivistuspyörä on yleensä kiinnitetty vantaaseen, sen painatuksessa tulee ottaa huomioon vantaaseen kohdistuvat vertikaaliset voimat. Siten painatusta on voitava säätää olosuhteiden ja vantaan säätöjen mukaan. Painatusjärjestelmä toimii samalla laukaisulaitteena. Kapea irrotettava 2,5 cm korkea vanne tiivistuspyörän kehän keskellä on eduksi.

Jakolaitteelta sijoitusvantaaseen johtavan putken halkaisijan tulee olla 30 - 100 mm. Lietteen syöttö on voitava katkaista nopeasti, kun sijoitusvantaat nostetaan ylös nurmesta. Lisäksi on eduksi, jos vantaille tulevat putket voidaan sulkea samassa yhteydessä mahdollisimman läheltä itse vannasta. Näillä ominaisuuksilla estetään lietteen joutuminen kasvustoon. Sijoituslaite ei saa tukkeentua helposti, ja lietemäärän tulee olla yhtä suuri eri vantaiden välillä. Vannasvälin ollessa pieni sijoitusvantaiden lukumäärä kasvaa niin suureksi, että se käytännössä edellyttää aktiivisen jakolaitteen käyttöä.

Sijoituslaitteen on oltava helposti sovitettavissa erimerkkisiin vaunuihin. Lietevaunun ja traktorin rengasleveyden sekä raidevälin olisi mahdollisuuksien mukaan sovittava vantaiden väliin, sillä vantaan kulkiessa pyörän jäljessä lisääntyvät kasvustovauriot sekä varsinkin vetovastus. Myös traktorin ja lietevaunun raidevälien sekä renkaiden leveyksien tulee olla keskenään yhtä suuret. Vetokoneen ja levitysvaunun kokosuhteiden tulisi olla sellaiset, että vetävien pyörien luisto on korkeintaan 10 %.

## 7 SAMMANFATTNING

### **Konstruktionskrav på myllningsaggregat för flytgödsel i finländska förhållanden**

Denna publikation är en litteraturoversikt, där författaren går igenom viktiga konstruktions- och dimensioneringsfaktorer för myllningsaggregat i internationell litteratur, anpassar dem till finländska förhållanden och specificerar vilka egenskaper ett myllningsaggregat bör ha i finländska förhållanden. Utifrån studien har vid VAKOLA byggts ett myllningsaggregat, som är avbildat på publikationens pärm.

När man planerar och konstruerar billar för myllning av flytgödsel i växande gröda är man tvungen att kompromissa mellan minimerat dragmotstånd och minimerade skador på grödan. Vid myllning i bearbetad jord minimerar man endast dragmotståndet, dock så att bearbetningen av jorden och därmed inblandningen av gödseln är tillräcklig. På lerjordar är skadorna på grödan minst när jordens vattenhalt är sådan att billens dragmotstånd är som störst. På grova jordarter har jordens vattenhalt just ingen inverkan på dragmotståndet. Vid myllning i gröda bör billarna vara utformade så att de bearbetar jorden så litet som möjligt, så att grödan skadas så litet som möjligt. För myllning i gröda lämpar sig billar med fast skär bäst. Vid myllning i bearbetad jord är situationen den motsatta. Billarna bör bearbeta jorden så mycket att gödseln blir ordentligt inblandad i jorden. Vid myllning i bearbetad jord kan man även använda billar med roterande skär. Vid myllning av 60 m<sup>3</sup> flytgödsel per hektar i molera med 30 % vattenhalt är dragmotståndet ca 1,8 kN per meter arbetsbredd om man använder billar med lodrätt stående billar. Det betyder att ett 3 meter brett myllningsaggregat behöver en drageffekt på 16 kW om körhastigheten är 3,6 km/h. Dessutom orsakar även myllningsaggregatets övriga komponenter, såsom ristar och tryckhjul, dragmotstånd. Myllningsaggregatets andel av dragmotståndet för en gödselvagn med myllningsaggregat är ca 55 – 70 % beroende på vagnens fyllnadsgrad och däckutrustning.

Den viktigaste faktorn för dragmotståndet och skadorna på grödan, om man inte beaktar billens konstruktion, är billens vinkel i förhållande till marken. Denna billvinkel definieras som vinkeln mellan billens framkant under markytan och markytan. Vid myllning i gröda är en lodrät bill en god kompromiss beträffande billvinkeln. Vid myllning i bearbetad jord är det bättre att använda en ganska liten billvinkel, för då är dragmotståndet litet, billens förmåga att tränga ner i marken god och gödseln blir inbearbetad i jorden. Den viktigaste av de konstruktionsmässiga faktorerna som ökar skadorna på grödan är vingarna på billen, och den näst viktigaste är framspets på billen. Att förse billen med vingarna ökar dragmotståndet, om man inte samtidigt ändrar på billens skaftbredd eller arbetsdjup. Att förse billen med en framspets minskar dragmotståndet. Det är i allmänhet dock nödvändigt med vingarna på billen för att få tillräckligt mycket gödsel myllad med ett måttligt myllningsdjup. Vingarna får inte ha onödigt stor lyftande effekt på jorden. Med ökat myllningsdjup ökar skadorna på grödan mycket snabbt, och då är det mera till nytta än till nackdel att ha ändamålsenliga vingarna. Nyttan med att ha framspets på billen begränsar sig till att billen får bättre inträngningsförmåga i marken. Eftersom den orsakar betydande skador på grödan, är det bättre att ersätta den med tilläggsvikter, om det finns möjlighet till det. Eftersom kraven på billen skiljer sig så mycket beroende på om den skall användas för myllning i gröda eller bearbetad jord, måste man ha olika billar för bägge ändamålen. Man kan dock fylla kraven för bägge myllningssituationerna med ett och samma myllningsaggregat genom att byta ut billarnas slitstycke. Vid myllning i gröda bör materialtjockleken i billskafvet och vingarna vara under 15 mm. Vid myllning i bearbetad jord ersätts detta slitstycke med ett brett slitstycke med ca 45° billvinkel. Billbredden bör då vara ca 2/3 av myllningsdjupet.

För att hindra ammoniakavdunstningen bör myllningsdjupet vara minst ca 6 cm. Detta är även nödvändigt för att vingförsedda billar skall fungera ordentligt. När gödseln å andra sidan inte placeras för djupt, förblir den i aeroba förhållanden och denitrifikationen blir liten. Vid myllning i gröda befrämjas detta ändamål av billens vingar, som fördelar gödseln jämnare i horisontalplanet än en bill utan vingar. I finländska förhållanden är redan en 3 cm bred vinge tillräcklig. Med vinglösa billar får avståndet i sidled mellan billarna vara högst 30 cm för att fördelningen av näring skall bli jämn. Med vingförsedda billar kan avståndet mellan två billars vingspetsar vara det nämnda 30 cm. På grund av att förhållandena varierar borde billavståndet i sidled vara reglerbart.

Billenheterna, som förutom själva billen omfattar även en skivrist och ett tryckhjul monterade på en stomme, bör kunna svänga sig i sidled i förhållande till tankvagnen, för att man skall kunna göra åtminstone vida svängar med ekipaget. De bör också kunna svänga sig i höjded, så att varje billenhet individuellt kan följa markytans höjdvariationer. Det lönar sig att fästa billen i billenhetens stomme med en S-harvpinne eller annan fjädrande pinne, för då minskar dragmotståndet i vissa optimala myllningsförhållanden jämfört med styv fästning av billen. Vid myllning i gröda bör det finnas en skivrist framför billen för att förhindra stockning i billarna. Skivristens läge i förhållande till billen bör vara ställbart i längd-, höjd- och sidled. Tryckhjul, som trycker igen skåran efter billen, är viktigt i synnerhet vid myllning i torr jord. Tryckhjulet fungerar samtidigt som det regleringsorgan för myllningsdjupet som behövs för grund myllning. Tryckhjulet bör befinna sig en knapp meter efter billen. Belastningen på tryckhjulet bör vara ca 2,5 kN per meter av hjulets bredd. Eftersom tryckhjulet vanligen är fäst vid billen, bör man beakta de lodräta krafter som verkar på billen när man bestämmer belastningen av tryckhjulet. Därför bör belastningen kunna regleras enligt förhållandena och billinställningen. Belastningssystemet fungerar samtidigt som utlösningssanordning vid för stort dragmotstånd på billen. Det är till fördel med en smal, 2,5 cm hög, löstagbar plåtrygg runtomkring tryckhjulets mitt. En sådan ger billenheten bättre riktningss stabilitet.

Diametern på slangen från fördelningsanordningen till billarna bör vara 30 – 100 mm. Pumpningen av gödsel bör kunna stoppas tillräckligt snabbt när billarna lyfts upp ur jorden. Dessutom är det till fördel om slangarna till billarna samtidigt kan stängas så nära billarna som möjligt. Med dessa egenskaper hindrar man att gödsel hamnar i grödan. Myllningsaggregatet får inte vara stockningskänsligt, och gödselödet skall vara lika stort genom alla billar. Vid litet billavstånd blir antalet billar så stort att det i praktiken är nödvändigt med en aktiv fördelningsanordning för fördelningen av gödselödet från pumpen till billarna.

Myllningsaggregatet bör lätt kunna monteras på flytgödselvagnar av olika märken. Vagnens och traktorns däckbredd och spårvidd bör såvitt möjligt dimensioneras så att de passar in mellan billarna, för om billar går i hjulspåren ökar skadorna på grödan och i synnerhet dragmotståndet. Traktorns och vagnens spårvidd samt däckbredder bör också vara sinsemellan lika. Storleksförhållandet mellan traktor och myllningsvagnen bör vara sådant att drivhjulens slirning är högst 10 %.

## 8 SUMMARY

### **Structural requirements for a slurry injector in Finnish conditions**

This publication is a review of the literature where the author goes through important factors for dimensioning and construction of slurry injectors dealt with in the international literature, adapts them to Finnish conditions and specifies the characteristics that a slurry injector should have in Finnish conditions. An injector has been built at VAKOLA on the basis of the study, which is pictured on the cover of the publication.

When designing and constructing injector tines for injection of slurry in soils with growing crops, one has to compromise between minimizing the damage on the crops and minimizing the draught resistance. When injecting slurry in tilled soil, only the draught resistance is minimized, but so that the tillage of the soil and therewith the mixing of slurry with the soil is still sufficient. On clays the damages on the crop are smallest when the moisture content of the soil is such that the draught resistance is biggest. On coarse soils the moisture content of the soil does not affect the draught resistance appreciably. When injecting slurry in crops, the tines should be designed so that they till the soil as little as possible. Then the damages on the crop are minimized. Tines with fixed share is the best type for injection in crops. When injecting slurry in tilled soil, the requirements are the opposite. Then the tines should till the soil enough so that the slurry is properly mixed into the soil. When injecting in tilled soil, tines with rotating share can also be used. When injecting 60 m<sup>3</sup> slurry per hectare in sandy clay with 30% moisture using vertical tines, the draught resistance is about 1.8 kN per metre working width. Hence, the traction power required for a 3 m wide injector is about 16 kW, if the travelling speed is 3.6 km/h. Additionally the other components of the injector, like press wheels and disc coulters, cause draught resistance. The injector counts for about 55 – 70% of the draught resistance of a slurry tanker with injector, depending on how full the tanker is and what kind of tyres it has.

The most important factor affecting the draught resistance and the damages on crops, if the design of the tines is not taken into consideration, is the leg rake angle of the tine. This angle is defined as the angle under the soil surface between the front edge of the tine and the soil surface. When injecting slurry in crops, an appropriate compromise for this angle is a vertical coulter. When injecting in tilled soil, it is better to use a rather small leg rake angle, since then the draught resistance is small, the penetration into the soil is good and the slurry is adequately mixed into the soil. The most important one of the design factors that increase the damages on the crops is wings on the tine, and the second most important one is the tine tip. Wings increase the draught resistance, unless the tine leg width or the working depth is changed at the same time. However, it is generally necessary to equip the tines with wings to get enough slurry injected at a moderate depth. The wings may not lift the soil too much. The damages on the crop increase very rapidly with

increased injection depth, and then appropriate wings give more advantages than disadvantages. Equipping the tine with a tip reduces the draught resistance. The advantage with tipped tines is limited to better penetration into the soil. Since the tip causes considerable damage to the crop, it is better to replace the tips with additional weights on the tines, if this is possible. Since the requirements on the tines are so different for injection in crops and in tilled soil, it is necessary with different tines for the both purposes. However, both needs can be met with the same injector, if the wearing part of the tines is changed. When injecting in crops, the thickness of the tine legs and wings may be max. 15 mm. When injecting in tilled soil, this wearing part is replaced by a wide wearing part with about 45° leg rake angle. The tine width should then be about 2/3 of the injection depth.

To prevent the volatilization of ammonia, the injection depth should be at least about 6 cm. This is also necessary for proper function of tines equipped with wings. When the slurry is not placed too deep, on the other hand, it remains in aerobic environment and the denitrification is small. When injecting in crops, this goal is promoted by wings on the tines, since tines with wings distribute the slurry better horizontally than wingless tines. In Finnish conditions a 3 cm wide wing is enough. For even distribution of nutrients, the lateral distance between wingless tines should be max. 30 cm. The lateral distance between tines with wings may be 30 cm between the wing-tips. Since the conditions vary, the lateral distance should be adjustable.

The tine units, which comprise a tine, a disc coulter and a press wheel mounted on a frame, should be able to swing laterally in relation to the tanker to enable at least wide turns with the equipment. They should also be able to swing vertically, so that each tine unit can follow the height variations of the ground individually. It is advantageous to mount the injector tine to the frame with an S-tine or other spring tine, because then the draught resistance decreases in certain optimal conditions compared to rigid mounting. When injecting in crops, there should be a disc coulter in front of the tines, to avoid blocking of the tines. The position of the disc coulter should be adjustable longitudinally, vertically and laterally in relation to the injector tine. A press wheel, which closes the slot opened by the injector tine, is important specially when injecting in dry soil. The press wheel also serves as the regulating device for the injection depth which is needed for shallow injection. The press wheel should be about one metre behind the injector tine. The load on the press wheel should be about 2.5 kN per metre of the width of the wheel. Since the press wheel is usually mounted to the injector tine, the vertical forces acting on the tine should be taken into consideration when the load on the wheel is dimensioned. The load should be adjustable according to the conditions and the adjustments of the tine. The loading system also works as a safety release when the tine is exposed to a too big draught resistance. It is advantageous with a narrow, about 2.5 cm high, demountable tin ridge around the middle of the periphery of the press wheel. That gives the tine unit better directional stability.

The diameter of the pipes from the flow distributor to the tines should be 30 – 100 mm. It must be possible to stop the pumping of slurry fast enough when the tines are lifted up

from the ground. Additionally it is a benefit if the pipes to the tines can be closed at the same time as near the tines as possible. With these functions, contamination of the crop with slurry can be avoided. The injector should not clog up easily, and the flow of slurry must be equal through all tines. With small lateral distance between the tines, their number becomes so big that it is necessary with an active distributor for the distribution of the slurry from the pump to the tines.

The injector must be easy to mount on tankers of different makes. The tyre and track widths of the tanker and the tractor should, if possible, be dimensioned to fit between the tines, because if tines have to penetrate the ruts, the damages on the crop and specially the draught resistance increase. Moreover, the tyre and track widths of the tanker and tractor should be the same on all wheels. The relation in size between the tractor and the tanker should be such that the slip of the driving wheels is max. 10%.

## 9 LÄHDELUETTELO

ANON. 1966. Friktionsförluster vid transport av massasuspensioner i rörledningar. Aktiebolaget Pumpindustri Oy EXIM Ab.

--"-. 1968. U.S. Dept. of Agriculture. Agriculture Handbook 316.

--"-. 1980. Massanpumppauskäsikirja. Ahlström Oy.

--"-. 1989. Kul-14.126, Maatalouskoneet-luentokurssin moniste. Teknillinen Korkeakoulu.

--"-. 1992a. So Gülle in stehende Bestände düngen. dlz 1: 14 - 19.

--"-. 1992b. Gülle geruchsfrei und pflanzenwirksam ausbringen. dlz 5: 38 - 41.

--"-. 1992c. Fundamentals of service - hydraulics. Deere & Company.

--"-. 1994a. Research programmes and research reports, July 1994. Programme 151: Utilization of manure. IMAG-DLO.

--"-. 1994b. Flytgödselspridare OMAS vakuumentankvagn utrustad med Kimadan släpslang. Statens maskinprovningar. Meddelande 3421.

--"-. 1995. III. Maatalouden ympäristötuen perustuen ehdot, määritelmät ja ohjeet. Maa- ja metsätalousministeriö: 52 - 63.

ARAYA, K. 1994. Optimization of the Design of Subsoiling and Pressurized Fluid Injection Equipment. J. agric. Engng Res. 57: 39 - 52.

ARTS, W. B. M., VERWIJS, B. R. & VON MAANEN, J. 1992. The Trelleborg 650/60-34 tyre and a 16.9R38 tyre on pasture: traction performance and effects on the turf. Internal report: 1 - 10.

BERNACKI, H. & HAMAN, J. 1976. Grundlagen der Bodenarbeitsung und Pflugbau. Berlin.

BURG., P. F. J. VAN., BRAKEL, G. D. VAN. & SCHEPERS, J. H. 1967. The agricultural value of anhydrous ammonia on grassland: Experiments 1963-1967. Netherlands nitrogen technical bulletin 2: 1 - 20 + 18 liitettä.

BUTTERFIELD, R. & ANDRAWES, K. Z. 1972. On the angles of friction between sand and plane surfaces. Journal of Terramechanics 8, 4: 15 - 23.

DRANSFIELD, P., WILLATT, S. T. & WILLIS, A. H. 1964. Soil-to-Implement Reaction Experienced with Simple Tines at Various Angles of Attack. *J. agric. Engng Res.* 9: 220 - 224.

DÖHLER, H. 1990. Ammoniakverluste nach der Flüssigmistausbringungerfassung und Minderungsmöglichkeiten. Ammoniak in der Umwelt. Gemeinsames Symposium 10. bis 12. Oktober 1990: 41.1 - 41.10.

HALL, J. E. 1986. Soil injection research in the UK. Commission of the European Communities. Efficient land use of sludge and manure: 78 - 89. Great Yarmouth.

HANN, M. J., WARNER, N. L. & GODWIN, R. J. 1987. Slurry injector design and operational practices for minimising soil surface disturbance and crop damage. ASAE Paper 1610.

HOWARD, B. 1979. Pressure losses in pipes transporting manure. *Agricultural Wastes* 1: 11 - 21.

KAPUINEN, P. & KARHUNEN, J. 1990. Lietelantajärjestelmien toimivuus. VAKOLAn tutkimusselostus 59: 1 - 108 + 2 liitettä. Summary: Functional performance of liquid manure systems.

KEPNER, R. A., BAINER, R. & BARGER, E. L. 1982. Principles of farm machinery. AVI publishing company, inc. Westport, Connecticut. 527 s.

LANDE CREMER, L. C. N. de la. 1986. Dutch experiment with slurry injection. Commission of the European Communities. Efficient land use of sludge and manure: 99 - 104. Great Yarmouth.

LARSEN, K.E. & KELLER, P. 1985 Nedfældning af kvæggylle til græs. *Tidsskr. Planteavl* 89: 19 - 24.

MC KIBBEN, E. G. & DAVIDSON, J. B. 1940. Transport wheels for agricultural machines. V. Effect of wheel arrangement on rolling resistance. *J. agric. Engng Res.* 21, 3: 95 - 96.

MCKYES, E. 1985. Developments in agricultural engineering 7: Soil cutting and tillage. Elsevier 217 s.

-- & ALI, O. S. 1977. The cutting of soil by narrow blades. *Journal of Terramechanics* 14, 2: 43 - 58.

MÖLLER, R. 1959. Zugkraftbedarf und Arbeitserfolg starrer und federnder Grubberzinken. *Grundlg. d. Landtechn.* Heft 11: 85 - 94.

O'CALLAGHAN, J. R. & MCCULLEN, P. J. 1965. Cleavage of Soil by Inclined and Wedge-Shaped Tines. *J. agric. Engng Res.* 10, 3: 248 - 254.

PAYNE, P. C. J. 1956. The relationship between the mechanical properties of soil and the performance of simple cultivation implements. *J. agric. Engng Res.* 1: 23 - 50.

--" & TANNER, D. W. 1959. The relationship between Rake Angle and the Performance of Simple Cultivation Implements. *J. agric. Engng Res.* 4: 312 - 325.

REICH, R. 1977. Bodenwiderstand und Arbeitseffekt eines Grubberwerkzeugs. *Grundl. Landtechnik* Bd. 27, 4: 128 - 132.

RODHE, L. ym. 1988. Spridning av flytgödsel till vall. Jordbrukstekniska institutet. JTI-rapport 93: 1 - 68.

--" & SALOMON, E. 1992. Spridning av flytgödsel i stråsäd. Jordbrukstekniska institutet. JTI-rapport 139: 1 - 59 + 18 liitettä.

ROLFES, M. J., GILBERTSON, C. B. & NIENABER, J. A. 1977. Head loss of beef manure slurry flow in polyvinylchloride pipe. *Transactions of the ASAE.* 20, 3: 530 - 533.

ROPILO, M. 1986. Äkeiden vetovastus ja työtulos. Helsingin yliopisto. Maatalousteknologia laitoksen Pro gradu -työ. 113 s + 14 liitettä.

ROWE, R. J. & BARNES, K. K. 1961. Influence of Speed on Elements of Draft of a Tillage Tool. *Transactions of the ASAE* 4: 55 - 57..

RØNNINGEN, O. & WESETH, G. 1976. Utvikling av utstyr for nedfelling av flytende husdyrgjødsel. Norges landbruksvitenskapelige forskningsråd. Sluttrapport 235: 1 - 15.

SITKEI, G. 1983. Einsparen von Energie durch Optimierung des Systems Bodenschlepper-Gerät. *Grundl. Landtechnik* Bd. 33, 3: 65 - 68.

SNIJDERS, P. J. M., WOLDRING, J. J., GEURINK, J. H. & MEER, H. G. VAN DER. 1987. Stikstofwerking van geïnjecteerde runderdrijfmest op grasland. Proefstation voor de rundveehouderij. Rapport 103: 1 - 156. Summary: Utilization of nitrogen from injected or surface spread cattle slurry to grassland.

SPOOR, G. 1975. Fundamental Aspects of Cultivations. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Technical Bulletin 29: 128 - 144.

STAFFORD, J. V. 1979. The performance of a rigid tine in relation to soil properties and speed. *J. agric. Engng Res.* 24: 41 - 56.

-- " -- & TANNER, D. W. 1983a. Effect of rate on soil shear strength and soil - metal friction. I. Shear strength. *Soil & Tillage Research* 3: 245 - 260.

-- " -- & TANNER, D. W. 1983b. Effect of rate on soil shear strength and soil - metal friction. II. Soil - metal friction. *Soil & Tillage Research* 3: 321 - 330.

SÖHNE, W. 1953. Reibung und Kohäsion bei Ackerböden. *Grundlagen der Landtechnik* 7: 64 - 80.

TUNNEY, H. & MOLLOY, S. P. 1986. Comparison of grass production with soil injected and surface spread cattle slurry. *Efficient Land Use of Sludge and Manure*: 90 - 98. Lontoo.

TURTOLA, E. & JAAKKOLA, A. 1985. Viljelykasvin ja lannoitustaseen vaikutus typen ja fosforin huuhtoutumiseen savimaasta. *Maatalouden tutkimuskeskuksen tiedote* 5: 1 - 43.

WARNER, N. L. & GODWIN, R. J. 1988. An experimental investigation into factors influencing the soil injection of sewage sludge. *J. agric. Engng Res.* 39: 287 - 300.

--"--, GODWIN, R. J. & HANN, M. J. 1991. Modifications to slurry injector tines to reduce surface disturbance and improve slot closure under dry grassland conditions. *J. agric. Engng Res.* 48: 195 - 207.

WONG, J. Y. 1989. *Terramechanics and off road vehicles*. Elsevier 251 s.

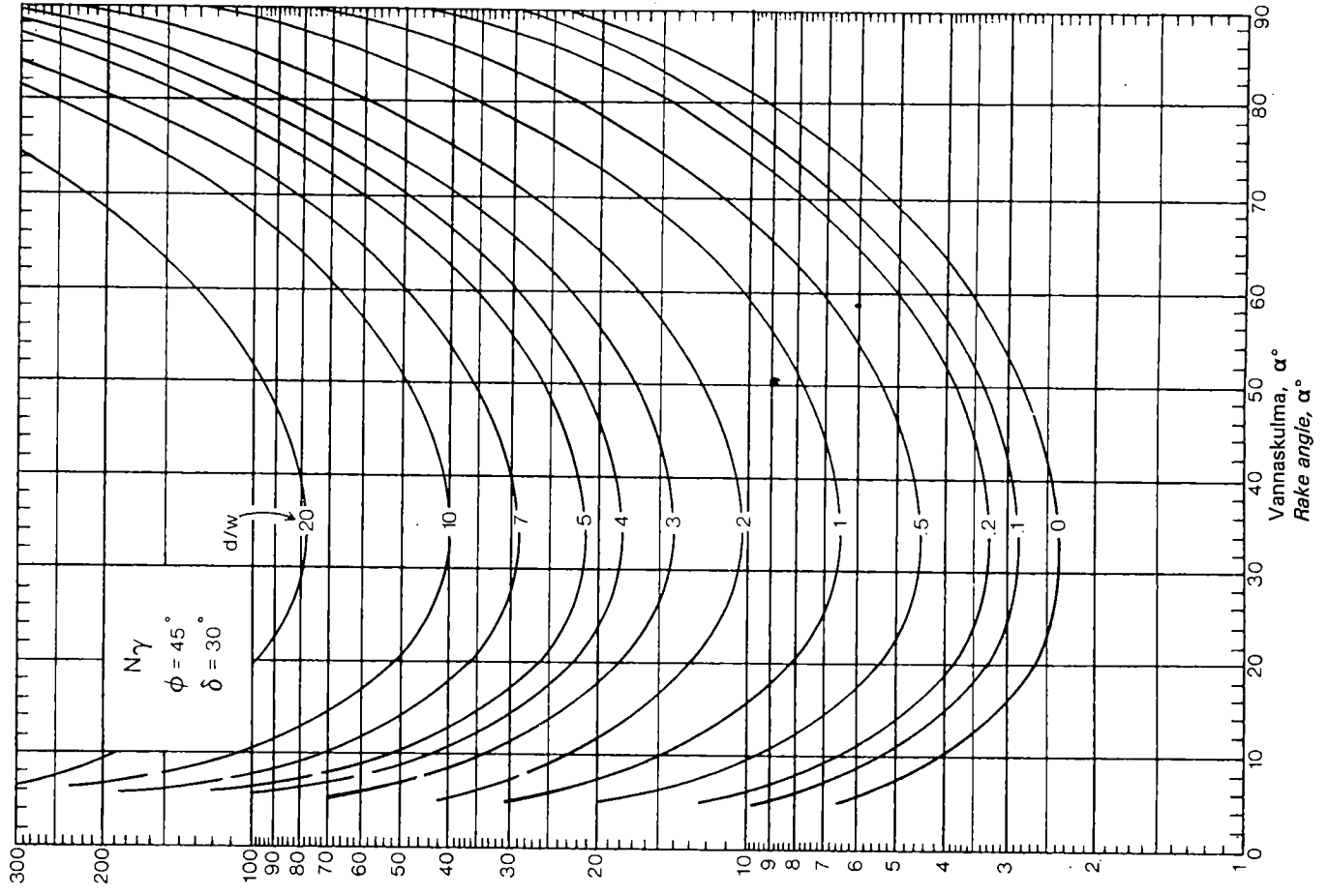
YLI-HALLA, M. 1995. Fosfori ravinteena. Kasvin käytössä ja luonnon kierrossa. *Leipä Leveämmäksi* 3: 4 - 5.

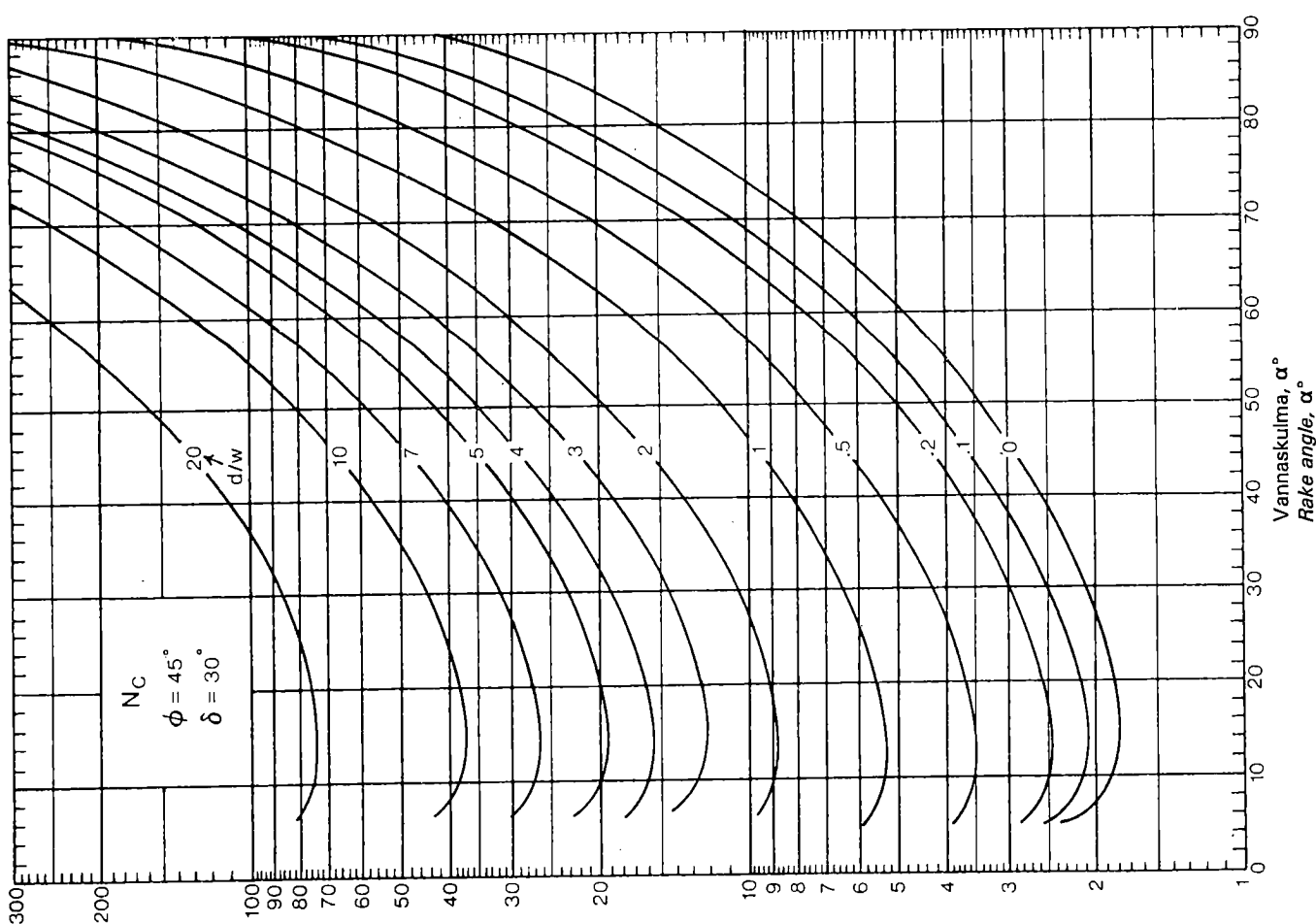
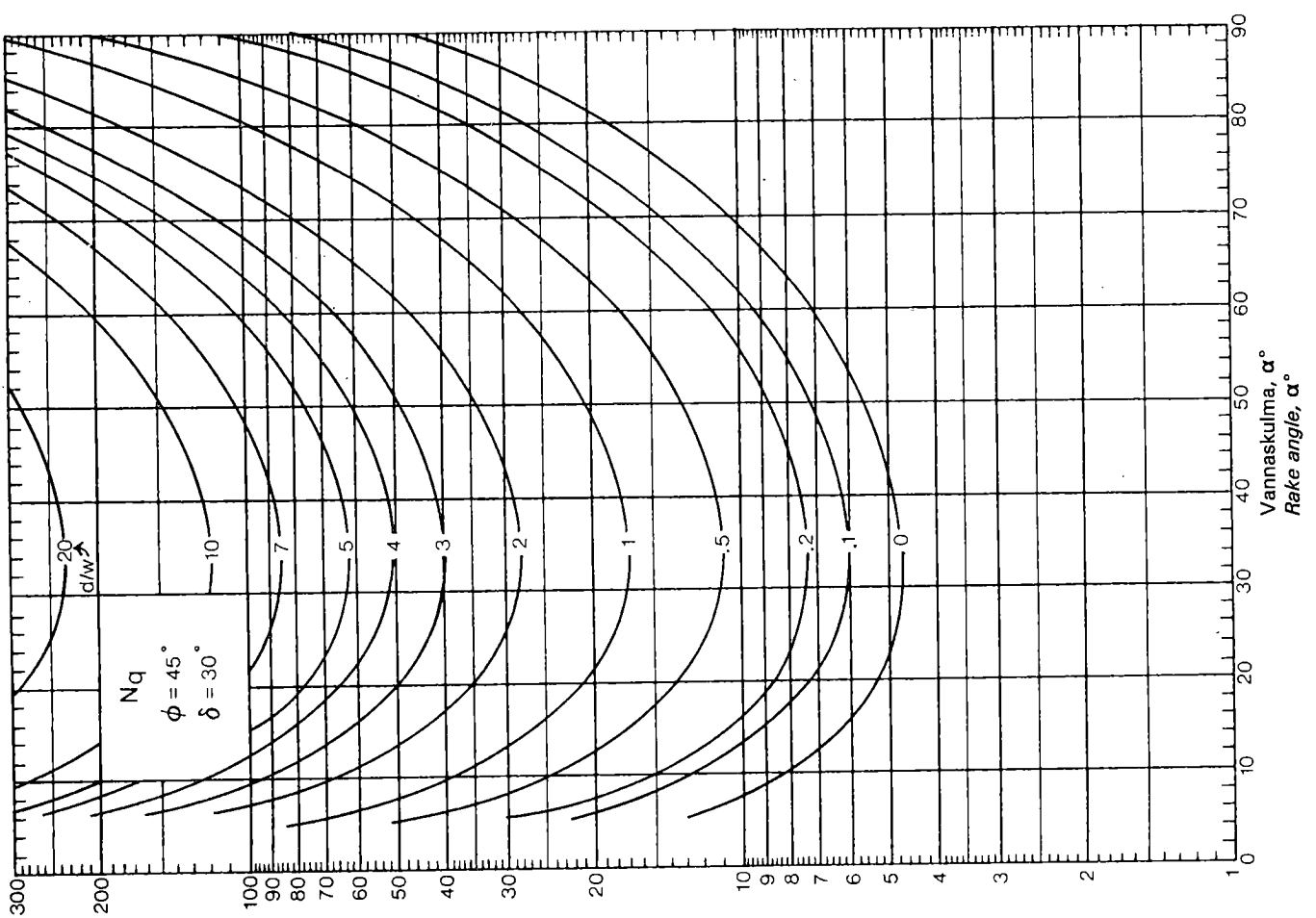
## LIITE 1

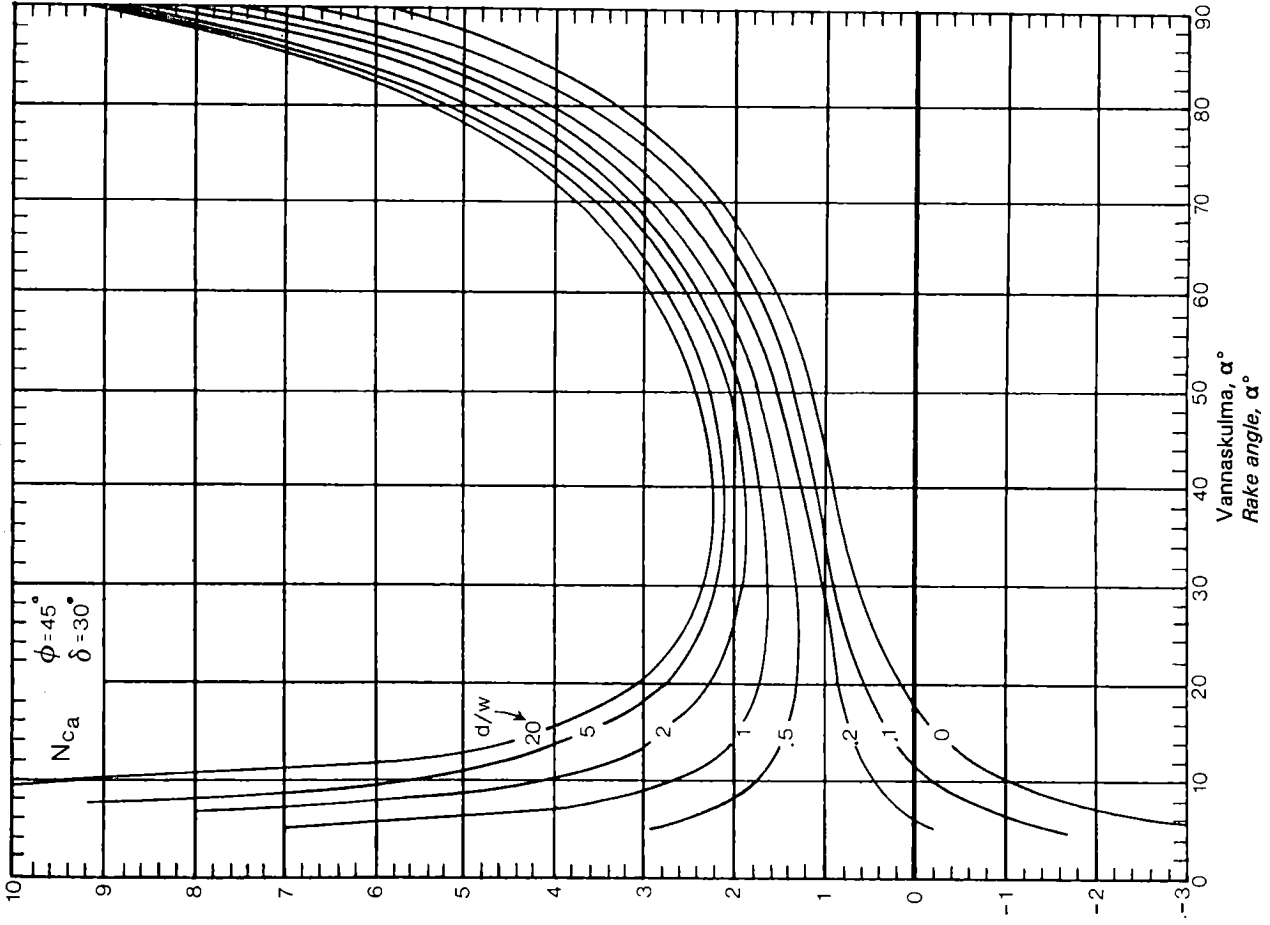
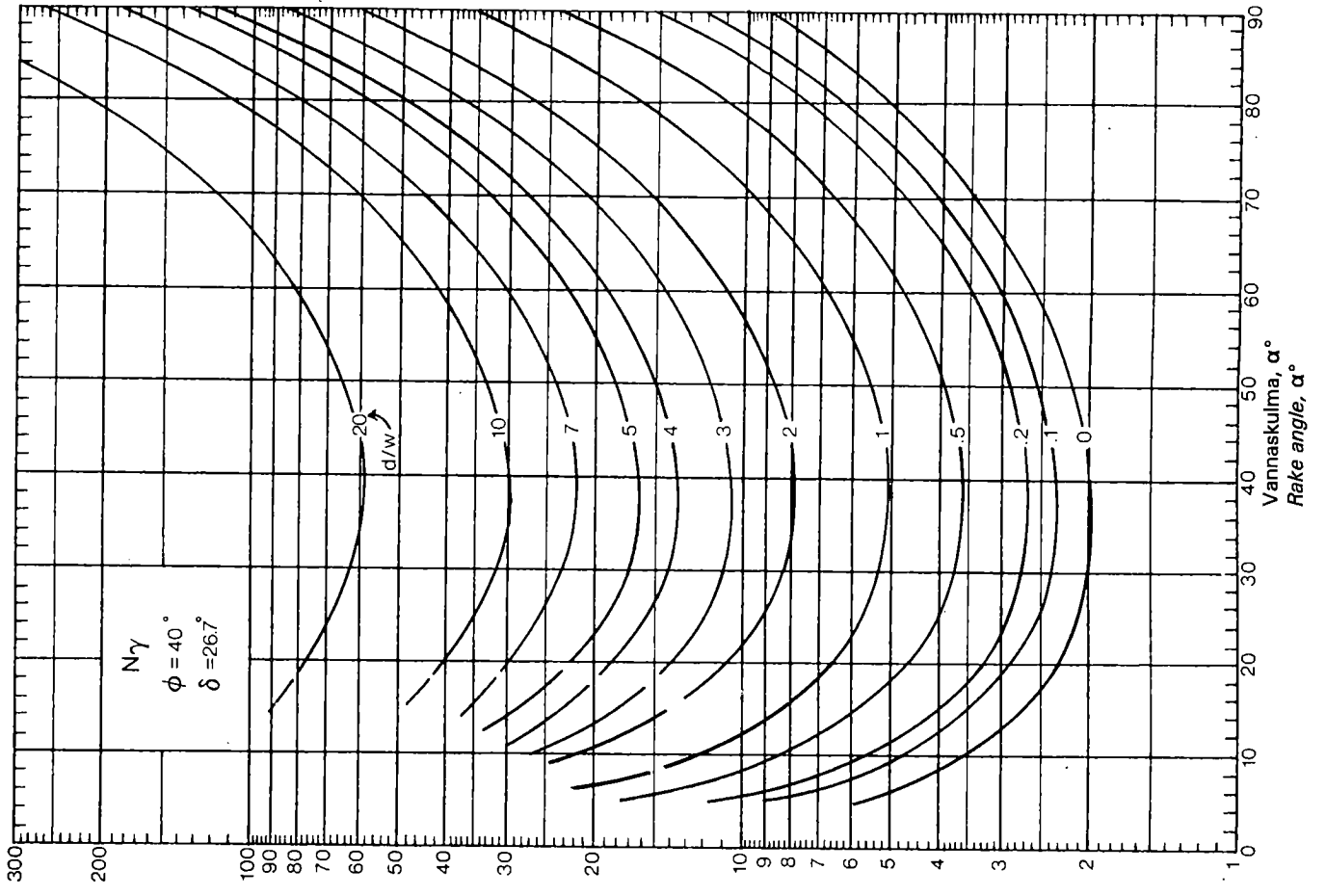
LIITE 1 (McKYES 1995, liite 2)

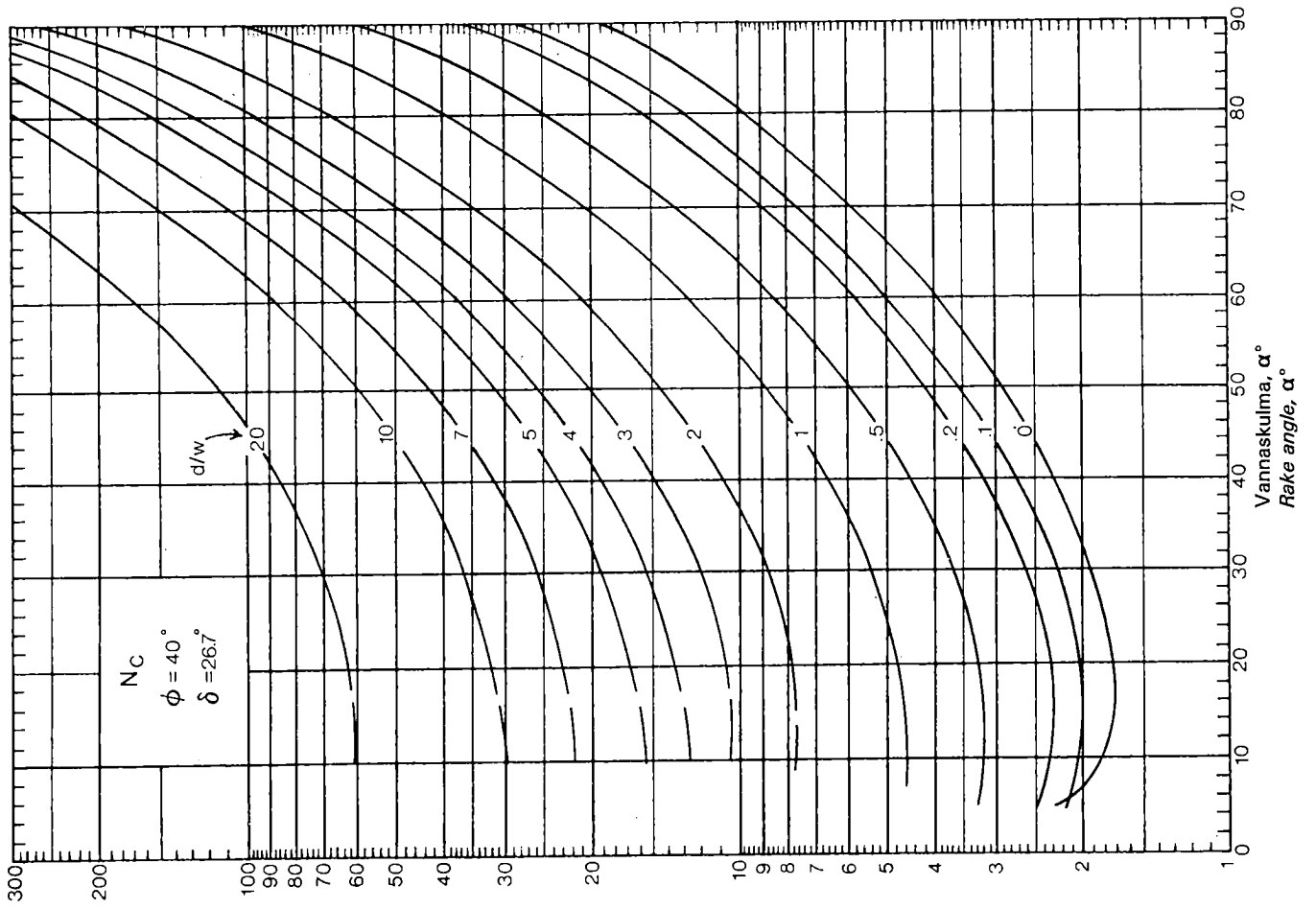
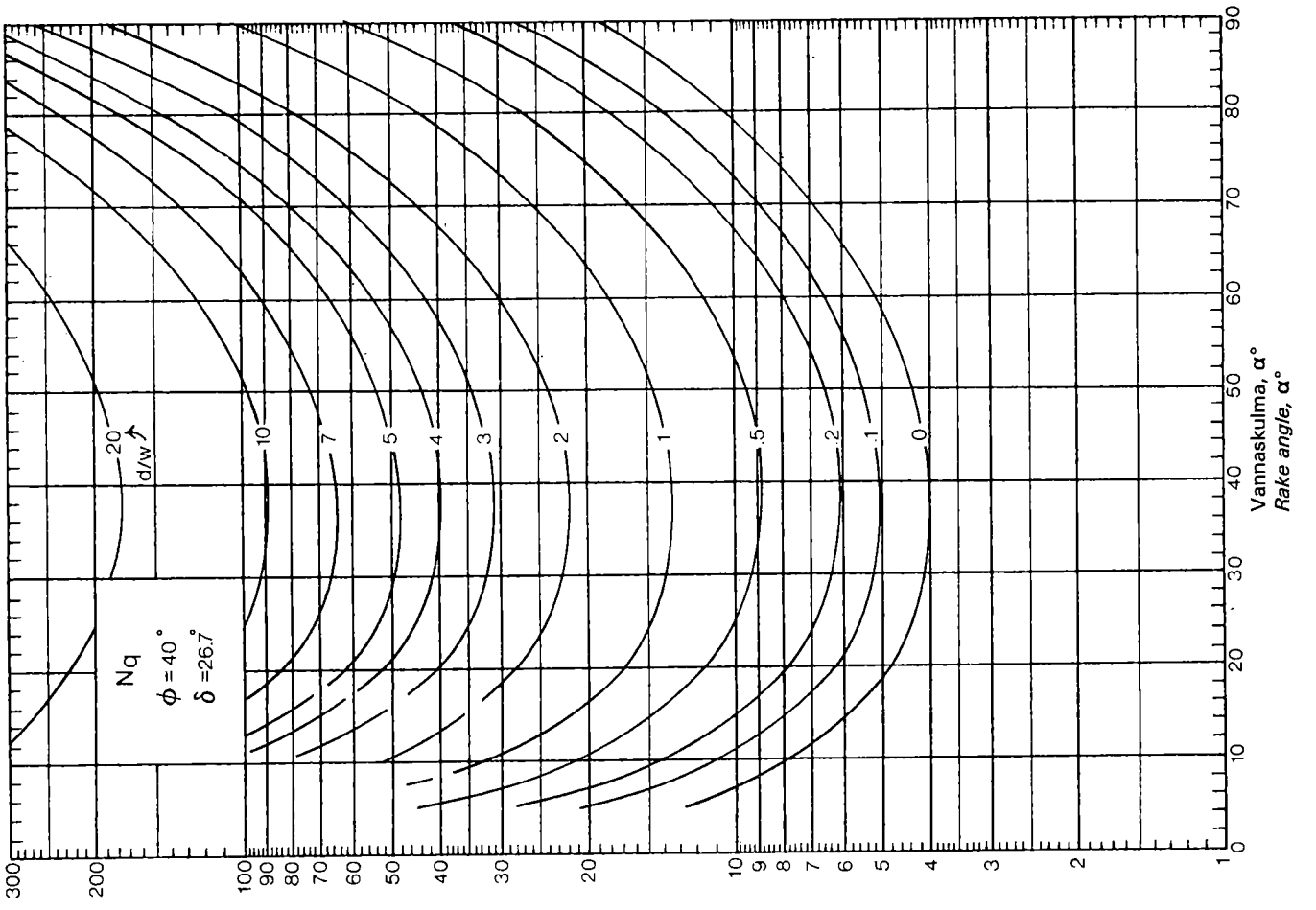
N-kertoimien arvot yhtälössä 1, sivulla 15 kapeille suorille terille passiivisessa murrossa. Maan ja metallin välinen kulma  $\delta$  on kaksi kolmasosaa sisäisestä kitkakulmasta  $\phi$ , joka on  $0 - 45^\circ$ , ja vannaskulma  $\alpha$  on  $0 - 90^\circ$ .

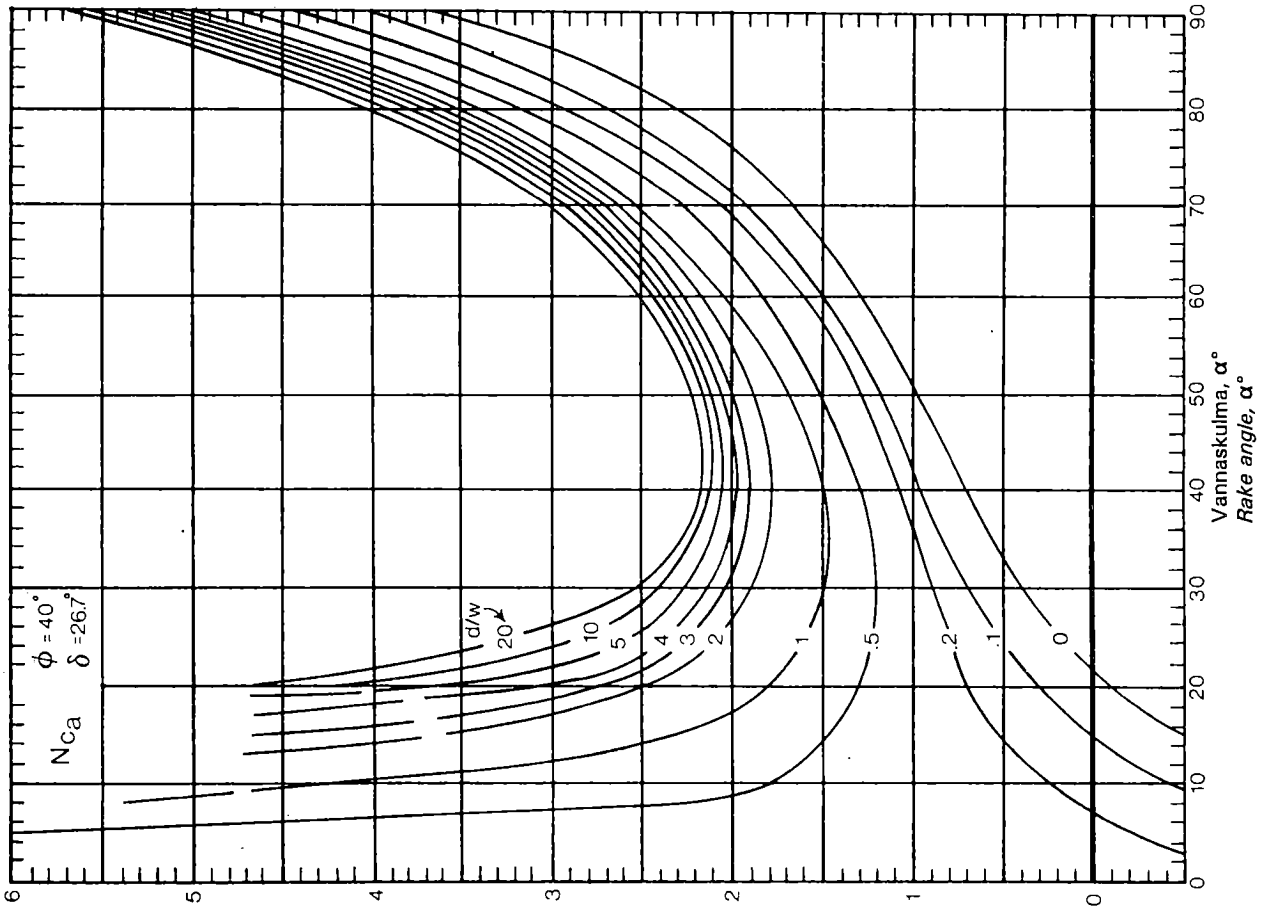
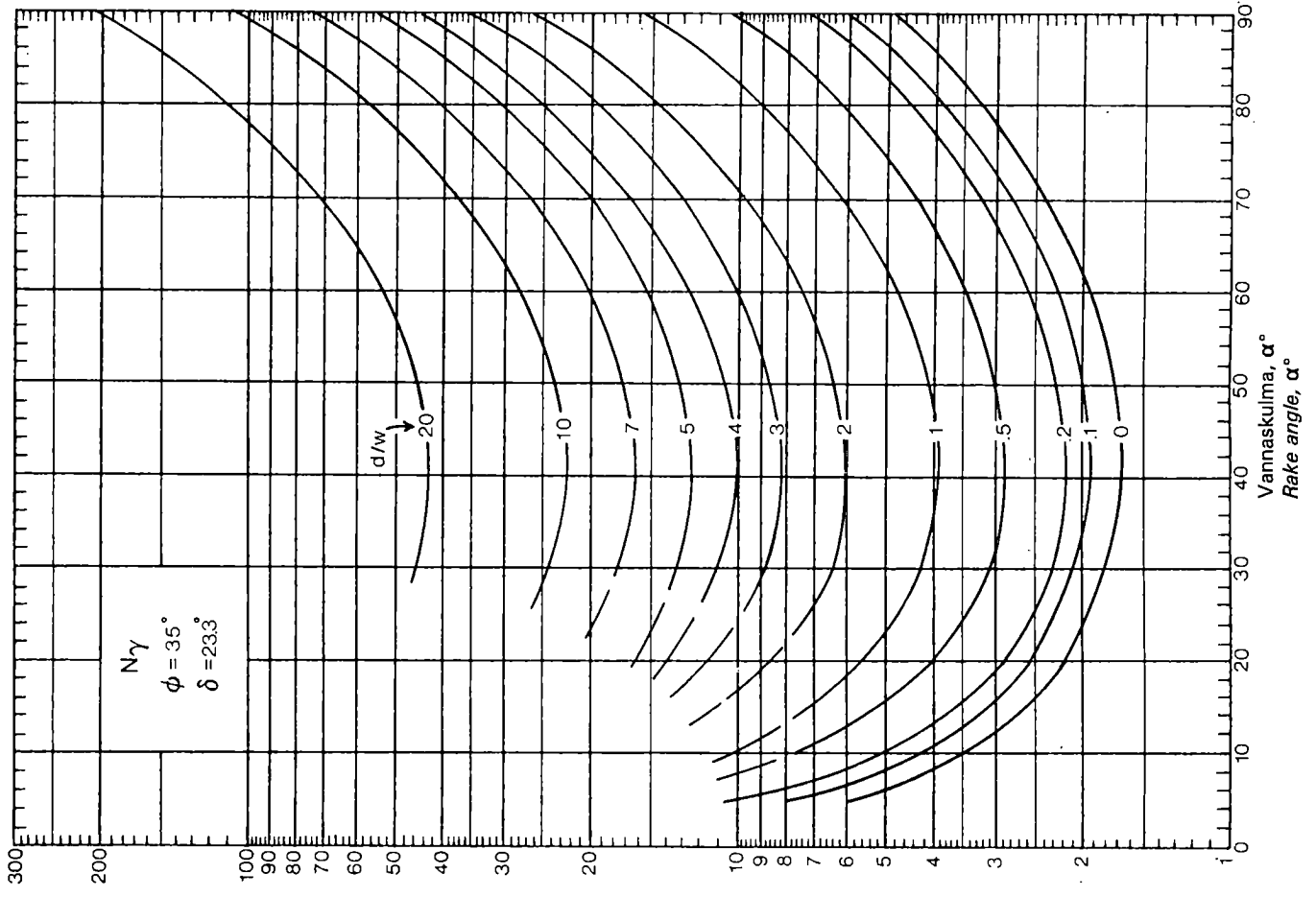
Values of N factors in the equation 1 on the page 15 for narrow flat blades cutting soil in passive failure. Soil to metal angle,  $\delta$ , is two thirds of internal friction angle,  $\phi$ , which ranges from  $0 - 90$  degrees, and tool rake angle from horizontal,  $\alpha$ , from  $0 - 90$  degrees.

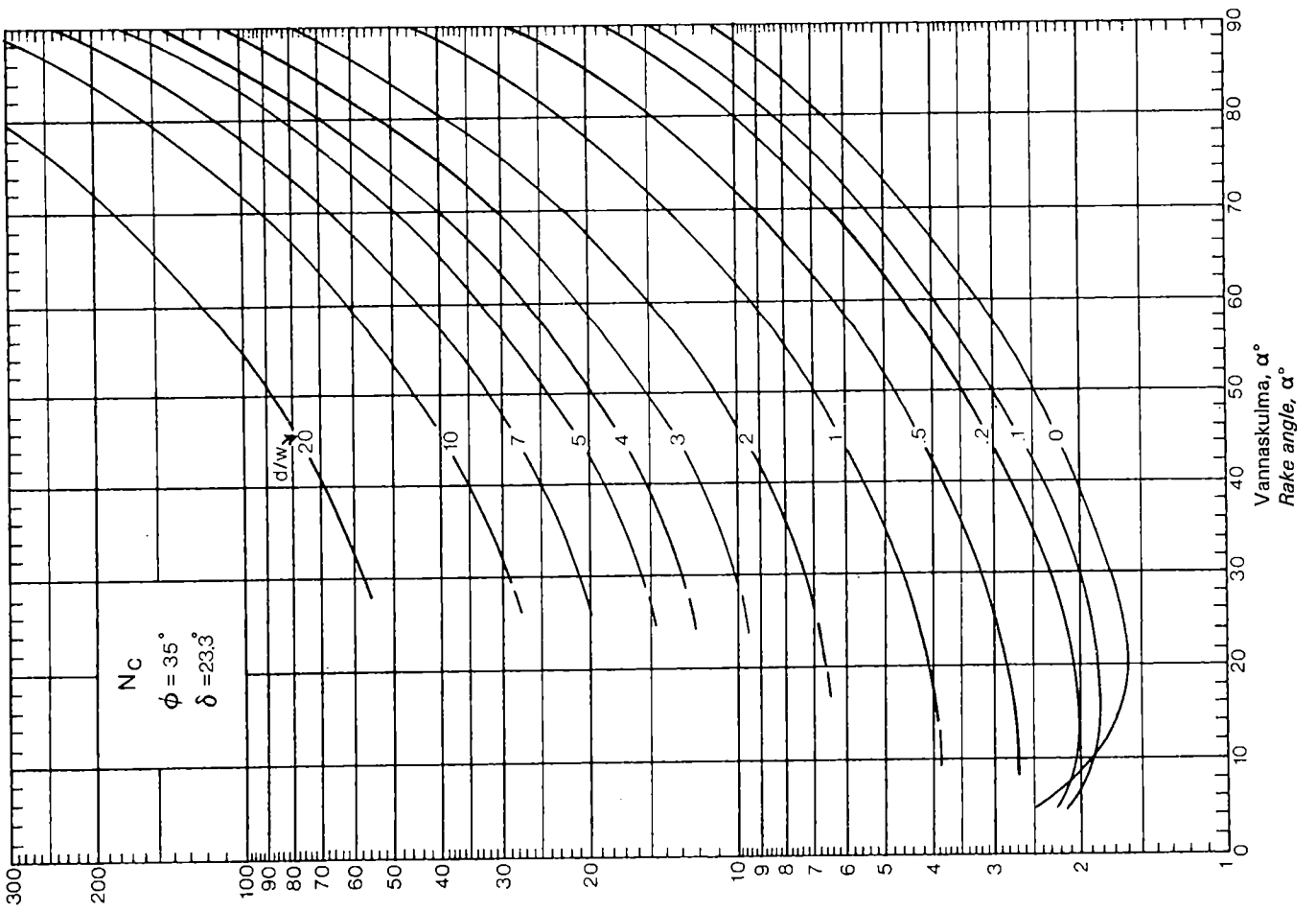
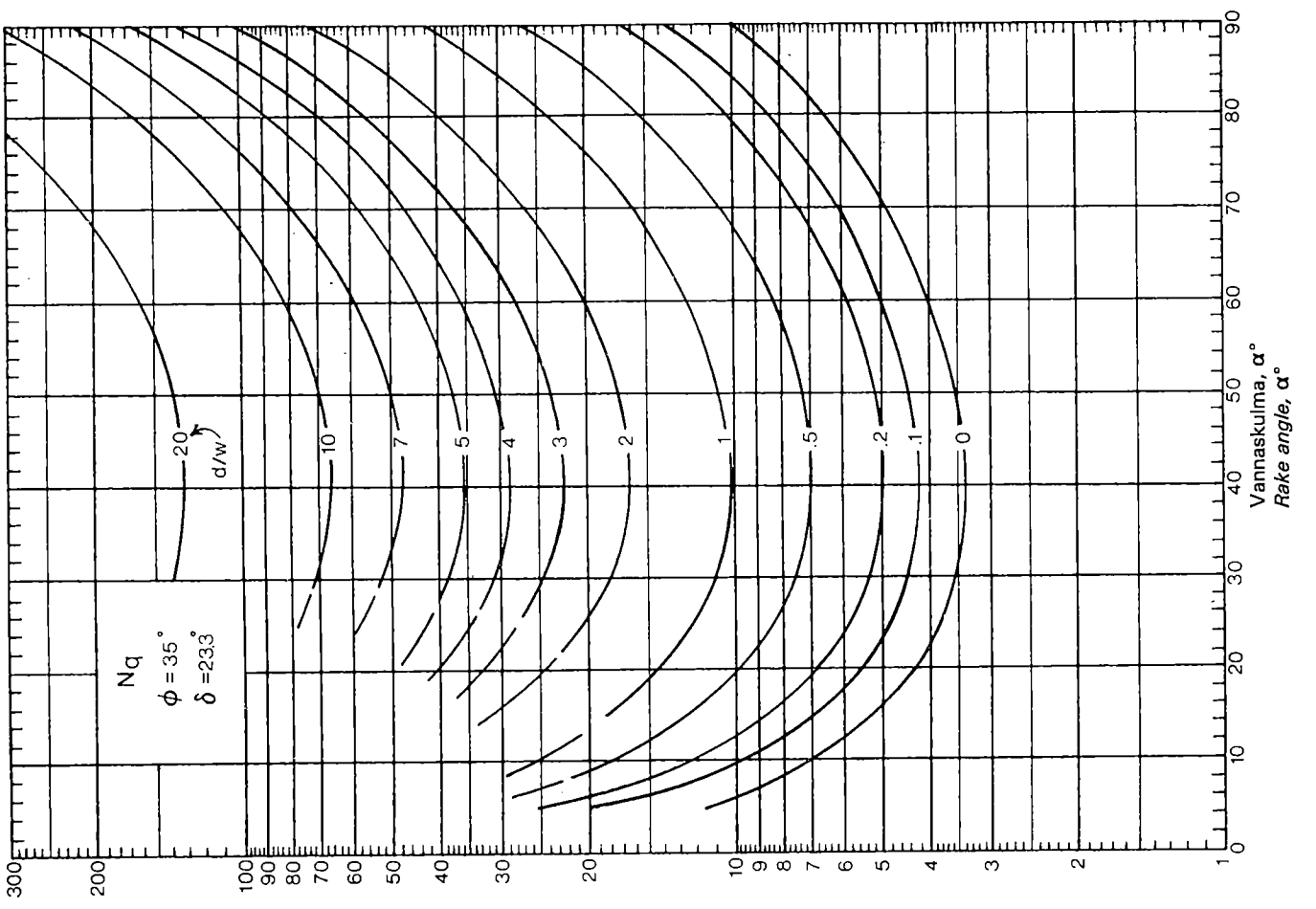


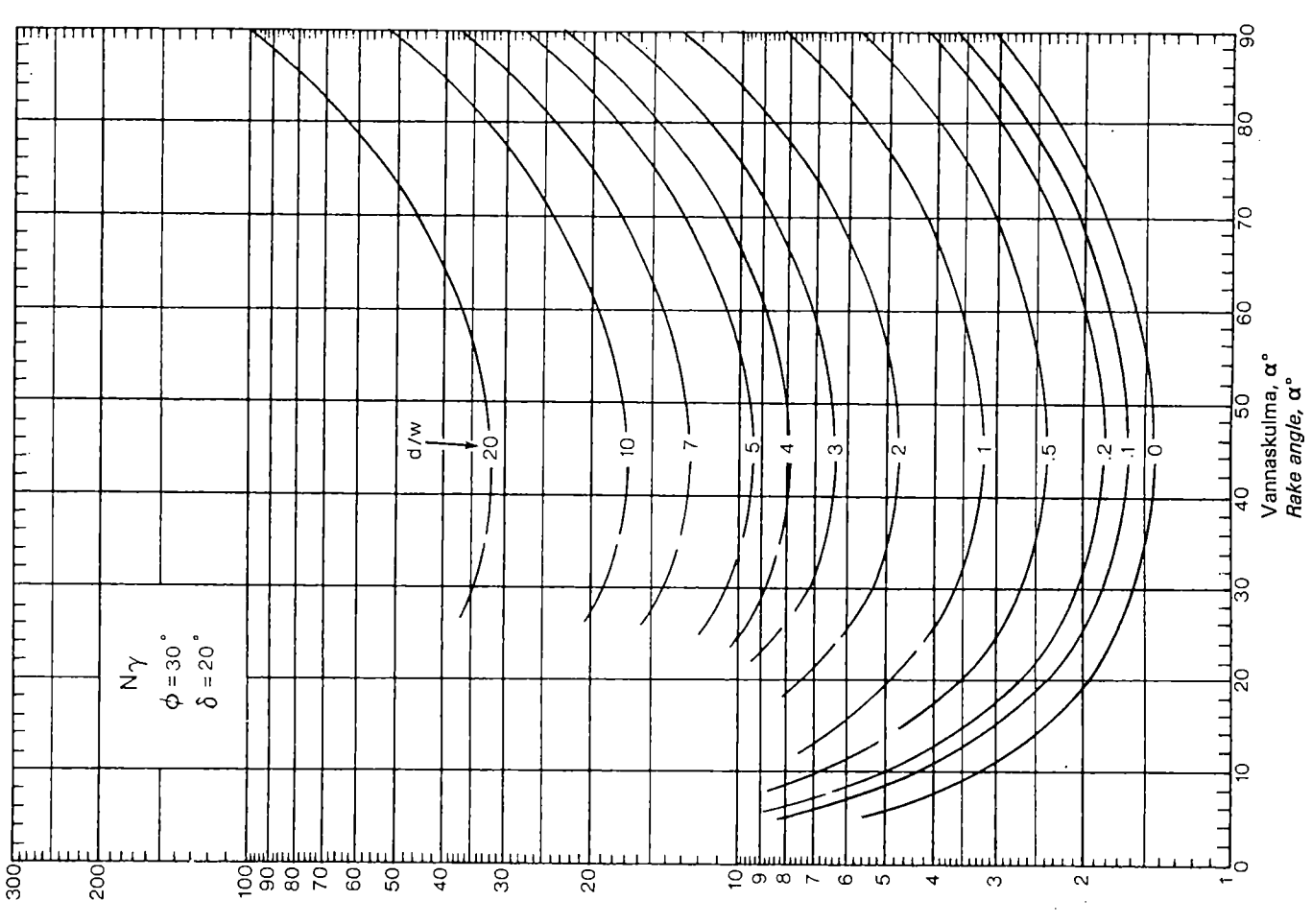
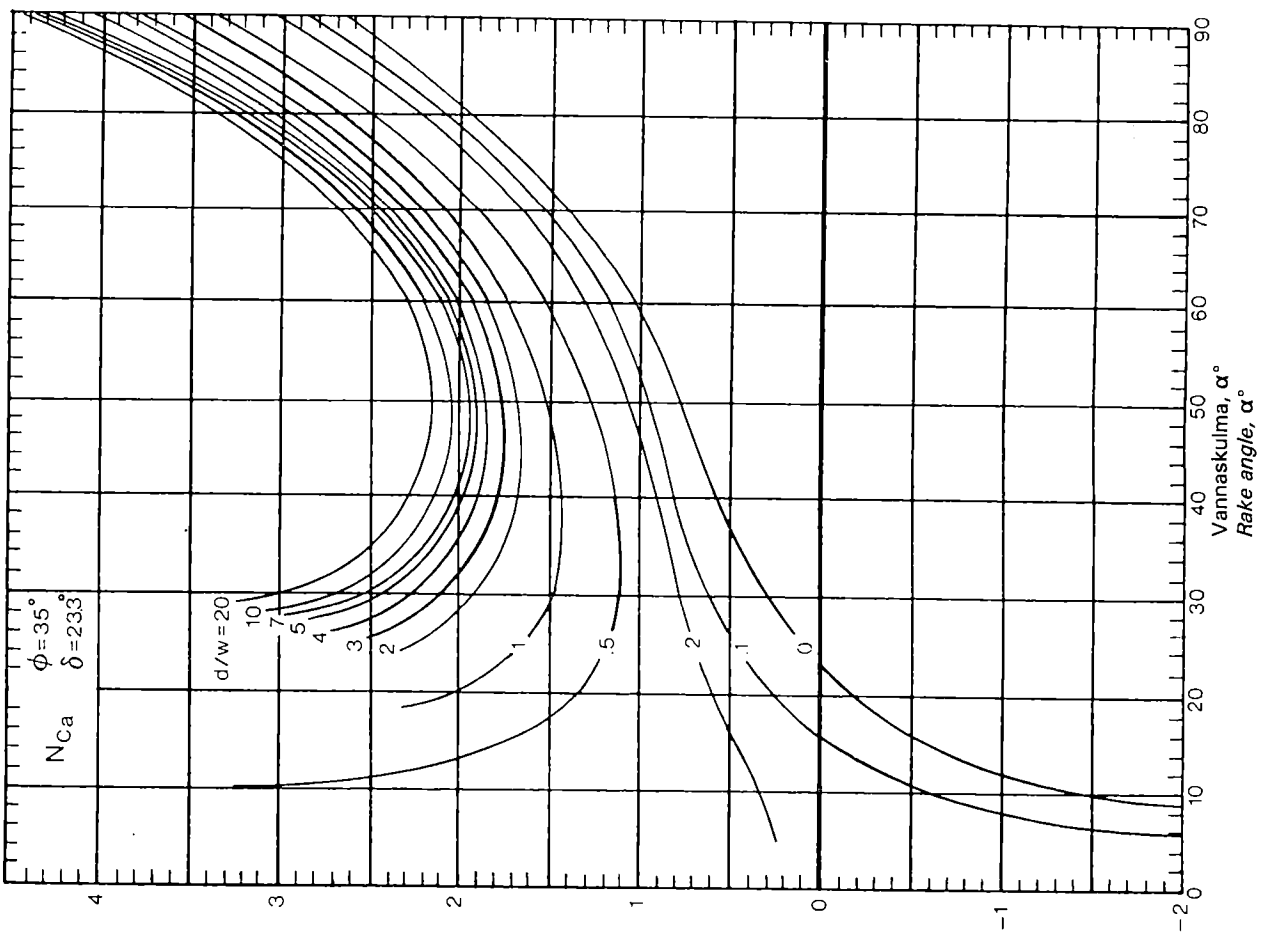


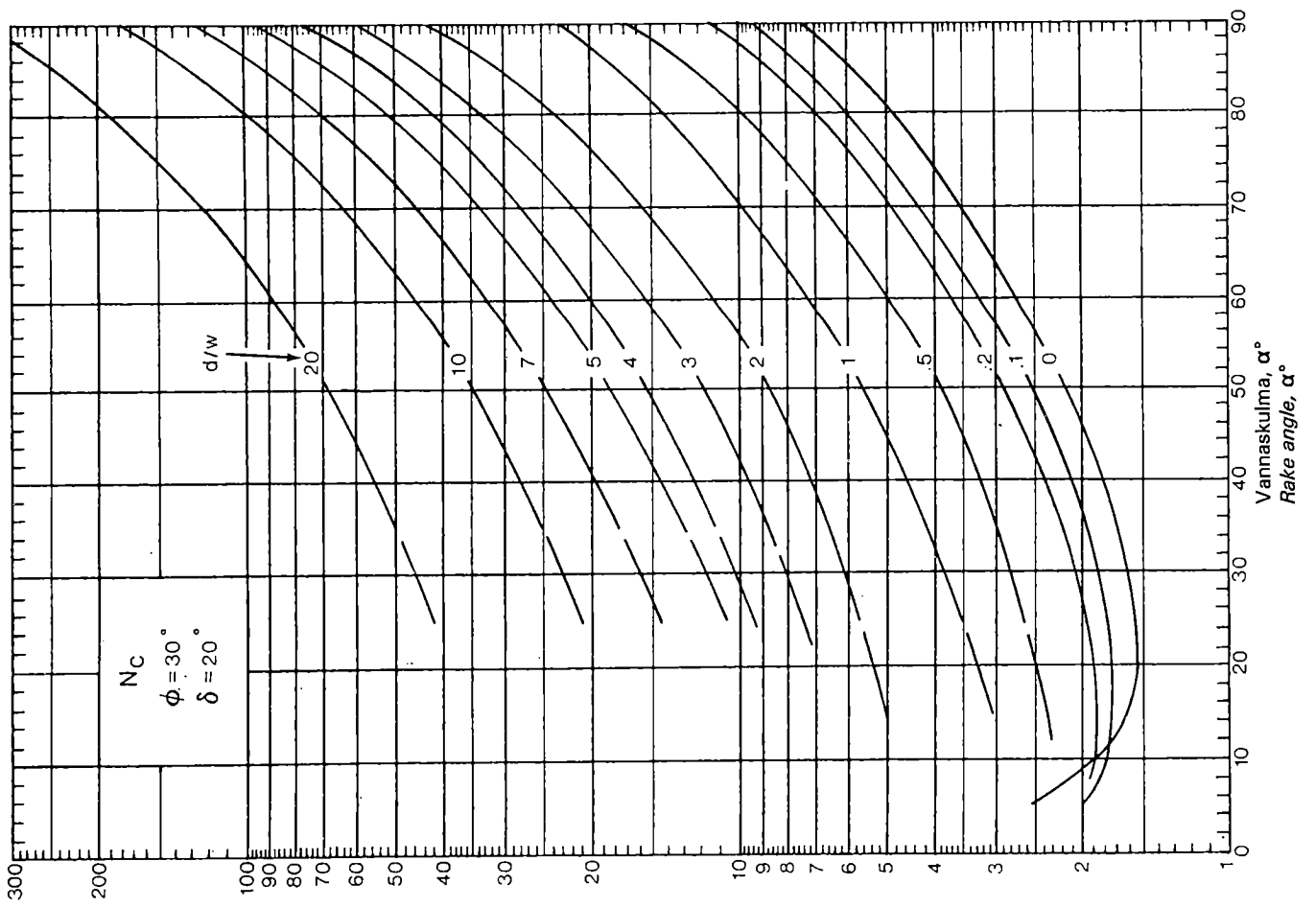
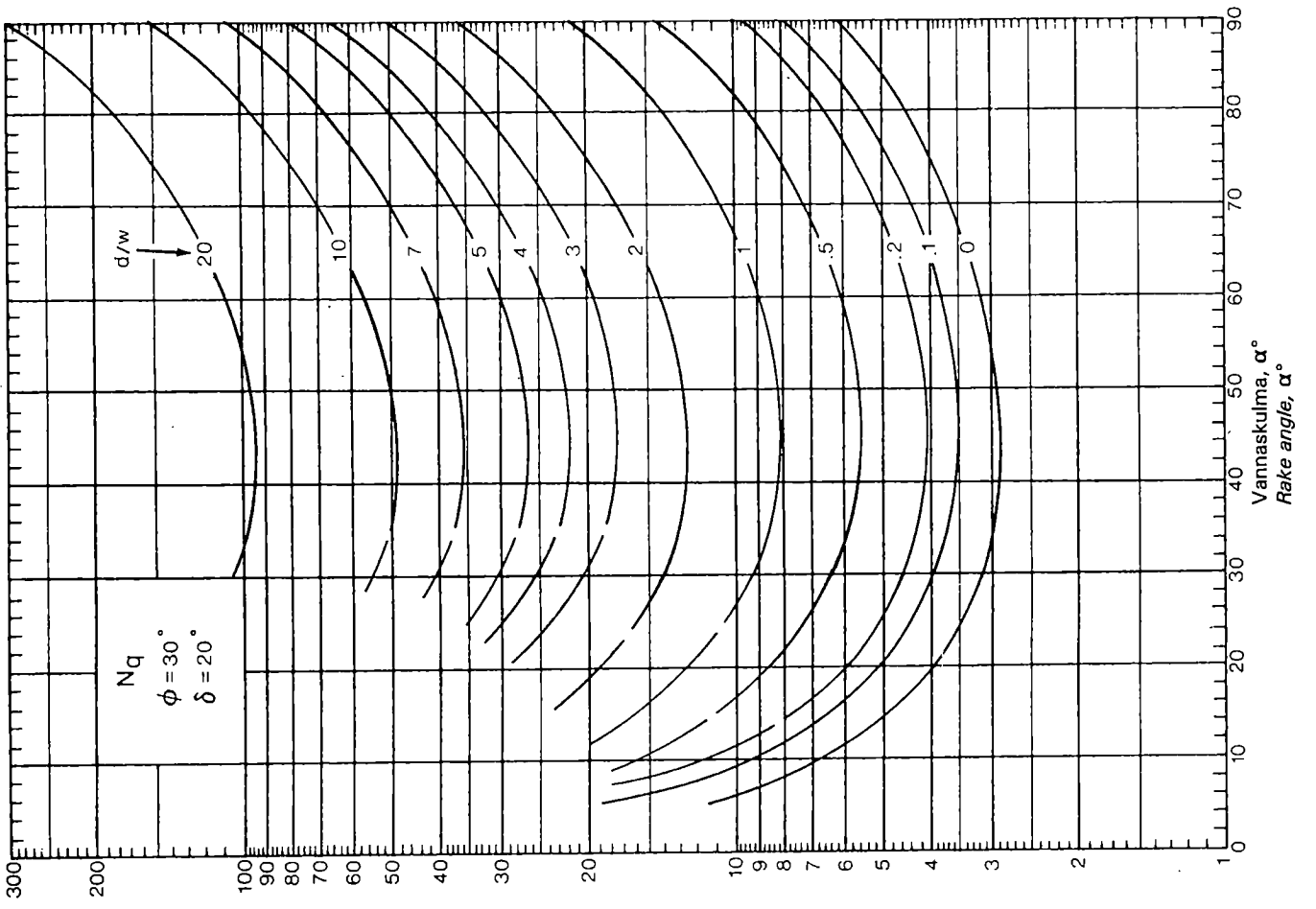


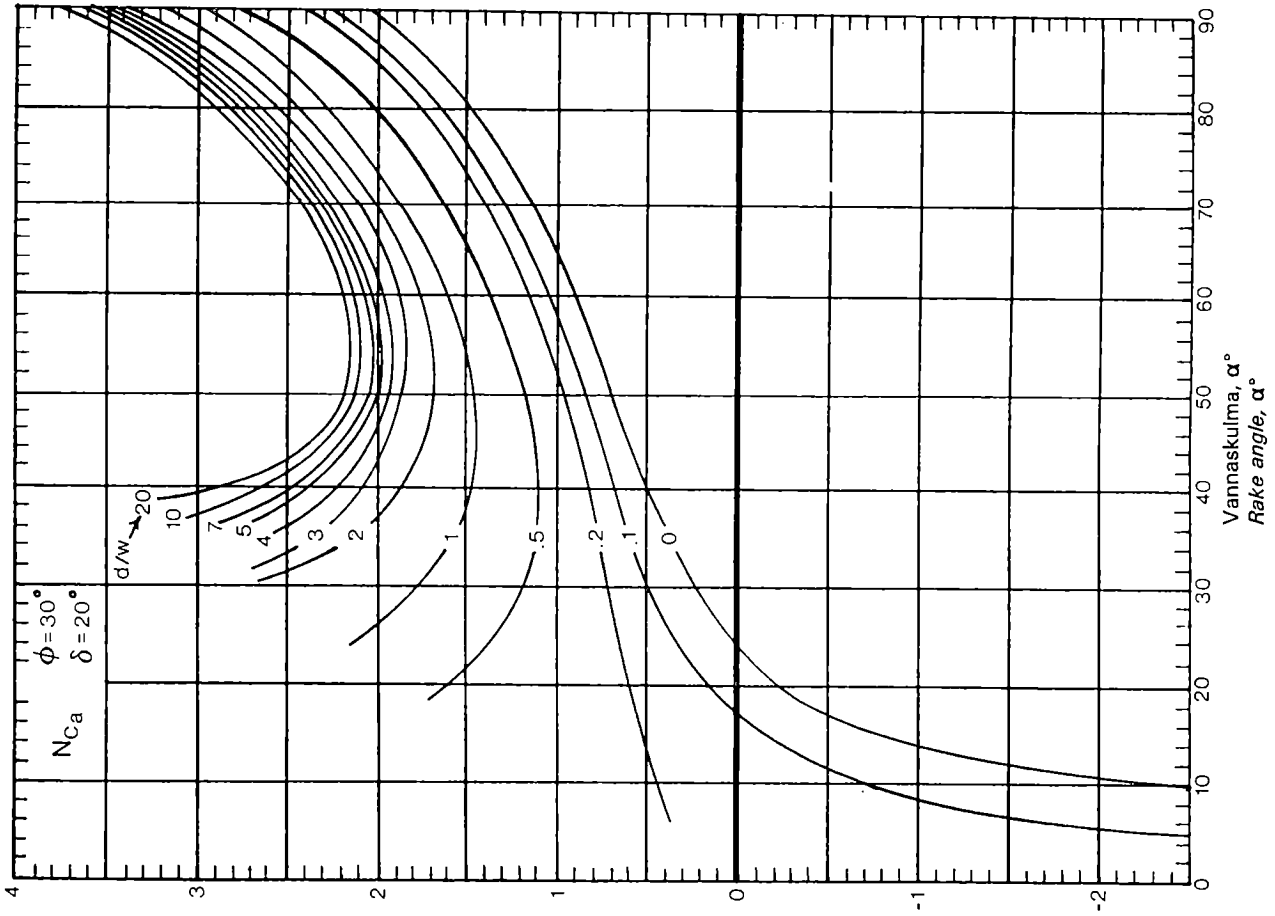
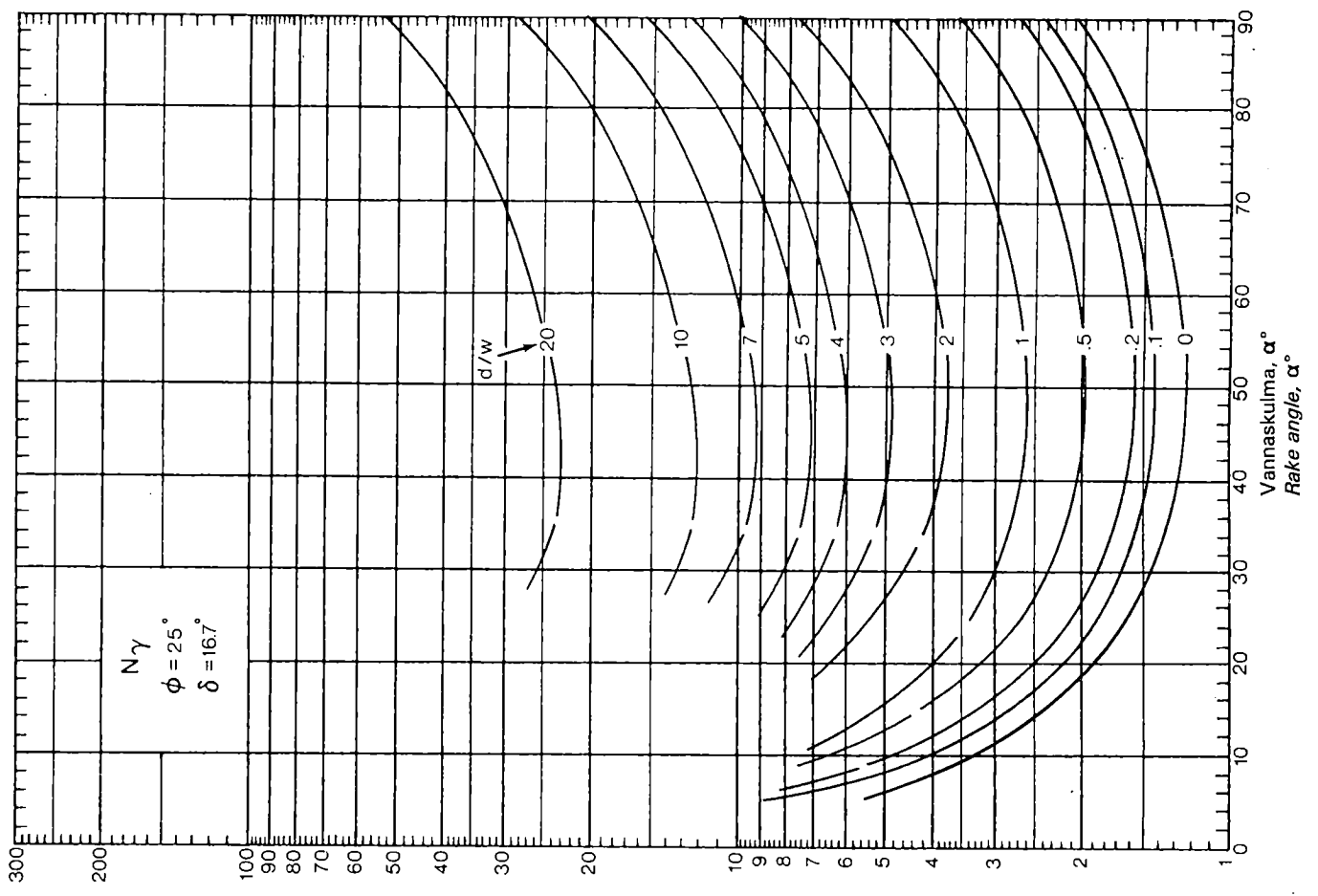


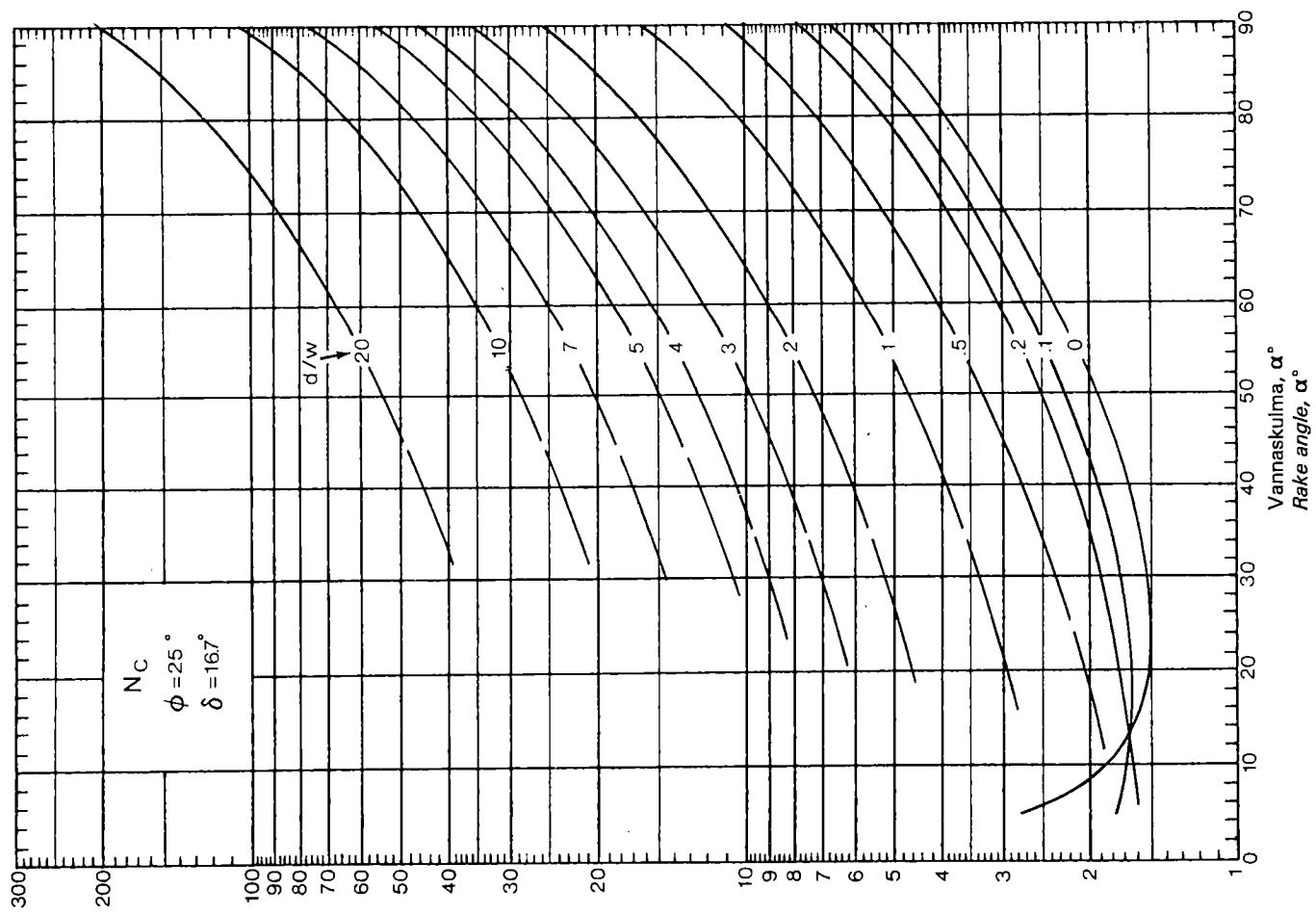
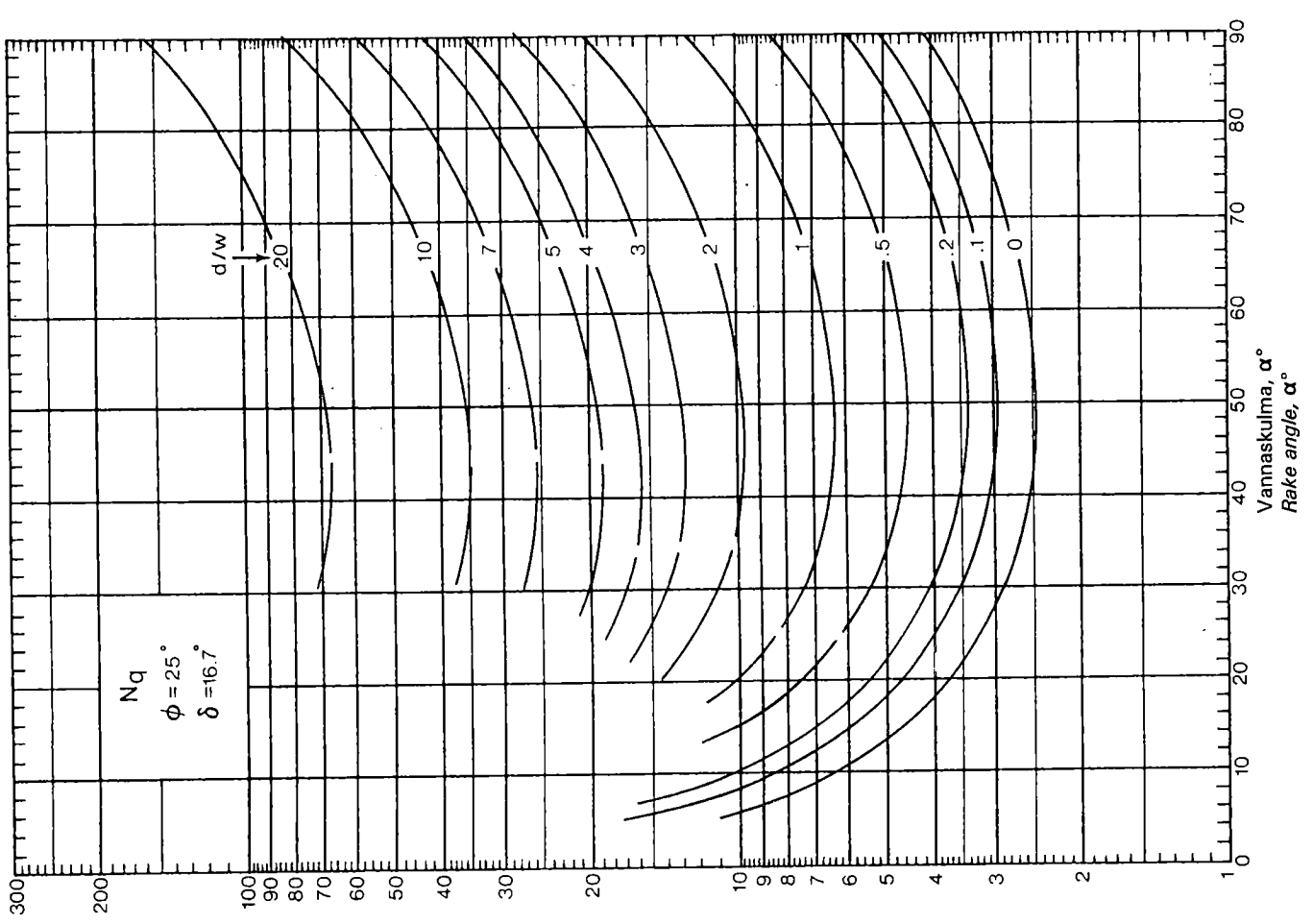


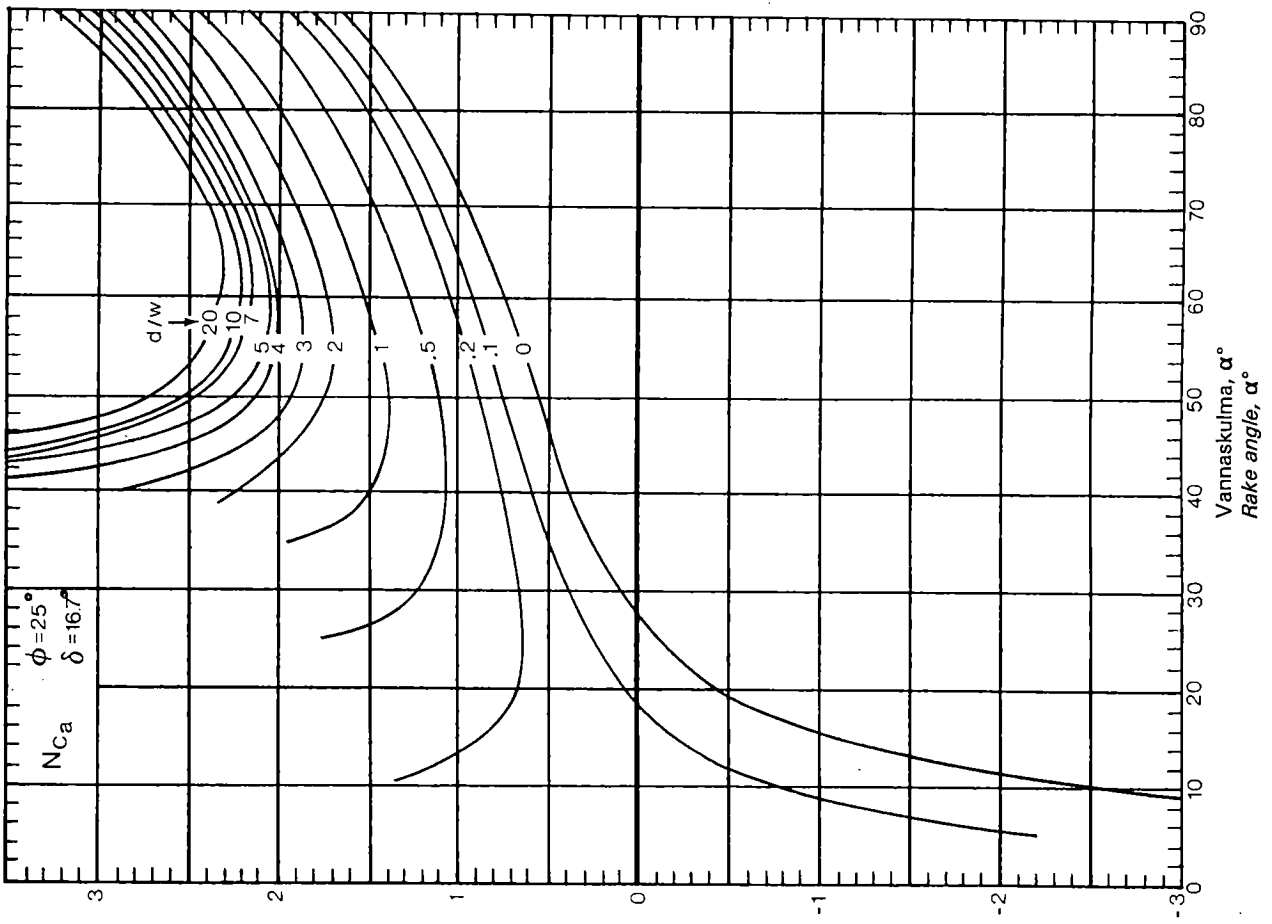
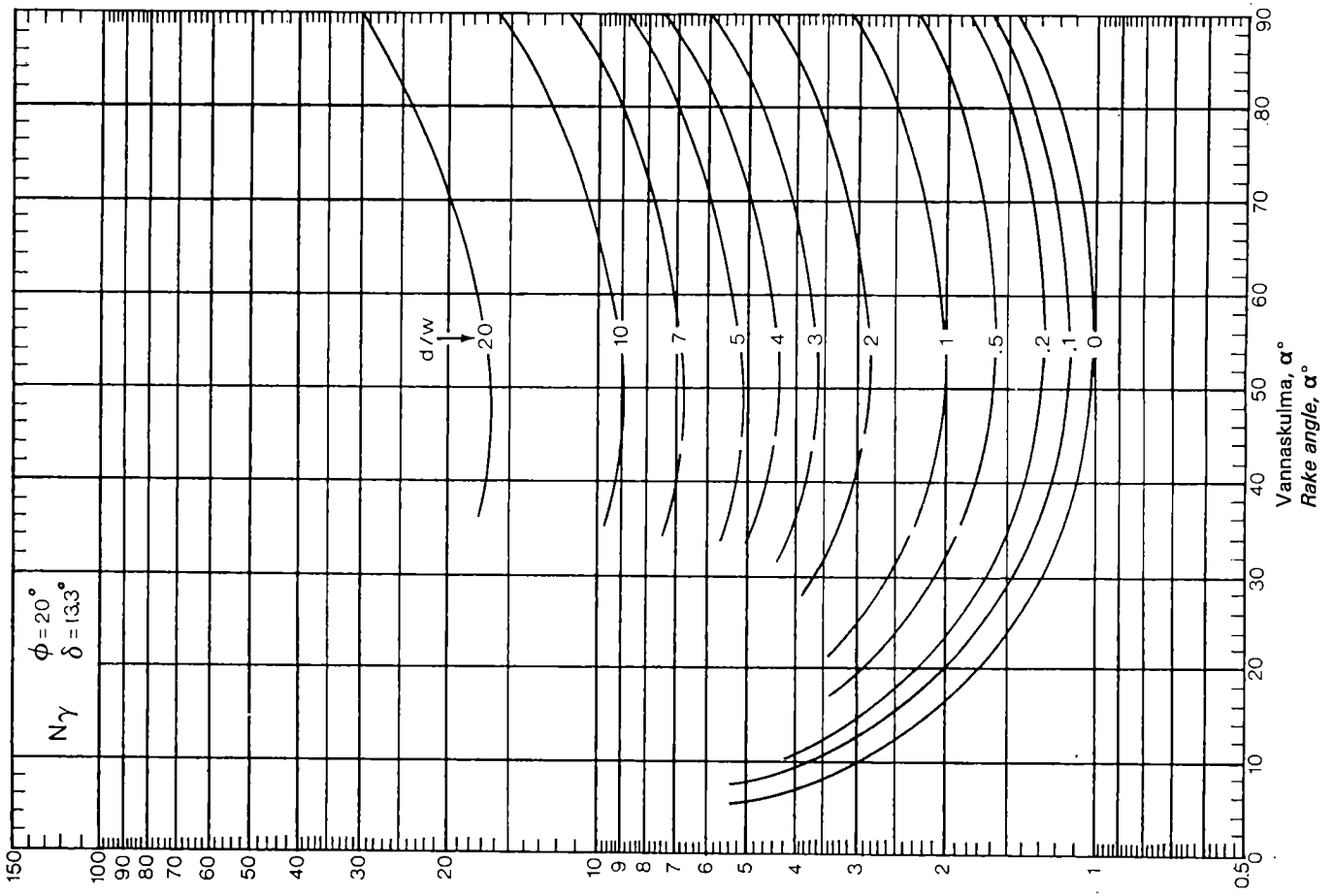


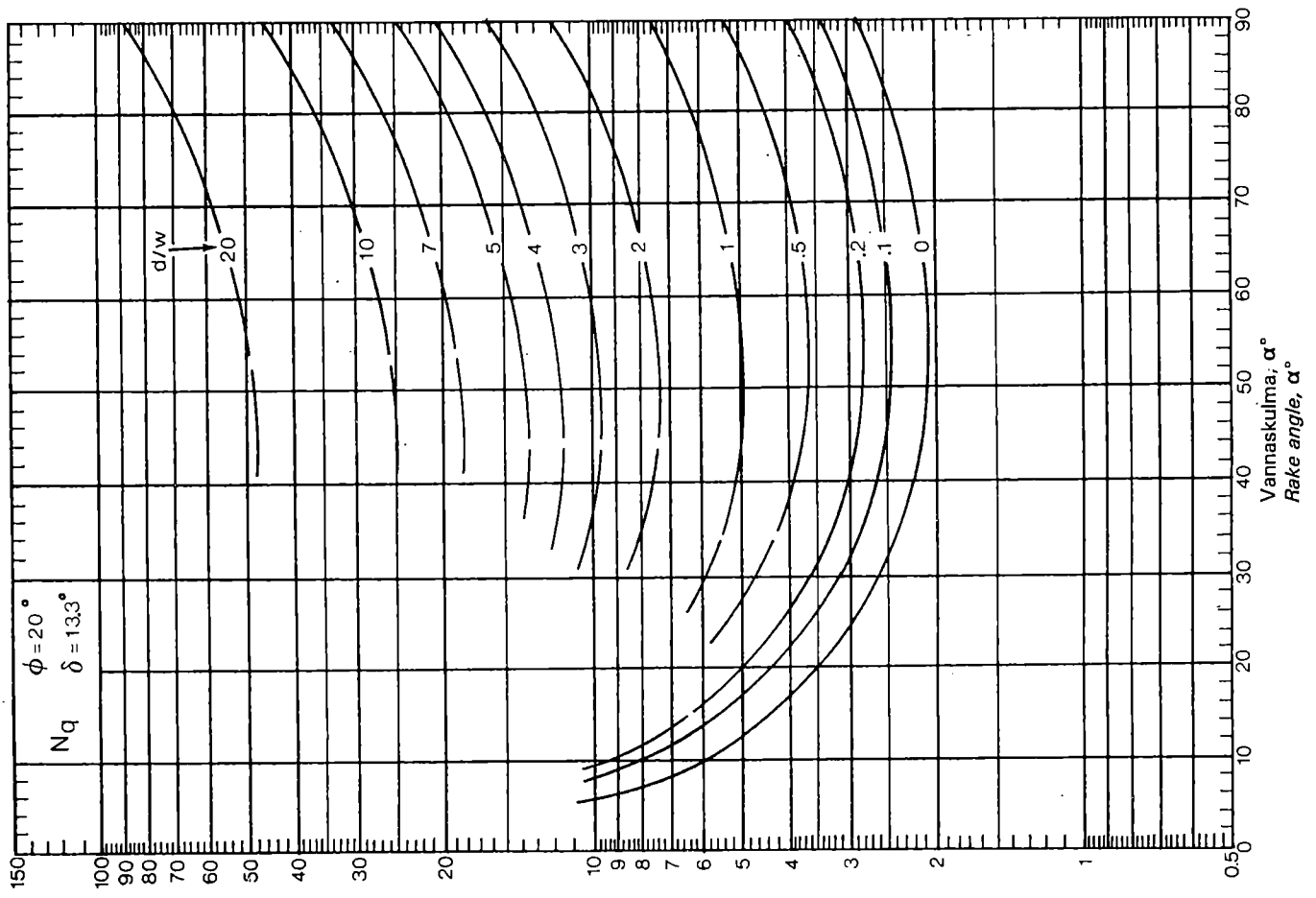
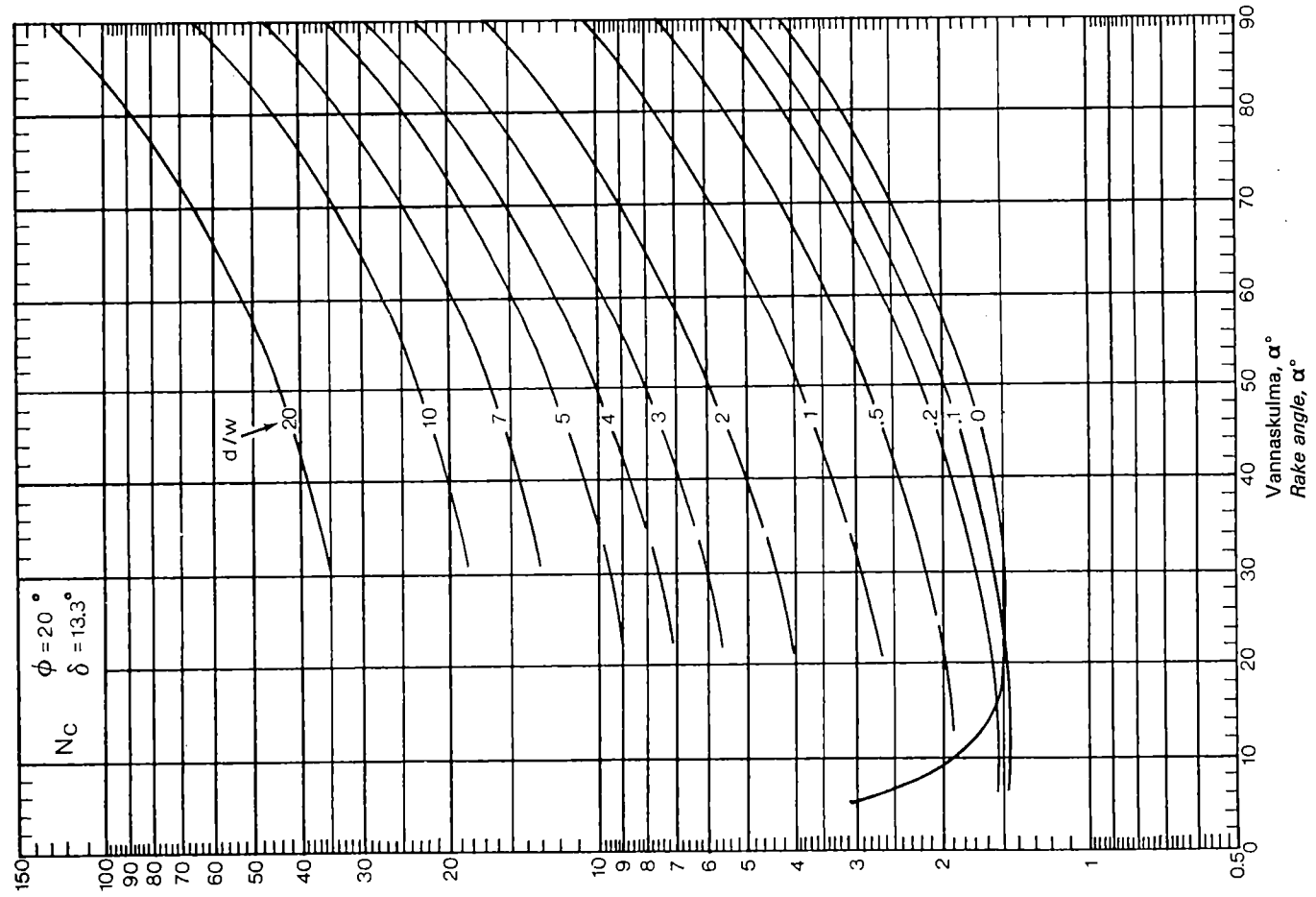


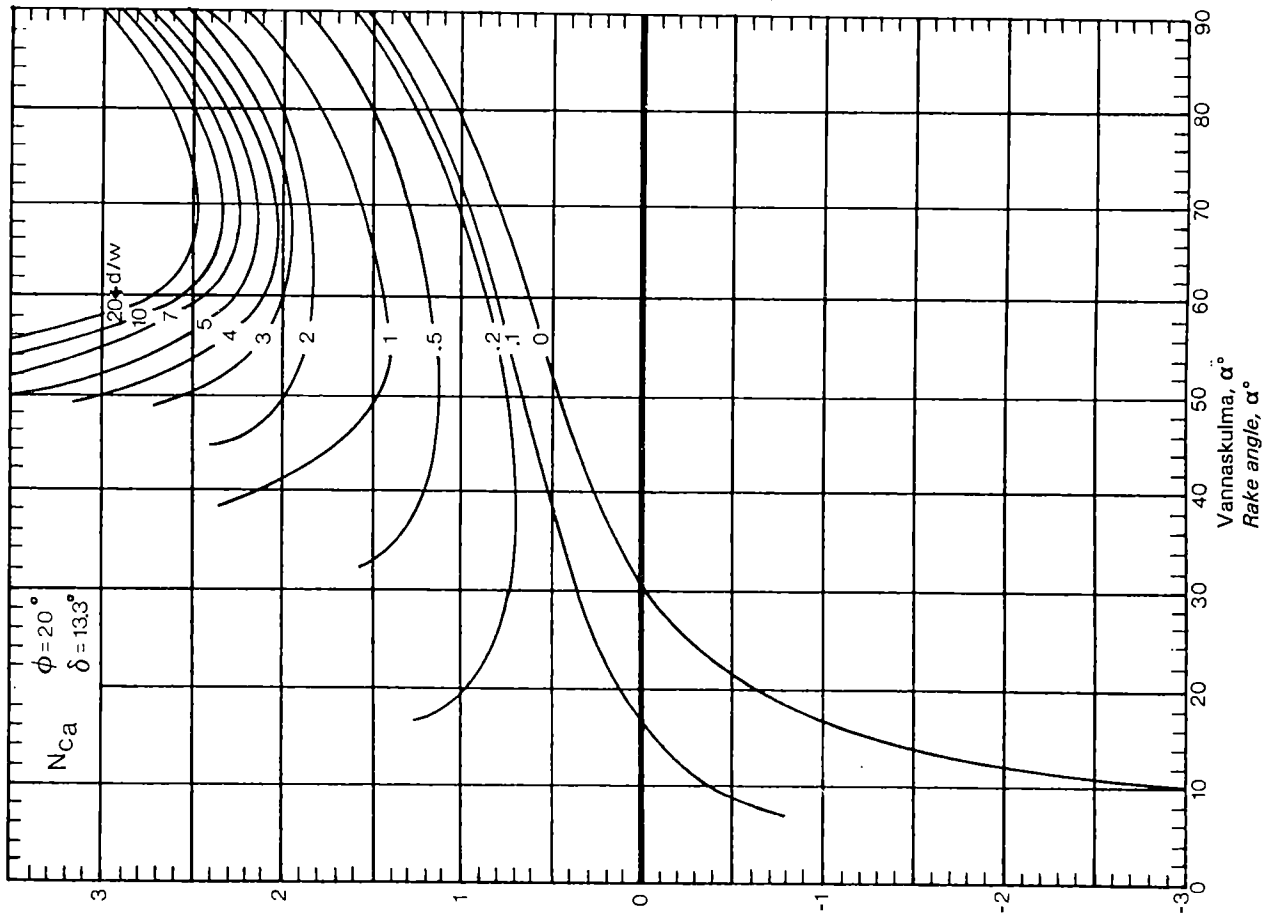
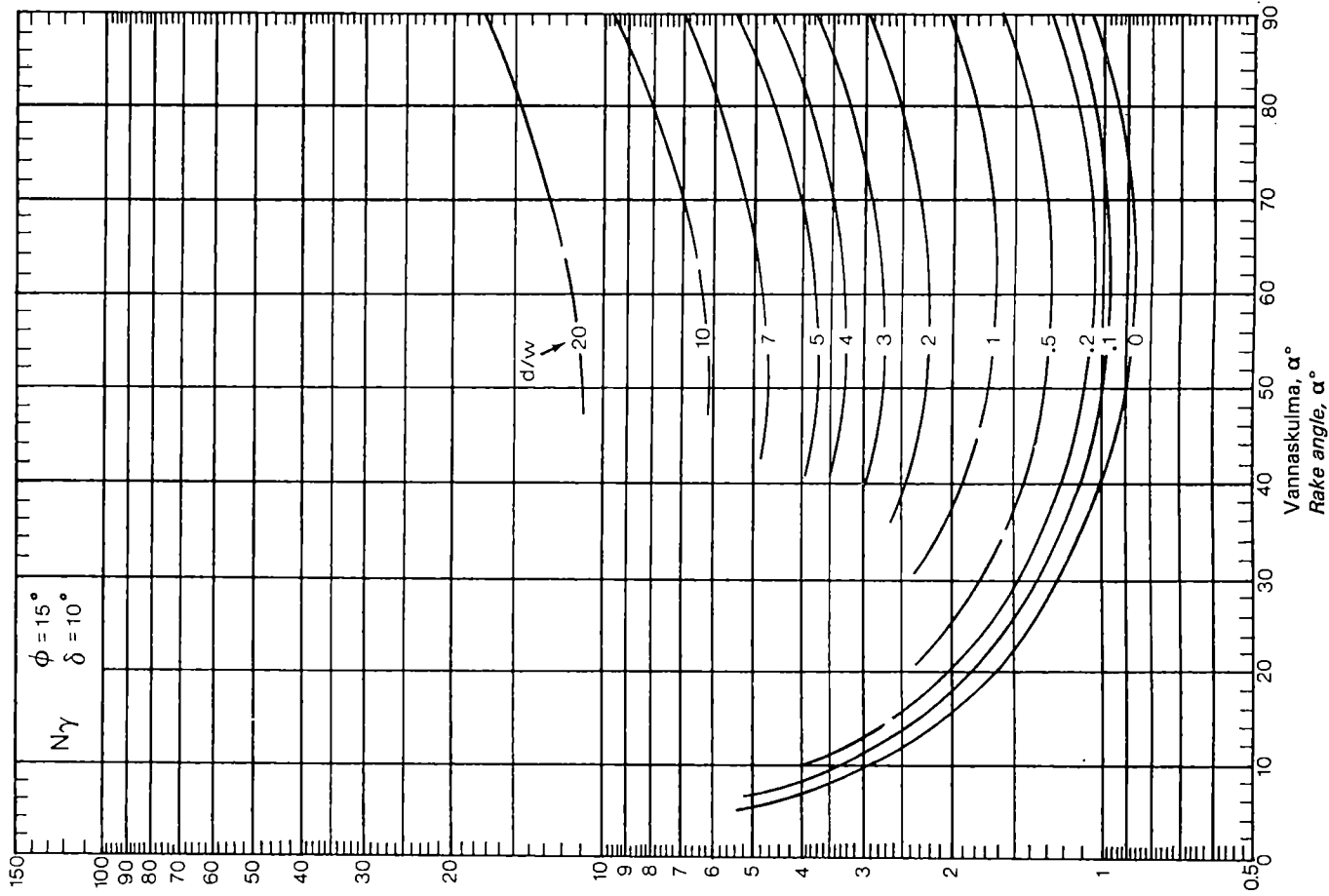


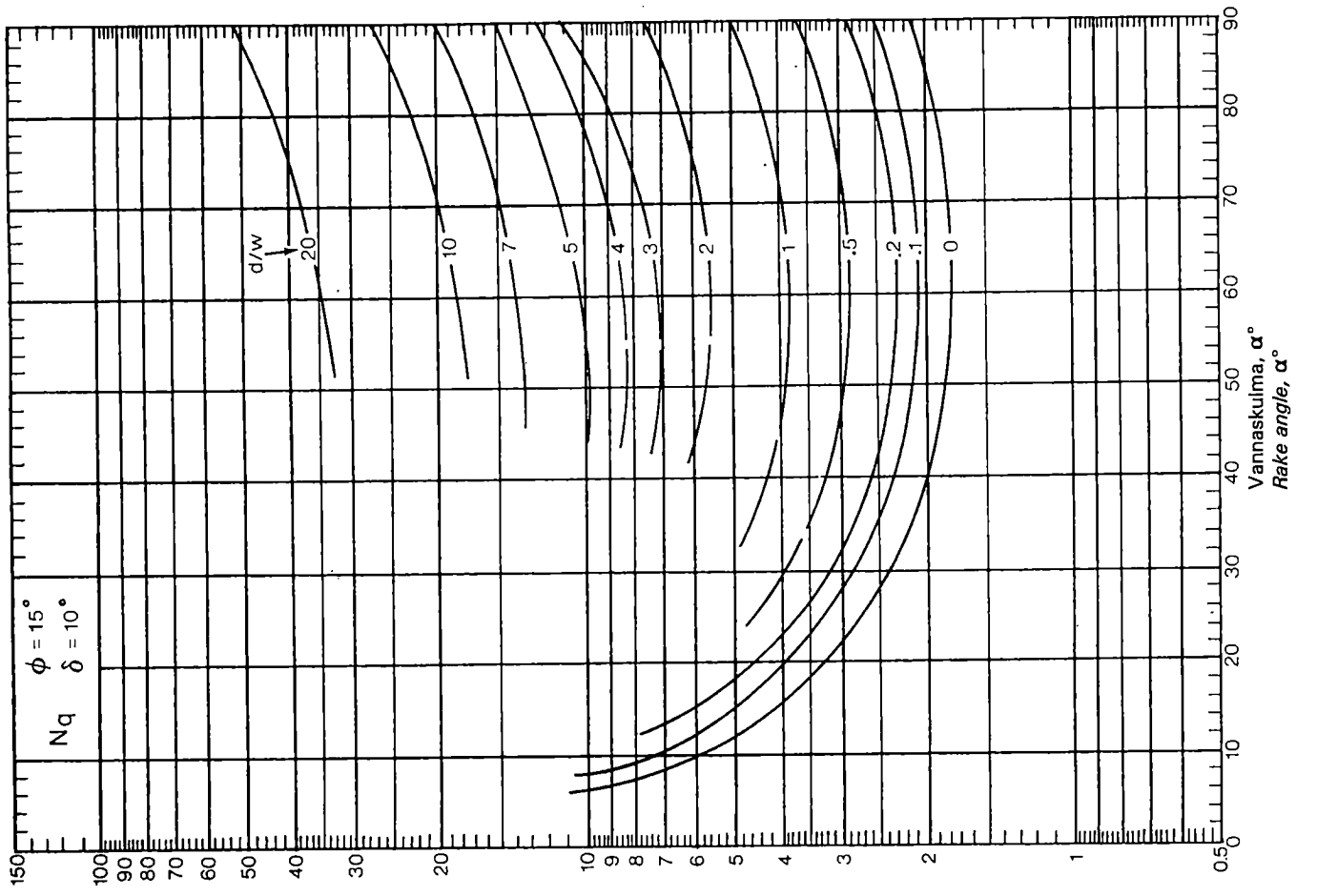
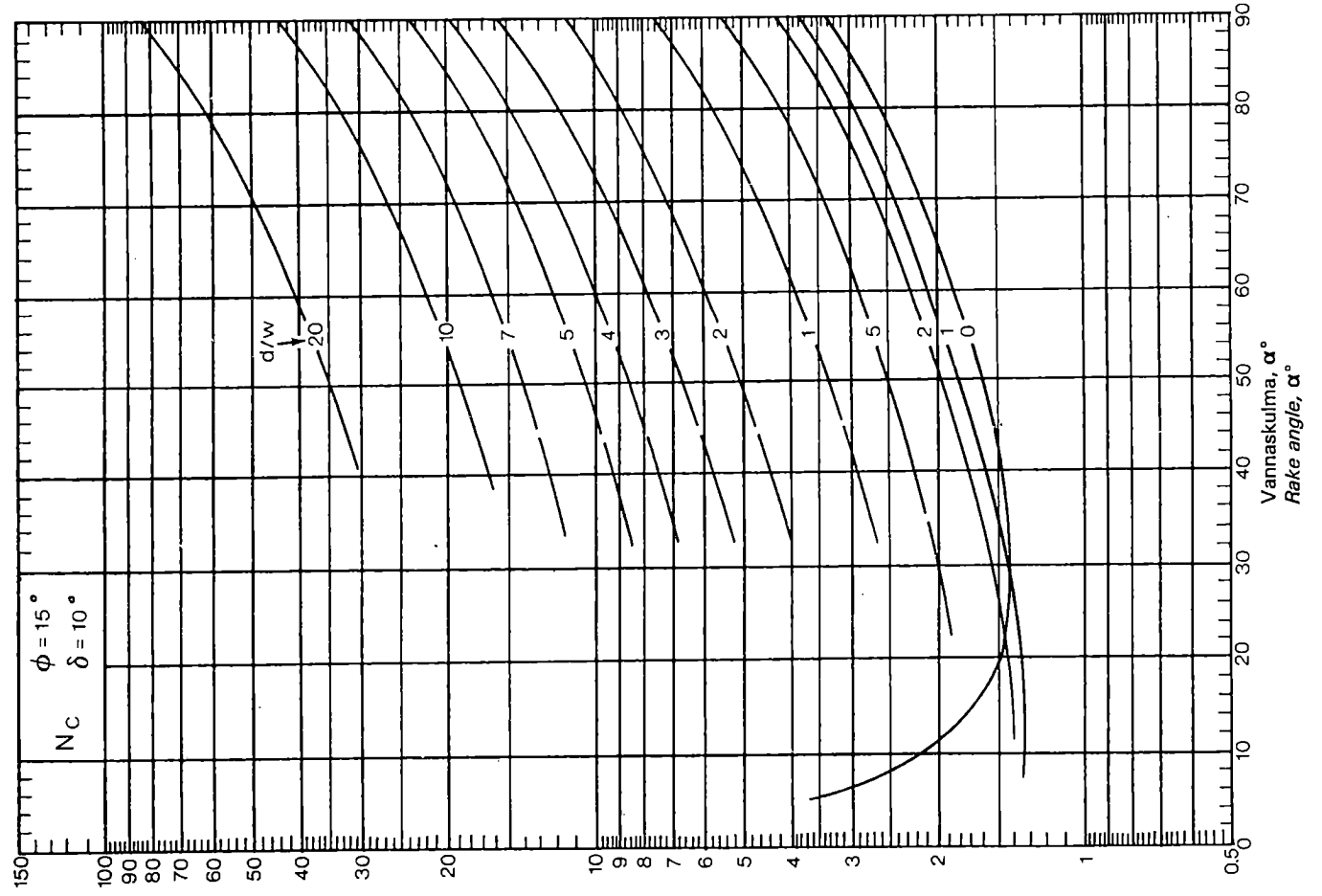


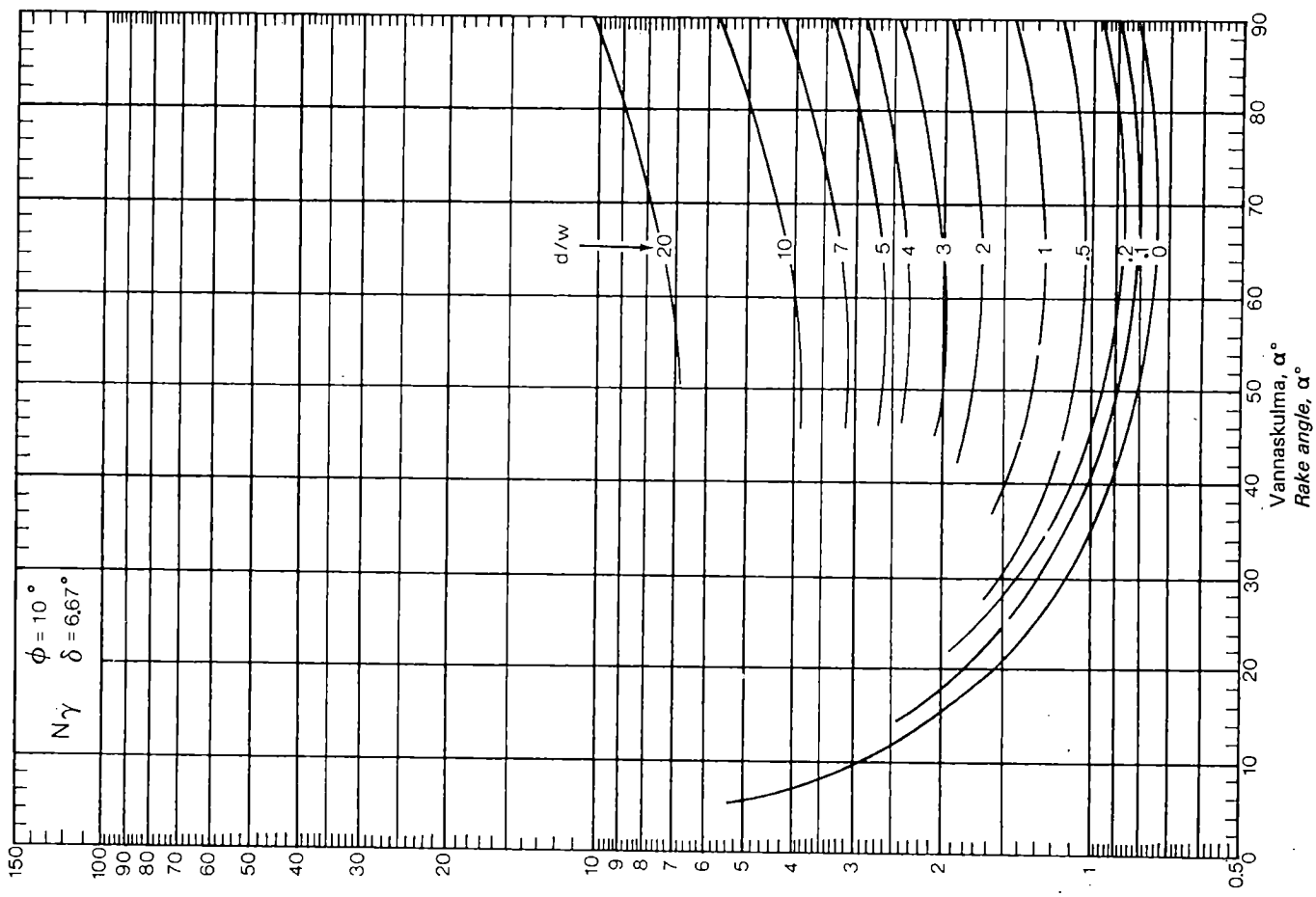
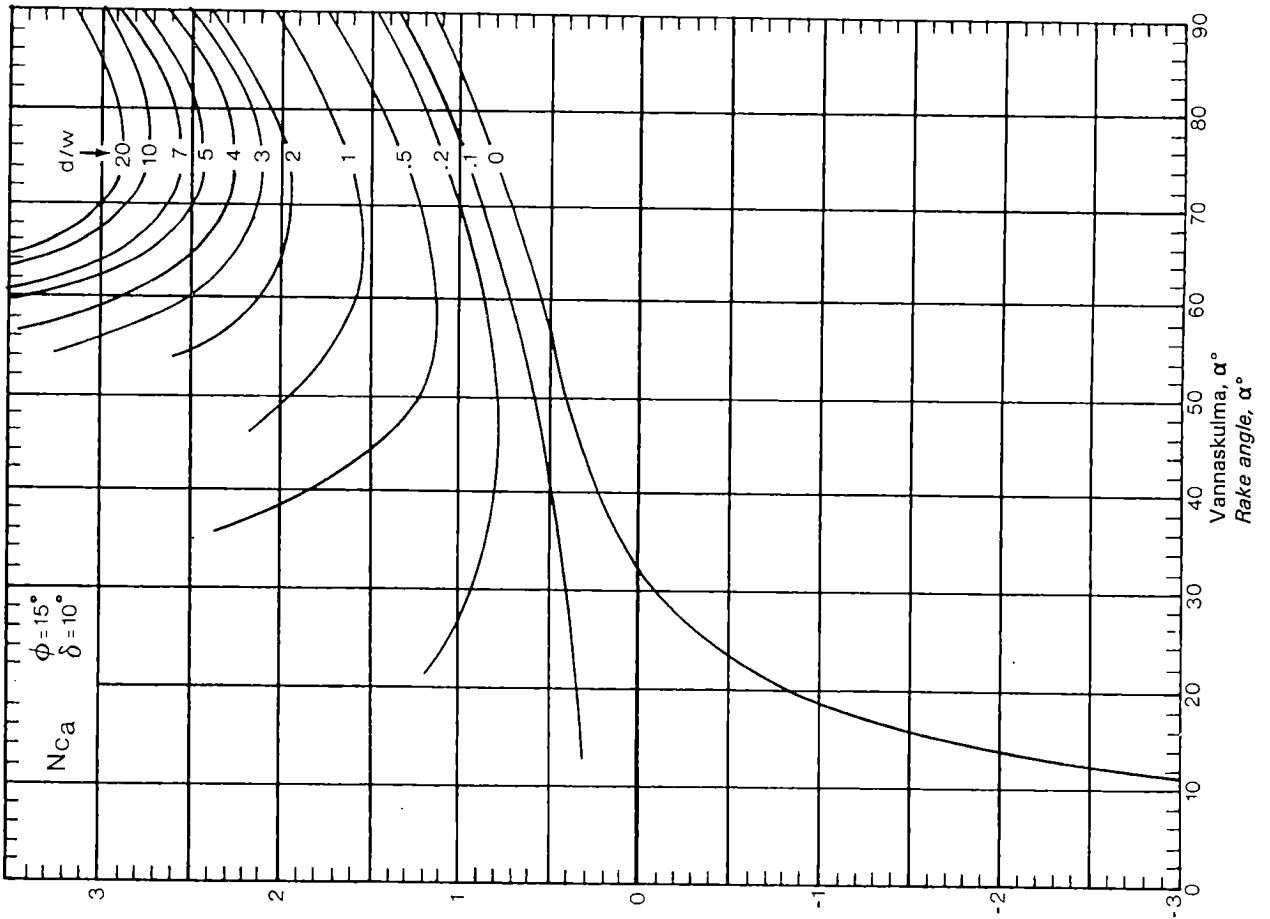


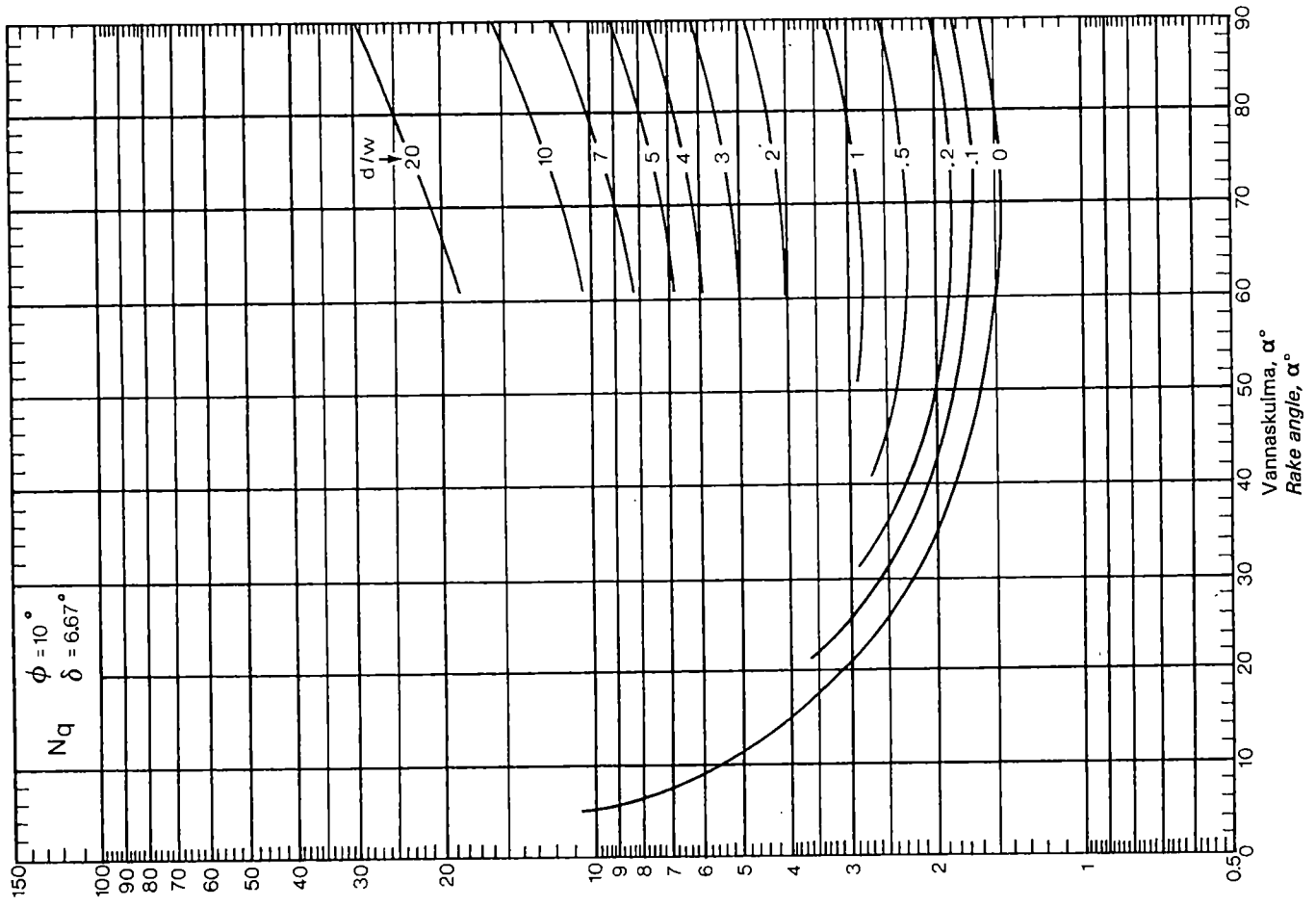
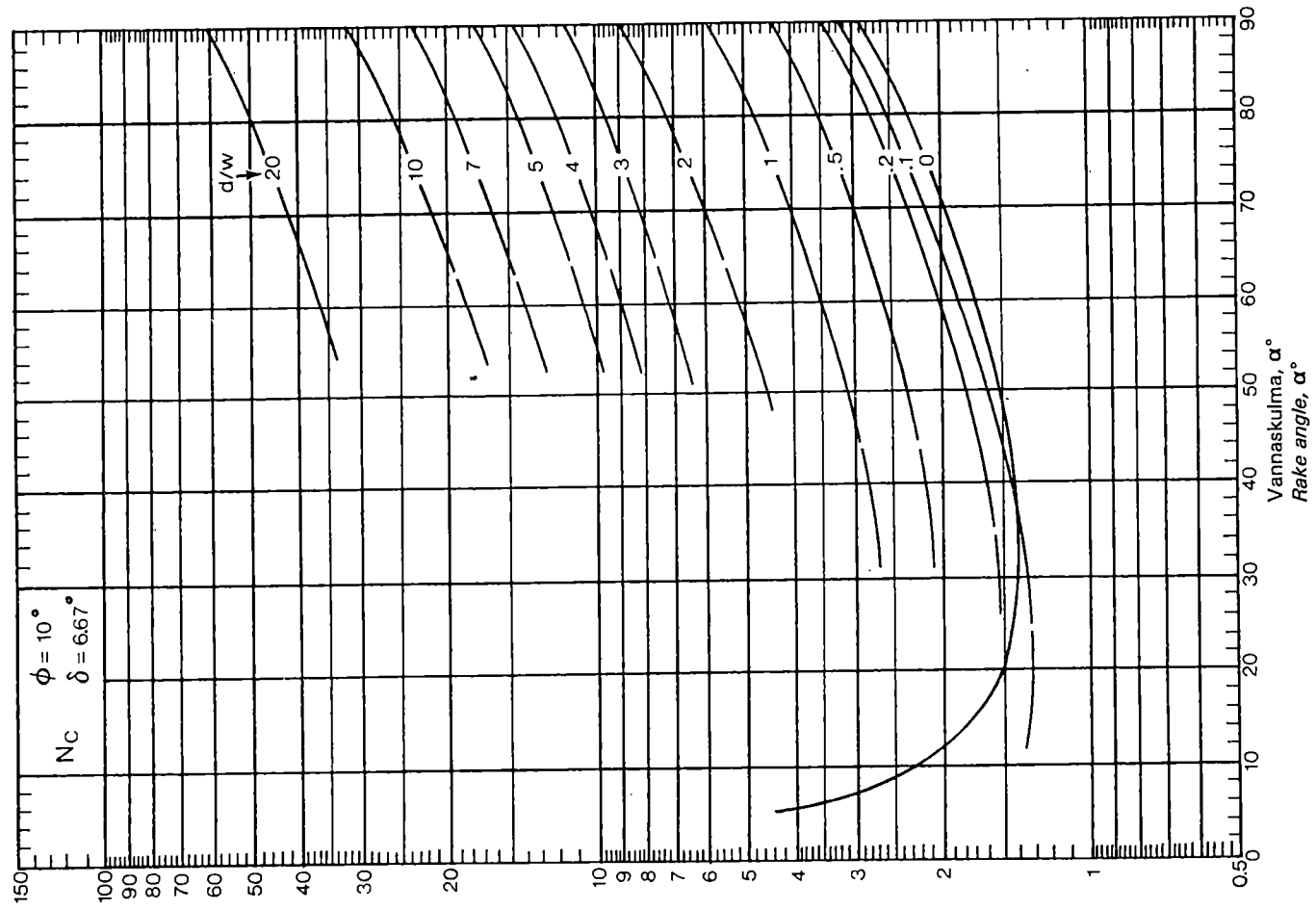


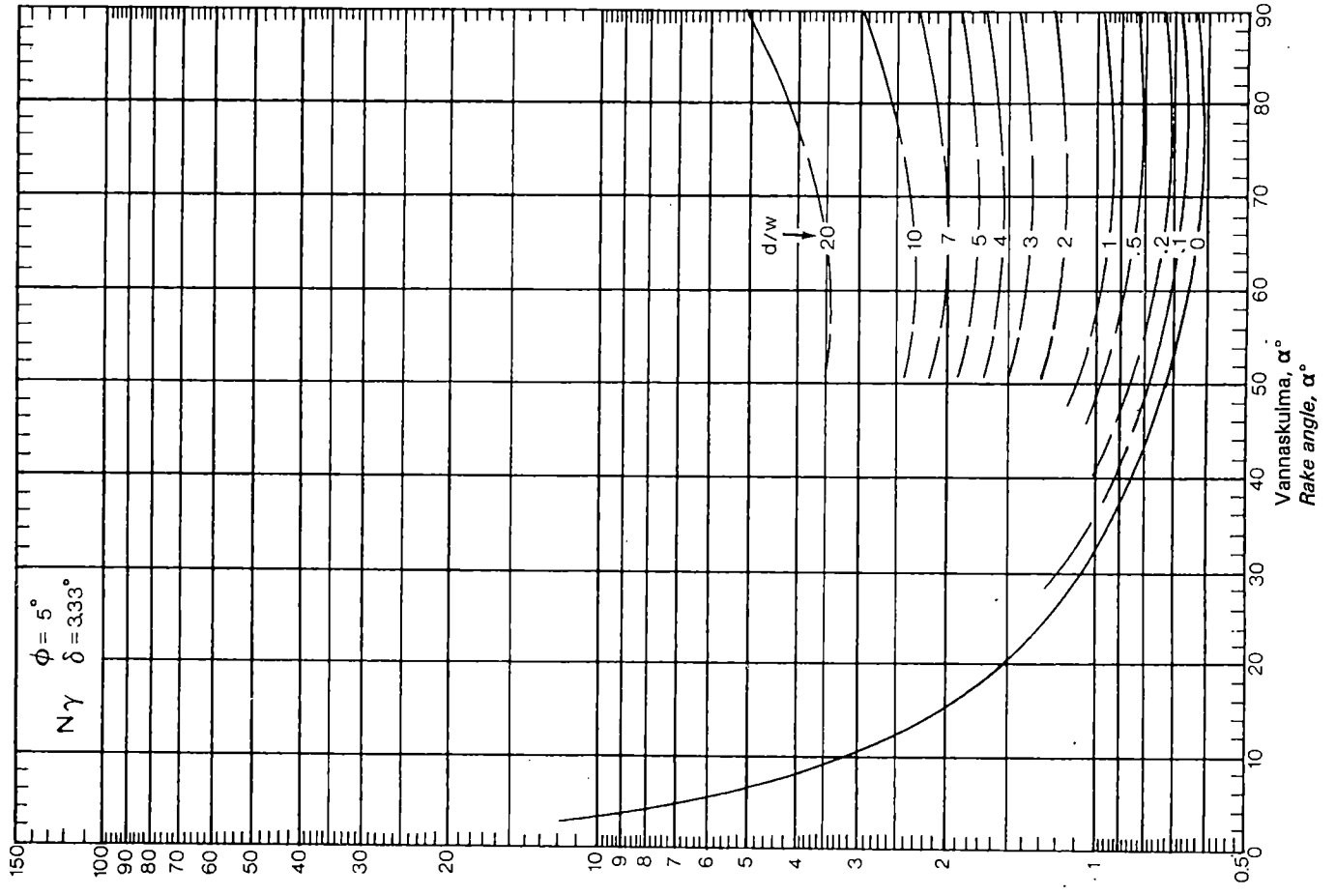
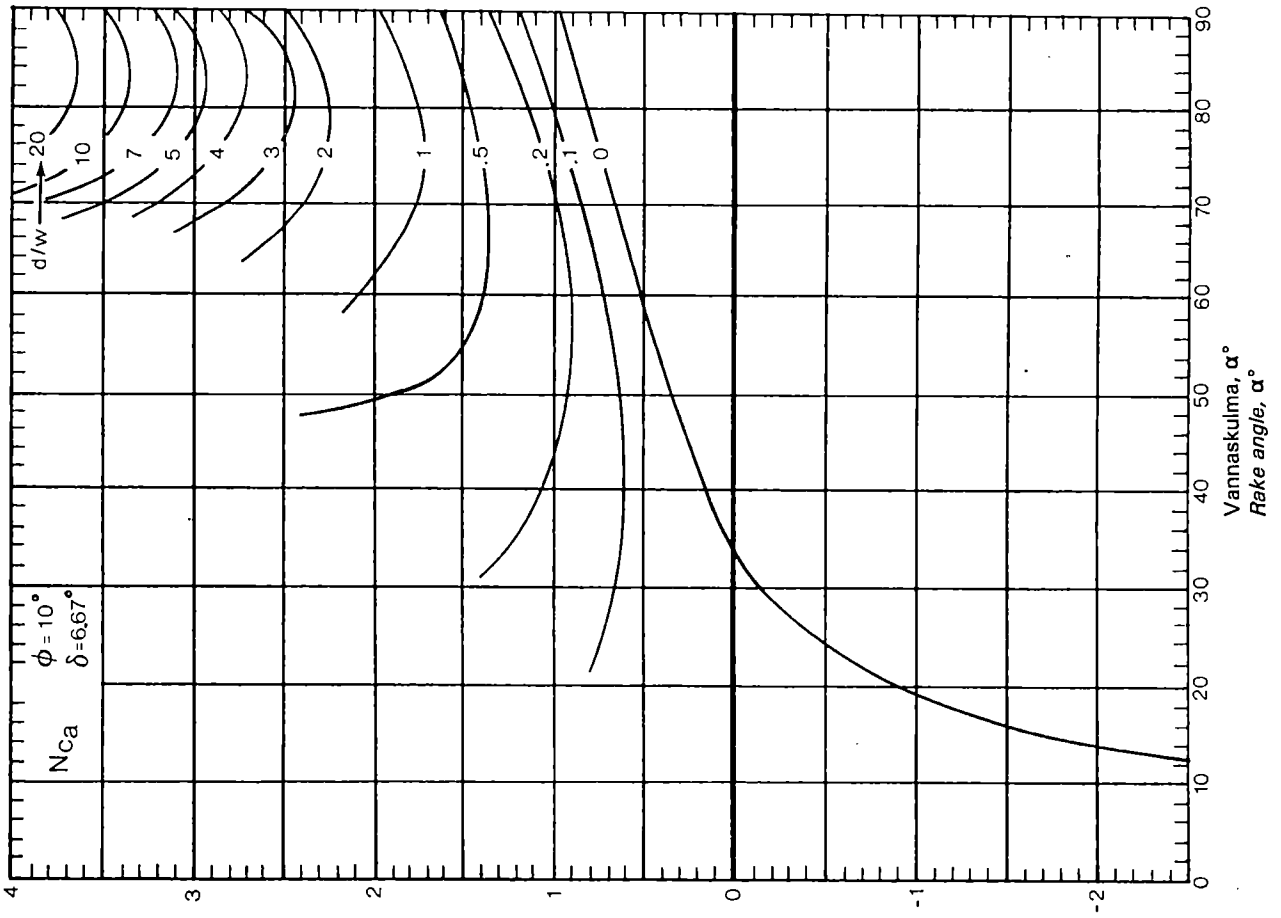


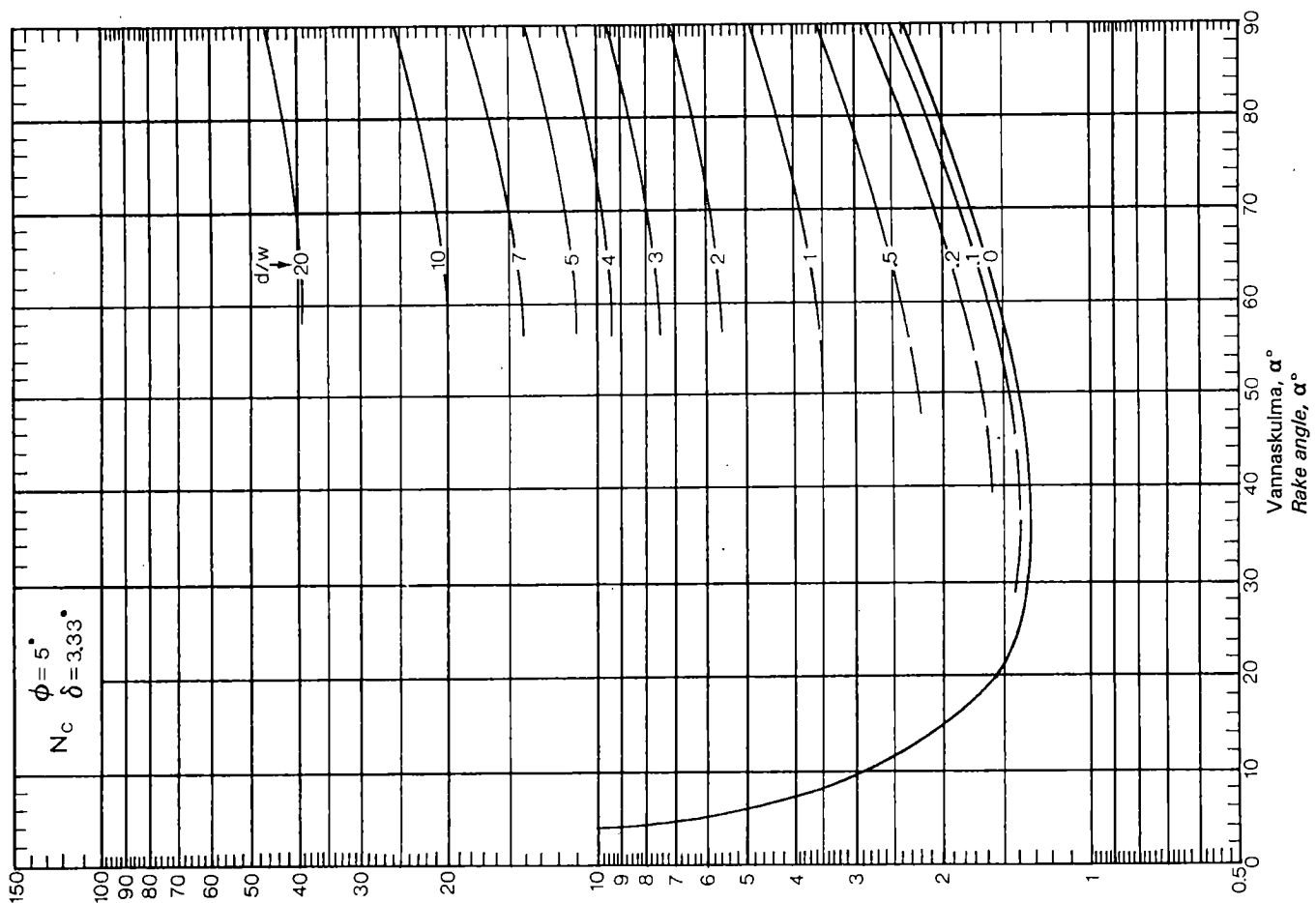
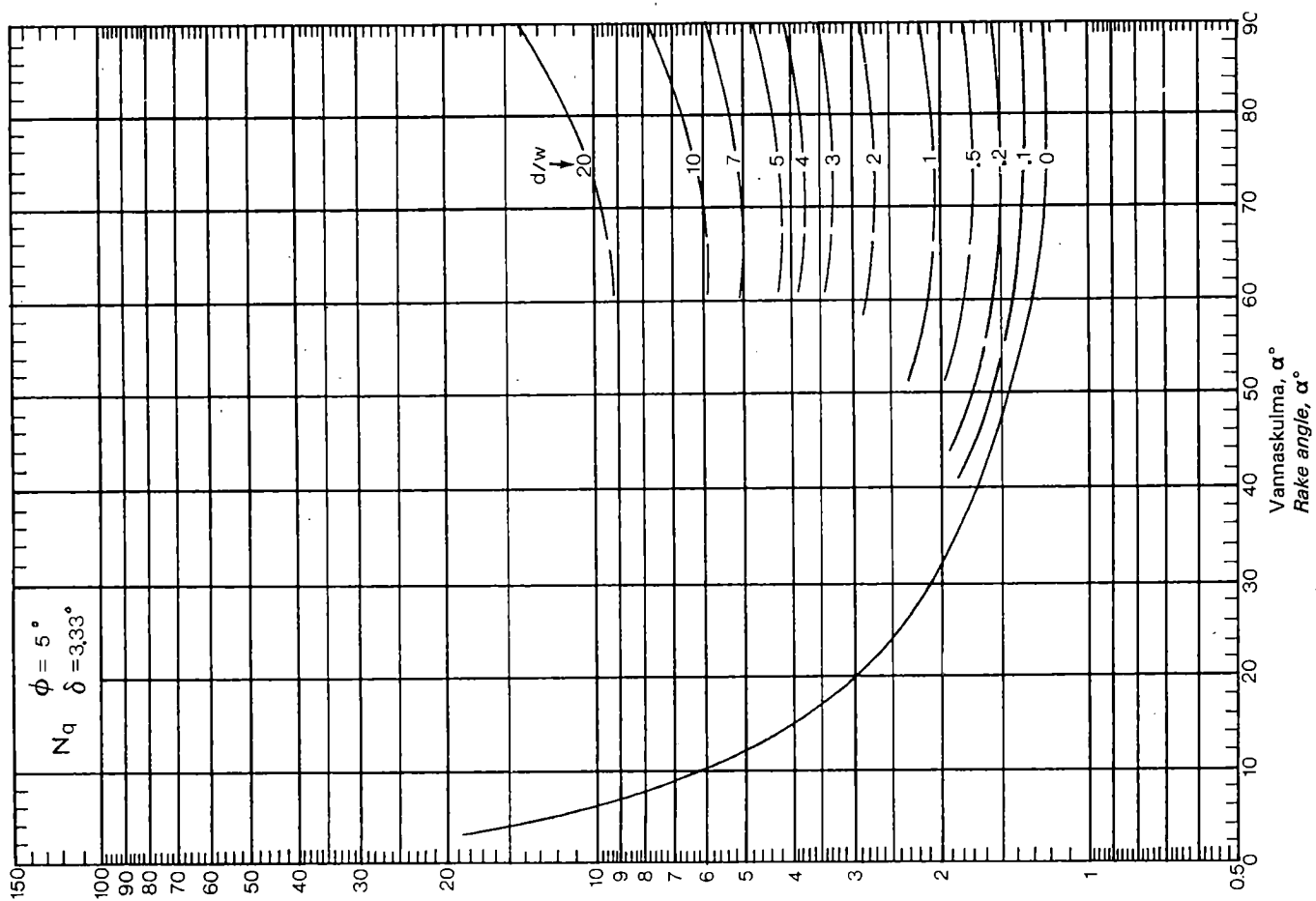


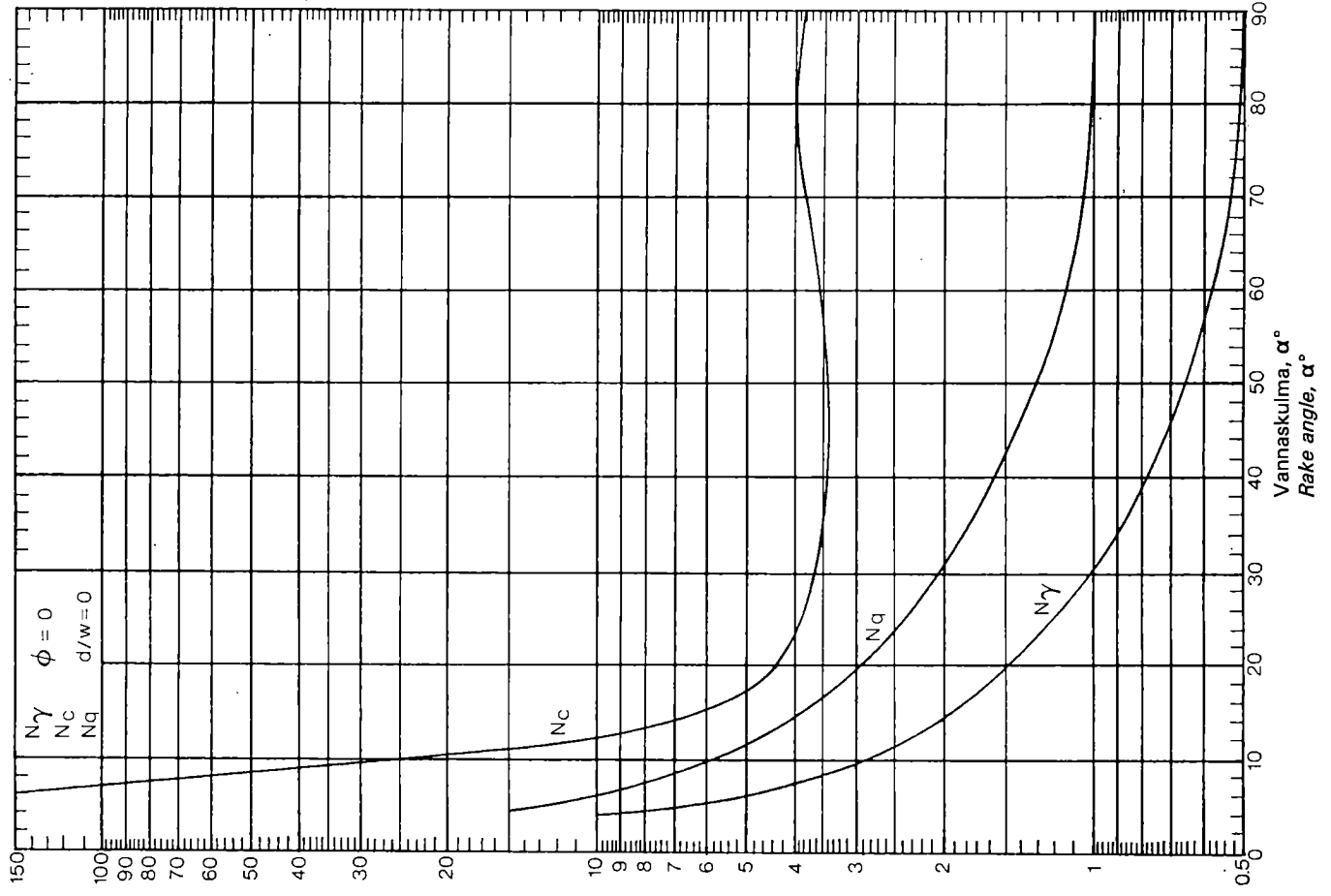
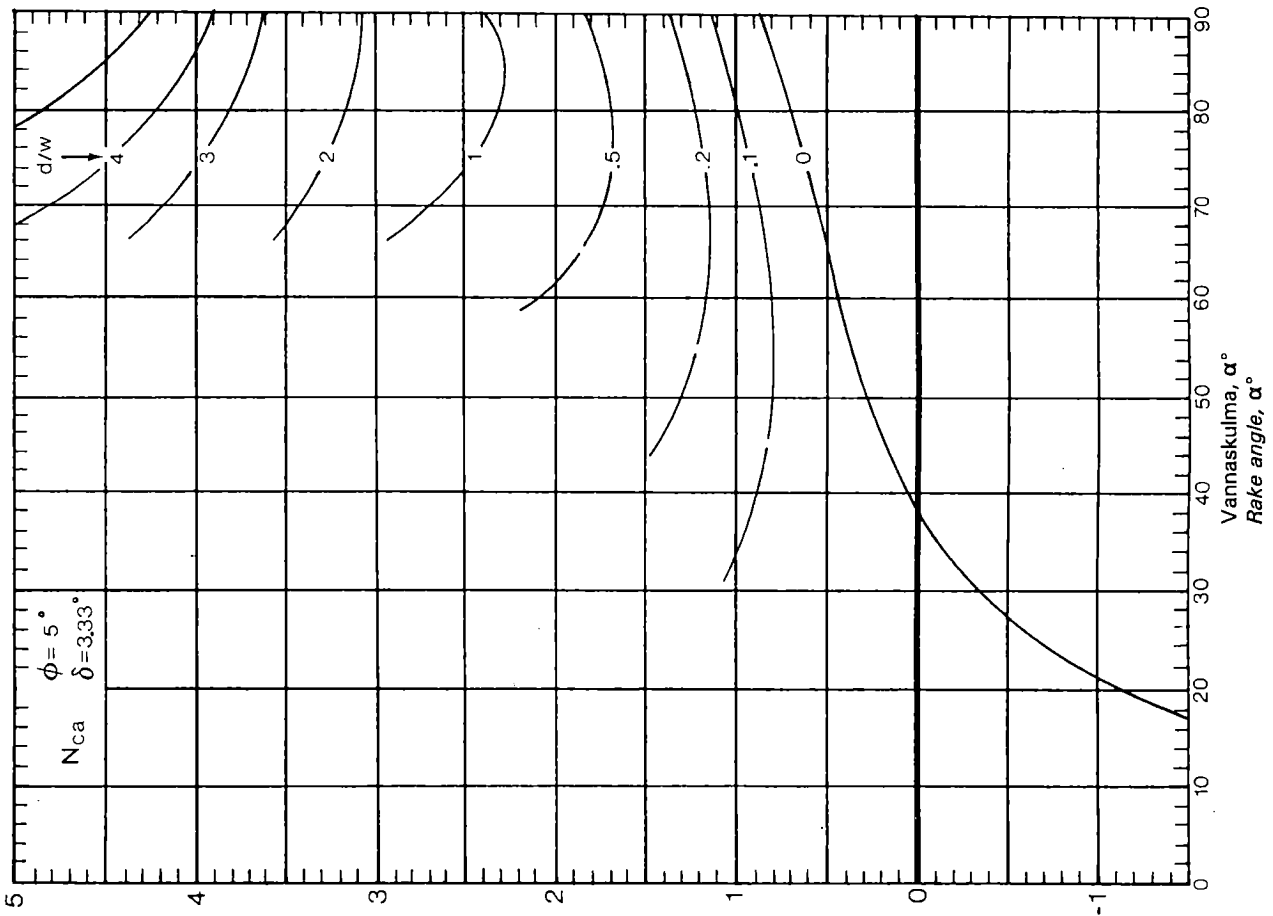












## VAKOLAn tutkimuseloituksia

46. Käyttökokemuksia 80-luvulla rakennetuista kalustovajoista, varastokuivureista ja pihatoista. 1987.
47. Lannoitteenlevityksen tasaisuus. 1987.
48. Jauhituksen tilantarve ja pölyhaittojen vähentäminen. 1987.
49. Maatalouskoneiden tietokanta. 1988.
50. Lannanpoistolaitteiden toiminta ja kestävyys. 1988.
51. Pienten pihatoiden ilmanvaihdon erityisvaatimukset. 1988.
52. Tuotantorakennusten suunnittelu ja rakentaminen käytännössä. 1988.
53. Hellävarainen perunankorjuu. 1989.
54. Syyskypntöä korvaavien muokkausmenetelmien vaikutus kevätvehnän satoon 1975-1988. Pitkäaikaisen aurattoman viljelyn vaikutukset hiesusaven rakenteeseen ja viljavuuteen 1989.
55. Ei julkaisua.
56. Kosteiden pintojen kosteudentuotanto navetoissa. 1989.
57. Kylmäilmakuivurin mitoitus ja käyttö. 1990.
58. Leikkuupuimurin kulkukyky vaikeissa olosuhteissa. 1990.
59. Lietelantjärjestelmien toimivuus. 1990.
60. Heinän varastokuivaus. 1991.
61. Viljankuivauksen pölyhaitat. 1992.
62. Säilörehun siirto ja käsittely talvella. 1991.
63. Naudanlihan tuotantomenetelmät ja -rakennukset. 1992.
64. Kiedotun pyöröpaalisäilörehun valmistustekniikka ja laatu. 1993.
65. Hellävarainen perunan kauppakunnostus. 1993.
66. Naudanlihan tuotantomenetelmät ja -rakennukset II. 1993.
67. Betonit ja muovit navetan lattiamateriaaleina. 1993.
68. Lannankäsittelyn taloudellisuuden ja lannan ravinteiden hyväksikäytön parantaminen. 1994.
69. The effect of ground profile and plough gauge wheel on ploughing work with a mounted plough. 1994.
70. Järeän sahatavaran mekaaniset ominaisuudet. 1995.
71. Varattu
72. Lannan levitys kasvustoon. 1996. Osa 1. Lietelannan sijoituslaitteen rakenteelliset vaatimukset suomalaisissa olosuhteissa.
73. Lannan levitys kasvustoon. 1996. Osa 2. Lietelannan levitysmahdollisuudet kasvavaan viljanoraaseen.
74. Kylmäkasvattamoiden kuivikepohjien toimivat vaihtoehdot. 1996.
75. Konetöiden turvallisuuden ja tehokkuuden parantaminen. 1996.

## VAKOLAn rakennusratkaisuja

- 1/1994 Kylmä osakuivikepohjainen emolehmäkasvattamo.
- 2/1995 Rehtijärven keinokosteikko.
- 3/1995 Puurakenteiset ruokinta-aidat ja parrenerottimet.
- 4/1996 Perustamistapojen hintavertailu.

## VAKOLAn tiedotteita

- 45/89 Säilörehun korjuu pyöröpaalaimella
- 45 S/89 Rundbalsensilering
- 46/90 Kevytsora lietesäiliön katteena
- 47/90 Lietelannan kompostointi
- 48/90 Turvallinen ja nopea työkoneiden kytkentä
- 49/91 Betonit ja muovit navetan lattiamateriaaleina
- 50/91 Pölyn ja roskien talteenotto lämminilmakuivamossa
- 51/92 Viherkesannon perustaminen ja hoito
- 52/92 Kaasut ja pöly eläinsuojien ilmanvaihdossa
- 53/93 Lannoitteenlevittimien levitystasaisuus
- 54/93 Maaseudun koerakentamisen ohjelmointi
- 55/93 Pyöröpaalisäilörehun korjuu, varastointi ja laatu
- 56/93 Maaseuturakentamisen ideakilpailu
- 57/93 Syyskylvöjen varmentaminen
- 58/93 Maatilan ja maatilamatkailun jätehuolto
- 59/93 Maatilamyymälätoiminta vanhassa maatilan asuinrakennuksessa
- 60/93 Tyhjien maatilarakennusten uusi käyttö
- 61/94 Lietelannan varastointi ja levitys
- 62/94 Tuotantorakennusten alapohjia ja piha-alueiden päällysrakenteita
- 63/94 Turvallinen puunpilkonta
- 64/94 Itkupinta-tuloilmalaitteen vaikutus eläinsuojassa
- 65/94 Oksainen hake pienpolttimissa
- 66/94 Pako- ja savukaasujen analysointi
- 67/94 Käyttökokemuksia jyväkylvölannoittimista
- 67S/94 Bruksfarenheter av vältkombisåmaskiner
- 68/94 Käsikäyttöisten liekittimien käyttöominaisuuksia
- 69/95 Renkaiden vaikutus traktorin vetokykyyn ja maan tiivistymiseen
- 70/95 Hakkeen kuivaus imuilmalla
- 71/95 Klapiattiloiden käyttöominaisuudet
- 72/96 EPS-rakeet ja EPS-rouhe sikalan lietesäiliön katteena
- 73/96 Kevytsaviharkkojen kuivuminen ja lujuus

