

**SVERIGES  
LANTBRUKSUNIVERSITET**

**INVERKAN AV LUTNINGAR PÅ MASSFLÖDE OCH  
SPRIDNINGSBILD HOS KONSTGÖDSELSPRIDARE**

**Influence of inclination on massflow and spreader pattern  
from fertilizer spreaders**

**Anna Bodén**

---

**Institutionen för lantbruksteknik**

**Swedish University of Agricultural Sciences  
Department of Agricultural Engineering**

**Rapport 177**

**Report**

**Uppsala 1994**

**ISSN 0283-0086**

**ISRN SLU-LT-R--177--SE**

---

DOKUMENTDATABLAD för rapportering till SLU:s lantbruksdatabas LANTDOK,  
Svensk lantbruksbibliografi och AGRIS (FAO:s lantbruksdatabas)

Institution/motsvarande Institutionen för lantbruksteknik		Dokumenttyp Rapport	
		Utgivningsår 1994	Målgrupp F, R
Författare/upphov Bodén, Anna			
Dokumentets titel Inverkan av lutningar på massflöde och spridningsbild hos konstgödselspridare Influence of inclination on massflow and spreader pattern from fertilizer spreaders			
Ämnesord (svenska och /eller engelska) Lutningar, massflöde, spridningsbild, konstgödselspridare Inclination, massflow, spreader pattern, fertilizer spreaders			
Projektnamn (endast SLU-projekt)			
Serie-/tidskriftstitel och volym/nr Sveriges lantbruksuniversitet Institutionen för lantbruksteknik Rapport 177			ISBN/ISRN SLU-LT-R--177-SE ISSN 0283-0086
Språk Svenska	Smf-språk Svenska/Engelska	Omfång 81 s.	Antal ref. 18

Postadress

Besöksadress

Telefonnummer

Telefax

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET  
Uttunabiblioteket, Förvärvsavdelningen/LANTDOK  
Box 7071

Centrala Ultuna 22  
Uppsala

018-67 10 00 vx  
018-671103

018-3010 06

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

BETECKNINGAR	ii
SAMMANFATTNING	iii
SUMMARY	iv
1 INLEDNING	1
2 LITTERATURÖVERSIKT	2
2.1 Massflöde	2
2.1.1 Centrifugalspridare	2
2.1.2 Fallspridare	4
2.2. Spridningsbild	5
3 TEORIBAKGRUND	6
3.1 Massflöde	6
3.2 Modell för centrifugalspridare	9
3.2.1 Parametrar på tallriken	9
3.2.2 Parametrar i luften	17
3.2.3 Spridningsbilden	22
4 JÄMFÖRANDE FÖRSÖK	25
4.1 Massflöde	25
4.2 Spridningsbild	25
5 RESULTAT	33
5.1 Modell för centrifugalspridare	33
5.1.1 Spridningsbilden	33
5.1.2 Modellens känslighet	37
5.2 Lutningar	46
5.2.1 Massflöde	46
5.2.1.1 Centrifugalspridare	46
5.2.1.2 Fallspridare	51
5.2.2 Spridningsbild	57
5.2.2.1 Centrifugalspridare	57
5.2.2.2 Fallspridare	66
6 DISKUSSION	71
6.1 Modell för centrifugalspridare	71
6.2 Lutningar	76
6.2.1 Massflöde	76
6.2.2 Spridningsbild	77
7 LITTERTURFÖRTECKNING	80

## BETECKNINGAR

$\bar{a}$	kornets acceleration relativt tallriken, $m/s^2$	$r_p$	kornets radie, m
$a_r$	kornets acceleration i radiellt led, $m/s^2$	$r_t$	spridartallrikens effektiva radie, m
$a_y$	kornets acceleration i y-led, $m/s^2$	$r_0$	radien från tallrikens centrum till den punkt där kornet släpps, rad
$a_z$	kornets acceleration i z-led, $m/s^2$	$s$	kornets kastlängd, m
$A$	kornets tvärsnittsarea vinkelrätt mot rörelseriktningen, $m^2$	$t$	tiden det tar för kornet att nå marken, s
$A_u$	utloppsöppningens area, $m^2$	$t_t$	tiden det tar för kornet att rulla från nedsläppspunkten till vingens spets, s
$c_d$	luftmotståndskoefficient	$T$	lutning i sidled, °
$dt$	tidssteget, s	$\bar{v}$	kornets hastighet, m/s
$\frac{d^2\alpha}{dt^2}$	kornets vinkelacceleration, $rad/s^2$	$\bar{v}_r$	kornets radiella hastighet relativt vingen, m/s
$\bar{f}_1$	den vertikala friktionskraften, N	$v_t$	kornets radiella hastighet då det lämnar skivan, m/s
$\bar{f}_2$	den radiellt riktade friktionskraften, N	$v_y$	kornets hastighet i y-led, m/s
$\bar{F}_c$	centrifugalkraften, N	$v_z$	kornets hastighet i z-led, m/s
$\bar{F}_{Co}$	Corioliskraften, N	$v_0$	kornets utgångshastighet då det lämnar tallriken, m/s
$\bar{F}_l$	luftmotståndskraften, N	$v_{0y}$	kornets utgångshastighet i y-led, m/s
$\bar{F}_{mg}$	tyngdkraften, N	$v_{0z}$	kornets utgångshastighet i z-led, m/s
$\Sigma\bar{F}$	summan av alla ingående krafter, N	$x$	kornets läge i sidled, m
$\bar{g}$	tyngdaccelerationen, $m/s^2$	$y$	kornets läge bakåt, m
$I$	kornets tröghetsmoment, $kgm^2$	$z$	tallrikens höjd över marken, m
$k$	konstant, $kg/m^2s$	$\alpha$	kornets vinkelförändring vid rullning, rad
$k_1$	konstant, $kg/s$	$\Theta$	vinkel relativt spridartallriksradien när kornet lämnar tallriken, rad
$k_2$	konstant, $kg/s$	$\mu_s$	statisk friktionskoefficient
$k_3$	konstant, $kg/s$	$\rho_l$	luftens densitet, $kg/m^3$
$L$	lutning framåt/bakåt, °	$\rho_p$	kornets densitet, $kg/m^3$
$m$	kornets massa, kg	$\phi$	tallrikens vridningsvinkel under tiden $t_t$ , rad
$\Sigma M$	summan av alla ingående moment, Nm	$\Phi$	vinkel relativt korriktningen där kornet släpps, rad
$\bar{N}_v$	normalkraften från vingen, N	$\omega$	tallrikens vinkelhastighet, $rad/s$
$Q_m$	massflöde, $kg/s$		
$\bar{r}$	radien från tallrikens centrum till kornet, m		

## SAMMANFATTNING

Föreliggande projekt ingår som en del i det av Riksdagen initierade projektet TYP 93. Målet är att utreda om det föreligger någon påverkan från lutningar på massflöde respektive spridningsbild hos konstgödselspridare, samt om påverkan föreligger, ge förslag till mätmetod av denna påverkan.

Hos två centrifugalspridare, Bogballe E1000 och Amazone ZA-F 603, beräknades förändringen i area hos utloppsöppningen vid lutningar. Utloppsöppningens area förändrades inte hos Bogballe E1000 vid lutning. Hos Amazone ZA-F 603 förändrades arean vid sidlutning. Förändringen var 3,5 %/grad. Försök utförda av Statens Maskinprovningar visade dock på ett lutningsberoende hos båda maskinerna vid lutning i sidled. Här behöver ytterligare försök vidtas innan beslut om typprovning tas.

Massflödets lutningsberoende hos fallspridare är väldokumenterat i litteraturen. Litteraturen visar att förändringen i massflödet då knastvalsens lutning tvärs sin centrumaxel är 0,8 %/grad. Försök utförda av Statens maskinprovningar inom projektets ram stödjer litteraturen. Här kan en typprovning vara möjlig. Provningsmetoden skulle lämpligen kunna utföras vid 10 ° lutning av maskinen tvärs knastvalsens rotationsriktning.

Påverkan från lutningar på centrifugalspridares spridningsbild studerades med en datormodell. Även kompletterande försök utfördes. Spridningsbilden förändras mest hos centrifugalspridare som lutar relativt horisontell mark. Vid sidleds lutning förändrades spridningsjämnheten hos båda maskinerna. Vid lutning framåt förbättrades spridningsbilden hos Amazone ZA-F 603 ur jämnhetssynpunkt. Hos Bogballe E1000 breddades spridningsbilden något, men spridningsjämnheten var oförändrad. Detta skulle innebära att en typprovning kan vara möjlig även här.

Spridningsbildens förändring med lutningar hos fallspridare kommer i huvudsak från massflödets förändring med lutningar. Därför finns ingen anledning att införa en typprovning av fallspridares spridningsbild.

## SUMMARY

This work is a part of a project initiated by the Swedish Riksdag, TYP 93. The goal of this work is to find the influence of sloping ground on massflow and spreader pattern of fertilizer spreaders. If there is any influence, a proposal of testing method is to be given.

The change in drop point area when inclining a centrifugal broadcaster was calculated in a computer. Two fertilizer spreaders were used, Bogballe E1000 and Amazone ZA-F 603. The drop point area was not changing when inclining the Bogballe E1000. When Amazone ZA-F 603 was inclined sideways, the area changed with 3,5 %/degree inclination. Experiments done by the National Machinery Testing Institute (NMTI) showed that the massflow were changing when inclining both Bogballe E1000 and Amazone ZA-F 603 sideways. Further investigations are needed in this area.

The change in massflow when inclining full-width spreaders is well-documented in the literature. The change in massflow when the studded roller feeder is inclined perpendicular to the roller axis is 0,8 %/degree inclination. Experiments done by the NMTI supports the literature. A certification is therefore possible. The certification should preferably be done when inclining the full-width spreader 10 degrees perpendicular to the roller axis.

The influence of inclination on the spreader pattern from the centrifugal distributor was studied with a computer simulation model and by experiments. The greatest change in spreader pattern was found for broadcasters inclining on horizontal ground. But there is also a big change in spreader pattern when the broadcaster is driven on sloping ground. Sideways inclination causes bigger variation coefficient in the spreader pattern than inclining the spreader forward/backwards. This points towards a possible certification in this area.

The change in spreader pattern from full-width spreaders mainly comes from the change in massflow when inclining the studded roller feeder. There are no arguments for having a certification here.

## 1 INLEDNING

Läckage av näringsämnen till omgivande mark och vatten är ett problem i dagens samhälle. En del av detta läckage kan hänföras till jordbrukets tillförsel av växtnäringsämnen till jorden. Tillförseln av växtnäringsämnena medför läckage t ex vid överdosering, ojämn spridning, fel spridningstidpunkt eller ovarsamt körsätt.

För att komma tillrätta med problemen har Riksdagen gett Jordbruksverket i uppdrag att utreda orsakerna och minska läckaget av näringsämnen till omgivningen. Jordbruksverket i sin tur har gett Institutionen för lantbruksteknik (LT), Jordbrukstekniska institutet (JTI) och Statens maskinprovningar (SMP) i uppdrag att utreda vad ett eventuellt typgodkännande av stall- och konstgödselspridare kan få för följder (projekt TYP 93).

Målet för TYP 93 är att utreda möjligheterna för att införa ett typgodkännande för konst- och stallgödselspridare. Intentionen med ett typgodkännande är att minska läckaget av näringsämnen från jordbruket. Typgodkännandet skulle kunna få till följd att maskinernas spridningsprecision ökar, vilket skulle kunna minska läckaget till omgivningen. Projektet består av två huvuddelar, kartläggning av gödselspridarna samt karakterisering av gödselns egenskaper. Detta innefattar både konst- och stallgödselspridning.

Föreliggande undersökning ingår som ett delprojekt till TYP 93. Målet är att utreda om det föreligger någon påverkan från lutningar på massflöde respektive spridningsbild samt att, om påverkan föreligger, ge förslag till mätmetod av denna påverkan.

I rapporten markeras vektorer med streck,  $\vec{v}$  och enhetsvektorer markeras med tak,  $\hat{v}$ . För skalärer används vanlig stil, dvs  $|\vec{v}| = v$ . Vidare studeras i rapporten centrifugalspridarnas tallrikar sett framifrån/uppifrån, detta är gjort för att underlätta förståelsen hos läsaren för sambanden mellan parametrarna som påverkar spridningsbilden och den effekt de har på spridningsbilden.

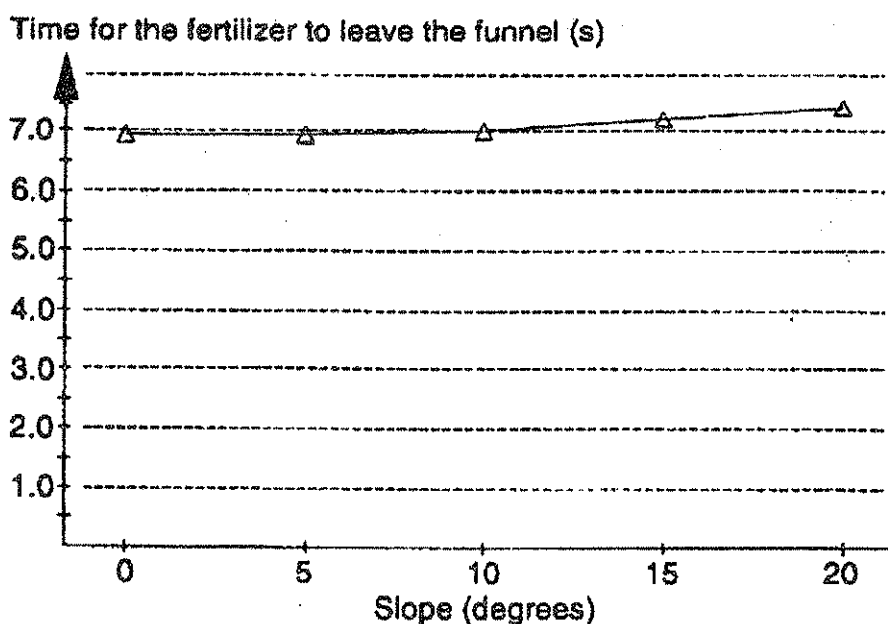
## 2 LITTERATURÖVERSIKT

Då en litteraturstudie gjorts i ämnet (Loftäng, 1993) kommer i detta kapitel endast att redovisas kompletterande litteratur till Loftäng (1993) samt den litteratur som är värd ett extra påpekande för sammanhangets skull. I övrigt hänvisas till Loftäng (1993).

### 2.1 Massflöde

#### 2.1.1 Centrifugalspridare

Lutningars inverkan på massflödet från en centrifugalspridare är mycket lite undersökt i litteraturen. Författaren har endast funnit en referens som direkt undersökt detta samband, och det är den förut omtalade litteraturstudien, Loftäng, 1993. Loftäng (1993) hittade ingen litteratur på området och utförde därför ett informellt test på den tratt som är definierad i ISO 3944 (1980). En tratt av denna typ företer vissa likheter med en passiv, dvs gravitationsberoende, utmatning. Resultaten visade att massflödet från tratten inte påverkades av lutningar under  $10^\circ$  (figur 2.1).



Figur 2.1. Tiden materialet samlas upp från den tratt som är definierad i ISO 3944 (1989) vid olika lutningar. Varje punkt baseras på tre mätningar. Största avvikelse från medelvärdet är 0,8 % (Loftäng, 1993).



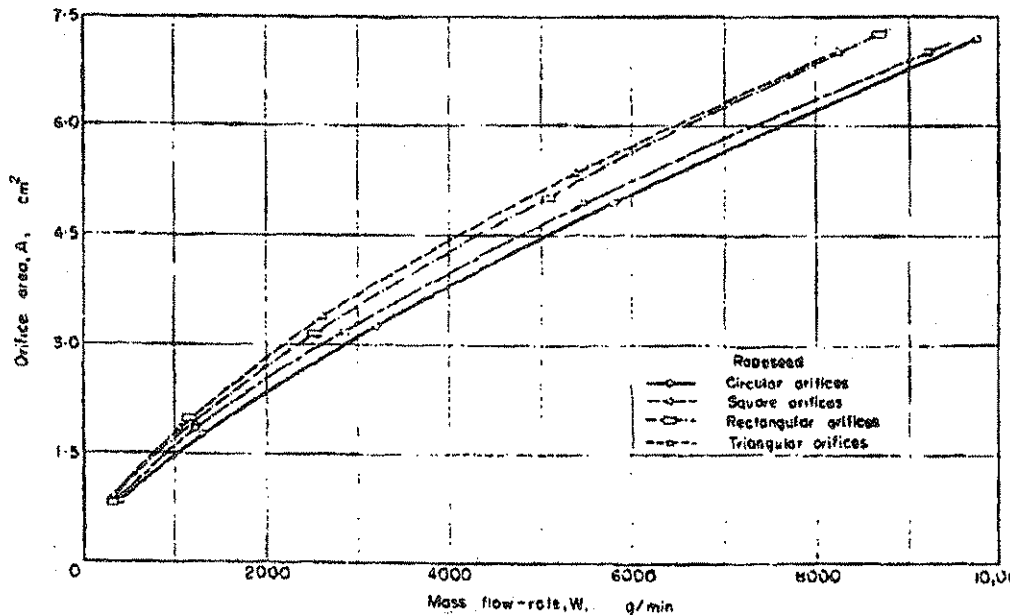
Ett flertal författare har däremot arbetat med att kartlägga ekvationen som bestämmer massflödet från en passiv utmatning. Beverloo m fl (1960) fann att massflödet påverkades av följande faktorer:

- tyngdaccelerationen
- materialets volymvikt
- partiklarnas medelstorlek
- utloppsöppningens utseende
- utloppsöppningens area.

Gregory & Fedler (1987) och Fedler & Gregory (1989) införde ytterligare en parameter, coefficient of drag. Den beror av egenskaper hos det flödande materialet: inre friktionskoefficient, granulernas ytstruktur och granulernas form.

Chang m fl (1990) har studerat flödet från vertikala utloppsöppningar. Flödet är där karakteriserat av samma parametrar som Beverloo m fl (1960) använde.

De faktorer som kan tänkas förändras vid lutning av maskinen är utloppsöppningens utseende och area. Vad gäller öppningens utseende visade Beverloo m fl (1960) att för hål med samma öppningsarea minskar flödet i ordningen cirkulär, kvadratisk, rektangulär och triangulär öppning. Flödet ökar med ökande area (figur 2.2).



Figur 2.2. Inverkan av utloppsöppningens area och form på massflödet av raps (Beverloo m fl, 1960).

Samtliga författare anser att massflödet är proportionellt mot utloppsöppningens area, dvs

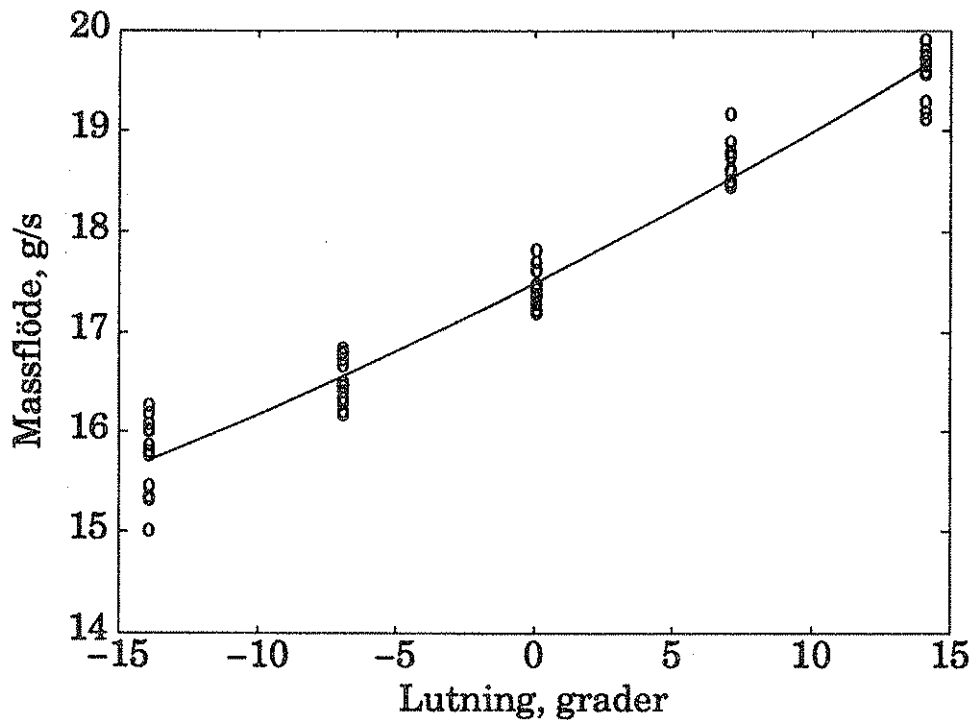
$$Q_m = kA_u \quad (4.1)$$

där

$Q_m$  = massflödet, kg/s  
 $k$  = konstant, kg/m<sup>2</sup>s  
 $A_u$  = utloppsöppningens area, m<sup>2</sup>

### 2.1.2 Fallspridare

Massflödet från en knastvals har utförligt behandlats av Svensson (1992). Sammanfattningsvis kan sägas att Svenssons (1992) resultat visar på att massflödet hos en knastvals som lutar tvärs sin centrumaxel förändras med 0,8 % per grad lutning (figur 2.3).



Figur 2.3. Förändringen i massflöde hos en knastvals som lutar tvärs sin centrumaxel (Svensson, 1992).

## 2.2 Spridningsbild

Mennel & Reece (1963) gjorde en teoretisk genomgång på centrifugalspridares kastbåge bakom spridaren. De visar att en centrifugalspridare med tallriken på låg höjd över marken och flata kastparabler (kornen kastas rakt ut från spridaren, utan uppåtriktad hastighet) är känsligare för lutningar i längs- och sidled än en spridare med tallriken på högre höjd över marken och som kastar kornen mer uppåt.

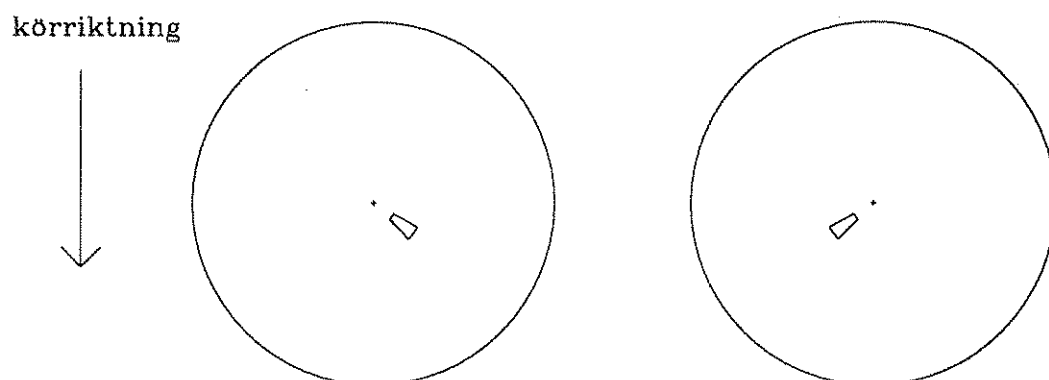
Spridare som kastar kornen med lägre utgångshastigheter får en spridningsbild som i mindre grad påverkas av kornstorlek, kornens utkastningsriktning från tallriken och maskinrörelser än en spridare som ger kornen högre utgångshastigheter från tallriken (Mennel & Reece, 1963).

Vad gäller övrig litteratur rörande lutningars påverkan på spridningsbilden hos centrifugal- och fallspridare hänvisas till Loftäng, 1993.

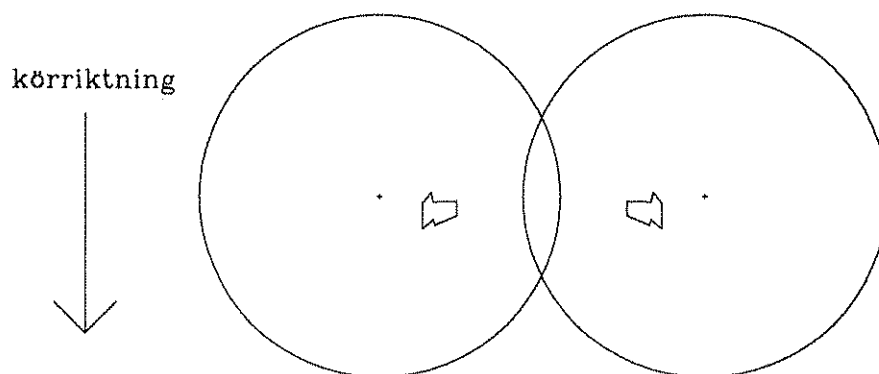
### 3 TEORIBAKGRUND

#### 3.1 Massflöde

För att studera förändringen i area hos utloppsöppningen vid lutningar mäts öppningen hos två centrifugalspridare, Bogballe E1000 och Amazone ZA-F 603. Tillvägagångssättet för mätningen är redovisat i kapitel 4.2. Spridartallrikarna med utloppsöppningarna projicerade på respektive tallrik visas i figur 3.1 för Bogballe E1000 och i figur 3.2 för Amazone ZA-F 603.



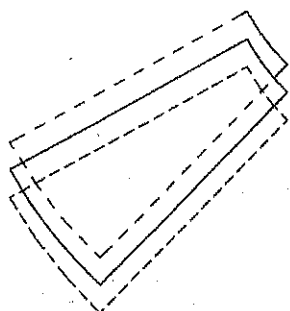
Figur 3.1. Spridartallrikarna på Bogballe E1000, med utloppsöppningarna projicerade på respektive tallrik (egen figur).



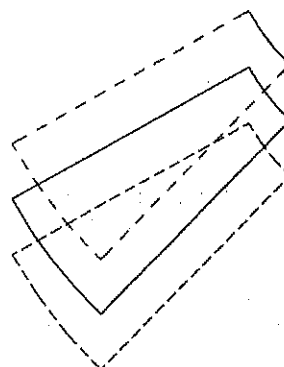
Figur 3.2. Spridartallrikarna på Amazone ZA-F 603, med utloppsöppningarna projicerade på respektive tallrik (egen figur).

I dator simulerades sedan öppningarnas utseende vid lutning  $5^\circ$  och  $10^\circ$  i sidled och i längsled (framåt/bakåt). I figur 3.3 - 3.10 är det de i figur 3.1 och 3.2 högra tallrikarnas respektive utloppsöppningar som studeras. Det innebär att vid framåt/bakåtlutning är den översta streckade linjen utloppsöppningen då maskinen lutas bakåt och den nedersta streckade linjen är utloppsöppningen då maskinen lutas framåt. Vid sidlutning är de streckade linjerna lutning åt vänster respektive höger.

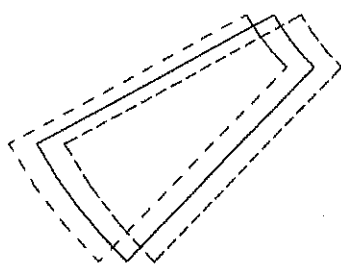
Utloppsöppningens area hos Bogballe E1000 förändras ingenting vid lutningar. Utloppsöppningen flyttar sig på tallriken, men arean förblir lika stor hela tiden (figurerna 3.3, 3.4, 3.5 och 3.6). För inställning 2,5 är arean  $1,42 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ .



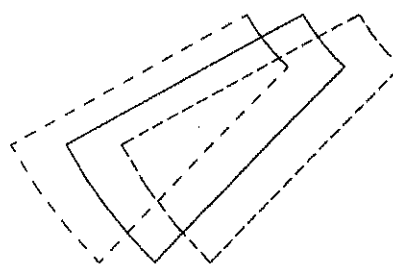
Figur 3.3. Utloppsöppningens utseende hos Bogballe E1000, inställning 2,5, vid lutning  $5^\circ$  framåt respektive bakåt. Heldragen linje är utloppsöppningen vid horisontalläge och streckade linjer är utloppsöppningen vid lutning (egen figur).



Figur 3.4. Utloppsöppningens utseende hos Bogballe E1000, inställning 2,5, vid lutning  $10^\circ$  framåt respektive bakåt. Heldragen linje är utloppsöppningen vid horisontalläge och streckade linjer är utloppsöppningen vid lutning (egen figur).

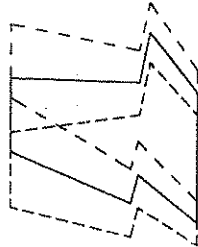


Figur 3.5. Utloppsöppningens utseende hos Bogballe E1000, inställning 2,5, vid lutning  $5^\circ$  åt höger respektive vänster. Heldragen linje är utloppsöppningen vid horisontalläge och streckade linjer är utloppsöppningen vid lutning (egen figur).

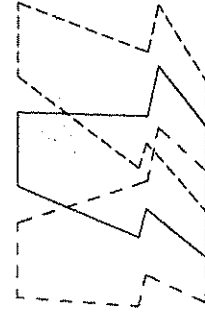


Figur 3.6. Utloppsöppningens utseende hos Bogballe E1000, inställning 2,5, vid lutning  $10^\circ$  åt höger respektive vänster. Heldragen linje är utloppsöppningen vid horisontalläge och streckade linjer är utloppsöppningen vid lutning (egen figur).

Utloppsöppningens area förändras inte när Amazone ZA-F 603 lutas i längsled, den förblir  $0,95 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ . Den flyttar sig dock kraftigt på tallriken (figur 3.7 och 3.8).

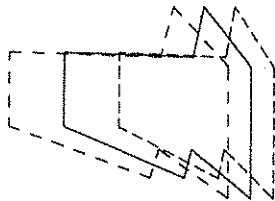


Figur 3.7. Utloppsöppningens utseende hos Amazone ZA-F 603, inställning 17,5, vid lutning  $5^\circ$  framåt respektive bakåt. Heldragen linje är utloppsöppningen vid horisontalläge och streckade linjer är utloppsöppningen vid lutning (egen figur).

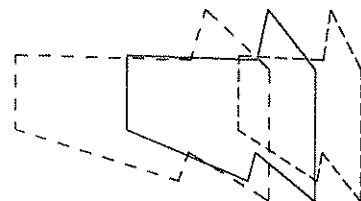


Figur 3.8. Utloppsöppningens utseende hos Amazone ZA-F 603, inställning 17,5, vid lutning  $10^\circ$  framåt respektive bakåt. Heldragen linje är utloppsöppningen vid horisontalläge och streckade linjer är utloppsöppningen vid lutning (egen figur).

Arean hos utloppsöppningen hos Amazone ZA-F 603 förändras däremot vid lutning i sidled. Vid lutning  $5^\circ$  i sidled förändrades arean med 17 % (figur 3.9). Det vill säga den minskar med 17 % vid lutning åt ena hållet och ökar med 17 % vid lutning åt andra hållet. När maskinen lutas  $10^\circ$  i sidled förändras arean med 35 % (figur 3.10).



Figur 3.9. Utloppsöppningens utseende hos Amazone ZA-F 603, inställning 17,5, vid lutning  $5^\circ$  åt höger respektive vänster. Heldragen linje är utloppsöppningen vid horisontalläge och streckade linjer är utloppsöppningen vid lutning (egen figur).



Figur 3.10. Utloppsöppningens utseende hos Amazone ZA-F 603, inställning 17,5, vid lutning  $10^\circ$  åt höger respektive vänster. Heldragen linje är utloppsöppningen vid horisontalläge och streckade linjer är utloppsöppningen vid lutning (egen figur).

## 3.2 Modell för centrifugalspridare

Ett stort antal forskare har arbetat med att försöka finna vilka parametrar som avgör var ett gödselkorn landar på marken när det släpps i en given position på en spridartallrik samt att finna sambanden mellan dessa parametrar. Litteratur i ämnet har här inventerats och sedan har en modell för att förutsäga spridningsbilden från en centrifugalspridare utarbetats. Modellen bygger dels på samband presenterade i litteraturen, dels på egen modellutveckling i samråd med R. Paulsson (pers medd, 1993).

Syftet med modellen är att kunna studera hur spridningsbilden påverkas av förändringar i nedsläppspunkt på skivan, spridartallriken höjd över marken samt lutningar.

I detta kapitel redovisas de grundläggande ekvationerna noga, men de ekvationer som är resultat av omskrivningar, förenklingar och härledningar utifrån de grundläggande ekvationerna anges utan härledningar.

Funktionerna för att bestämma gödselkornets väg från spridarbehållaren till marken kan delas in i två grupper: funktioner som karakteriserar kornets rörelse på tallriken och funktioner som karakteriserar kornets rörelse i luften.

### 3.2.1 Parametrar på tallriken

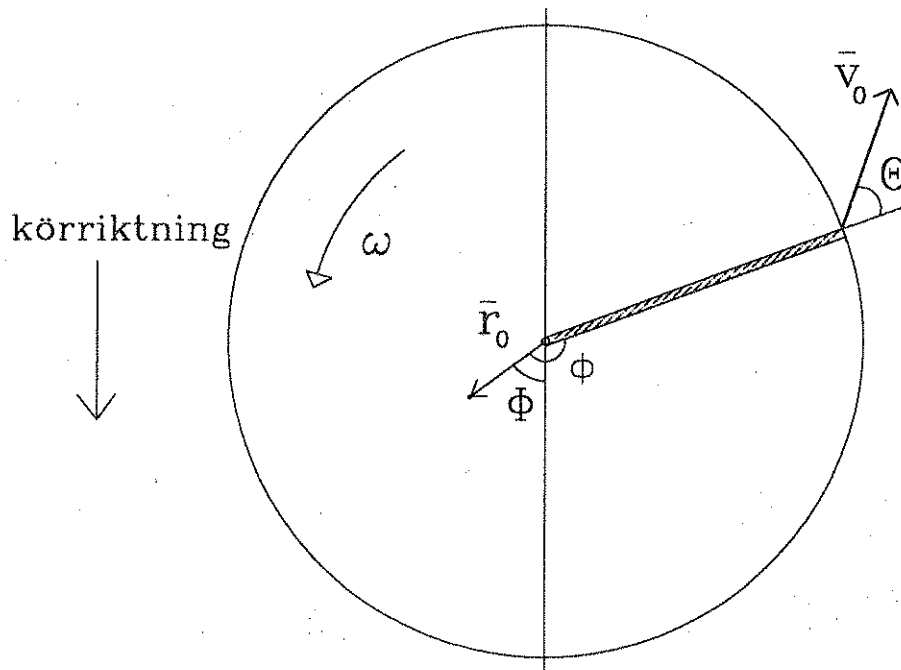
När ett gödselkorn släpps i en given position på en tallrik, åker det med tallriken en bestämd vinkel och lämnar sedan tallriken med en bestämd utgångshastighet och en bestämd vinkel relativt den radie som bestäms av vingen (figur 3.11).

Spridartallriken antas vara horisontellt roterande med radiellt monterade vingar. Vingarna har sina respektive ytor vinkelrätt mot tallriken.

Luftmotståndet på tallriken antas vara försumbart. Eftersom luften närmast kornen också drivs av vingarna på tallriken kommer den relativa rörelsen mellan kornen och luften att bli liten.

Vidare antas att kornen är sfäriska. De släpps på tallriken utan stöt, vilket bl a innebär att de inte studsar. Samverkan mellan partiklarna antas inte förekomma, dvs de påverkar inte varandras banor på något sätt, t ex genom att krocka.

Patterson & Reece (1962) har delat upp kornets rörelse på tallriken i fyra olika fall. Kornet kan glida mot både vinge och tallrik utan friktion, det kan glida mot både vinge och tallrik med friktion, det kan rulla mot vingen samtidigt som det glider mot tallriken (med friktion) och det kan börja med att glida mot både tallrik och vinge för att efter en given sträcka börja rulla mot vinge och glida mot tallrik. Det visar sig att för en friktionskoefficient mellan korn och omgivande material över 0,3 och/eller att tallrikens vinkelhastighet är över 21 rad/s rullar kornet längs hela vingen (Patterson & Reece 1962). Eftersom spridartallrikarna på dagens centrifugalspridare har en vinkelhastighet som ligger över 50 rad/s samt att vingarna på dagens konstgödselspridare är vinklade bakåt i tallrikens rotationsriktning antas här att kornet fångas upp av en vinge, och rullar längs vingen. Kornet antas inte ha någon kontakt med tallriken. Detta är ett fall som



Figur 3.11. När ett gödselkorn släpps ned på en roterande tallrik vid en given radie ( $\bar{r}_0$ ) och vinkel relativt körriktningen ( $\phi$ ), följer kornet med tallriken vinkeln  $\phi$  och lämnar sedan tallriken med utgångshastigheten  $\bar{v}_0$  och med vinkeln  $\Theta$  relativt den radie som bestäms av vingen.  $\omega$  är tallrikens vinkelhastighet (egen figur).

Patterson & Reece inte hade med i sin redogörelse, men det förenklar ekvationerna som bestämmer kornets rörelse på tallriken. För övriga fall hänvisas till Patterson & Reece (1962).

Kornets rullmotstånd antas vara försumbart.

Som utgångspunkt används rörelseekvationen för kornets rörelse relativt tallriken. Här gäller:

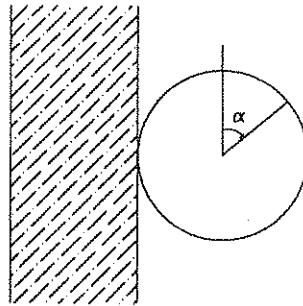
$$\Sigma \bar{F} = m \bar{a} \quad (3.1)$$

där

- $\Sigma \bar{F}$  = summan av alla ingående krafter, N
- $m$  = kornets massa, kg
- $\bar{a}$  = kornets acceleration relativt tallriken,  $m/s^2$

Kornets rörelse längs vingen är en plan rotationsrörelse. Kornets vinkelförändring kallas här  $\alpha$  (figur 3.12).





Figur 3.12. Kornets vinkelförändring vid rullning,  $\alpha$  (egen figur).

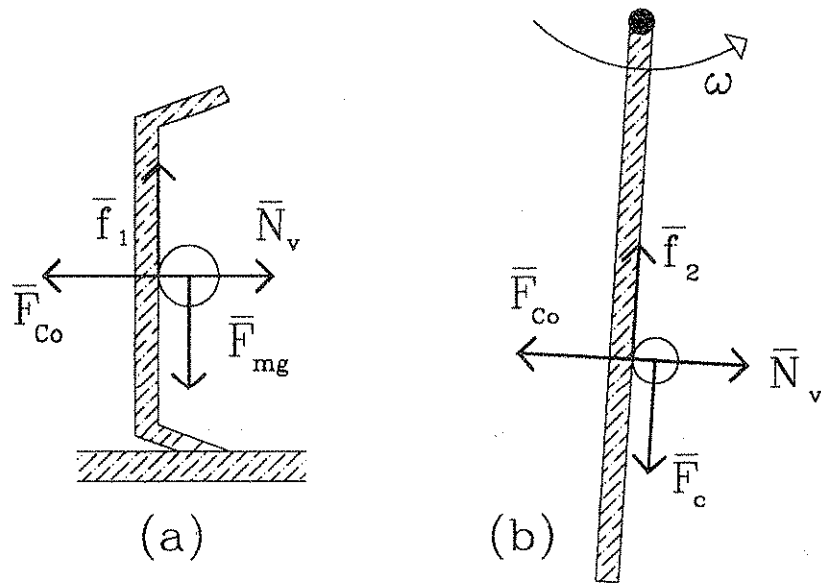
För momentekvationen gäller:

$$\Sigma M = I \frac{d^2\alpha}{dt^2} \quad (3.2)$$

där

- $\Sigma M$  = summan av alla ingående moment, N  
 $I$  = kornets tröghetsmoment,  $\text{kgm}^2$   
 $\frac{d^2\alpha}{dt^2}$  = kornets vinkelacceleration,  $\text{rad/s}^2$

Följande krafter verkar på kornet: tyngdkraften ( $\overline{F_{mg}}$ ), normalkraften från vingen ( $\overline{N_v}$ ), friktionskrafterna  $\overline{f_1}$  och  $\overline{f_2}$ , centrifugalkraften ( $\overline{F_c}$ ) samt Corioliskraften ( $\overline{F_{Co}}$ ). Krafternas riktningar visas i figur 3.13, (a) visar tallriken med vinge sedd från sidan och (b) visar tallriken med vinge sett uppifrån.



Figur 3.13. Kraftsituationen för en partikel som ligger mot en vinge på en roterande tallrik. (a) visar tallriken med vinge sedd från sidan och (b) visar tallriken med vinge sett uppifrån.  $\overline{F}_{Co}$  är Corioliskraften,  $\overline{N}_v$  normalkraften,  $\overline{F}_{mg}$  tyngdkraften,  $\overline{f}_1$  den vertikala friktionskraften,  $\overline{f}_2$  den radiellt riktade friktionskraften och  $\overline{F}_c$  är centrifugalkraften (egen figur).

Jämviktsekvationen för krafterna blir då

$$\Sigma \overline{F} = \overline{F}_{mg} + \overline{f}_1 + \overline{F}_{Co} + \overline{N}_v + \overline{F}_c + \overline{f}_2 \quad (3.3)$$

där

- $\overline{F}_{mg}$  = tyngdkraften, N
- $\overline{f}_1$  = den vertikala friktionskraften, N
- $\overline{F}_{Co}$  = Corioliskraften, N
- $\overline{N}_v$  = normalkraften från vingen, N
- $\overline{F}_c$  = centrifugalkraften, N
- $\overline{f}_2$  = den radiellt riktade friktionskraften, N

Tyngdkraften definieras enligt:

$$\overline{F}_{mg} = m\overline{g} \quad (3.4)$$

där

$\overline{g}$  = tyngdaccelerationen,  $m/s^2$

Corioliskraften definieras enligt:

$$\overline{F}_{Co} = 2m\omega\overline{v}_r \quad (3.5)$$

där

$\omega$  = tallrikens vinkelhastighet,  $rad/s$   
 $\overline{v}_r$  = kornets radiella hastighet relativt vingen,  $m/s$

Observera att Corioliskraften ökar då partikelns radiella hastighet ökar.

Centrifugalkraften definieras enligt:

$$\overline{F}_c = m\omega^2\overline{r} \quad (3.6)$$

där

$\overline{r}$  = radien från tallrikens centrum till kornet,  $m$

Normalkraften,  $\overline{N}_v$ , är vinkelrät mot vingen och riktad åt det håll vingen roterar.

För den vertikala friktionskraften gäller

$$\overline{f}_1 \leq \mu_s \overline{N}_v \quad (3.7)$$

där

$\mu_s$  = den statiska friktionskoefficienten

De två krafterna som verkar vinkelrätt mot horisontallinjen ( $F_{mg}$  och  $f_1$ ) strävar efter att sätta kornet i rörelse uppåt och nedåt på vingen. Den vertikala friktionskraften ( $\bar{f}_1$ ) ger dessutom kornet ett moment som strävar efter att sätta det i rullning. Detta innebär att kornet kan komma att röra sig uppåt och nedåt på vingen, men då förloppet är så snabbt, kornet stannar ca 0,4 s på tallriken, antas att denna rörelse har försumbar inverkan på kornets rörelse på tallriken, dvs

$$\bar{f}_1 = \overline{F_{mg}} \quad (3.8)$$

Under de antaganden som är gjorda (kornet rullar längs vingen) gäller för den radiellt riktade friktionskraften:

$$\bar{f}_2 \leq \mu_s \bar{N}_v \quad (3.9)$$

Ekvation 3.1, 3.3 och 3.4 ger jämviktsekvationen i radiellt led

$$m\omega^2 r - f_2 = ma_r \quad (3.10)$$

där

$a_r$  = kornets acceleration i radiellt led,  $m/s^2$

Ekvation 3.1, 3.3 och 3.5 ger jämviktsekvationen vinkelrätt mot vingen

$$N_v - 2m\omega v_r = 0 \quad (3.11)$$

I vertikalt led ger ekvationerna 3.1, 3.3 och 3.6

$$f_1 - mg = 0 \quad (3.12)$$

Den radiellt riktade friktionskraften ( $\bar{f}_2$ ) ger upphov till ett moment som strävar efter att sätta kornet i rullning. När momentet blir för stort övervinns partikelns rullmotstånd och den börjar rulla längs vingen. De antaganden som har gjorts innebär att kornet börjar rulla omedelbart när det träffar vingen.

Kraftmomentet  $m$  a p masscentrum blir

$$\Sigma M = r_p f_2 \quad (3.13)$$

där

$r_p$  = kornets radie, m

Partikelns tröghetsmoment  $m$  a p masscentrum är:

$$I = \frac{2}{5} m r_p^2 \quad (3.14)$$

Ekvation 3.14 sätts in i ekvation 3.2 som tillsammans med ekvation 3.13 ger momentekvationen

$$r_p f_2 = \frac{2}{5} m r_p^2 \frac{d^2 \alpha}{dt^2} \quad (3.15)$$

Kornets acceleration längs vingen är lika stor som kornets vinkelacceleration multiplicerat med partikelns radie, dvs

$$a_r = r_p \frac{d^2 \alpha}{dt^2} \quad (3.16)$$

Ekvation 3.15 och 3.16 sätts in i jämviktsekvationen i radiellt led (ekvation 3.10), vilket efter förenkling ger:

$$a_r = \frac{5}{7} \omega^2 r \quad (3.17)$$

Ekvationen integreras. Den radiella hastigheten blir härigenom:

$$v_r^2 = \frac{5}{7} \omega^2 (r^2 - r_0^2) \quad (3.18)$$

där

$r_0$  = radien från tallrikens centrum till den punkt där kornet släpps,  $m$

I den punkt där kornet lämnar tallriken är den radiella hastigheten

$$v_i^2 = \frac{5}{7} \omega^2 (r_i^2 - r_0^2) \quad (3.19)$$

där

$v_i$  = kornets radiella hastighet då det lämnar skivan,  $m/s$

$r_i$  = spridartallrikens effektiva radie,  $m$

Kornets tangentiella hastighet när det lämnar tallriken blir lika stor som tallri-  
kens periferihastighet, dvs  $\omega r_t$ . Detta innebär att för utgångshastigheten gäller

$$v_0 = \sqrt{\omega^2 r_t^2 + v_t^2} \quad (3.20)$$

där

$v_0$  = gödselkornets utgångshastighet då det lämnar spridartallriken, m/s

och för utgångsvinkeln gäller

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{\omega r_t}{v_t} \right) \quad (3.21)$$

där

$\theta$  = vinkel relativt spridartallriksradien när kornet lämnar tallriken, rad

För att få fram vinkeln som kornet följer med på tallriken ( $\phi$ ) tas ekvation 3.17  
som utgångspunkt. Ekvationen integreras för att få fram tiden ( $t_t$ ) det tar för  
kornet att röra sig hela sträckan från nedsläppspunkt till vingens spets:

$$t_t = \sqrt{\frac{7}{5}} \frac{1}{\omega} \cosh^{-1} \left( \frac{r_t}{r_0} \right) \quad (3.22)$$

där

$t_t$  = tiden det tar för kornet att rulla från nedsläppspunkten till vingens spets, s

Denna tid multiplicerat med tallriken vinkelhastighet ger tallriken vridnings-  
vinkel under den aktuella tiden:

$$\phi = \omega t_t \quad (3.23)$$

där

$\phi$  = tallriken vridningsvinkel under tiden  $t_t$ , rad

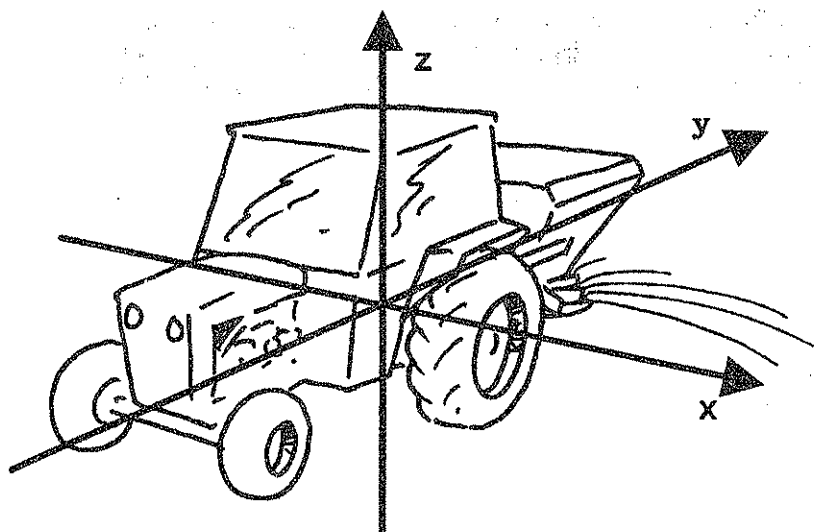
Ett av de här gjorda antagandena innebär att tallriken ska vara horisontell. De förändringar i ekvationerna som kan tänkas uppkomma vid lutning av tallriken är att tyngdaccelerationens påverkan förändras. Tyngdaccelerationen angriper alltid i vertikalled och vid lutning blir resulterande tyngdkraften mindre. Men inverkan av radie och vinkelhastighet är så stora att gravitationens förändrade inverkan antas vara försumbar vid lutning av tallriken.

När tallriken lutar flyttas radien där kornet ramlar ner på tallriken, vilket då påverkar vinkeln som kornet följer med på tallriken. Även vinkeln där kornet släpps på tallriken flyttas. Detta innebär i slutändan att kornets läge på marken i sidled och bakåt förändras.

### 3.2.2 Parametrar i luften

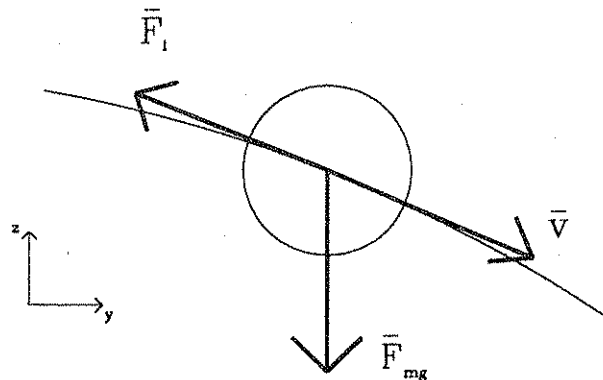
För att räkna ut partiklarnas parabler i luften antogs att gödselkornen är sfäriska samt att de inte krockar eller på annat sätt påverkar varandra. Även luftdraget från de roterande tallrikarna som kan ge kornen extra skjuts efter att de lämnat tallriken har bortsetts ifrån.

Det globala koordinatsystemet för traktor med spridare är definierat enligt figur 3.14.



Figur 3.14. Det globala koordinatsystemet för traktor med spridare är lokaliserat utifrån marknivån (efter Gutekunst, 1993).

Kraftsituationen för en partikel som flyger genom luft visas i figur 3.15. Partikeln påverkas av tyngdkraften ( $\overline{F}_{mg}$ ) samt en kraft riktad bakåt i rörelseriktningen  $\overline{F}_l$ , här kallad luftmotståndskraften.



Figur 3.15. Kraftsituationen hos en partikel som flyger genom luft.  $\vec{F}_l$  är luftmotståndskraften,  $\vec{F}_{mg}$  är tyngdkraften och  $\vec{v}$  är kornets hastighet (egen figur).

Luftmotståndskraftens riktning är motsatt hastighetsriktningen. Detta innebär att luftmotståndskraften påverkar kornets rörelse både i y- och i z-led. Denna påverkan förändras allteftersom kornets hastighetsriktning förändras. Ekvationen blir

$$\vec{F}_l = -F_l \hat{v} = -F_l \frac{\vec{v}}{v} \quad (3.24)$$

där

$\vec{F}_l$  = luftmotståndskraften, N  
 $v$  = kornets hastighet, m/s

Luftmotståndskraften definieras enligt

$$F_l = \frac{1}{2} \rho_l A c_d v^2 \quad (3.25)$$

där

$\rho_l$  = luftens densitet, kg/m<sup>3</sup>  
 $A$  = kornets tvärsnittsarea vinkelrätt rörelseriktningen, m<sup>2</sup>  
 $c_d$  = luftmotståndskoefficient



Ekvation 3.25 sätts in i ekvation 3.24 vilket ger

$$\overline{F}_l = -\frac{1}{2}\rho_l A c_d v \overline{v} = -K v \overline{v} \quad (3.26)$$

där

$$K = -\frac{1}{2}\rho_l A c_d \quad (3.27)$$

Hastigheten  $v$  definieras som

$$v = \sqrt{v_y^2 + v_z^2} \quad (3.28)$$

där

$v_y$  = kornets hastighet i y-led, m/s  
 $v_z$  = kornets hastighet i z-led, m/s

Detta ger jämviktsekvationen i y- respektive z-led

$$m a_y = -K v v_y \quad (3.29)$$

$$m a_z = -m g - K v v_z \quad (3.30)$$

där

$a_y$  = kornets acceleration i y-led, m/s<sup>2</sup>  
 $a_z$  = kornets acceleration i z-led, m/s<sup>2</sup>

De förenklas

$$a_y = -\frac{K}{m} v v_y \quad (3.31)$$

$$a_z = -g - \frac{K}{m} v v_z \quad (3.32)$$

Kornets massa definieras som

$$m = \frac{4}{3} \pi r_p^3 \rho_p \quad (3.33)$$

där

$\rho_p$  = kornets densitet, kg/m<sup>3</sup>

Kornets tvärsnittsarea är

$$A = \pi r_p^2 \quad (3.34)$$

Ekvation 3.34 sätts in i ekvation 3.27 och tillsammans med ekvation 3.33 definieras en konstant D

$$D = \frac{K}{m} = \frac{3 \rho_l c_d}{8 \rho_p r_p} \quad (3.35)$$

Ekvation 3.28 och 3.35 sätts in i ekvation 3.31 respektive 3.32 vilket ger

$$a_y = -D \sqrt{v_y^2 + v_z^2} v_y \quad (3.36)$$

$$a_z = -g - D \sqrt{v_y^2 + v_z^2} v_z \quad (3.37)$$

Då utgångshastigheten i y-led (20 - 40 m/s) är mycket större än vad hastigheten i z-led hinner bli under den korta fallsträckan (ca 4 m/s) antas att  $v_z^2$  är försumbar, dvs

$$a_y = -D v_y^2 \quad (3.38)$$

$$a_z = -g - D v_y v_z \quad (3.39)$$

Ekvation 3.38 integreras vilket ger hastigheten i y-led,  $v_y$

$$v_y = \frac{v_{0y}}{v_{0y}Dt + 1} \quad (3.40)$$

där

$v_{0y}$  = kornets utgångshastighet i y-led, m/s  
 $t$  = tiden det tar för kornet att nå marken, s

samt kastlängden

$$s = \frac{1}{D} \ln(v_{0y}Dt + 1) \quad (3.41)$$

där

$s$  = kornets kastlängd, m

För att kunna bestämma kastlängden måste sålunda tiden det tar för kornet att nå marken bestämmas. Detta görs genom en numerisk lösning av ekvationerna som bestämmer kornets rörelse i z-led. Kornets hastighet i z-led antas vara en likformigt föränderlig rörelse och dess hastighet är då

$$v_z = v_{0z} + a_z dt \quad (3.42)$$

där

$v_{0z}$  = kornets utgångshastighet i z-led, m/s  
 $dt$  = tidssteget, s

I ekvation 3.40 byts tiden ut mot tidssteget,  $dt$ . Sedan används ekvation 3.40 och 3.42 samt ekvation 3.39, och lösningen stegas fram.

När tallriken lutar åt något håll får kornen på tallrikens högsta del en uppåtriktad hastighet i vertikalled och de kastas sålunda längre än kornen som lämnar tallrikens lägsta del.

När spridaren kör på ett lutande plan är tallriken parallell med detta plan och den enda variabel som ändras med hänsyn till planets vinkel är tyngdaccelerationen ( $g$ ). Koordinatsystemet vrids med andra ord så det blir parallellt med det lutande planet, men gravitationen verkar då fortfarande vinkelrätt mot horisontalplanet i det globala koordinatsystemet.

När längden på parabeln är bestämd kan sidleds läge på kornet, dvs partikelns läge i x-led i det globala koordinatsystemet samt kornets läge bakåt (y-led i det globala koordinatsystemet) bestämmas. Detta görs genom att summera de olika vinklarna, nedsläppsvinkeln ( $\Phi$ ), tallrikens vridningsvinkel under tiden  $t$ , ( $\phi$ ) och kornets utgångsvinkel ( $\Theta$ ), samt använda Pythagoras' sats (Pitt m fl, 1982). Summeringen är beroende av tallrikens rotationsriktning. För de fall där tallriken roterar som i figur 3.11 blir ekvationerna

$$x = s \sin\left(-\frac{\pi}{2} - \Phi + \phi + \theta\right) \quad (3.43)$$

där

$x$  = kornets läge i sidled, m  
 $\Phi$  = vinkel relativt körriktningen där kornet släpps på tallriken, rad

och

$$y = s \cos\left(-\frac{\pi}{2} - \Phi + \phi + \theta\right) \quad (3.44)$$

där

$y$  = kornets läge bakåt, m

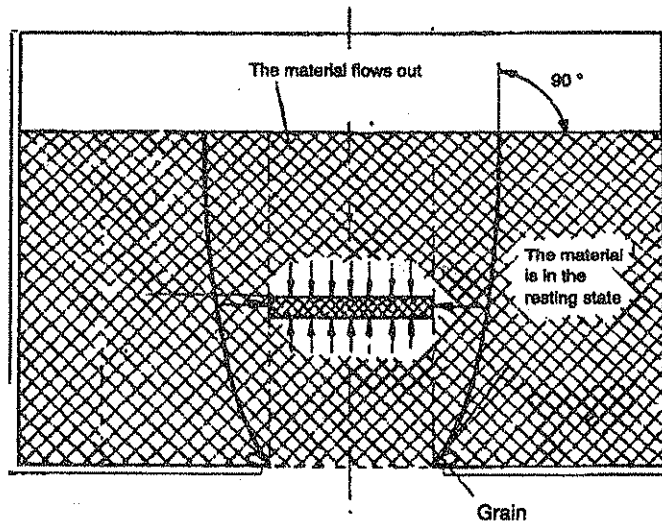
När tallriken i figur 3.11 roterar i motsatt riktning blir ekvationerna

$$x = s \sin\left(\frac{3\pi}{2} - \Phi - \phi - \theta\right) \quad (3.45)$$

$$y = s \cos\left(\frac{3\pi}{2} - \Phi - \phi - \theta\right) \quad (3.46)$$

### 3.2.3 Spridningsbilden

De ovan beskrivna ekvationerna definierar var ett korn landar på marken när det släpps i ett givet läge på en tallrik. På en konstgödselspridare släpps kornen över hela den yta som nedsläppshålet utgör. För att definiera nedsläppspunkten läggs "ett nät" av punkter över denna yta. Det kan även uttryckas som att gödselkornen släpps med jämna avstånd, så små avstånd som möjligt, inom nedsläppshålets gränser. Varje punkt motsvarar så att säga ett gödselkorn. Detta är möjligt just genom att vid massflöde av granulära material flödar kornen lika snabbt oavsett var i hålet de är (figur 3.16). Samtidigt skall nedsläppshålets gränser minskas med radien för gödselkornen (Sitkei, 1986).

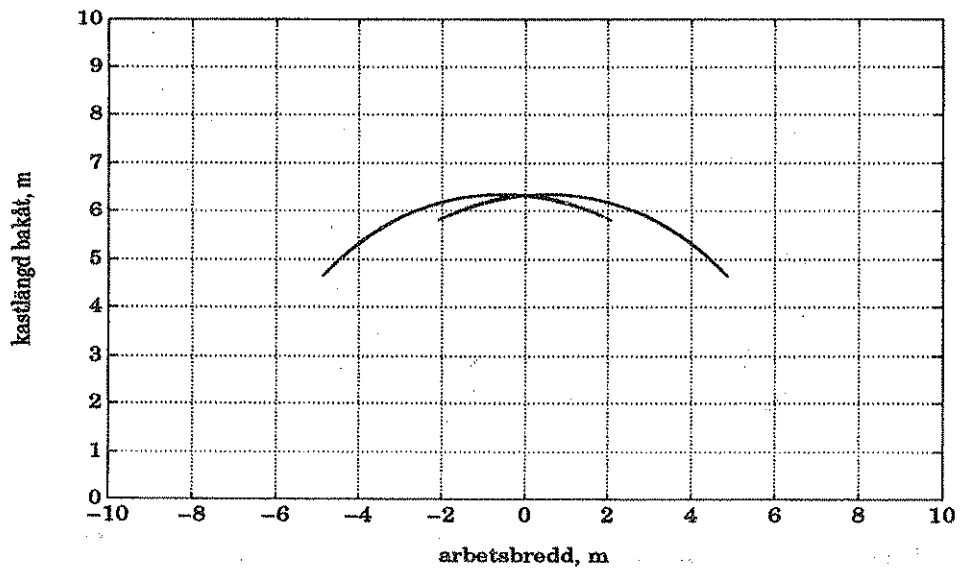


Figur 3.16. När en behållare med ett hål i botten är fylld med ett granulärt material, kan massflödet hos materialet uttryckas som att materialet rör sig som en front, alla korn har samma hastighet (efter Sitkei, 1986).

För att täcka in nedsläppshålet med punkter på jämna avstånd från varandra, måste punkterna vid de större nedsläppsradierna delas in i mindre vinkelintervall än punkterna vid den minsta nedsläppsradien. För varje intervall av nedsläppsradien måste sålunda vinkelintervallen räknas om så att avståndet blir lika stort mellan alla punkter.

Varje punkt i "nätet" som definierar nedsläppshålet får sedan sin motsvarighet på marken bakom spridaren efter att ha körts genom ekvationerna ovan. Om punkterna plottas kan det t ex komma att se ut som i figur 3.17. I figuren är det en spridare med två spridartallrikar där vardera tallrikens centrum är lokaliserad i  $(-0,55, 0)$  respektive  $(0,55, 0)$ . Figuren blir för det mesta en "båge", men under inverkan av t ex lutningar kan den komma att se annorlunda ut. När det fortsättningsvis talas om "båge" i texten är det bågen i figuren som avses.

För att få en rättvisande bild av bågen bakom spridaren vid en given tidpunkt måste hänsyn tas till traktorns framföringshastighet. Det tar längre tid för kornen som släpps vid de inre nedsläppsradierna att transporteras till vingens spets än det tar för de korn som släpps vid den yttersta nedsläppsradien. Under denna tid åker traktorn en liten sträcka framåt.



Figur 3.17. Resultatet när varje punkt i nedsläppshålet körts genom ekvationssystemet. Här är det en spridare med två spridartallrikar med sina centrum placerade i  $(-0,55, 0)$  respektive  $(0,55, 0)$  (egen figur).

## 4 JÄMFÖRANDE FÖRSÖK

### 4.1 Massflöde

Litteraturen som behandlar parametrarna som styr massflödet är omfattande. Men just sambandet mellan lutningar och massflöde är lite undersökt. Därför beslutades att utföra försök på området. Försöket utfördes av SMP i deras försöksanläggning i Hög i Skåne. De har där ett lastbilsflak som är lutningsbart i alla riktningar, på vilket spridaren kan ställas.

I försöket användes ett gödselmedel, PK 7-25, och en giva, 250 kg/ha. Två centrifugalspridare användes, Bogballe E1000 och Amazone ZA-F 603. Dessa lutades 0°, 5° och 10° åt höger, vänster samt bakåt. Två mätningar gjordes för varje inställning och gödseln från höger respektive vänster utmatning registrerades. Tre fallspridare provades, Amazone Jet 1204 F, Ylö Pneuma 1000 samt Överum Tive 4012. Eftersom tillgänglig litteratur (Loftäng, 1993 och Svensson, 1993) är ense om att det är lutning vinkelrätt mot mataraxeln som påverkar massflödet lades försöken upp efter detta. Det innebar att Amazone Jet 1204 F och Ylö Pneuma 1000 lutades 0°, 5° och 10° åt höger, vänster samt bakåt. Överum Tive 4012 lutades 0°, 5° och 10° framåt och bakåt samt 0° och 10° åt höger. Massflödet från varje munstycke registrerades.

Mätningarna gick till så att spridaren placerades på flaket och fylldes till minst hälften med konstgödsel. Uppsamlingsanordningarna monterades på spridaren. Den elmotor varmed spridarens kraftuttag drevs startades. Därefter startades spridarens utmatning samtidigt som tiden avlästes. Efter 20 - 30 s slogs utmatningsanordningen av.

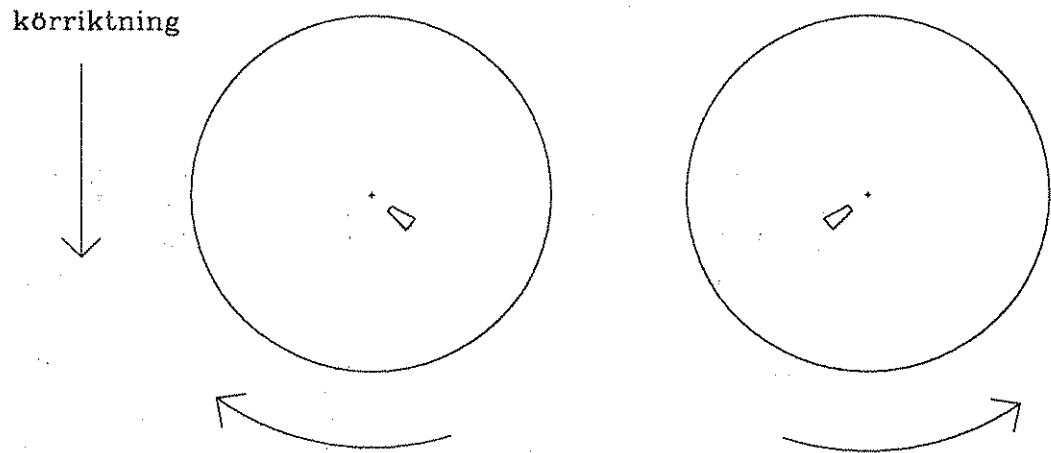
På Amazone ZA-F 603 plockades spridartallrikarna av vid försöken, men omröraren satt kvar. Denna åtgärd kunde inte genomföras på Bogballe E1000, då maskinens konstruktion medförde att även omröraren i så fall hade fått plockats bort. Spridarvingarna monterades däremot bort.

### 4.2 Spridningsbild

För att validera modellen utfördes försök av SMP. I försöken användes två konstgödselspridare, Bogballe E1000 samt Amazone ZA-F 603. Ett konstgödselmedel användes, PK 7-25. Försöken utfördes med två givor, 250 kg/ha och 500 kg/ha. Maskinerna tippades 3° och 5° åt höger samt 3° och 5° framåt relativt horisontallinjen. Horisontalläge användes som referens.

Indatavärdena i modellen redovisas i tabell 4.1 (Bogballe E1000) och tabell 4.2 (Amazone ZA-F 603). Proceduren för att mäta indatavärdena på de båda maskinerna redovisas nedan.

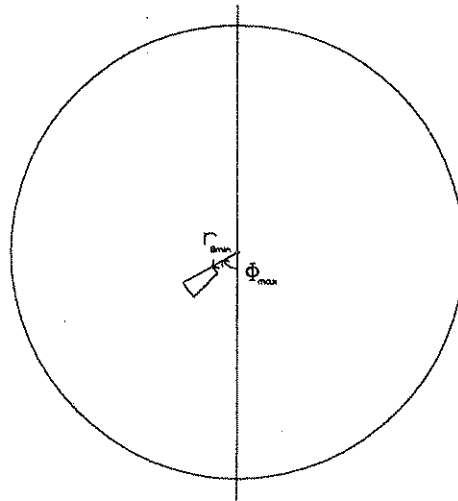
Bogballe E1000 har två plana spridartallriker. Varje tallrik har två raka spridarvingar som är vinklade bakåt. Sett framifrån/uppifrån roterar vänster tallrik medsols och höger tallrik motsols (figur 4.1).



Figur 4.1. Hos Bogballe E1000 roterar vänster tallrik medsols och höger tallrik motsols (egen figur).

Spridartallrikens effektiva radie är radien från tallrikens centrum ut till vingens spets. Vid vinklade vingar mäts radien från tallrikens centrum **längs vingen** ut till vingens spets.

Nedläppshålet ligger rakt ovanför respektive spridartallrik och det är så gott som radiellt format, dvs det går att täcka in hålets yta medelst två vinklar och två radier (figur 4.2).



Figur 4.2. Nedläppshålet hos Bogballe E1000 kan täckas in med två vinklar och två radier. I figuren visas minsta nedläppsradien och största nedläppsvinkeln för höger tallrik sett framifrån/uppifrån (egen figur).



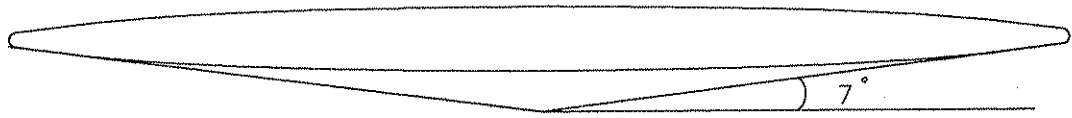
Vad gäller tallrikens höjd över marken används här den effektiva höjden, dvs den medelhöjd där kornen lämnar vingen.

Tabell 4.1 *Indatavärden i modellen för Bogballe E1000*

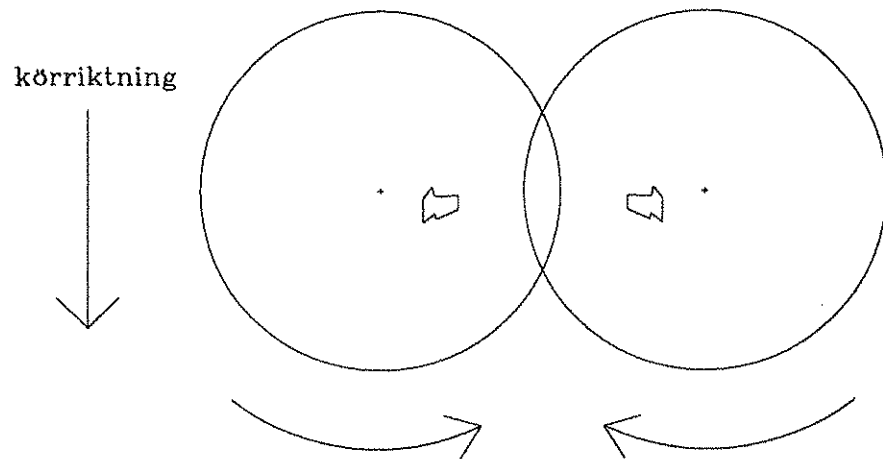
Parameter	Värde
Spridartallrikens effektiva radie ( $r_t$ )	0,4 m
Radien för nedsläppspunkten ( $r_0$ )	0,05 - 0,11 m
Vinkel relativt körriktningen där kornen släpps ( $\Phi$ )	
Inställning 2,5 (250 kg/ha)	29 ° - 45 °
Inställning 4 (500 kg/ha)	23 ° - 48 °
Tallrikens vinkelhastighet ( $\omega$ )	73,3 rad/s
Arbetsbredd	12 m
Tallrikens höjd över marken ( $z$ )	0,775 m
Traktorns framföringshastighet	2,2 m/s
Avstånd mellan spridartallrikarnas centrum	1,1 m
Luftens densitet vid 20 °	1,198 kg/m <sup>3</sup>

Avståndet mellan punkter som har samma vinkel är i nedsläppshålet 0,002 m, dvs nedsläppsradien är stegad med 0,002 m. Avståndet mellan punkterna som ligger på minsta nedsläppsradien är 0,66 °, dvs vinkeln vid minsta nedsläppsradien är stegad med 0,66 °. Steget minskar successivt då radien ökas och vinkeln vid största nedsläppsradien är stegad med 0,30 °. Observera att sträckan i meter mellan punkterna på minsta nedsläppsradien och punkterna på de större nedsläppsradierna är lika stort. Detta innebär att nedsläppshålet är karakteriserat av 1 162 punkter.

Amazone ZA-F 603 har två spridartallrikar. Tallrikarna är dock kupade, vinkeln relativt horisontalplanet är 7 ° (figur 4.3). Varje tallrik har två raka spridaringar som är vinklade bakåt. Den ena vingen slutar vid tallrikens kant, den andra vingen sticker ut över kanten, såpass att den når in över den andra tallriken. Detta får bl a till effekt att de två spridartallrikarna överlappar varandra i modellen, vilket inte är något hinder just i en datormodell. Sett framifrån/uppifrån roterar vänster tallrik motsols och höger tallrik medsols (figur 4.4).



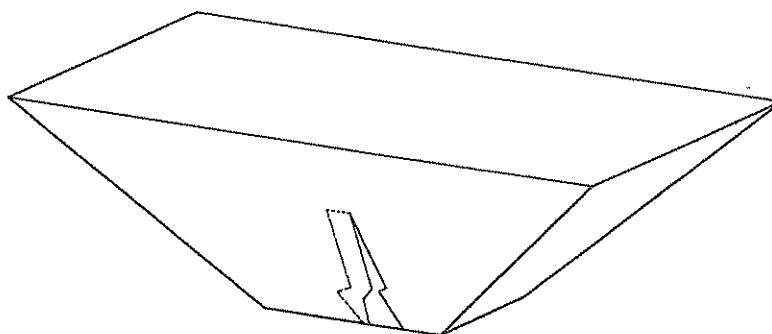
Figur 4.3. Tallrikarna på Amazone ZA-F 603 är kupade. Vinkeln relativt horisontalplanet är  $7^\circ$  (egen figur).



Figur 4.4. Hos Amazone ZA-F 603 roterar vänster tallrik motsols och höger tallrik medsols (egen figur).

Nedsläppshålet har på Amazone ZA-F 603 ett komplicerat utseende. Öppningen sitter på den lutande behållarväggen och ändrar utseende vid ändring av givan  $p$  g a att hålets storlek justeras med en skjutbar lucka (figur 4.5). Öppningen är uppmätt av SMP, som har kartlagt vinklar och avstånd mellan hörnen.

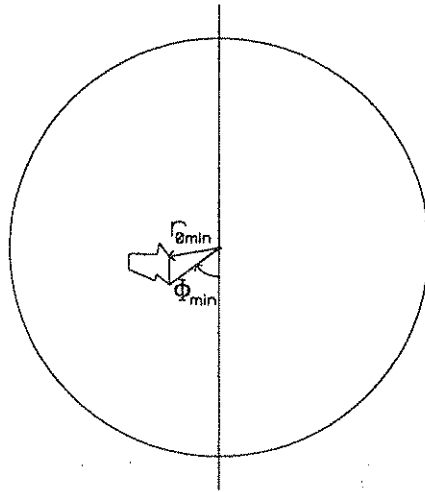
De mått på nedsläppsöppningen som används som indatavärden i modellen är nedsläppsöppningen projicerad på tallriken. Måtten som anges i tabell 4.2 är min- och maxmått på nedsläppsöppningen. I figur 4.6 visas minsta nedsläppsradien och minsta nedsläppsvinkeln.



Figur 4.5. Nedsläppsöppningen på Amazone ZA-F 603. Inställning 12,5 är heldragen linje och inställning 17,5 är streckad linje (egen figur).

Tabell 4.2 Indatavärden i modellen för Amazone ZA-F 603

Parameter	Värde
Spridartallrikens effektiva radie ( $r_t$ )	0,2 m
Radien för nedsläppspunkten ( $r_0$ )	0,049 - 0,091 m
Vinkel relativt körriktningen där kornen släpps ( $\Phi$ )	
Inställning 12,5 (250 kg/ha)	54° - 77°
Inställning 17,5 (500 kg/ha)	53° - 94°
Tallrikens vinkelhastighet ( $\omega$ )	75,4 rad/s
Arbetsbredd	12 m
Tallrikens höjd över marken ( $z$ )	0,82 m
Traktorns framföringshastighet	2,2 m/s
Avstånd mellan spridartallrikarnas centrum	0,37 m
Luftens densitet vid 20°	1,198 kg/m <sup>3</sup>



Figur 4.6. Minsta nedsläppsradien och minsta nedsläppsvinkeln hos Amazone ZA-F 603 för höger tallrik sett framifrån/uppifrån (egen figur).

Även här är nedsläppsradien stegad med 0,002 m. Vinkeln vid maximala nedsläppsradien är stegad med  $0,30^\circ$  och ökar successivt till  $0,53^\circ$ . Detta innebär att nedsläppshålet här är karakteriserat av 572 punkter.

Det använda gödselmedlet är PK 7-25. Kornstorleksfördelningen och partikeldensiteten har analyserats av SMP enligt de metoder som använts i projektet TYP 93 (Flodén, 1993). Utifrån kornstorleksfördelningen har  $r_{10}$ ,  $r_{20}$ ,  $r_{30}$ ,  $r_{40}$ ,  $r_{50}$ ,  $r_{60}$ ,  $r_{70}$ ,  $r_{80}$  och  $r_{90}$  räknats fram enligt den princip för beräkning av mediankornstorleken ( $d_{50}$ ) som finns beskriven i Svensson (1992).  $r_{10}$  definieras som den mediankornradie vilken de 10 % minsta partiklarna av materialet har. Motsvarande gäller för  $r_{20}$  -  $r_{90}$ . Luftmotståndskoefficienten togs fram vid mätningar på LT. Värdena visas i tabell 4.3.

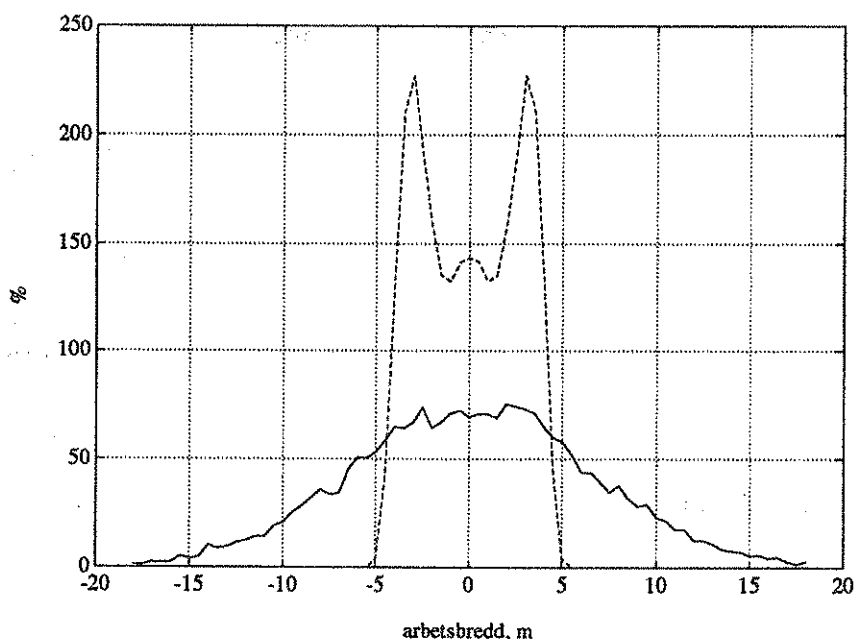
Tabell 4.3. Värden på gödselslaget använt i rapporten

Parameter	PK 7-25
Partikelradier, $r_{10} - r_{90}$ , ( $r_p$ ), $10^{-3}$ m	1,5, 1,6, 1,6, 1,7, 1,8, 1,8, 1,9, 2,0, 2,2
Gödselkornens densitet ( $\rho_p$ ), $\text{kg/m}^3$	2000
Luftmotståndskoefficienten ( $c_d$ )	0,6

I och med att det använda gödselmedlet är karakteriserat av nio kornstorlekar, blir nedsläppshålet hos Bogballe E1000 karakteriserat av totalt 10 458 punkter vid inställning 2,5. Om hålet skulle täckts in av gödselkorn skulle antalet blivit totalt 4 149 korn med de nio kornstorlekar som används. Hos Amazone ZA-F 603 blir nedsläppshålet karakteriserat av totalt 5 148 punkter vid inställning 12,5. Med motsvarande antal gödselkorn hade antalet blivit 2 776 med de nio kornstorlekarna. Som synes användes i modellen fler punkter än vad antalet gödselkorn skulle ha blivit. Men det är önskvärt att täcka in hela nedsläppshålets hydrauliska area för att se hur mycket varje punkt bidrar till den totala spridningsbilden. Dessutom minskar det känsligheten hos modellen för förändringar i inparametrarna.

En direkt jämförelse mellan de uppmätta resultaten och de beräknade spridningsbilderna är inte genomförbar. SMPs spridningsbilder är uppbyggda genom att spridaren körs tvärs över en rad med uppsamlingslådor. Sedan tas vikten av varje låda och plottas i ett diagram. Den erhållna spridningsbilden läggs bredvid sig själv som om lantbrukaren kört drag vid drag. Då fås ur summan för dessa spridningsbilder en totalkurva (spridningsbild vid överlappning). Medelvärde av denna totalkurva sätts till 100 % och resten av spridningsbilden relateras till dessa 100 %. Ur totalkurvan räknas också variationskoefficienten (VK) fram som ett jämnhetsmått på spridningen (SMP, 1986). VK anges i figur 5.5 - 5.8 och 5.34 - 5.41, dvs hos de uppmätta spridningsbilderna.

Resultatet av en motsvarande summering av den ur modellen framräknade spridningsbilden blir en mycket ojämn kurva vilket ger att totalkurvans medelvärde hamnar på en nivå så att spridningsbildens kurva ligger på mycket höga värden. Detta visas i figur 4.7 där den av modellen uträknade spridningsbilden lagts in i samma diagram som den uppmätta spridningsbilden för Bogballe E1000, 250 kg/ha.



Figur 4.7. Uppmätt (heldragen linje) och beräknad (streckad linje) spridningsbild för Bogballe E1000, 250 kg/ha (egen figur).

Därför redovisas i resultatdelen bågen bakom spridaren för sig och de uppmätta spridningsbilderna för sig. Eftersom några av kornstorlekarna är lika stora ( $r_{20}$  och  $r_{30}$  respektive  $r_{50}$  och  $r_{60}$ ) kommer de bågar med samma kornstorlek att ligga ovanpå varandra, vilket medför att i figur 5.1 - 5.4, 5.27 - 5.30 samt 5.32 - 5.33 ser det ut som om endast sju kornstorlekar använts. Så är sålunda inte fallet. Bågen längst ner i figurerna är den minsta kornstorleken ( $r_{10}$ ) och bågen högst upp i figurerna är den största kornstorleken ( $r_{90}$ ). De två spridartallrikarnas centrum är hos Bogballe E1000 placerade i punkterna (-0,55, 0) respektive (0,55, 0) och hos Amazone ZA-F 603 i punkterna (-0,185, 0) respektive (0,185, 0)

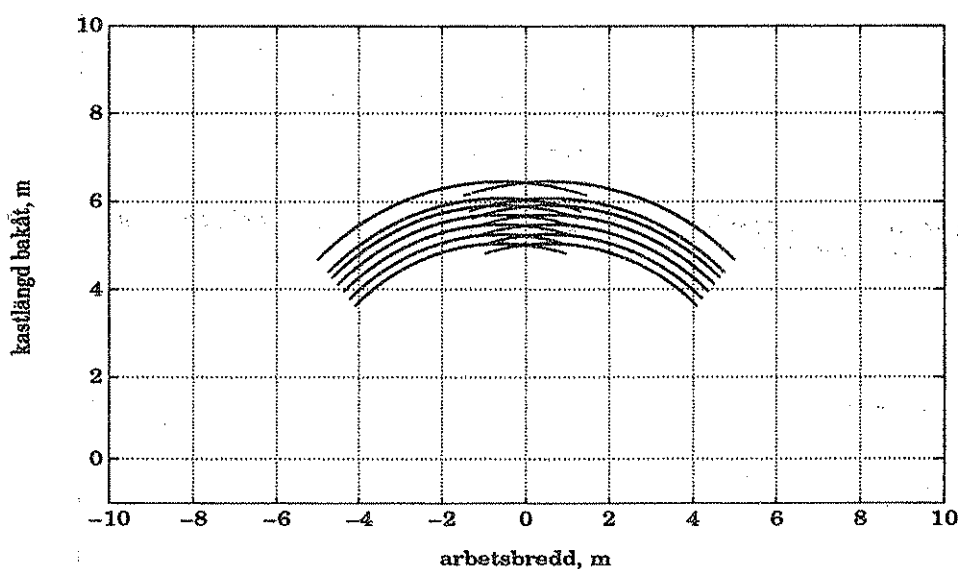
Som ett mått på sidfördelningen anges i figur 5.1 - 5.8, 5.27 - 5.30 samt 5.32 - 5.41 andelen gödsel på höger sida i körriktningen (vänster sida i figurerna) i procent.

## 5 RESULTAT

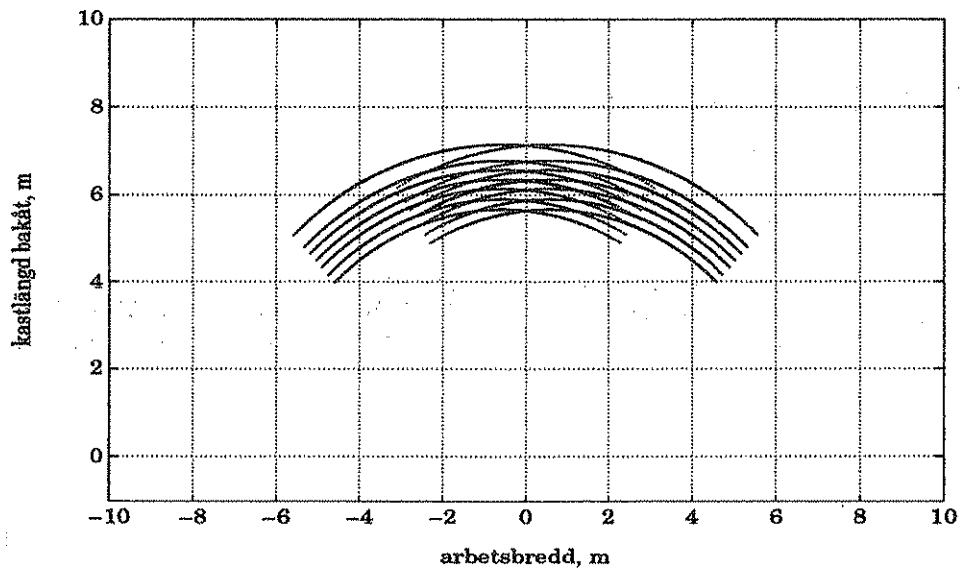
### 5.1 Modell för centrifugalspridare

#### 5.1.1 Spridningsbilden

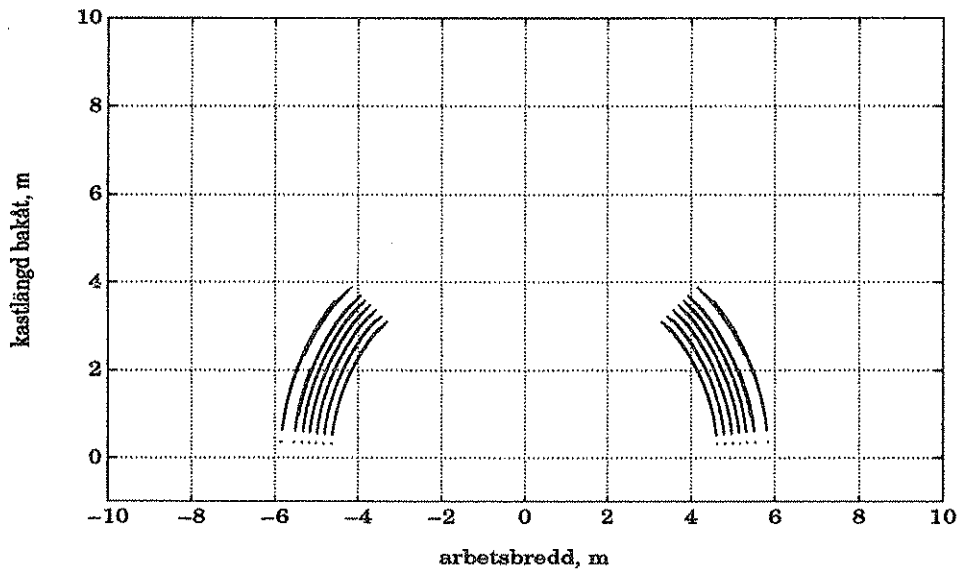
De beräknade spridningsbilderna vid horisontellt roterande spridartallrikar visas i figur 5.1 (Bogballe E1000, 250 kg/ha), 5.2 (Bogballe E1000, 500 kg/ha), 5.3 (Amazone ZA-F 603, 250 kg/ha) och 5.4 (Amazone ZA-F 603, 500 kg/ha).



Figur 5.1. Beräknad spridningsbild för Bogballe E1000, 250 kg/ha. Andel gödsel på höger sida är 50 % (egen figur).

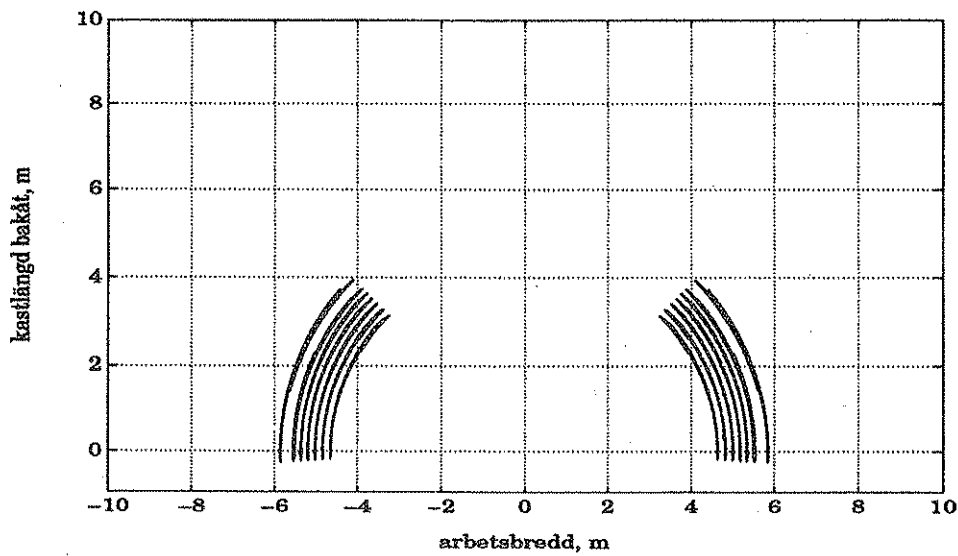


Figur 5.2. Beräknad spridningsbild för Bogballe E1000, 500 kg/ha. Andel gödsel på höger sida är 50 % (egen figur).



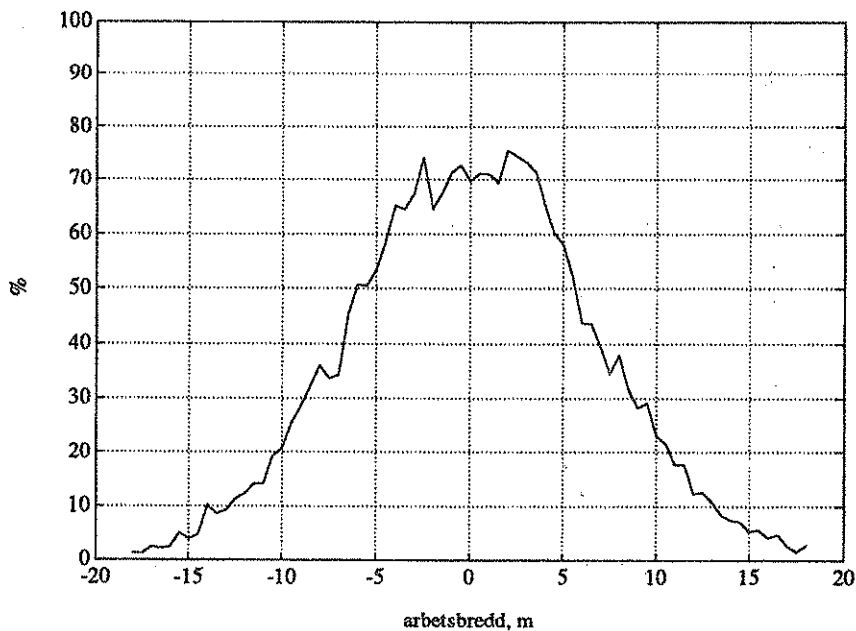
Figur 5.3. Beräknad spridningsbild för Amazone ZA-F 603, 250 kg/ha. Andel gödsel på höger sida är 50 % (egen figur).



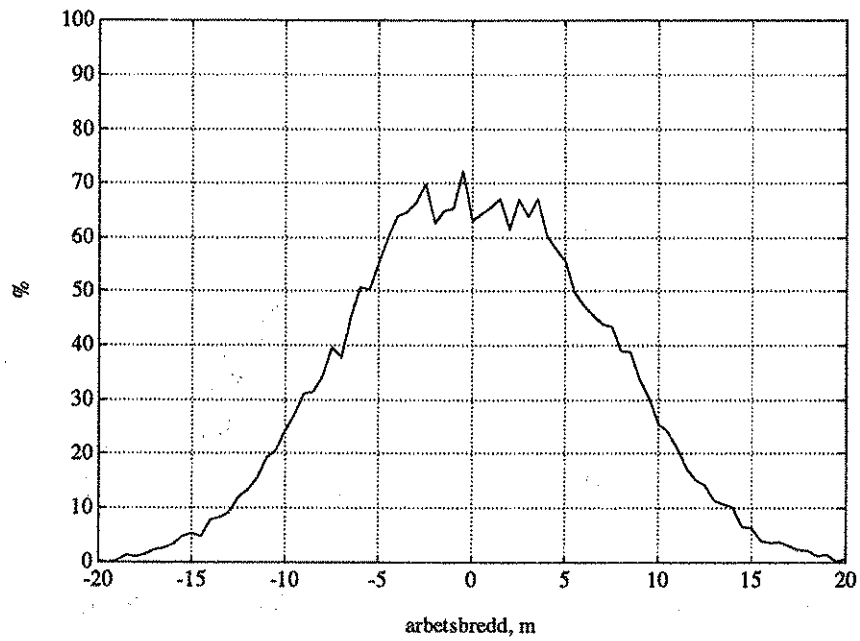


Figur 5.4. Beräknad spridningsbild för Amazone ZA-F 603, 500 kg/ha. Andel gödsel på höger sida är 50 % (egen figur).

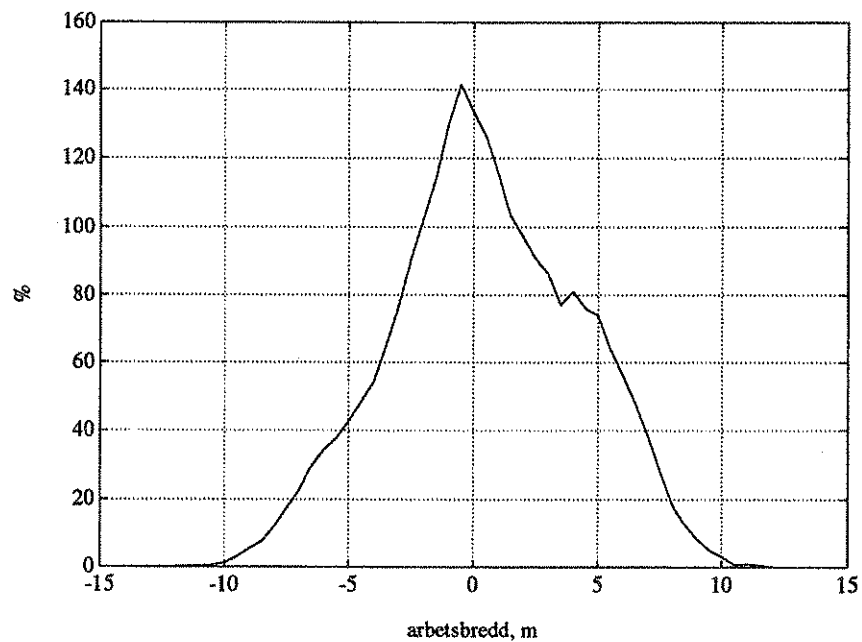
Motsvarande av SMP uppmätta spridningsbilder visas i figur 5.5 och 5.6 (Bogballe E1000) samt figur 5.7 och 5.8 (Amazone ZA-F 603).



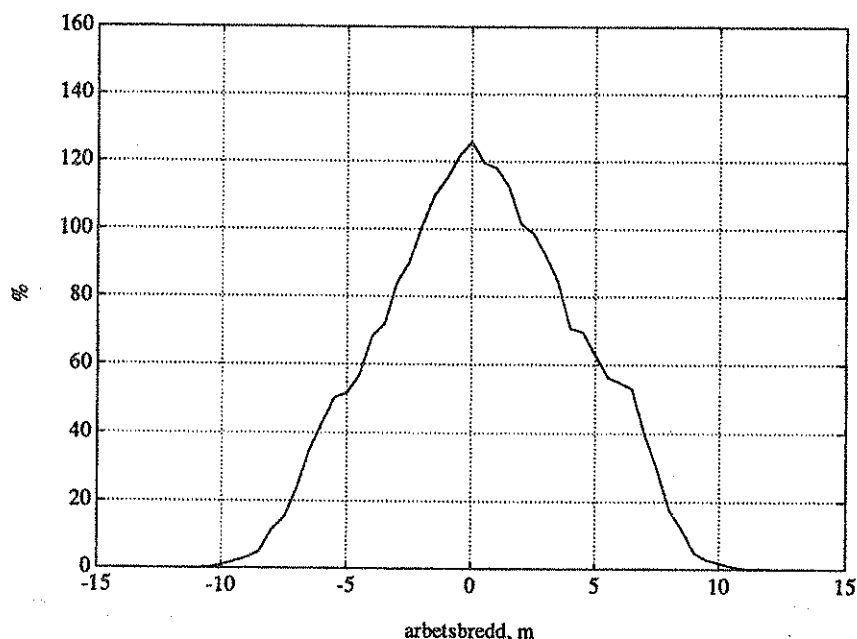
Figur 5.5. Uppmätt spridningsbild för Bogballe E1000, 250 kg/ha. VK är 6,8. Andel gödsel på höger sida är 51,2 % (egen figur).



Figur 5.6. Uppmätt spridningsbild för Bogballe E1000, 500 kg/ha. VK är 5,0. Andel gödsel på höger sida är 50,8 % (egen figur).



Figur 5.7. Uppmätt spridningsbild för Amazone ZA-F 603, 250 kg/ha. VK är 18,8. Andel gödsel på höger sida är 51,4 % (egen figur).



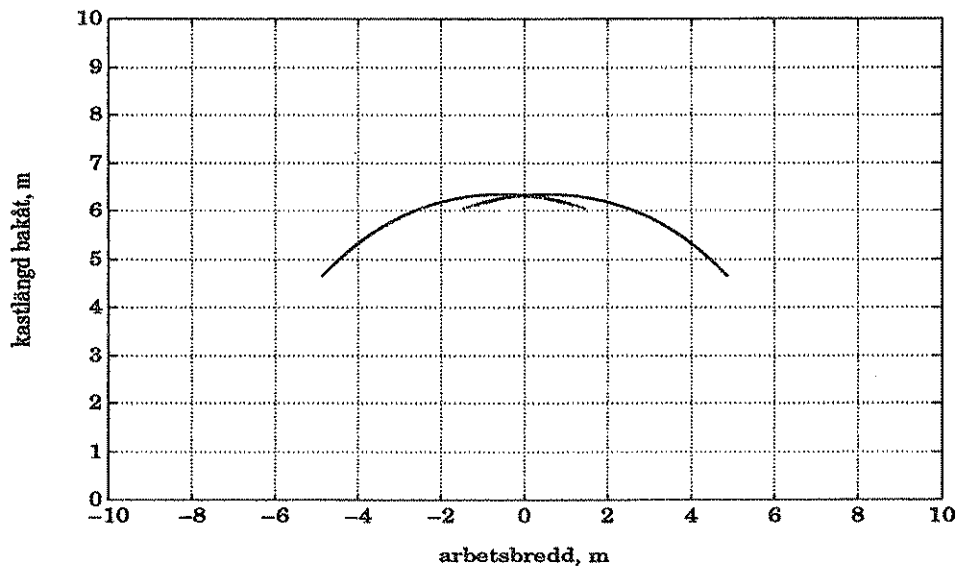
Figur 5.8. Uppmått spridningsbild för Amazone ZA-F 603, 500 kg/ha. VK är 15,8. Andel gödsel på höger sida är 52,2 % (egen figur).

### 5.1.2 Modellens känslighet

För att se hur stort inflytande de olika parametrarna har över spridningsbilden ökades samtliga parametrar var för sig med 20 %. Förändringarna är gjorda på Bogballe E1000, 250 kg/ha. För att göra det hela mer lättförståeligt används endast en kornstorlek,  $r_{50}$ . Effekterna på spridningsbilden vid förändring av inparametrarna kan även ses genom att studera ekvationerna som ingår i modellen. Dessa bågar ska jämföras med bågen i figur 3.17 som är just Bogballe E1000, 250 kg/ha i horisontalläge med endast  $r_{50}$ .

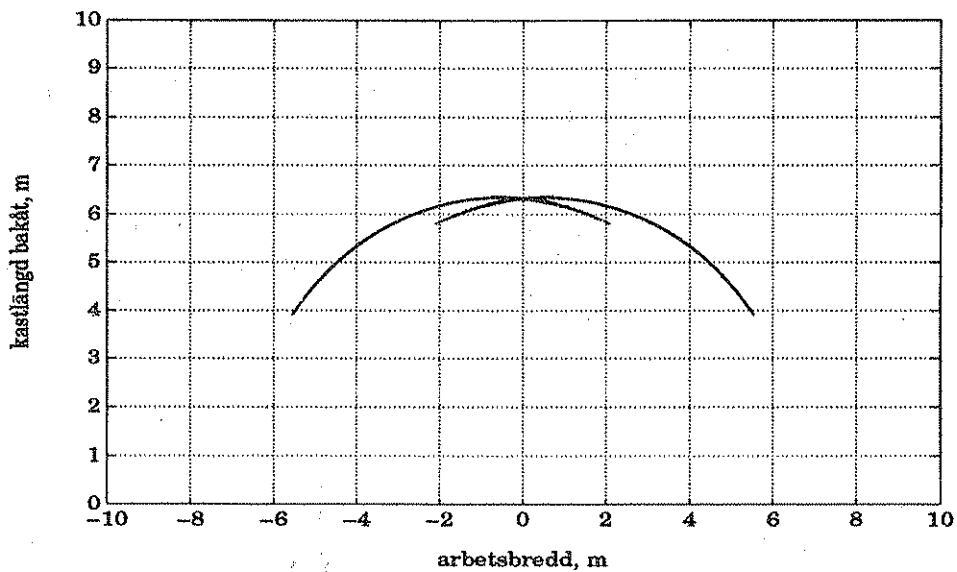
Nedsläppshålets konfiguration visar i sig effekterna av förändringar i nedsläppsvinkel och nedsläppsradien. Den minsta nedsläppsradien bidrar till att bygga upp höger båges vänstra sida och vänster båges högra sida och den maximala nedsläppsradien bidrar till att bygga upp höger båges högra sida och vänster båges vänstra sida.

När minsta nedsläppsvinkeln ökas 20 % drar sig höger båges vänstra sida och vänster båges högra sida mot mittenlinjen (figur 5.9). Vinkeln ingår endast i slutekvationerna för att beräkna kornets läge i sidled och bakåt (ekvation 3.43 och 3.44 respektive 3.45 och 3.46). Det innebär att om vinkeln är större startar kornet längre bak i tallrikens rotationsriktning och lämnar tallriken vid en tidigare tidpunkt än korn som startar vid en mindre vinkel. Hos Amazone ZA-F 603, vars tallrikar roterar åt motsatt håll jämfört med Bogballe E1000, är förhållandet det motsatta.



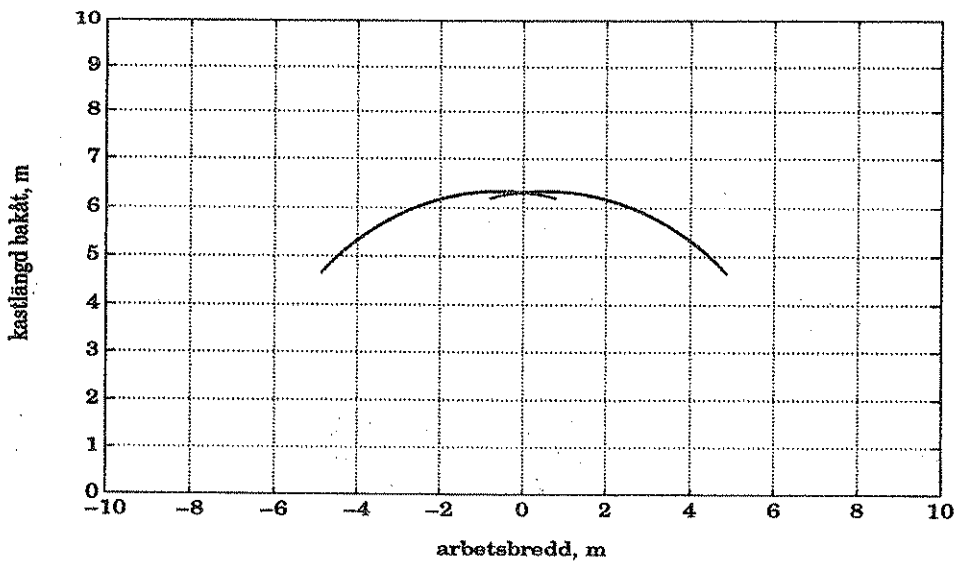
Figur 5.9. Minsta nedsläppsvinkeln ( $\Phi$ ) ökad med 20 %, dvs till 35 °. Bogballe E1000, 250 kg/ha (egen figur).

Vid ökning av den maximala nedsläppsvinkeln förlängs höger tallriksbåges högra sida och vänster tallriksbåges vänstra sida från mittenlinjen (figur 5.10). Här är förhållandena de motsatta jämfört med när minsta nedsläppsvinkeln ökades. En ökning av den största nedsläppsvinkeln medför att kornen lämnar tallriken vid en tidigare tidpunkt hos Bogballe E1000 och en senare tidpunkt hos Amazone ZA-F 603.



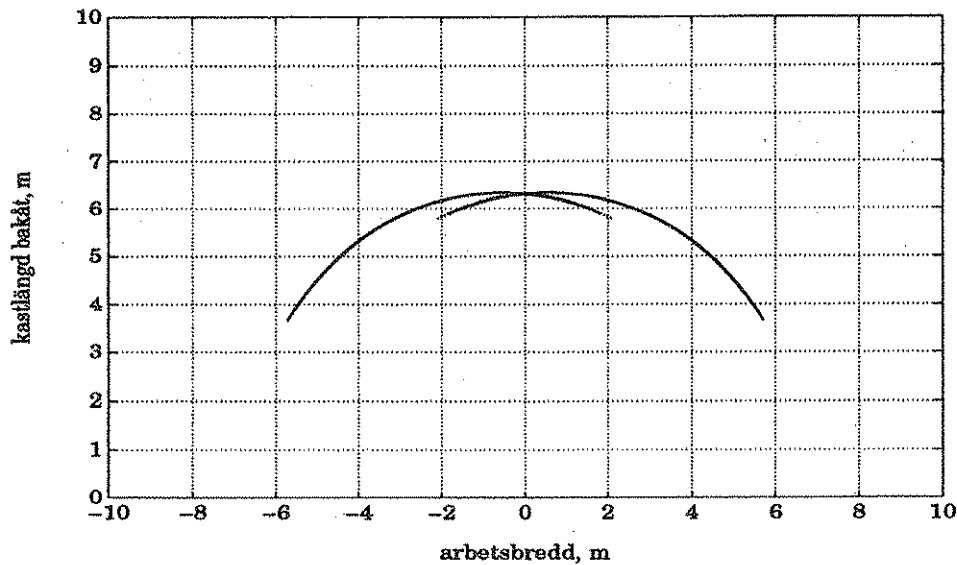
Figur 5.10. Största nedsläppsvinkeln ( $\Phi$ ) ökad med 20 %, dvs till 55 °. Bogballe E1000, 250 kg/ha (egen figur).

För minsta nedsläppsradien blir effekten densamma som vid ökning av minsta nedsläppsvinkeln (figur 5.11). Förändringen blir dock större än vid samma procentuella ökning av minsta nedsläppsvinkeln. Detta kommer sig av att kornen stannar kortare tid på tallriken än de korn som släpps närmare centrum på tallriken. Det är sålunda tiden som kornen följer med på tallriken som påverkas mest (ekvation 3.22). Nedsläppsradierna finns även med i ekvationerna för utgångshastigheten (ekvation 3.20) och utgångsvinkeln (ekvation 3.21) genom att den finns med i ekvationen för den radiella hastigheten (ekvation 3.19). Förändringen av den radiella hastigheten är dock så liten att det inte har så stor påverkan på utgångshastigheten och utgångsvinkeln.



Figur 5.11. Minsta nedsläppsradien ( $r_0$ ) ökad med 20 %, dvs till 0,06 m. Bogballe E1000, 250 kg/ha (egen figur).

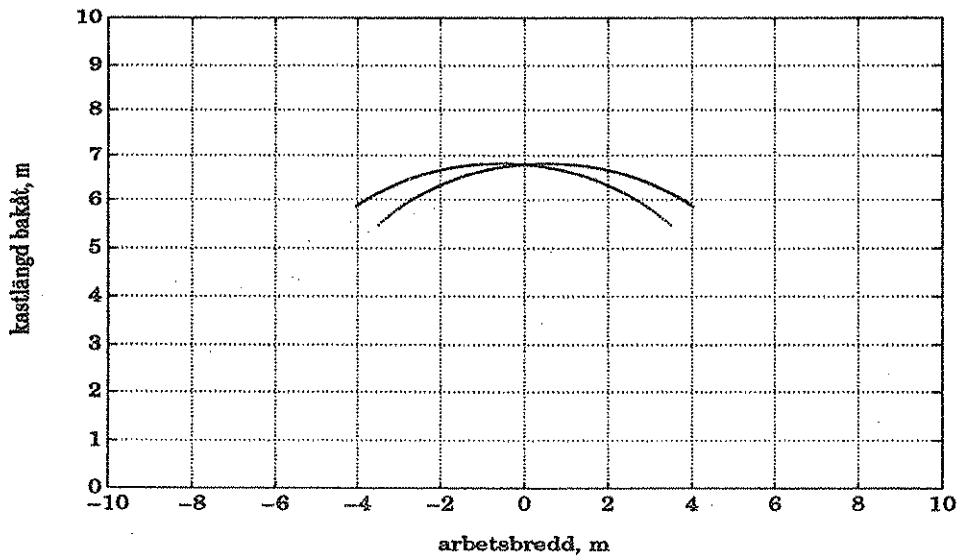
Analogt medför förändringen i största nedsläppsradien att effekten blir likadan men något större än vid förändring av största nedsläppsvinkeln (figur 5.12).



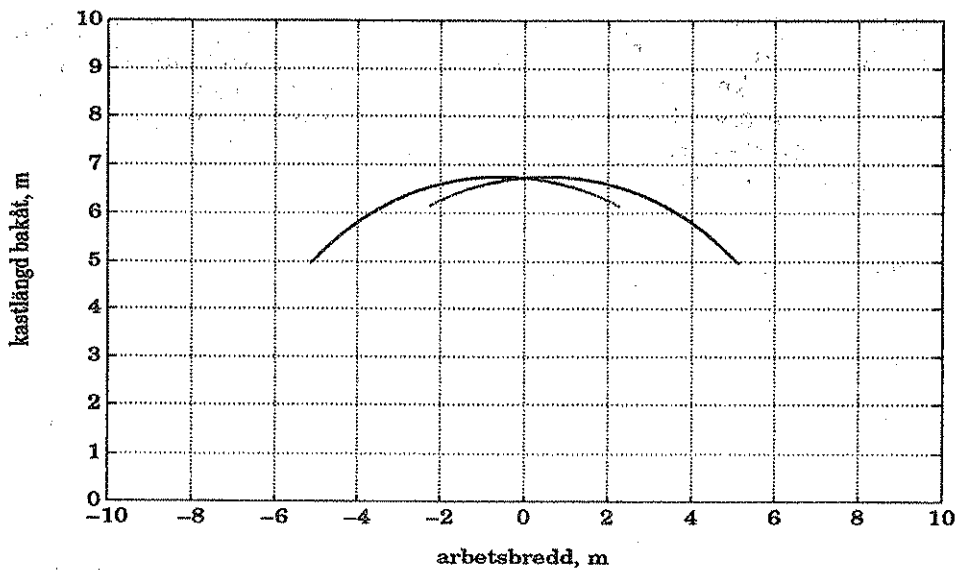
Figur 5.12. Största nedsläppsradien ( $r_0$ ) ökad med 20 %, dvs till 0,13 m. Bogballe E1000, 250 kg/ha (egen figur).

Spridartallrikens effektiva radie påverkar direkt två av ekvationerna som karakteriserar kornets rörelse på spridartallriken, utgångshastigheten (ekvation 3.20) och utgångsvinkeln (ekvation 3.21). Tiden som kornet följer med på tallriken (ekvation 3.22) påverkas, vilket ger en indirekt påverkan på ekvationen för tallrikens vinkelförändring under tiden  $t_f$  (ekvation 3.23). Det innebär att en ökning av spridartallrikens effektiva radie medför att kornen kastas längre och mer mot mittenlinjen (figur 5.13). Samma förändring hos Amazone medför en motsatt effekt p g a spridartallrikarnas rotationsriktning.

Även tallrikens vinkelhastighet påverkar alla tre ekvationerna som bestämmer kornens rörelse på spridartallriken, utgångshastigheten (ekvation 3.20), utgångsvinkeln (ekvation 3.21) och tallrikens vridningsvinkel (ekvation 3.23). Framförallt påverkas kornens utgångshastighet och de kastas en längre sträcka i luften, båda bågarna flyttas bakåt (figur 5.14).

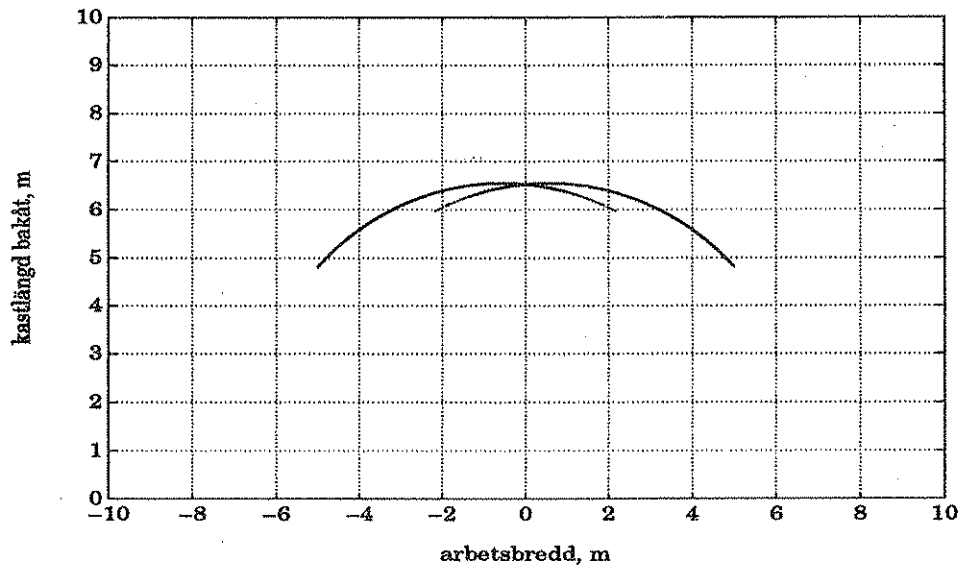


Figur 5.13. Spridartallrikens effektiva radie ( $r_e$ ) ökad med 20 %, dvs till 0,48 m. Bogballe E1000, 250 kg/ha (egen figur).



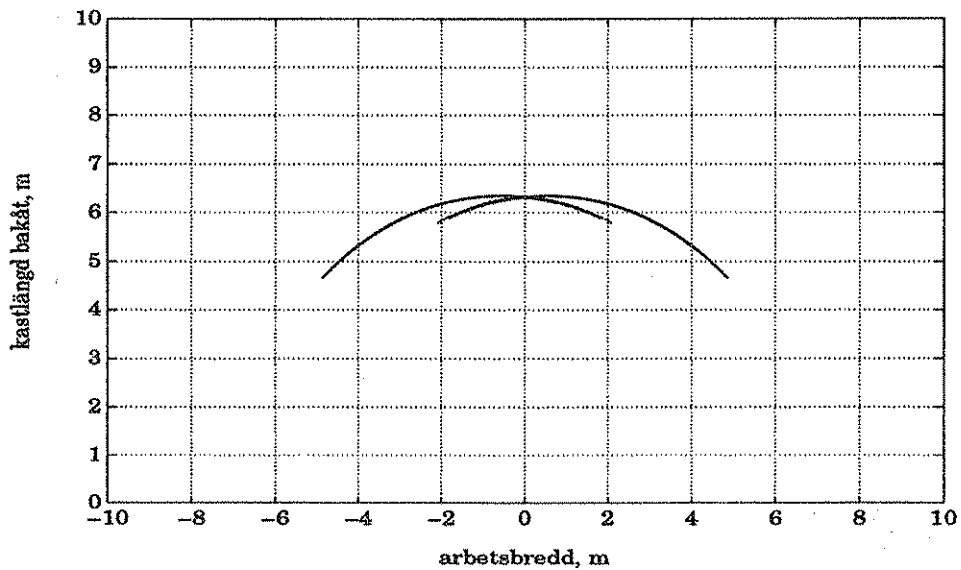
Figur 5.14. Spridartallrikens vinkelhastighet ( $\omega$ ) ökad med 20 %, dvs till 94,2 rad/s. Bogballe E1000, 250 kg/ha (egen figur).

Förändring av tallrikens höjd över marken ( $z$ ) gör att partikeln flyger något längre innan den når marken (figur 5.15).



Figur 5.15. Spridartallrikens höjd över marken ( $z$ ) ökad med 20 %, dvs till 0,93 m.  
Bogballe E1000, 250 kg/ha (egen figur).

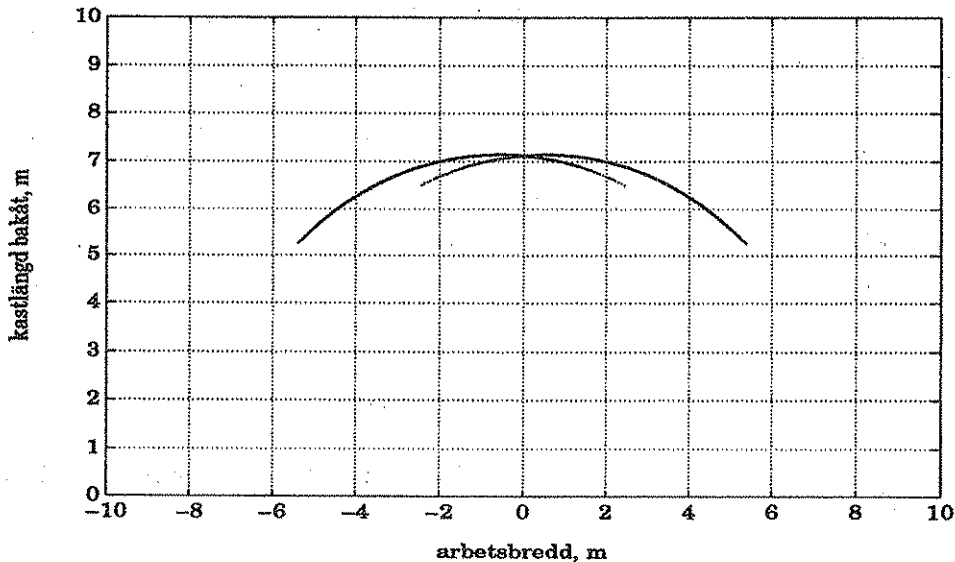
Traktorns framföringshastighet ökad med 20 % har i princip ingen förändring på bågen bakom spridaren (figur 5.16). Den ingår som en faktor där den påverkar sträckan som traktorn kör framåt under tiden som kornen som släpps på de inre nedsläppsradierna rör sig till den största nedsläppsradien. Denna tid, tiden som kornen som släpps på de inre nedsläppsradierna rör sig till den största nedsläppsradien, är maximalt 0,2 s.



Figur 5.16. Traktorns framföringshastighet ökad med 20 %, dvs till 10 km/h. Bogballe E1000, 250 kg/ha (egen figur).



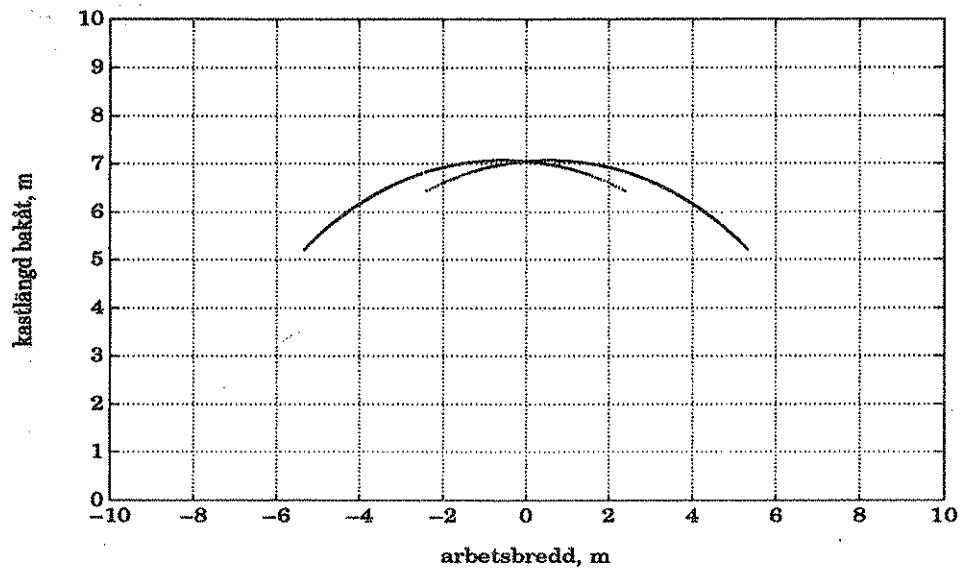
Kornstorlekens förändring på bågen kan ses direkt i de beräknade spridningsbilderna i föregående kapitel, men förändringen görs här för jämförelsens skull. Kornets radie påverkar längden på kaststräckan i luften, den ingår i ekvation 3.35 (figur 5.17). Ökningen av kaststräckan är större än vid motsvarande procentuella ökning hos tallrikens höjd över marken ( $z$ ).



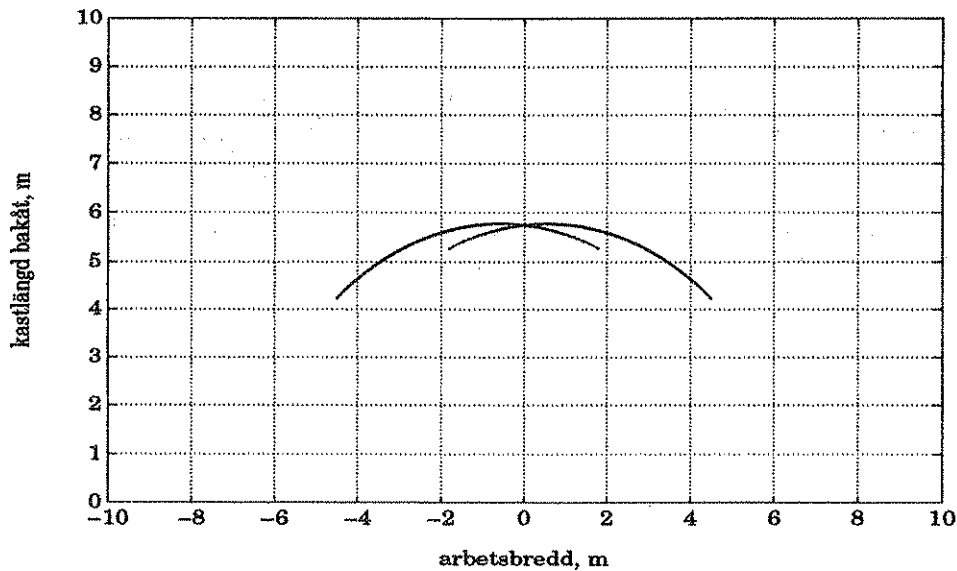
Figur 5.17. Kornens medelradie ( $r_{50}$ ) ökad med 20 %, dvs till  $2,2 \cdot 10^{-3}$  m. Bogballe E1000, 250 kg/ha (egen figur).

Även kornens densitet påverkar kastlängden i luften, ekvation 3.35 (figur 5.18). Korndensitetens påverkan är större än motsvarande ökning i tallrikens höjd över marken ( $z$ ) men mindre än vid motsvarande ökning hos kornradien ( $r_p$ ).

Luftmotståndskoefficienten påverkar också längden på kaststräckan i luften (figur 5.19). När den ökar blir kornets kaststräcka kortare.

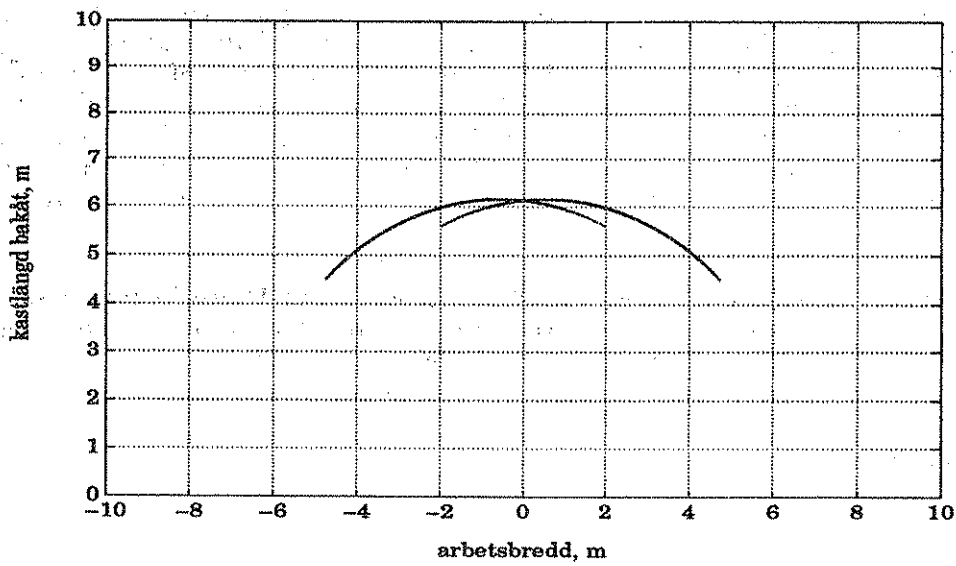


Figur 5.18. Kornens densitet ( $\rho_p$ ) ökad med 20 %, dvs till 2400 kg/m<sup>3</sup>. Bogballe E1000, 250 kg/ha (egen figur).



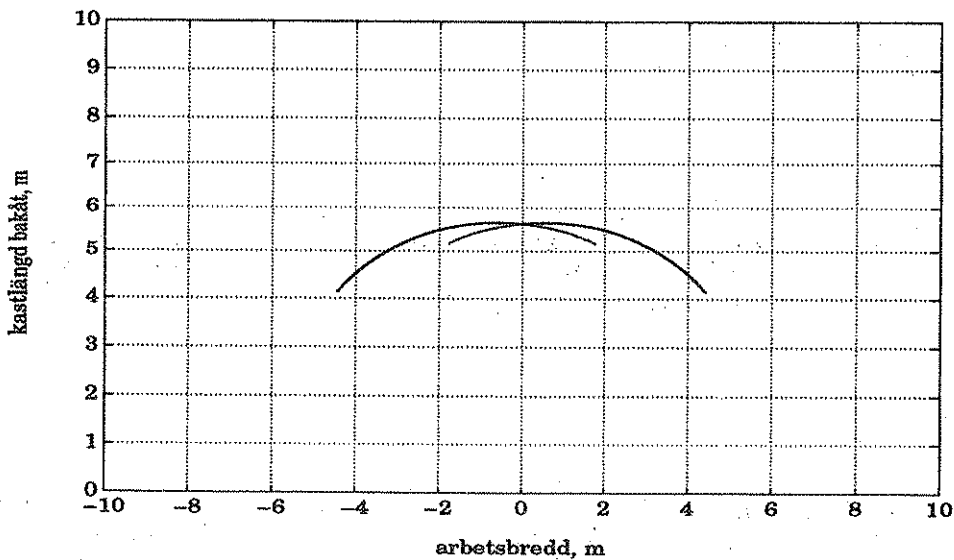
Figur 5.19. Luftmotståndskoefficienten ( $c_d$ ) ökad med 20 %, dvs till 0,7. Bogballe E1000, 250 kg/ha (egen figur).

En ökning av tyngdaccelerationen medför även den att partiklarna snabbare dras till marken (figur 5.20). Observera att en ökning av tyngdaccelerationen med 20 % resulterar i en tyngdacceleration som inte förekommer under normala omständigheter, men här handlade det om att öka samtliga inparametrar med 20 %.



Figur 5.20. Tyngdaccelerationen ( $g$ ) ökad med 20 %, dvs till  $11,78 \text{ m/s}^2$ . Bogballe E1000, 250 kg/ha (egen figur).

När luftens densitet ökas medför även den att kornen flyger en kortare sträcka (figur 5.21).



Figur 5.21. Luftens densitet ( $\rho$ ) ökad med 20 %, dvs till  $1,438 \text{ kg/m}^3$ . Bogballe E1000, 250 kg/ha (egen figur).

Det är svårt att rangordna inparametrarnas effekt på bågen bakom spridaren. Kornens radie har dock störst inverkan på bågen. Men nedsläppshålets konfiguration (nedsläppsvinkel och nedsläppsradie), tallrikens effektiva radie och tallrikens vinkelhastighet har också en stor inverkan på spridningsbilden. I luften har de parametrar som där är inblandade stor påverkan på slutresultatet i och med att detta är ett långsamt förlopp jämfört med tiden partikeln är på tallriken. Detta gäller kornets densitet, luftmotståndskoefficienten och luftens densitet.

De parametrar som har minst effekt på bågen bakom spridaren är här traktorns framföringshastighet (observera att detta är den momentana spridningsbilden), spridartallrikens höjd över marken och tyngdaccelerationen.

## 5.2 Lutningar

### 5.2.1 Massflöde

Data från samtliga massflödesmätningar utvärderades i statistikprogrammet SAS. Följande regressionsmodell ansattes:

$$Q_m = k_1 + k_2L + k_3T \quad (5.1)$$

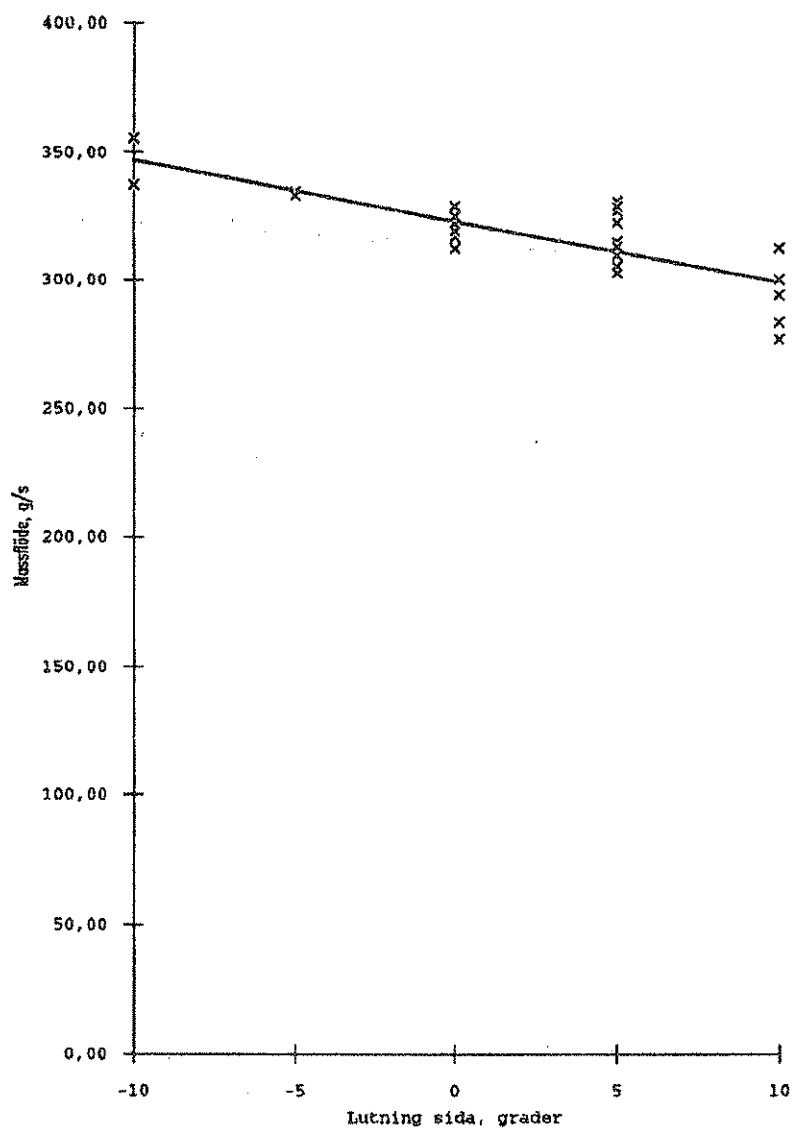
där

$k_1, k_2, k_3$	= konstanter, kg/s
$L$	= lutning framåt/bakåt, °
$T$	= lutning i sidled, °

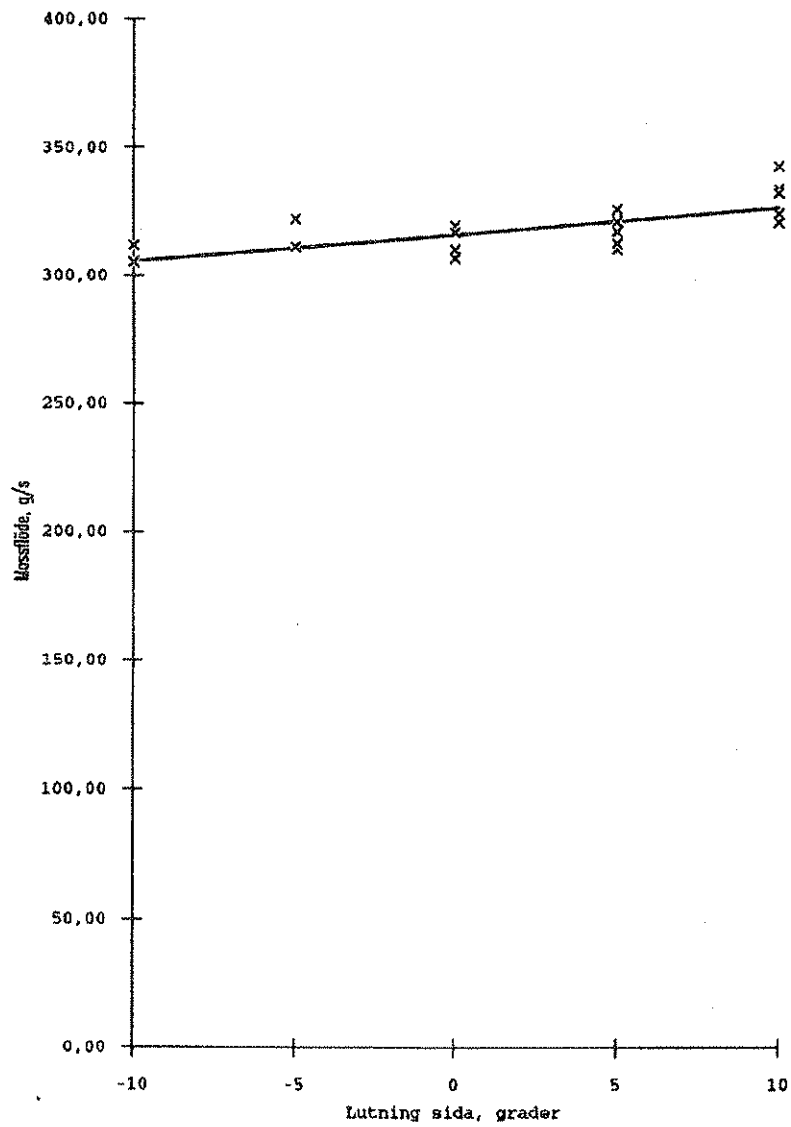
Detta innebär att när både lutning framåt/bakåt och lutning åt sidan är signifikanta innehåller ekvationen för att beskriva massflödet båda dessa parametrar. Använda signifikansnivåer är \* = 0,05, \*\* = 0,01 och \*\*\* = 0,001. Mätningar som inte är signifikanta redovisas inte i framställningen.

#### 5.2.1.1 Centrifugalspridare

Hos Bogballe E1000 var lutning i sidled trestjärnigt signifikant för både höger och vänster utmatning (figur 5.22 och 5.23).  $r^2$  för höger och vänster utmatning är 0,92 respektive 0,64. Regressionskurvan såg dock olika ut för de båda utmatningarna. För höger utmatning förändrades massflödet med 0,7 %/grad och för vänster utmatning förändrades massflödet med 0,3 %/grad. Lutning bakåt var inte signifikant.

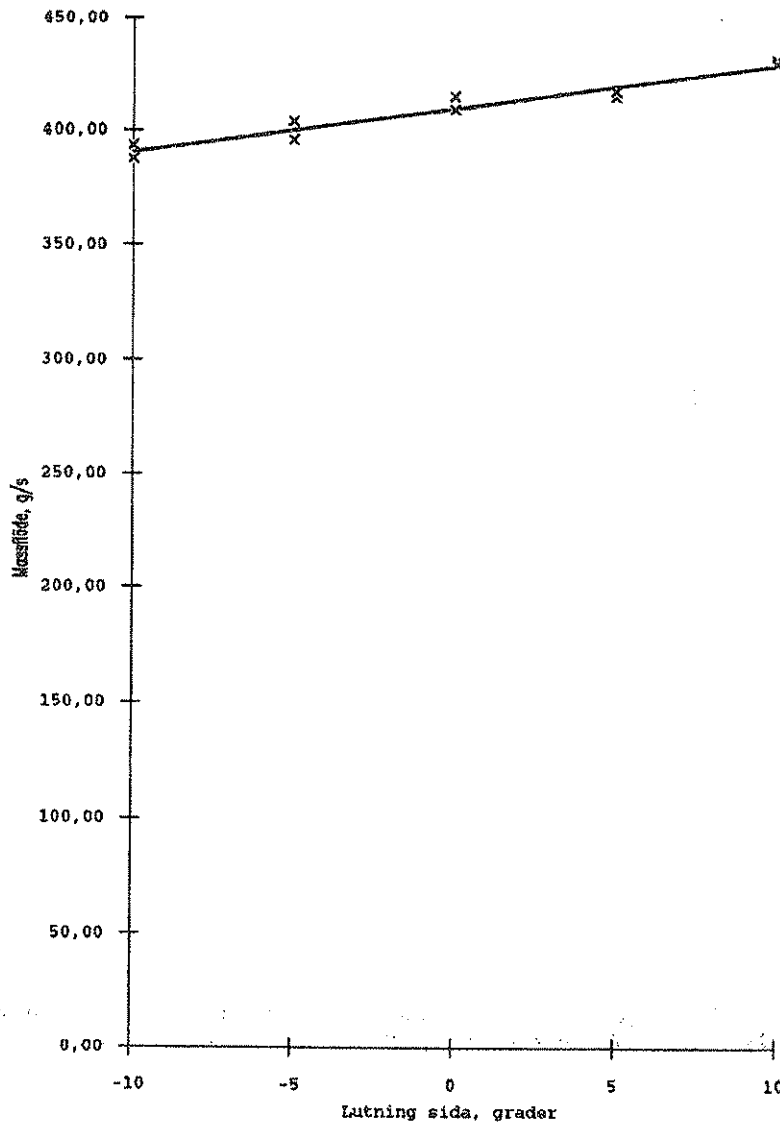


Figur 5.22. Massflödesmätningarna (punkter) och regressionskurvan (heldragen linje) för höger utmatning hos Bogballe E1000, sidlutning (egen figur).

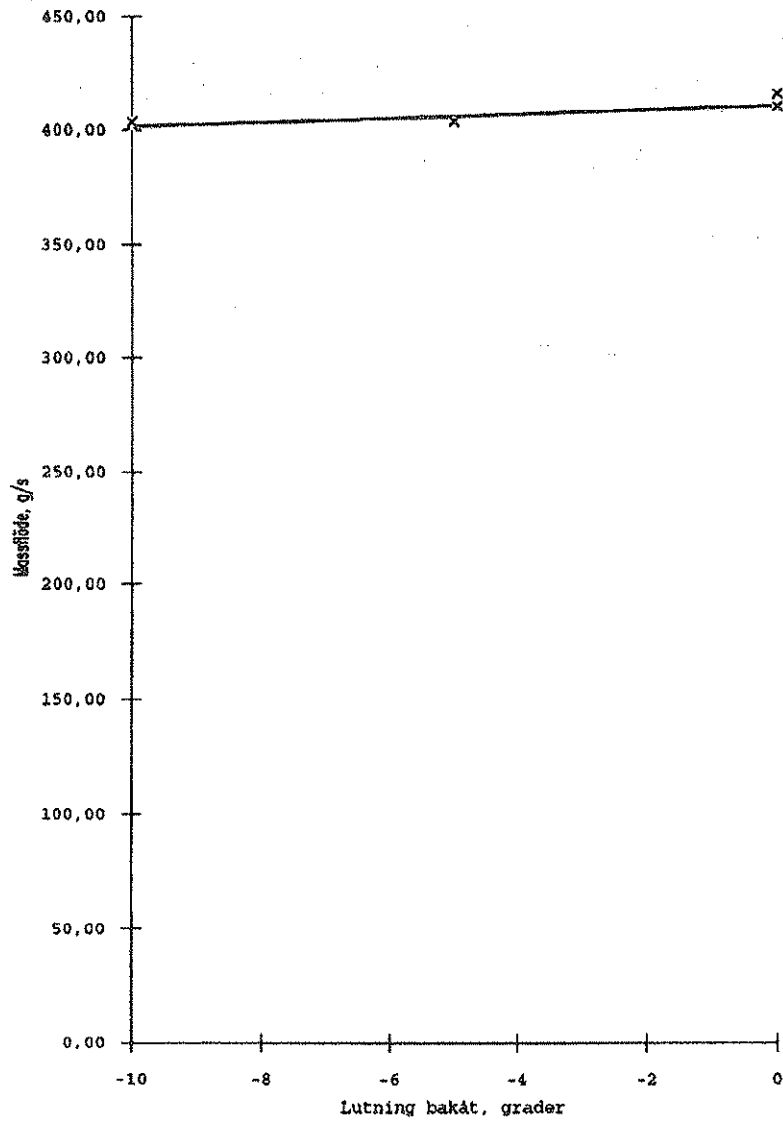


Figur 5.23. Massflödesmätningarna (punkter) och regressionskurvan (heldragen linje) för vänster utmatning hos Bogballe E1000, sidlutning (egen figur).

Höger utmatning hos Amazone ZA-F 603 är trestjärnigt signifikant vid lutning i sidled och tvåstjärnigt signifikant vid lutning bakåt.  $r^2$  är här 0,94 och massflödesförändringen är 0,5 %/grad vid sidlutning och 0,2 %/grad vid lutning bakåt (figur 5.24 och 5.25). Vänster sida är trestjärnigt signifikant vid lutning i sidled (figur 5.26).  $r^2$  är 0,91 och massflödesförändringen är 0,5 %/grad. Lutning bakåt är inte signifikant för vänster utmatning.

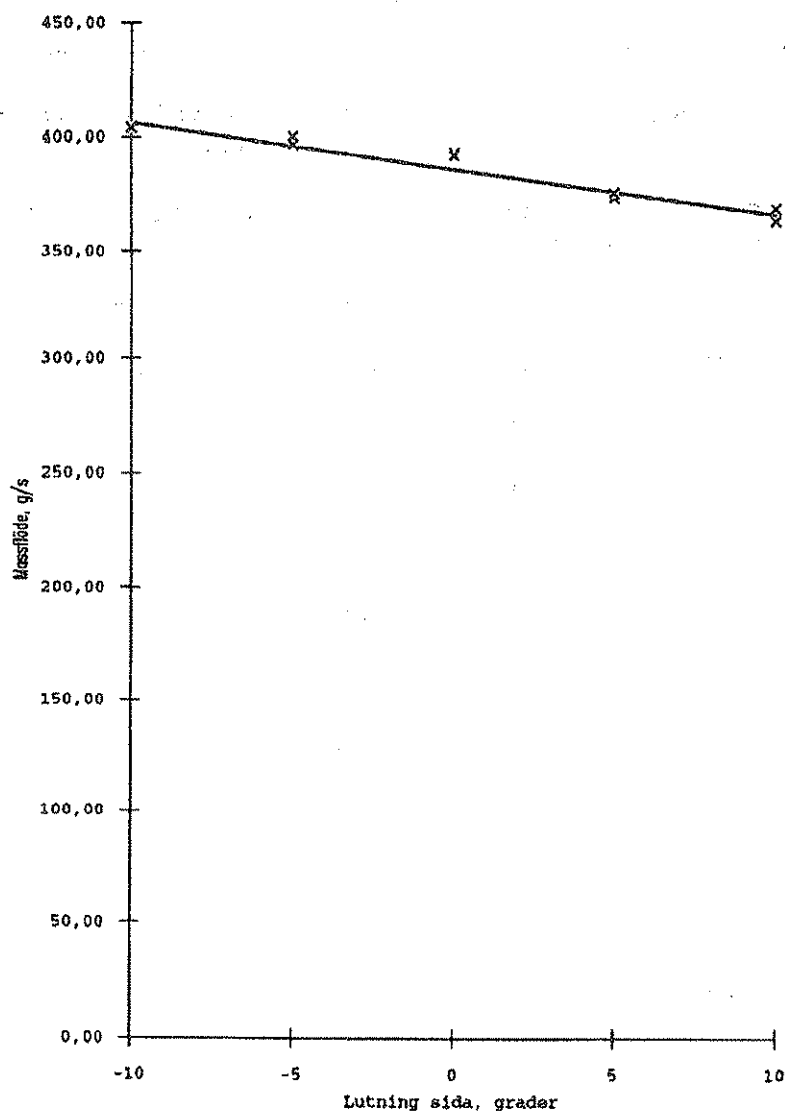


Figur 5.24. Massflödesmätningarna (punkter) och regressionskurvan (heldragen linje) för höger utmatning hos Amazone ZA-F 603, sidlutning (egen figur).



Figur 5.25. Massflödesmätningarna (punkter) och regressionskurvan (heldragen linje) för höger utmatning hos Amazone ZA-F 603, lutning bakåt (egen figur).





Figur 5.26. Massflödesmätningarna (punkter) och regressionskurvan (heldragen linje) för vänster utmatning hos Amazone ZA-F 603, sidlutning (egen figur).

### 5.2.1.2 Fallspridare

Munstyckena från spridarbommen räknas från vänster sida sett bakifrån spridaren. Resultat som inte är signifikanta redovisas inte i framställningen och markeras med streck (-).

Resultaten från mätningarna på Amazone Jet 1204 F visas i tabell 5.1.

Tabell 5.1. Resultaten från mätningarna på Amazone Jet 1204 F

nr	Munstycke, Signifikansnivå		$r^2$	Massflödesförändring, %/grad	
	lutning bakåt	lutning sidled		lutning bakåt	lutning sidled
1	**	**	0,66	0,5	0,3
2	-	**	0,51	-	0,3
3	-	**	0,53	-	0,3
4	-	**	0,46	-	0,3
5	*	**	0,57	0,5	0,4
6	-	**	0,60	-	0,5
7	-	**	0,55	-	0,4
8	-	**	0,47	-	-0,2
9	-	*	0,34	-	-
10	-	-	-	-	-
11	**	-	0,34	0,4	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	*	-	0,33	0,5	-

Mätningarna från Ylö Pneuma 100 delades in i tre grupper p g a att tre olika inställningar provades på maskinen. I resultaten från grupp 1 har spridaren lutats både i sidled (endast åt vänster) och bakåt, men i resultaten från grupp 2 och grupp 3 har spridaren endast lutats i sidled. Resultaten visas i tabell 5.2, 5.3 och 5.4.

Tabell 5.2. Resultaten från mätningarna på Ylö Pneuma 1000, grupp 1

nr	Munstycke, Signifikansnivå		$r^2$	Massflödesförändring, %/grad	
	lutning bakåt	lutning sidled		lutning bakåt	lutning sidled
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	*	0,47	-	0,2
6	*	**	0,82	0,20	-0,4
7	-	*	0,62	-	-0,3
8	-	**	0,75	-	-0,2
9	-	**	0,70	-	-0,2
10	-	-	-	-	-
11	*	**	0,94	-0,2	-0,2
12	*	**	0,95	-0,2	-0,3

Tabell 5.3. Resultaten från mätningarna på Ylö Pneuma 1000, grupp 2

Munstycke, Signifikansnivå		r <sup>2</sup>	Massflödesförändring, %/grad
nr	lutning sidled		
1	-	-	-
2	-	-	-
3	-	-	-
4	-	-	-
5	-	-	-
6	-	-	-
7	-	-	-
8	**	0,90	-0,40
9	**	0,94	-0,50
10	**	0,88	-0,40
11	**	0,90	-0,50
12	**	0,84	-0,50

Tabell 5.4. Resultaten från mätningarna på Ylö Pneuma 1000, grupp 3

Munstycke, Signifikansnivå		r <sup>2</sup>	Massflödesförändring, %/grad	
nr	lutning sidled			lutning sidled
1	***	0,96		-0,40
2	***	0,96		-0,40
3	**	0,88		-0,30
4	*	0,74		-0,30
5	-	-		-
6	-	-		-
7	-	-		-
8	**	0,87		-0,40
9	**	0,89		-0,50
10	*	0,77		-0,40
11	*	0,82		-0,50
12	**	0,92		-0,50

Resultaten från mätningarna på Överum Tive 4012 visas i tabell 5.5.

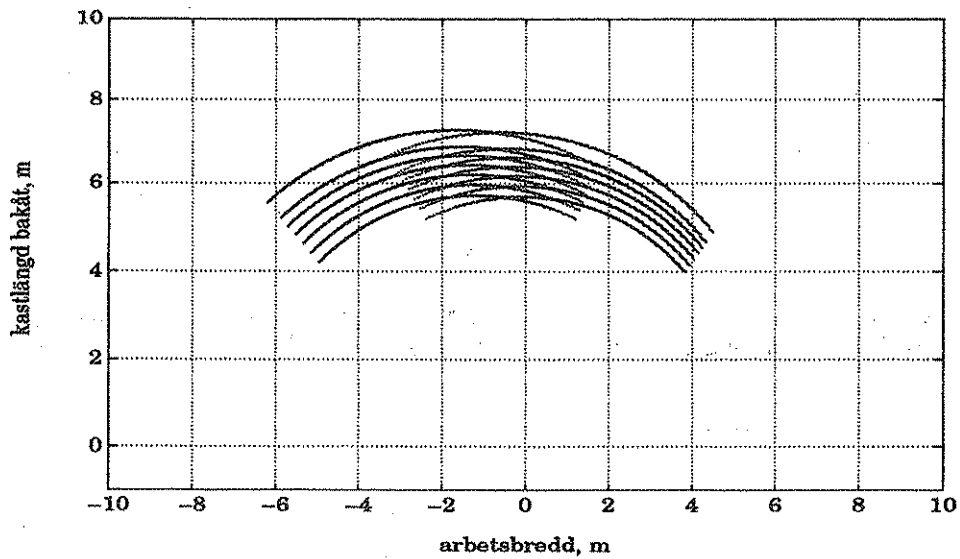
Tabell 5.5. Resultaten från mätningarna på Överum Tive 4012

nr	Munstycke, Signifikansnivå		$r^2$	Massflödesförändring, %/grad	
	lutning framåt/ bakåt	lutning höger		lutning framåt/ bakåt	lutning höger
1	***	-	0,67	-0,70	-
2	***	-	0,67	-0,70	-
3	***	-	0,71	-0,70	-
4	***	-	0,77	-0,80	-
5	***	-	0,76	-0,80	-
6	***	-	0,68	-0,70	-
7	***	-	0,71	-0,80	-
8	***	-	0,77	-0,80	-
9	***	-	0,68	-0,80	-
10	***	-	0,71	-0,80	-
11	**	-	0,55	0,50	-
12	***	-	0,77	0,60	-
13	**	-	0,46	0,30	-
14	***	-	0,61	0,40	-
15	***	-	0,60	0,50	-
16	**	-	0,49	0,40	-
17	***	-	0,64	0,50	-
18	***	-	0,65	0,40	-
19	**	-	0,49	0,40	-
20	*	-	0,39	0,40	-

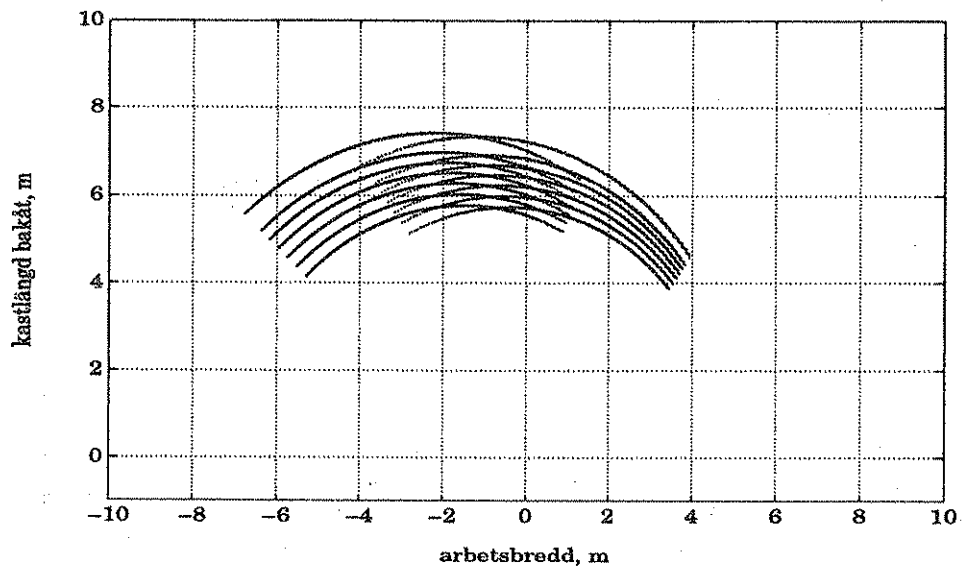
## 5.2.2 Spridningsbild

### 5.2.2.1 Centrifugalspridare

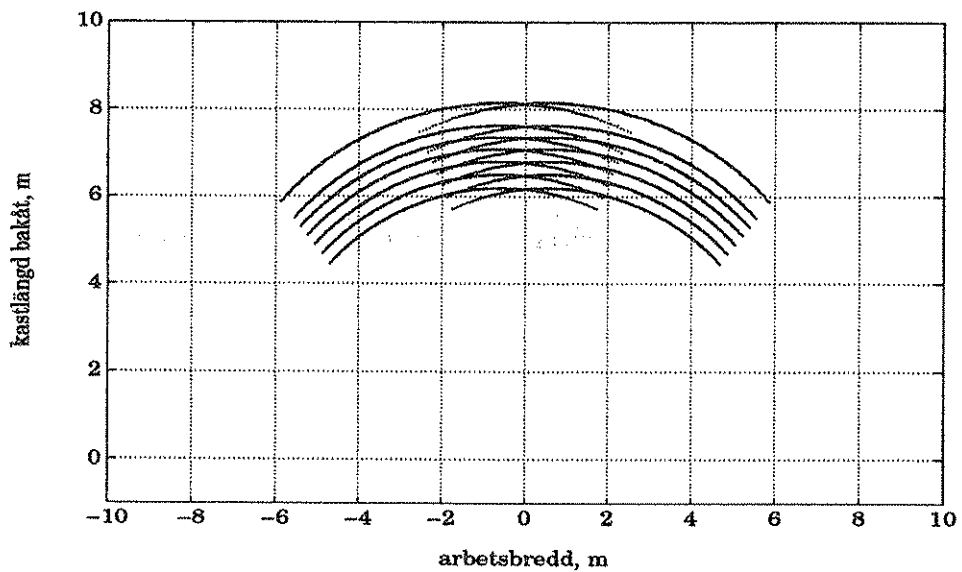
I figur 5.27, 5.28, 5.29 och 5.30 visas de beräknade resultaten från när Bogballe E1000 lutas  $3^\circ$  och  $5^\circ$  i sidled respektive bakåt. Den lägre givan, 250 kg/ha, används genomgående.



Figur 5.27. Beräknad spridningsbild för Bogballe E1000, 250 kg/ha, då spridaren lutar  $3^\circ$  i sidled relativt horisontell mark. Andel gödsel på höger sida är 57,8 % (egen figur).

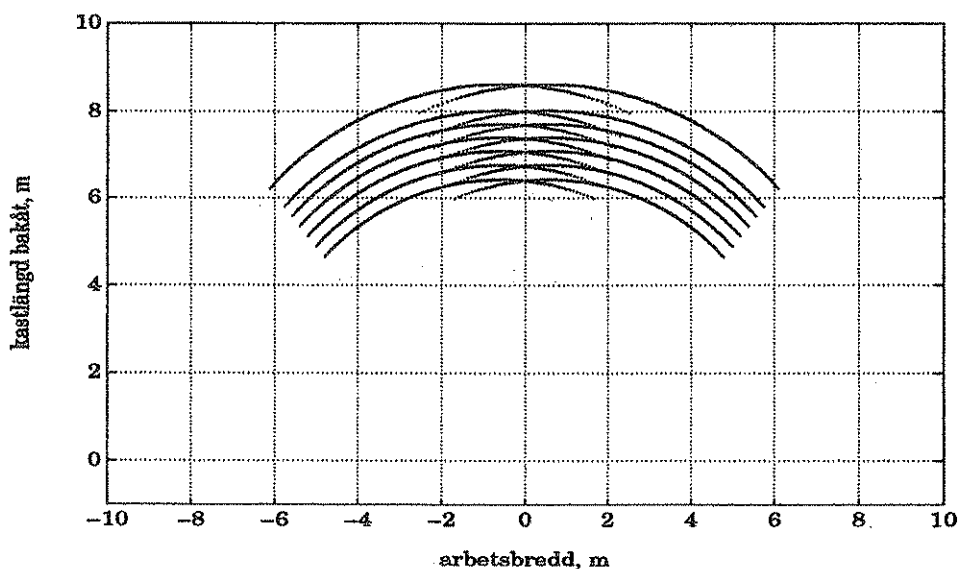


Figur 5.28. Beräknad spridningsbild för Bogballe E1000, 250 kg/ha, då spridaren lutar  $5^\circ$  i sidled relativt horisontell mark. Andel gödsel på höger sida är 63,4 % (egen figur).



Figur 5.29. Beräknad spridningsbild för Bogballe E1000, 250 kg/ha, då spridaren lutar  $3^\circ$  framåt relativt horisontell mark. Andel gödsel på höger sida är 50 % (egen figur).

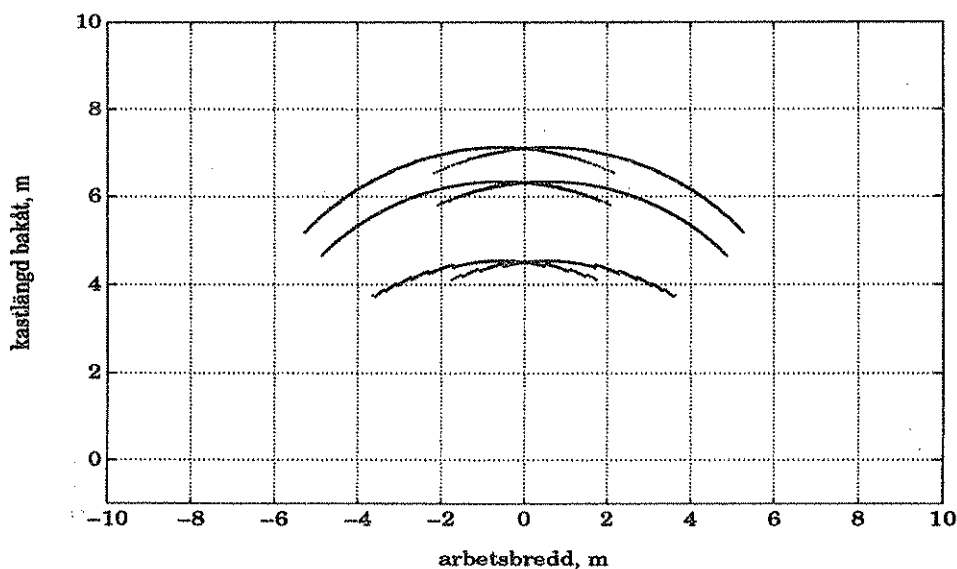




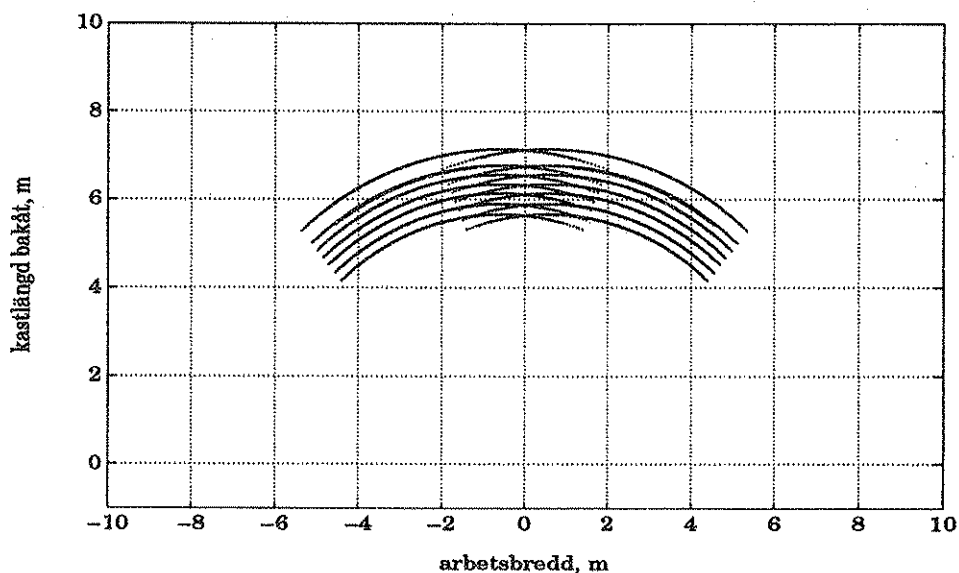
Figur 5.30. Beräknad spridningsbild för Bogballe E1000, 250 kg/ha, då spridaren lutar  $5^\circ$  framåt relativt horisontell mark. Andel gödsel på höger sida är 50 % (egen figur).

Effekterna när traktor med spridare kör ner i ett hål kan schematiskt studeras med modellen. I figur 5.31 visas resultatet när traktorns bakaxel först går ner 0,13 m relativt framaxeln och sedan studsar upp 0,10 m relativt framaxeln. Detta är liktydigt med att spridaren först lutas  $3,2^\circ$  bakåt och sedan lutas  $2,5^\circ$  framåt. Samtidigt sker en förändring i spridarens höjd över marken, först minskar höjden till 0,53 m, sedan ökar den till 0,96 m. I figuren är även spridningsbilden vid  $0^\circ$  lutning med som referens.

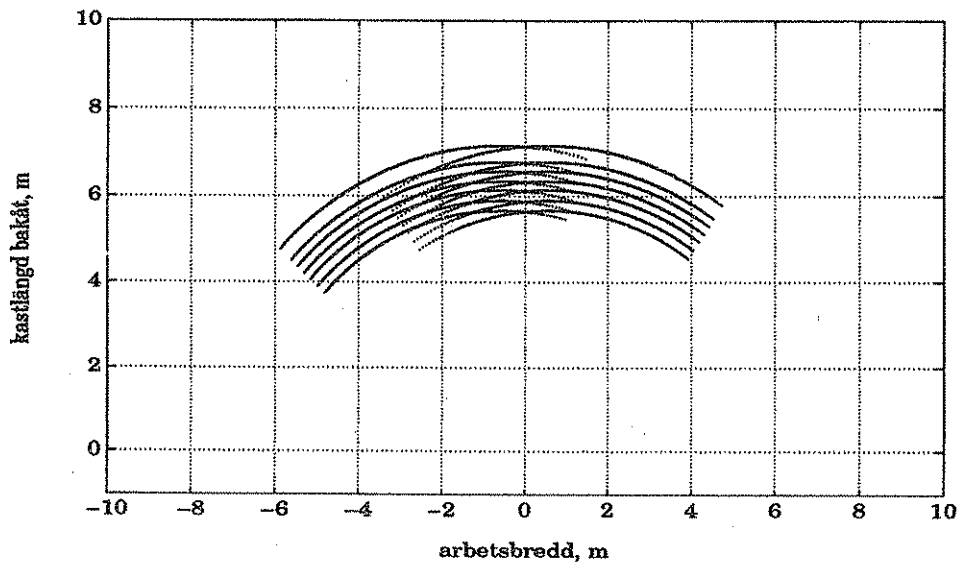
Modellen användes även för att studera spridningsbilden hos en spridare som körs parallellt med lutande mark. Även här har Bogballe E1000 och givan 250 kg/ha använts. Marken lutar  $5^\circ$  och spridaren kör dels uppför lutningen (figur 5.32), dels tvärs lutningen (figur 5.33).



Figur 5.31. Bågen bakom spridaren för Bogballe E1000, 250 kg/ha, då traktorn kör ner i ett 0,13 m djupt hål med bakhjulen och sedan studsar upp 0,10 m. Bågen i mitten är spridaren vid 0° lutning och höjden över marken 0,775 m. Bågen längst ner är spridaren lutande 3,2° bakåt och höjden över marken minskad till 0,530 m. Bågen högst upp är spridaren lutande 2,5° framåt och höjden över marken ökad till 0,960 m (egen figur).

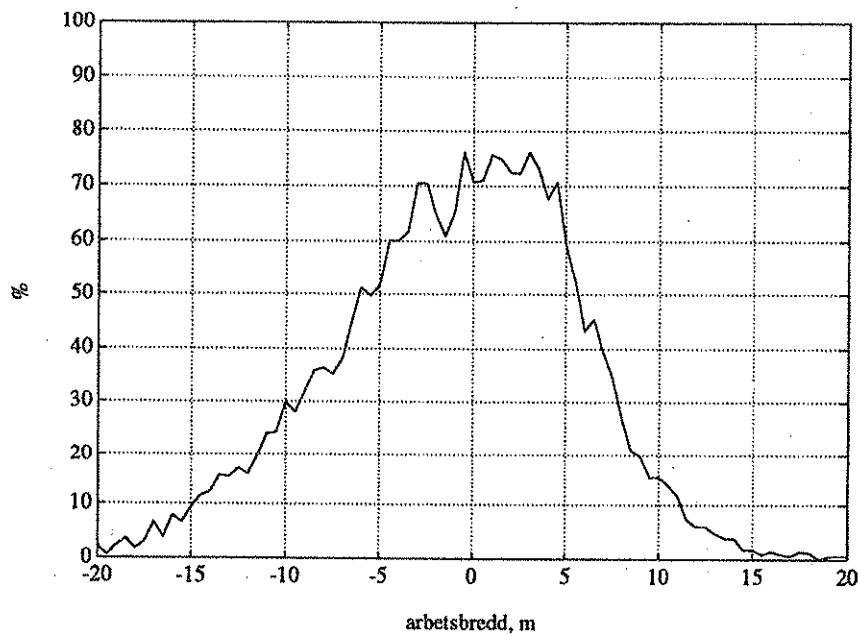


Figur 5.32. Spridningsbild för Bogballe E1000, 250 kg/ha, då spridaren kör uppför en sluttning som lutar 5° relativt horisontalplanet. Andel gödsel på höger sida är 50% (egen figur).

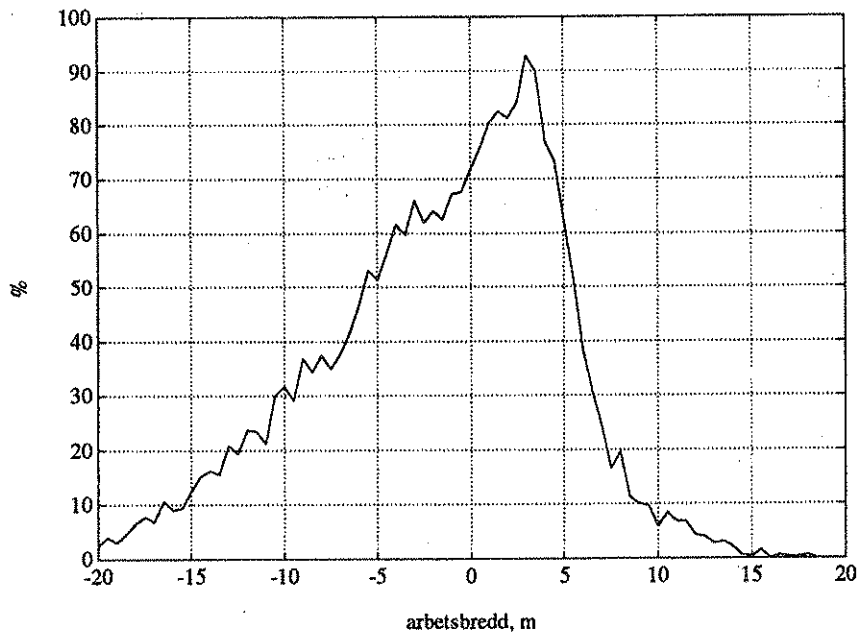


Figur 5.33. Spridningsbild för Bogballe E1000, 250 kg/ha, då spridaren kör tvärs en sluttning som lutar  $5^\circ$  relativt horisontalplanet. Andel gödsel på höger sida är 63,2 % (egen figur).

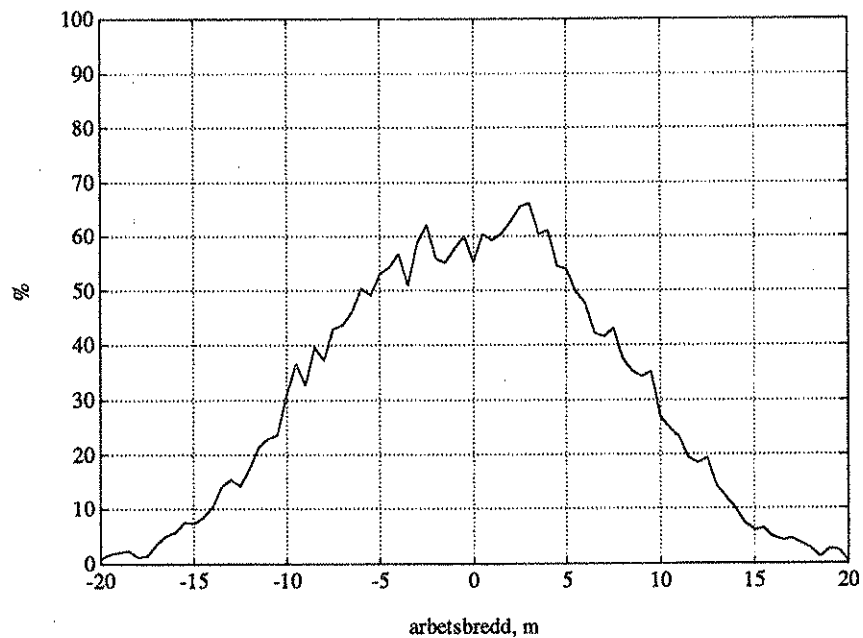
I figurerna 5.34, 5.35, 5.36 och 5.37 visas de uppmätta spridningsbilderna från när Bogballe E1000 lutas  $3^\circ$  och  $5^\circ$  i sidled respektive framåt relativt horisontell mark. Även här visas den lägre givan, 250 kg/ha.



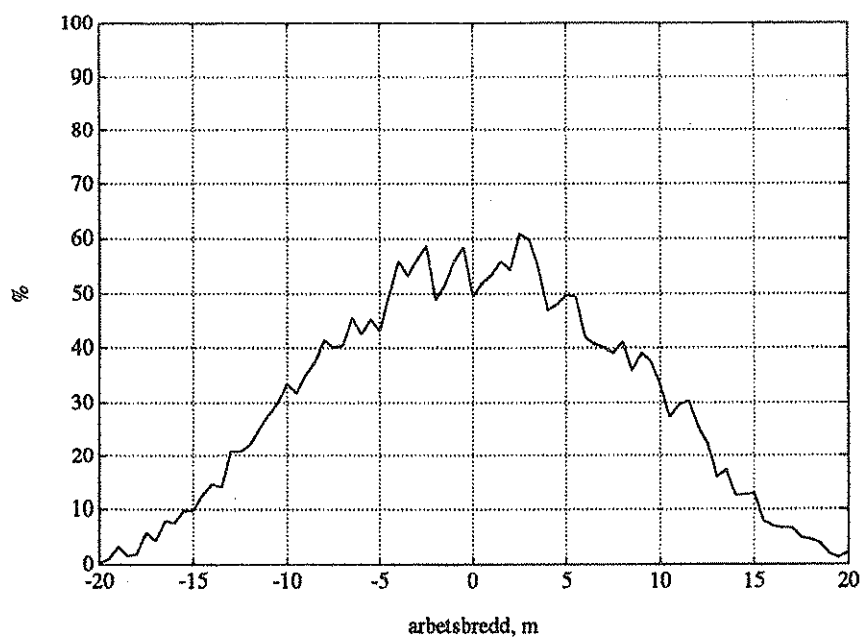
Figur 5.34. Uppmätt spridningsbild för Bogballe E1000, 250 kg/ha, då spridaren lutar  $3^\circ$  i sidled relativt horisontell mark. VK är 6,7. Andel gödsel på höger sida är 52,7 % (egen figur).



Figur 5.35. Uppmätt spridningsbild för Bongballe E1000, 250 kg/ha, då spridaren lutar 5° i sidled relativt horisontell mark. VK är 8,1. Andel gödsel på höger sida är 54,4 % (egen figur).

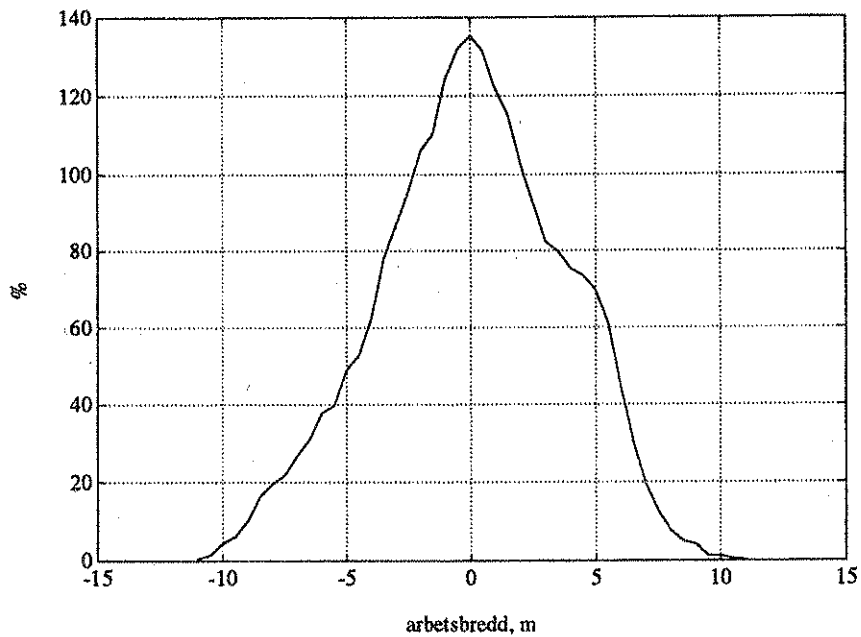


Figur 5.36. Uppmätt spridningsbild för Bogballe E1000, 250 kg/ha, då spridaren lutar 3° framåt relativt horisontell mark. VK är 6,8. Andel gödsel på höger sida är 49,4 % (egen figur).

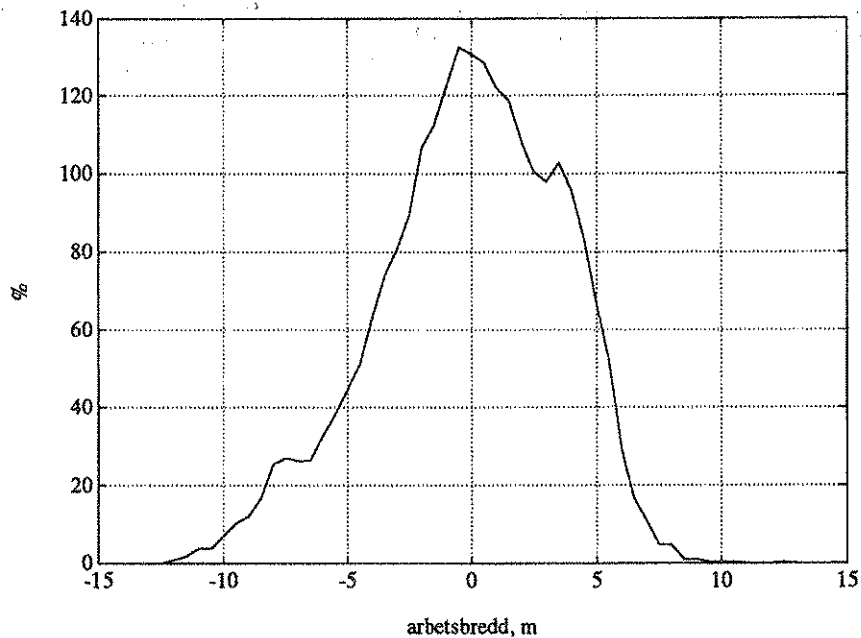


Figur 5.37. Uppmätt spridningsbild för Bogballe E1000, 250 kg/ha, då spridaren lutar 5 ° framåt relativt horisontell mark. VK är 6,8. Andel gödsel på höger sida är 49,6 % (egen figur).

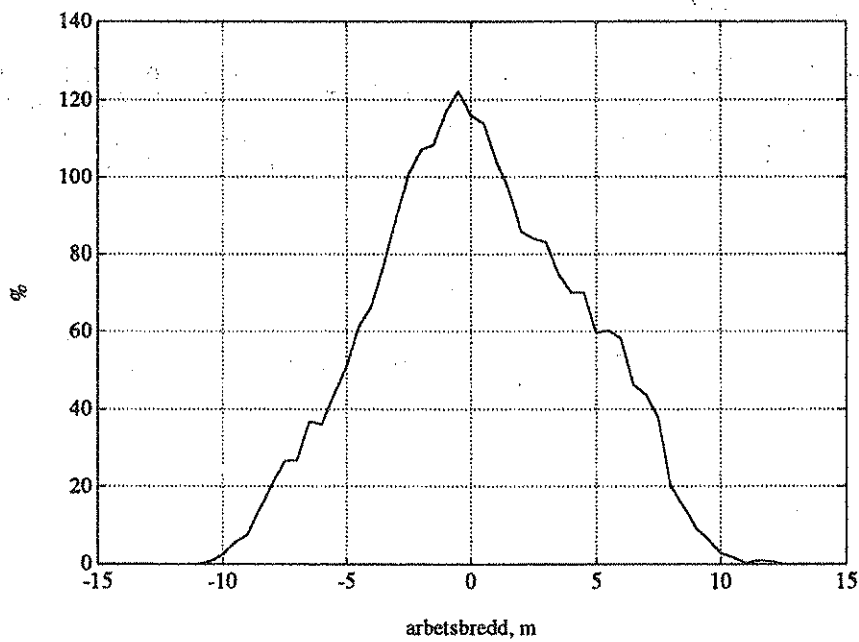
P g a den ofullständiga bågen som fås i de beräknade spridningsbilderna för Amazone ZA-F 603 har denna maskin inte lutats i modellen. Däremot visas de uppmätta spridningsbilderna då maskinen lutas 3 ° och 5 ° i sidled respektive framåt relativt horisontell mark (figurerna 5.38, 5.39, 5.40 och 5.41).



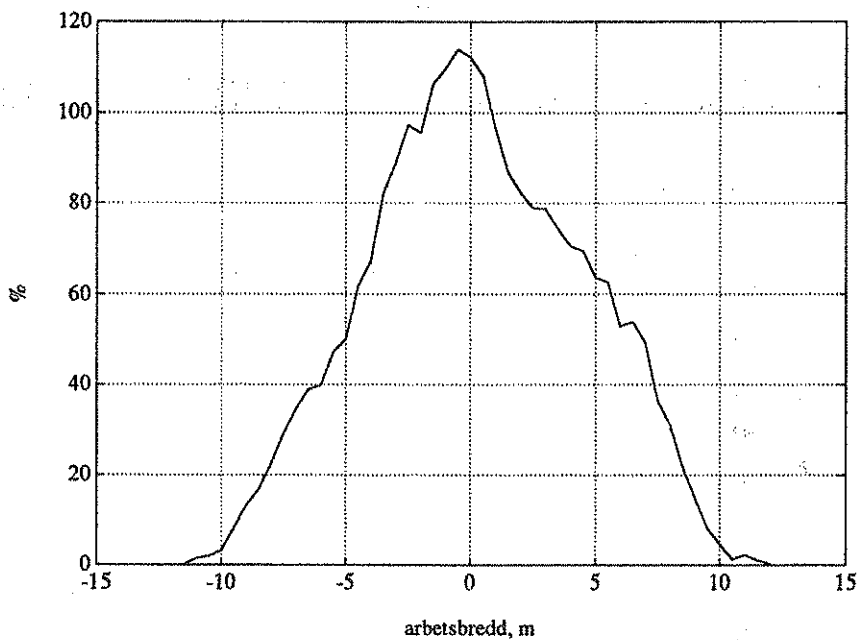
Figur 5.38. Uppmått spridningsbild för Amazone ZA-F 603, 250 kg/ha, då spridaren lutar 3° i sidled relativt horisontell mark. VK är 20,5. Andel gödsel på höger sida är 49,6% (egen figur).



Figur 5.39. Uppmått spridningsbild för Amazone ZA-F 603, 250 kg/ha, då spridaren lutar 5° i sidled relativt horisontell mark. VK är 22,2. Andel gödsel på höger sida är 49,2% (egen figur).



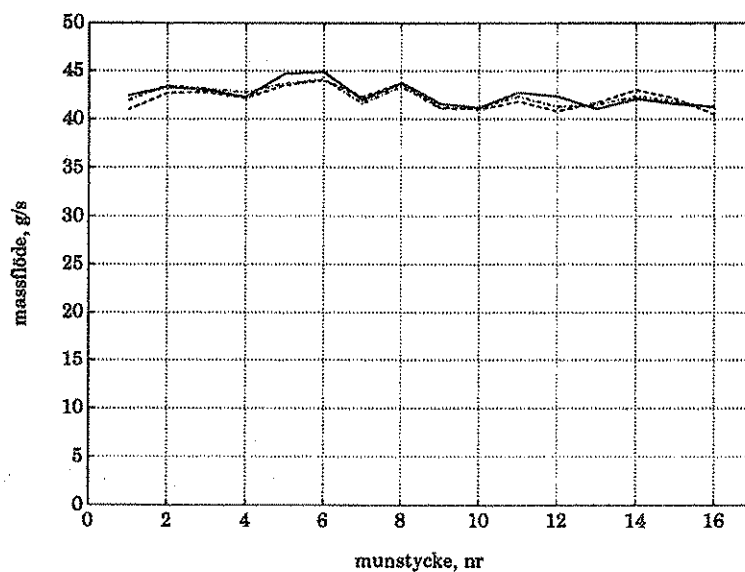
Figur 5.40. Uppmätt spridningsbild för Amazone ZA-F 603, 250 kg/ha, då spridaren lutar 3° framåt relativt horisontell mark. VK är 13,2. Andel gödsel på höger sida är 49,6 % (egen figur).



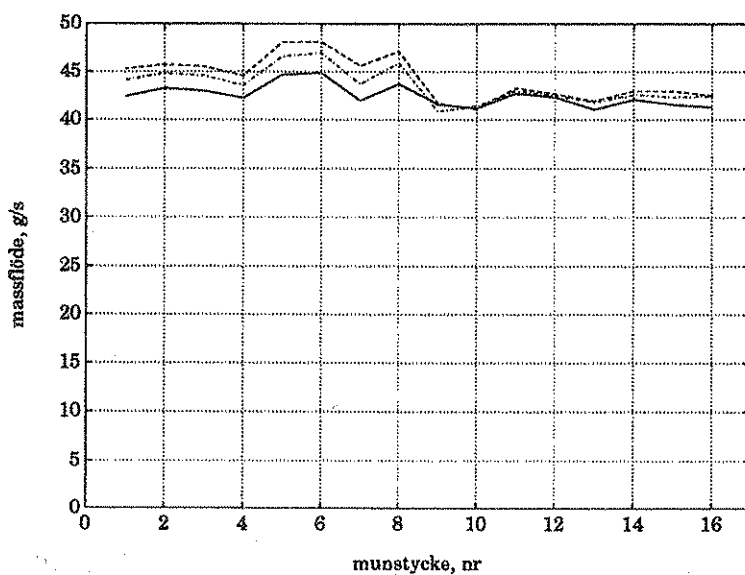
Figur 5.41. Uppmätt spridningsbild för Amazone ZA-F 603, 250 kg/ha, då spridaren lutar 5° framåt relativt horisontell mark. VK är 11,3. Andel gödsel på höger sida är 49,6 % (egen figur).

### 5.2.2.2 Fallspridare

Spridningsbildens förändring vid lutningar hos fallspridare kan schematiskt studeras vid mätningar av massflödet. I figur 5.42, 5.43 och 5.44 visas medelvärdena från varje munstycke vid de olika lutningarna hos Amazone Jet 1204 F. Observera dock att i dessa medelvärden är även de resultat som inte är signifikanta medtagna.

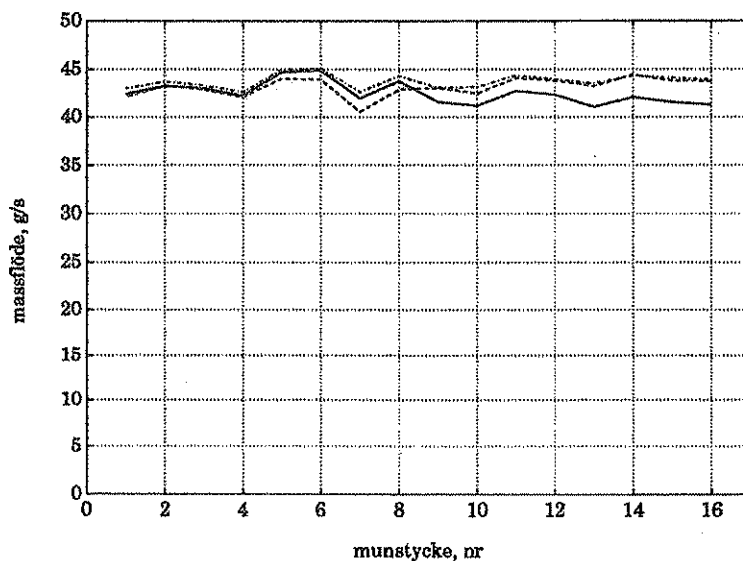


Figur 5.42. Medelvärden vid massflödesmätningarna på Amazone Jet 1204 F, vid lutning 0° (heldragen linje), 5° (punktstreckad linje) och 10° (streckad linje) bakåt (egen figur).



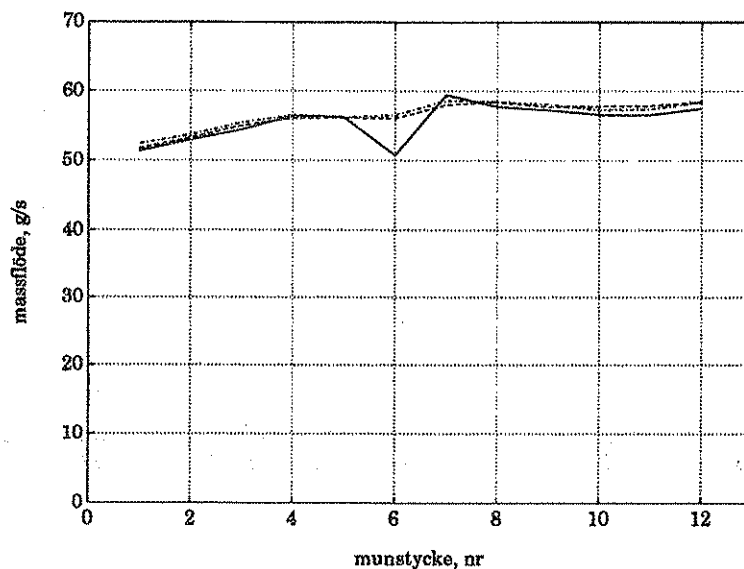
Figur 5.43. Medelvärden vid massflödesmätningarna på Amazone Jet 1204 F, vid lutning 0° (heldragen linje), 5° (punktstreckad linje) och 10° (streckad linje) åt vänster (egen figur).



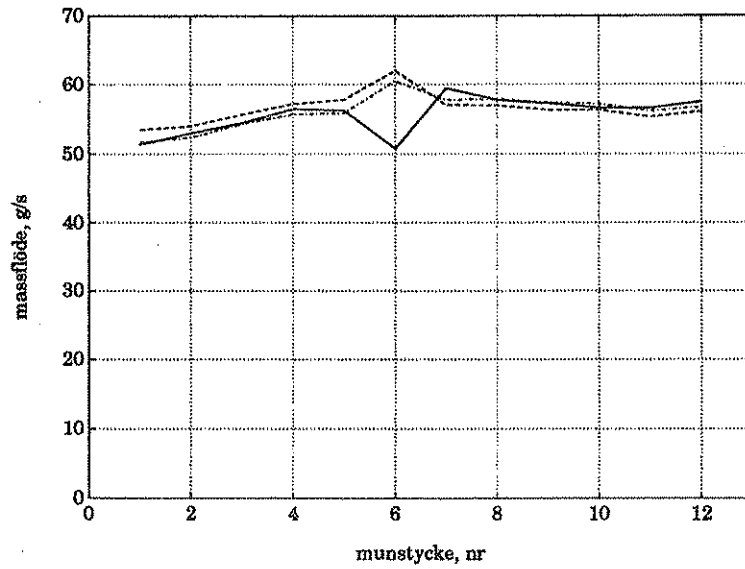


Figur 5.44. Medelvärden vid massflödesmätningarna på Amazone Jet 1204 F, vid lutning 0° (heldragen linje), 5° (punktstreckad linje) och 10° (streckad linje) åt höger (egen figur).

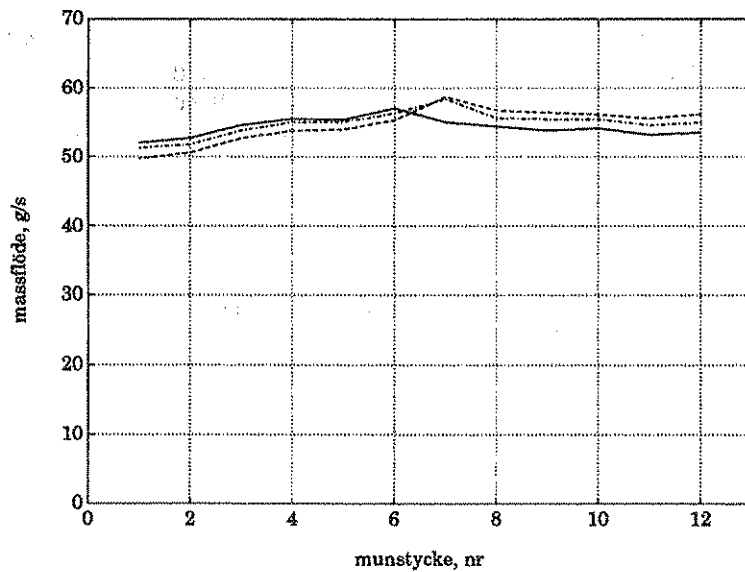
I figur 5.45 och 5.46 visas medelvärdena från resultaten från massflödesmätningarna i grupp 1 på Ylö Pneuma 1000. I figur 5.47 visas resultaten från massflödesmätningarna i grupp 3 på Ylö Pneuma 1000. Observera att även här är både de signifikanta och de ej signifikanta resultaten medtagna i figurerna.



Figur 5.45. Medelvärden vid massflödesmätningarna på Ylö Pneuma 1000, grupp 1, vid lutning 0° (heldragen linje), 5° (punktstreckad linje) och 10° (streckad linje) bakåt (egen figur).

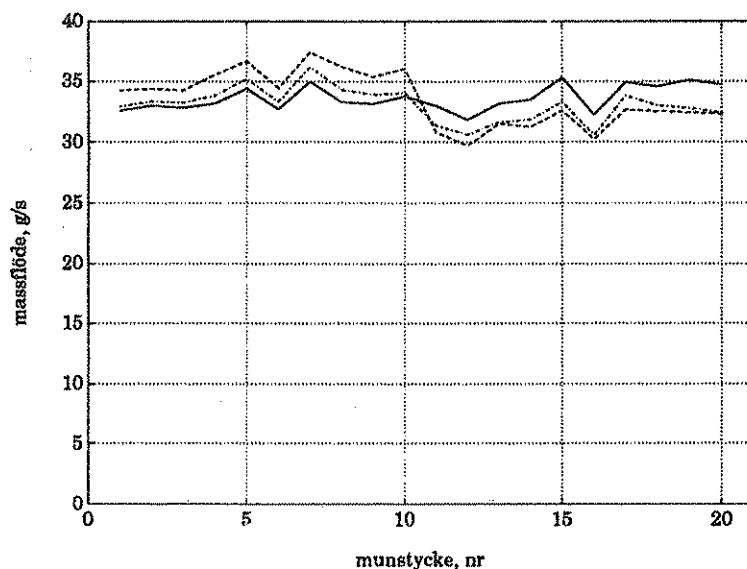


Figur 5.46. Medelvärden vid massflödesmätningarna på Ylö Pneuma 1000, grupp 1, vid lutning 0° (heldragen linje), 5° (punktstreckad linje) och 10° (streckad linje) åt vänster (egen figur).

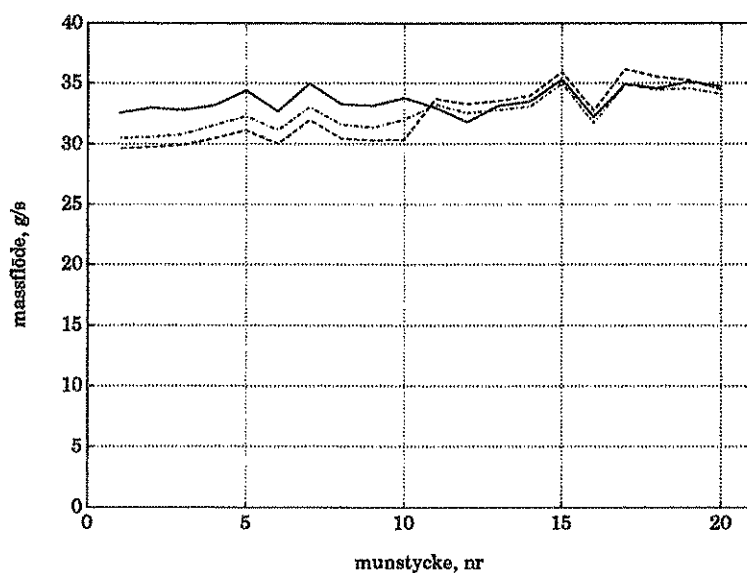


Figur 5.47. Medelvärden vid massflödesmätningarna på Ylö Pneuma 1000, grupp 3, vid lutning 0° (heldragen linje), 5° (punktstreckad linje) och 10° (streckad linje) åt höger (egen figur).

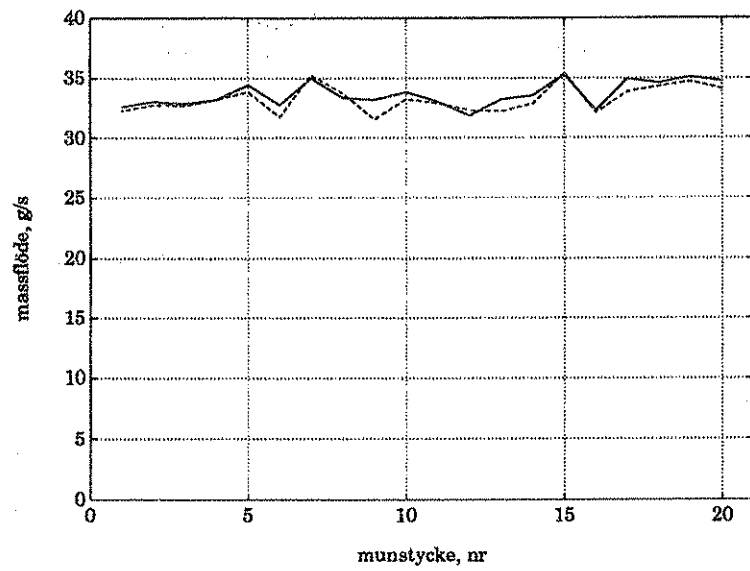
I figur 5.48, 5.49 och 5.50 visas resultaten från massflödesmätningarna på Överum Tive 4012. Vid lutning framåt och bakåt var samtliga munstycken signifikanta vid massflödesmätningarna. Vid lutning åt höger var inget munstycke signifikant.



Figur 5.48. Medelvärden vid massflödesmätningarna på Överum Tive 4012, vid lutning 0° (hel-dragen linje), 5° (punktstreckad linje) och 10° (streckad linje) bakåt (egen figur).



Figur 5.49. Medelvärden vid massflödesmätningarna på Överum Tive 4012, vid lutning 0° (hel-dragen linje), 5° (punktstreckad linje) och 10° (streckad linje) framåt (egen figur).



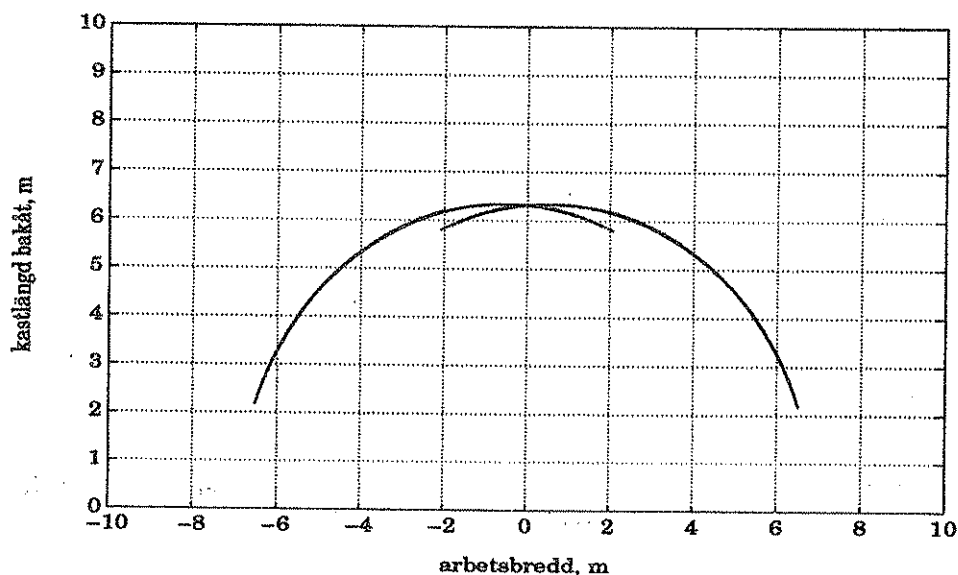
Figur 5.50. Medelvärden vid massflödesmätningarna på Överum Tive 4012, vid lutning 0° (heldragen linje) och 10° (streckad linje) åt höger (egen figur).

## 6 DISKUSSION

### 6.1 Modell för centrifugalspridare

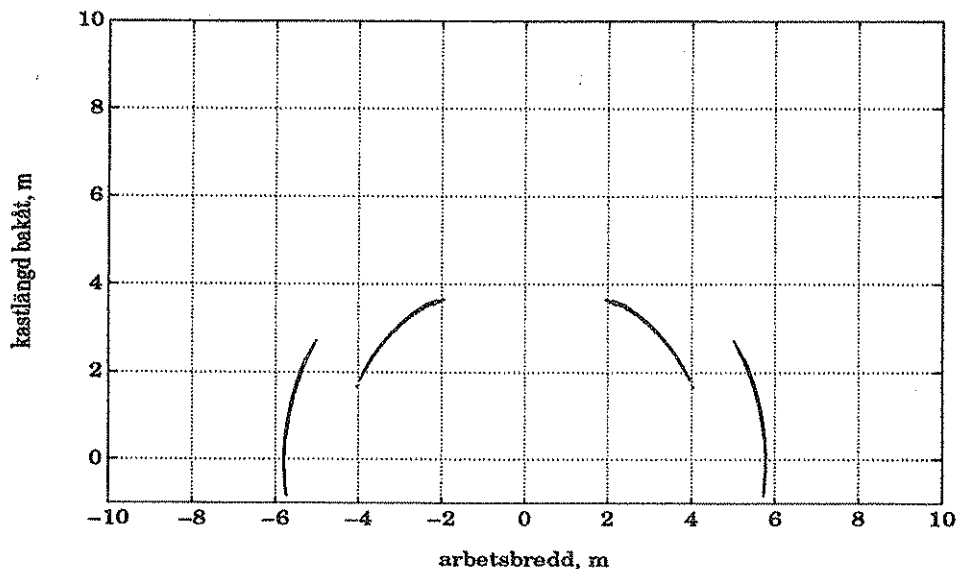
Som synes av resultaten visar modellen på dålig anpassning till de uppmätta spridningsbilderna. Därför har inte VK för spridningsbilderna räknats ut. Samtidigt uppför sig modellen på samma sätt som de uppmätta spridningsbilderna vid lutningar, vilket är intressant. Felkällorna till modellen ligger dels i antagandena, dels i indatat till modellen.

Hos Bogballe E1000 når bågen bakom spridaren inte tillräckligt långt ut till sidorna. Kornen lämnar inte tallriken tillräckligt snabbt och deras radiella hastighet är inte tillräckligt hög för att förändra vinkeln som kornet lämnar tallriken med. I och med att vingarna är vinklade bakåt och inte är radiella medför detta att kornen lämnar tallriken tidigare än i modellen. Ena tallriken på Bogballe E1000 videofilmades underifrån. Filmen visar att kornen från den vinge som är vinklad mest bakåt börjar lämna tallriken i ett tidigare skede än kornen som kommer från den vinge som är vinklad minst bakåt. Detta innebär att de två vingarnas inställning kompletterar varandra och "fyller ut" spridningsbilden. För att studera detta med modellen provades att göra en körning där tiden på tallriken minskades med 20 %. Sedan plottades denna körning i samma diagram som spridningsbilden från normalfallet (figur 6.1). Givan 250 kg/ha användes. Bågarna går inte att särskilja, men i figuren är det den minskade tiden som utgör bågarnas flanker.

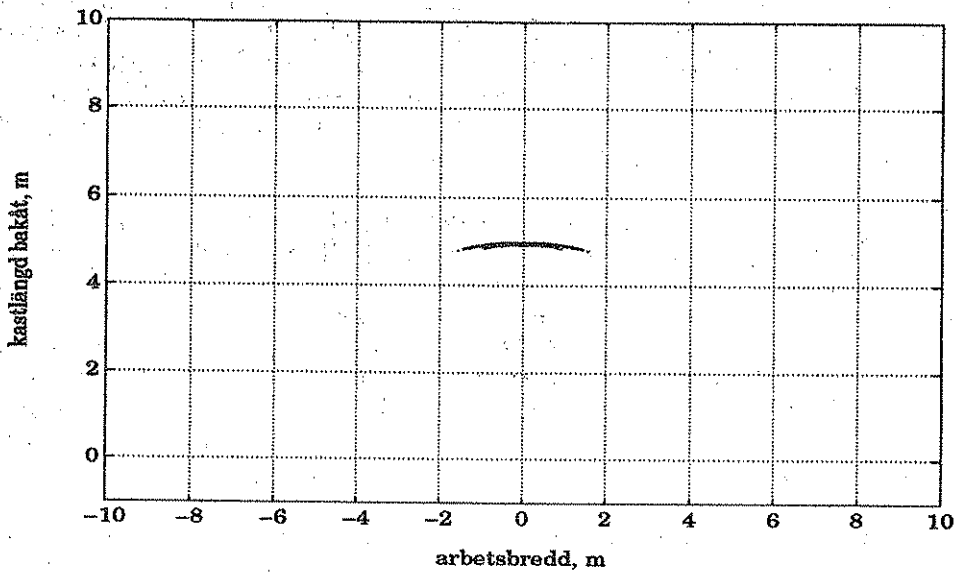


Figur 6.1. Spridningsbilden från Bogballe E1000, 250 kg/ha, när tiden på tallriken minskats med 20 % och plottats i samma figur som den normala spridningsbilden (egen figur).

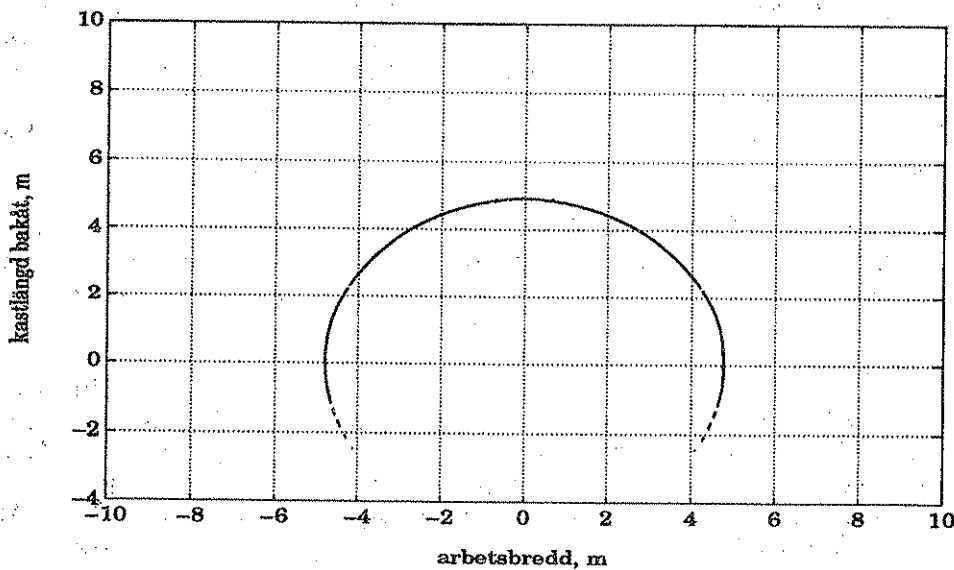
Hos Amazone ZA-F 603 är problemet det motsatta. Bågen bakom spridaren fyller inte på långt när ut utrymmet bakom spridaren. Även här kan den största skillnaden förmodligen förklaras av vingarnas utformning. I och med att den ena vingen är kortare än den andra lämnar kornen denna vinge mycket tidigare, dvs mer mot mittenlinjen i figuren. Den andra vingen hjälper till att fylla ut bågens kanter. Det kan också tänkas att den andra vingen når in under nedsläppet på den andra tallriken, och får då en mängd korn som kommer att lämna denna vinge rakt bakåt. Detta skulle vara intressant att videofilma, men tillfälle har tyvärr inte getts under projektets gång. Det kan också tänkas att en viss mängd gödsel följer med tallriken ett varv runt för att lämna vingen rakt bakåt. I modellen har alla dessa fall studerats. För givan 250 kg/ha minskades först tallrikens radie till 0,15 m och ökades sedan till 0,25 m. Dessa båda resultat plottades i samma figur och simulerar fallet att den ena vingen är kortare än den andra (figur 6.2). För att simulera fallet att en vinge tar gödsel från det andra nedsläppshålet minskades tiden som gödseln stannar på tallriken med 50 %. Resultatet visas i figur 6.3. För att gödseln skulle åka med tallriken ett varv runt ökades tiden som kornen stannar på tallriken med 300 % (figur 6.4). Det sista fallet innebar att tallrikens vridningsvinkel under tiden som kornen stannade på tallriken varierade mellan 290 ° och 420 °. En ökning av tiden får kornen att kastas inom ett vidare vinkelintervall, medan en minskning av tiden får kornen att kastas inom ett smalare vinkelintervall.



Figur 6.2. Spridningsbilden hos Amazone ZA-F 603, 250 kg/ha, när bågarna med tallriksradien 0,15 m respektive 0,25 m plottats i samma diagram (egen figur).



Figur 6.3. Spridningsbilden hos Amazone ZA-F 603, 250 kg/ha, när tiden som kornet stannar på tallriken minskats med 50 % (egen figur).



Figur 6.4. Spridningsbilden från Amazone ZA-F 603, 250 kg/ha, när tiden som kornet stannar på tallriken ökat med 300 % (egen figur).

Ytterligare en felkälla kan vara den gödsel som slås sönder och hamnar under eller strax bakom spridaren. Denna gödsel ingår i de uppmätta spridningsbilderna från SMP, men hänsyn till den tas inte i modellberäkningarna.

På tallriken förekommer säkerligen alla former av glidning och rullning samtidigt. Ritter m fl (1980) konstaterar efter höghastighetsfilmning att kornen glider längs vingen. Huruvida deras observation att kornen verkligen glider överensstämmer med Patterson & Reeces (1962) resultat är omöjligt att avgöra då Ritter m fl (1980) inte har uppgivit vare sig friktionen mellan vinge och partikel ( $\mu$ ) eller tallrikens vinkelhastighet ( $\omega$ ) i sina försök.

Generellt verkar det råda en viss förvirring vad gäller friktionskoefficienten mellan partikel och omgivande material. Patterson & Reece (1962) skiljer på friktionskoefficienten mellan partikel och tallrik och friktionskoefficienten mellan partikel och vinge. Efter försök finner de att det går bra att anta att friktionskoefficienterna är lika stora. De är dock otydliga i om de skiljer på den statiska och den dynamiska friktionskoefficienten. När en partikel glider mot ett underlag används den dynamiska friktionskoefficienten, men det är den statiska friktionskoefficienten som bringar partikeln i rullning. Författarna använder samma friktionskoefficient vid glidning som vid rullning.

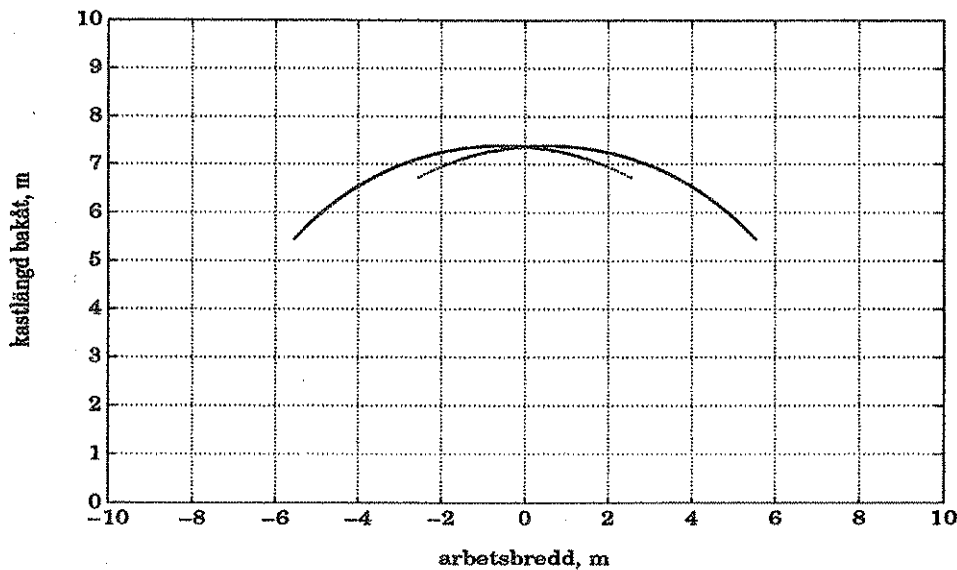
Galili & Steingauz (1981) gör en mycket kunnig och bra genomgång av var en partikel med givna egenskaper landar på marken när den släpps i en given position på en tallrik med givna parametrar. Ekvationerna är generella och tar hänsyn till bl a vingarnas utformning. De gör dock antagandet att kornen glider längs vingen. Detta argumenterar de med att vid hög matningshastighet ner på tallriken förhindrar partiklarnas kontakt med varandra att de rullar. Vid låg matningshastighet kan eventuell rullning tas med i beräkningen genom att friktionskoefficienten mellan vinge och partikel reduceras. Inte heller Galili & Steingauz (1981) har uppgivit tallrikens vinkelhastighet varför det inte går att direkt jämföra deras resultat med resultaten från Patterson & Reece (1962). Det skulle dock vara intressant att arbeta vidare med deras modell i synnerhet som deras ekvationer tar hänsyn bl a just till vingarnas utformning.

Vid videofilmningen av den ena tallriken hos Bogballe E1000 framgår det tydligt hur kornen kommer som på ett pärlband från vingen. De förut omtalade höga vinkelhastigheterna talar för att kornen inte påverkar varandra under förloppet på tallriken, åtminstone hos Bogballe E1000.

En skillnad mellan den uppmätta och den beräknade spridningsbilden som väl lat mycket huvudbry är hur en spridare i verkligheten kan kasta kornen så långt som ända upp till 20 m. För att med modellen kunna kasta kornen så långt måste inparametrarna ändras till abnorma värden alternativt att kornen ges en uppåtriktad hastighet. Vad gäller den uppåtriktade hastigheten utförde Mennel & Reece (1963) ett försök med stålkulor. De satte en plåt med en slits i 0,46 m från tallriken. Detta innebar att endast kulor med en maximal avvikelse på  $\pm 3^\circ$  kunde passera slitsen. För en vinge som var vinkelrätt monterad mot tallriken passerade endast 20 % av stålkulorna slitsen. Det bästa resultatet uppnåddes med en vinge som var formad som tecknet  $<$ . Där passerade 82 % av stålkulorna slitsen. Detta talar för att gödselkornen kan lämna tallriken med olika grader av uppåt- och nedåtriktade hastigheter. I modellen provades att ge gödselkornen en uppåtriktad utgångshastighet. Bogballe E1000, 250 kg/ha användes och gödseln gavs en uppåtriktad hastighet på  $5^\circ$  (figur 6.5)

Mennel & Reece (1963) skriver också att för asymmetriska korn är luftmotståndskraften inte nödvändigtvis motriktad kornets hastighet. Den kan vara mer uppåtriktad, vilket i så fall medför att kornen flyger en längre sträcka.





Figur 6.5. Spridningsbild från Bogballe E1000, 250 kg/ha, när kornen getts en uppåtriktad utgångshastighet på  $5^\circ$  (egen figur).

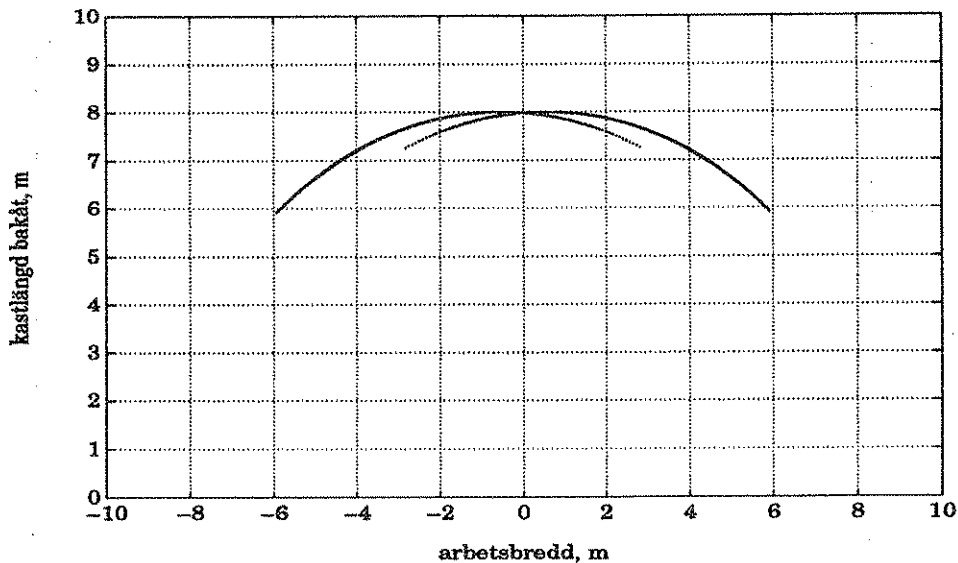
Ytterligare en faktor som inte är med i modellen är partikelytans inverkan på kornens kaststräcka. Orsaken till att golfbollar har det utseende de har är att knotttriga bollar kastas längre. Bollens yta gör att luftflödet kring bollen blir turbulent vid lägre hastigheter än med motsvarande slät boll. Ett turbulent flöde kring bollen eftersträvas p g a att då "släpper" luften från partikeln och luftmotståndet minskar (R. Paulsson, pers medd, 1993).

Vid turbulent flöde är luftmotståndskoefficienten konstant över olika hastigheter, 0,567 (Doebelin, 1990). Mennel & Reece (1963) visar att luftflödet runt granulära gödselkorn är turbulent. De påstår dock att vid turbulent luftflöde är luftmotståndskoefficienten 0,44. I modellen prövades att sätta luftmotståndskoefficienten ( $c_d$ ) till 0,44 för Bogballe E1000, 250 kg/ha (figur 6.6).

En partikel som roterar när den lämnar tallriken kastas också mycket längre än en partikel som inte roterar. Eftersom partikeln rullar på vingen har den förmodligen rotation när den lämnar tallriken, något som inte tas hänsyn till i modellen (R. Paulsson, pers medd, 1993).

Även luftdraget från vingarna kan tänkas påverka skillnaden mellan teoretisk och uppmätt spridningsbild. Detta sker genom att luftdraget från vingarna går i samma riktning som kornen och p g a att partiklarna åker med i strömmen minskar luftmotståndet. Av denna anledning mättes luftströmmen från en Bogballe E1000. Luftströmmen var starkast vid sidan av maskinen, ca 4 m/s, men redan 2 m från maskinen hade luftströmmen halverats. Detta provades i modellen och det ökade kaststräckan på kornen med 0,1 meter.

Det stora problemet vid simuleringen är att få fram relevanta indata. Modellen är känslig för förändringar i ett flertal av de olika inparametrarna, vilket gör det mycket viktigt att kunna mäta dessa indata på ett tillfredsställande sätt.



Figur 6.6. Spridningsbilden för Bogballe E1000, 250 kg/ha, när luftmotståndskoefficienten satts till 0,44 (egen figur).

I efterhand kan konstateras att det hade varit tillräckligt att endast täcka in nedsläppshålets gränser med punkter, effekterna av de olika förändringarna som är gjorda hade kunnat studeras ändå. Samtidigt kan tyngdpunkten i bågen bakom spridaren schematiskt studeras genom att lägga ett "nät" av punkter över nedsläppshålet.

Trots de många felkällorna i modellen kan den användas för att studera storleksordningen på de olika förändringar som den utsätts för. Dessutom kan den ses som en utstuderad spridare, som förstärker eventuella fel och brister hos motsvarande reella spridare.

## 6.2 Lutningar

### 6.2.1 Massflöde

Analysen av nedsläppshålens förändring vid lutningar (kapitel 3.1) visar att Bogballe E1000 inte borde ändra massflödet vid lutningar och att Amazone ZA-F 603 borde vara känslig för sidlutning. Enligt massflödesmätningarna var både Bogballe E1000 och Amazone ZA-F 603 känsliga för lutningar i sidled.

Orsaken till att även Bogballe E1000 är känslig för lutningar i sidled är förmodligen att det är något i behållaren som "stör" flödet. Denna störning kan vara omröraren, en trätt som sitter ovanför omröraren för att skydda den eller att gödseln glider lättare mot behållarväggen och därmed får ökad hastighet vilket

ökar massflödet. Hos Bogballe E1000 ökar massflödet vid sidlutning på den lägre sidan. Det talar för att det kan vara behållarväggens ökande lutning som är största orsaken till det ökade massflödet.

Hos Amazone ZA-F 603 ökar massflödet på den högre sidan och minskar på den lägre sidan vid sidlutning. Detta överensstämmer med datorsimuleringarna som visar att nedsläppshålets area ökar på den högre sidan och minskar på den lägre sidan vid lutning i sidled.

Notera att när figur 5.22 och 5.23 läggs ovanpå varandra skär inte regressionsskurvorna varandra vid  $0^\circ$  lutning utan vid  $2,5^\circ$  lutning. Vid utgångsläget  $0^\circ$  lutning ger Bogballe E1000 olika utmatad längd från höger respektive vänster sida. Detsamma gäller för Amazone ZA-F 603, här ligger en tänkt lika utmatning från höger respektive vänster sida vid  $6^\circ$  lutning (figur 5.24 och 5.26).

Vad gäller massflödet på rampspridare stöder litteraturen de erhållna resultaten, där signifikans nåts. Om maskinerna lutar  $10^\circ$  tvärs knastvalsens centrumaxel blir effekterna tillräckligt mätbara.

### 6.2.2 Spridningsbild

Hos centrifugalspridare förändras spridningsbilden i hög grad då spridaren lutar relativt horisontell mark. Beroende på var spridaren har sin tyngdpunkt i bågen bakom spridaren (rakt bakåt eller mer till sidan) kan tänkas att olika spridare är olika känsliga för lutning bakåt respektive i sidled. Detta syns i de uppmätta spridningsbilderna för Bogballe E1000 respektive Amazone ZA-F 603 (figur 5.34 - 5.41). Vid lutning  $3^\circ$  i sidled förändras VK mer hos Amazone ZA-F 603 (+ 9 %) än hos Bogballe E1000 (+ 1 %) jämfört med horisontalläge. Vid lutning  $5^\circ$  i sidled förändras VK mer hos Bogballe E1000 (+ 19 %) än hos Amazone ZA-F 603 (+ 18 %). Vid framåtlutning minskar VK hos Amazone ZA-F 603 (- 30 % vid  $3^\circ$ , - 40 % vid  $5^\circ$ ) och är oförändrat hos Bogballe E1000 (0 % vid både  $3^\circ$  och  $5^\circ$ ).

Vad gäller sidfördelningen ser den också bättre ut hos Amazone ZA-F 603 än hos Bogballe E1000 vid sidlutning. Observera dock att VK hos Amazone ZA-F 603 genomgående är högre än VK hos Bogballe E1000.

De uppmätta spridningsbilderna finns endast gjorda för lutning relativt horisontell mark. Körning med spridare på lutande mark kan delvis studeras med modellen. De beräknade spridningsbilderna när Bogballe E1000 lutar  $5^\circ$  i sidled relativt horisontell mark (figur 5.28) samt körning tvärs sluttning som lutar  $5^\circ$  relativt horisontalplanet (figur 5.33) har samma sidfördelning. Dock torde en tänkt spridningsbild utifrån bågarna vara skevare vid spridare som lutar relativt horisontell mark än vid spridare som kör tvärs en sluttning. Detsamma gäller vid jämförelse med Bogballe E1000 lutande framåt relativt horisontell mark (figur 5.30) respektive körande uppför en  $5^\circ$  sluttning (figur 5.32). Även om sidfördelningen är densamma så är bågen bredare och mer utbredd vid lutning  $5^\circ$  framåt relativt horisontell mark än vid körning uppför en  $5^\circ$  sluttning.

Den huvudsakliga orsaken till lutningsberoendet hos spridningsbilden hos Bogballe E1000 provades i modellen. Detta gjordes genom att luta Bogballe E1000 framåt  $5^\circ$  med samma utloppsöppning som om spridaren varit horisontell (figur 6.7) samt att köra spridningsbilden för horisontellt läge men med en utloppsöppning som om spridaren lutade  $5^\circ$  (figur 6.8). Figurerna visade att tallrikarnas lutning har större påverkan på spridningsbilden än utloppsöppningens förändring hos Bogballe E1000.

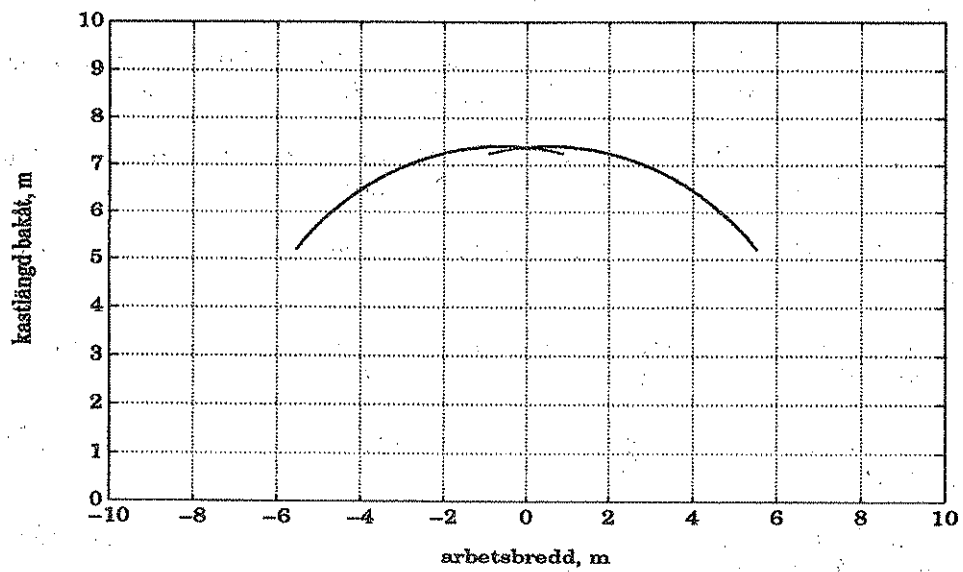
En av orsakerna till lutningskänsligheten är att kornen kastas långt i luften. Resultaten enligt Mennel & Reece (1963) stöder detta. Korn som kastas ut från spridaren med en lägre utgångshastighet är kortare tid i luften och påverkas inte i samma grad av maskinrörelser som korn med en högre utgångshastighet, som flyger en längre sträcka i luften.

Kastparabelns utseende påverkar också lutningskänsligheten. Kastlängden varierar m a p utkastvinkeln. Men framförallt förändras kastlängden olinjärt när utkastvinkeln förändras linjärt. Spridare vars utkastvinkel ligger närmare området där kastlängden inte varierar så mycket m a p utkastvinkel blir mindre känsliga för lutningar än spridare vars utkastvinkel är längre ifrån det nämnda området.

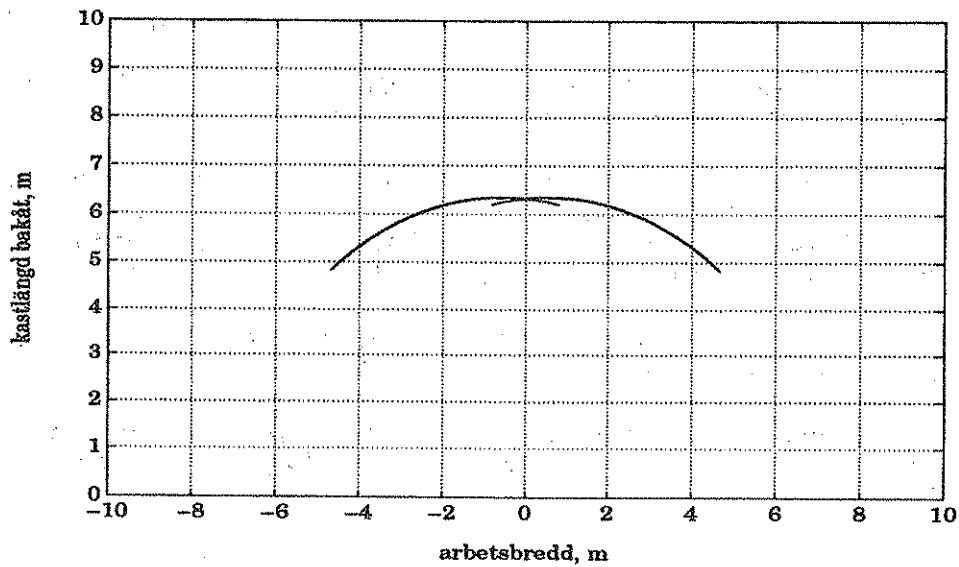
Att kornen kastas genom luften är centrifugalspridarens svaghet, den blir känslig för lutning relativt horisontell mark och förmodligen känslig för vindpåverkan. Den "tillåter" dock lantbrukaren att "vingla" utan alltför för blotta ögat synliga mistor eller dubbling.

Orsaker till att olika spridare kan vara olika känsliga för lutningar är en viktig kärna i lutningars påverkan på spridningsbilden hos centrifugalspridare. I och med att resultaten visar att så är fallet, skulle en typprovning av spridningsbilden från centrifugalspridare vid lutning vara möjlig.

Den största orsaken till förändringar i spridningsbilden hos fallspridare vid lutande spridare är förmodligen förändringar i massflödet. Detta gäller när bommens munstycken är vinklade nedåt. I de fall när munstyckena är vinklade uppåt kastas gödselkornen i en båge och detta innebär att spridningsbilden kan komma att förändras lite mer vid lutningar. Dock torde inte förändringen bli så stor att det är nödvändigt att ha med provning av fallspridares spridningsbild vid lutningar i ett typpgodkännande. Och som sagts tidigare kan en uppskattning av spridningsbilden fås från mätningar av massflödets förändring vid lutningar.



Figur 6.7. Spridningsbilden för Bogballe E1000, 250 kg/ha, när spridaren lutats 5° framåt relativt horisontalplanet utan att utloppsöppningen förändras (egen figur).



Figur 6.8. Spridningsbilden för Bogballe E1000, 250 kg/ha, med en utloppsöppning som om spridaren lutar 5° framåt men med maskinen i horisontalläge (egen figur).

## 7 LITTERATURFÖRTECKNING

- Beverloo, W. A., Leniger, H. A. & van de Velde, J. 1960. The flow of granular solids through orifices. *Chem. Engng. Sci.* 15(3-4), 260 - 269.
- Chang, C. S., Converse, H. H. & Steele, J. L. 1990. Flow rates of grain through vertical orifices. *Trans ASAE* 33(2), 601 - 606.
- Doebelin, E. O. 1990. *Measurement systems. Application and design.* McGraw-Hill. Singapore.
- Fedler, C. B. & Gregory, J. M. 1989. Material property effects on granular flow through orifices. *Trans ASAE* 30(2), 263 - 266.
- Flodén, S. 1993. Analysmetoder för konstgödselns fysikaliska egenskaper. *Delrapport inom projekt 1, TYP 93.* Opublicerat.
- Galili, N. & Steingauz, G. 1981. Long distance vertical spreader for granular material. *ASAE paper 81 - 1003*, 46 s.
- Gregory, J. M. & Fedler, C. B. 1987. Equation describing granular flow through circular orifices. *Trans ASAE* 30(2), 529 - 532.
- Gutekunst, K. 1993. Opublicerat. Jordbrukstekniska Institutet. Uppsala.
- International Organization for Standardization. 1980. Fertilizers - Determination of bulk density (loose). *ISO 3944 - 1980 (E)*.
- Loftäng, L. 1993. *Influence of rough operating surface and sloping ground on distribution pattern and massflow from granular fertilizer spreaders - A review of the literature.* Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik, Institutionsmeddelande 93:06. 33 s. Uppsala.
- Mennel, R. M. & Reece, A. R. 1963. The theory of the centrifugal distributor. III. Particle trajectories. *J. agric. Engng. Res.* 8(1), 78-84.
- Patterson, D. E. & Reece, A. R. 1962. The theory of the centrifugal distributor. I: Motion on the disc, near - centre feed. *J. agric. Engng. Res.* 7(3), 232 - 240.
- Pitt, R. E., Farmer, L. P. & Walker, L. P. 1982. Approximating equations for rotary distributor spread patterns. *Trans ASAE* 25(6), 1544 - 1552.
- Ritter, D. W., Griffis, C. H. & Matthews, E. J. 1980. Computer simulation of rotary spreader distribution patterns. *ASAE paper 80 - 1504*, 15 s.
- Sitkei, G. 1986. *Mechanics of agricultural materials.* Elsevier Science Publishers. Hungary.
- Statens maskinprovningar. 1986. Provning av konstgödselspridare. Vad säger resultaten? *SMP medd 3003.*

Svensson, J. E. T. 1992. *Massflow from the studded roller feeder*. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik, Rapport 156. 53 s. Uppsala.

Personliga meddelanden:

Paulsson, Rolf. 1993. Institutionen för teoretisk fysik. Uppsala universitet. Uppsala.