



Bomstabilitetens betydning for præcision

Udmålinger af bombevægelser ved kørsel på ISO
5008 smoother track og simulering af tildelt plante-
beskyttelse



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

11 Formålet med denne rapport er at undersøge sprøjtebommes stabilitet og hvilken betydning stabiliteten har for præcision af tildeling af plantebeskyttelsesmidler, med henblik på at belyse en eventuel under- eller overdosering ved behandling.

Bomstabilitetens betydning for præcision

Udmålinger af bombebevægelser ved kørsel på ISO 5008 smoother track og simulering af tildelt plantebeskyttelse

Udarbejdet for:

Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C



**Miljø- og
Fødevareministeriet**

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Agro Food Park 15
8200 Aarhus N

Udarbejdet med støtte fra:

Innovationsfonden

FUTURECROPPING

Udarbejdet med deltagelse af:

VKST, STROCO-AGRO, Brøns Maskinforretning, Flarup Maskiner, HARDI

vkst
viden til vækst

Tysk kvalitet når den er bedst!

**FLARUP
MASKINER** A/S



stroco-agro

Brøns Maskinforretning 

December 2019



1. Indhold

1.	Indhold.....	3
2.	Baggrund.....	4
3.	Kort resume – Vurdering.....	4
4.	Testsprøjter	5
4.1.	Sprøjte 1 – Horsch Leeb 6 LT.....	6
4.2.	Sprøjte 2 – Amazone UX 6201 Super	7
4.3.	Sprøjte 3 – Dammann Profi Class (TANDEM).....	8
4.4.	Sprøjte 4 – Hardi Commander 5500	9
4.5.	Sprøjte 5 – Referencesprøjte.....	10
5.	Testmetode.....	11
5.1.	Måling af bomstabilitet	11
5.2.	Simulering af afsætning på planter	14
6.	Liste over tests anvendt til simuleringer	16
7.	Mulige fejlkilder	16
8.	Testresultat.....	17
8.1.	Dækmonterings indflydelse på bombevægelser	17
8.2.	Sprøjte 1	18
8.3.	Sprøjte 2	21
8.4.	Sprøjte 3	24
8.5.	Sprøjte 4.....	27
8.6.	Referencesprøjte.....	30
8.7.	Histogram – Fordeling af plantebeskyttelse	33
9.	Resume	34
10.	Perspektivering.....	34



2. Baggrund

Bommens stabilitet er en afgørende parameter for at sikre maksimal virkning med minimalt forbrug af plantebeskyttelse. I takt med at bommene bliver bredere bliver teknologien bag bomstyring vigtigere. Der er pt meget lidt fokus på hvordan bommens svingninger påvirker effekten af den plantebeskyttelsesopgave der udføres. Studier og demonstrationer viser at sprøjtebomme kan forårsage under- og overdosering grundet horisontale og vertikale svingninger; der er eksempler på at CV-værdien kan være op til 170% (Ramon et al., 1997).

Denne rapport er udarbejdet for **Miljøstyrelsen** i projektet 'Partnerskab om Præcisionssprøjtning' med det formål at vise sprøjtebommens bevægelser både vertikalt og horisontalt og dernæst at omsætte nogle af disse målinger til teoretiske, simulerede afsætninger på planterne. Det overordnede formål er dermed at undersøge sprøjtebommens stabilitet og hvilken betydning stabiliteten har for præcision af tildeling af plantebeskyttelsesmidler, med henblik på at belyse en eventuel under-/overdosering ved behandling. Målingerne er foretaget på 5 sprøjter ved kørsel på ISO 5008 smoother track-bane jævnfør ISO standard. I testen afprøves forskellige producenters udstyr samt en brugt referencesprøjte der forud for test er blevet serviceret.

Målemetoderne er udviklet med støtte fra projektet 'Future Cropping' under **Innovationsfonden**.

3. Kort resume – Vurdering

Ved simulering af sprøjtning på ISO 5008 'smoother track', der omtrent svarer til et ujævnt sprøjtespor, tildeler referencesprøjten den ønskede mængde indenfor intervallet 90-110% af ønsket dosering på 84% af arealet. Til Sammenligning tildeler de øvrige nye sprøjter denne dosering på omkring 90-95% af arealet.

Simuleringerne viser vigtigheden af at have en højderegulering der hjælper sprøjteføreren til at opretholde korrekt bomhøjde og vigtigheden af en stabil bom der kompenserer for horisontale bevægelser. Derudover viser målingerne at dækmontering har væsentlig indflydelse på bommens stabilitet i vertikal og horisontal retning



4. Testsprøjter

Der er foretaget 5 måleserier på 5 forskellige sprøjter hvoraf 4 måleserier er foretaget på 4 nye sprøjter, mens 1 måleserie er foretaget på en brugt referencesprøjte. Den brugte referencesprøjte er 5 år gammel, har sprøjtet cirka 17.500 hektar og er serviceeret forud for tests.

Udover disse 5 sprøjter indgår data fra en 6. sprøjte hvor udelukkende resultater fra målinger for forskelle på dækmontering anvendes i denne rapport.

Testsprøjterne er alle udstyret med en 36 meter bom, men da der er væsentlige forskelle på sprøjterne, kan og må resultaterne ikke anvendes til sammenligning af bommene. Særligt hjulafstand, antal aksler, akslernes affjedring, dæktryk og dækmontering varierer, hvilket har stor indvirkning på måleresultaterne. Derudover er der anvendt forskellige traktorer med forskellig vægt, hvilket har indflydelse på bomcenterets stabilitet.



4.1. Sprøjte 1 – Horsch Leeb 6 LT.

Tabel 1. Horsch Leeb 6 LT

Beskrivelse	Enhed	
Sprøjten		
Type	Horsch Leeb 6 LT	
Serienummer	36722008	
Bombredde	m	36
Dækmontering (sprøjte)	Alliance VF 520/85 R46	
Dæktryk (Sprøjte)	bar	2,0 / 2,1
Dækmontering (Traktor)	650/65R38	
Trækbom	Alm. Træk med shims	
Sprøjte sporvidde (c-c)	cm	200
Traktor sporvidde (c-c)	cm	200
Sprøjte tankvolumen	liter	500
Bom fyldt med vand	Ja	



Figur 1. Sprøjte og måleudstyr



4.2. Sprøjte 2 – Amazone UX 6201 Super

Tabel 2. Amazone UX 6201 Super

Beskrivelse	Enhed	
Sprøjten		
Type	Amazone UX 6201 Super	
Serienummer	UX10000506	
Bombredde	m	36
Dækmontering (sprøjte)	Petlas TA-110 520/85 R42	
Dæktryk (Sprøjte)	bar	1,4 / 1,3
Dækmontering (Traktor)	650/65R42	
Trækbom	Kugletræk	
Sprøjte sporvidde (c-c)	cm	200
Traktor sporvidde (c-c)	cm	200
Sprøjte tank volumen	liter	500
Bom fyldt med vand	Ja	



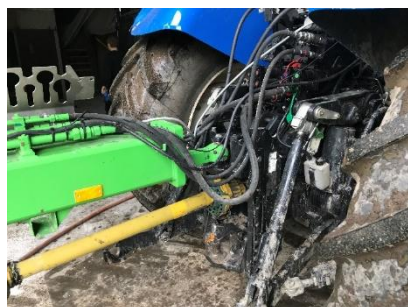
Figur 2. Sprøjte og måleudstyr



4.3. Sprøjte 3 – Dammann Profi Class (TANDEM)

Tabel 3. Dammann Profi, Tandem

Beskrivelse	Enhed	
Sprøjten		
Type	Dammann Profi Class ANPA Tandem 10000 liter DAS	
Serienummer	ANTPA 10036	
Bombredde	m	36
Dækmontering (sprøjte)	Alliance IF 520/85 R42 Tandem (boogie)	
Dæktryk (Sprøjte)	bar	For: 1,6 / 1,5 Bag: 1,4 / 1,4
Dækmontering (Traktor)	VF 710/60R42	
Trækbom	Kugletræk	
Sprøjte sporvidde (c-c)	cm	220
Traktor sporvidde (c-c)	cm	N/A
Sprøjte tankvolumen	liter	500
Bom fyldt med vand	Ja	



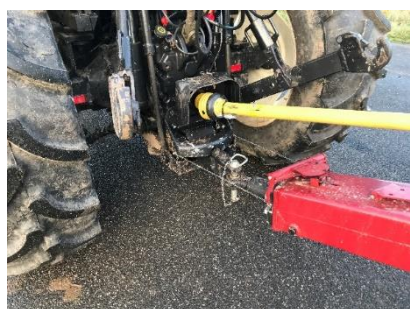
Figur 3. Sprøjte og måleudstyr



4.4. Sprøjte 4 – Hardi Commander 5500

Tabel 4. Hardi Commander 5500

Beskrivelse	Enhed	
Sprøjten		
Type		Hardi Commander 5500 DDZ-bom
Serienummer		00180010000225
Bombredde	m	36
Dækmontering (sprøjte)		Alliance 650/65 R42
Dæktryk (Sprøjte)	bar	1,8 / 1,8
Dækmontering (Traktor)		480/70R38
Trækbom		Alm. Træk uden shims
Sprøjte sporvidde (c-c)	cm	200
Traktor sporvidde (c-c)	cm	175
Sprøjte tankvolumen	liter	500
Bom fyldt med vand		Ja



Figur 4. Sprøjte og måleudstyr



4.5. Sprøjte 5 – Referencesprøjte

Tabel 5. Referencesprøjte

Beskrivelse	Enhed	
Sprøjten		
Type		XX
Serienummer		XX
Bombredde	m	36
Dækmontering (sprøjte)		Alliance Row Crop Ra- dial 380/105 R50 A-350
Dæktryk (Sprøjte)	bar	2,1 / 2,2
Dækmontering (Traktor)		480/95R54
Trækbom		Kugletræk
Sprøjte sporvidde (c-c)	cm	225
Traktor sporvidde (c-c)	cm	225
Sprøjte tankvolumen	liter	800
Bom fyldt med vand		Nej



5. Testmetode

Testen består af 2 dele:

- 1) Målinger af bomstabilitet for at klarlægge bombevægelserne på nyere sprøjter samt én brugt referencesprøjte.
- 2) Simuleringer af teoretisk afsætning på planterne baseret på en model for afdrift og dysernes spredbillede samt måleresultaterne.

5.1. Måling af bomstabilitet

Målingerne på sprøjterne er foretaget jævnfør ISO 14131:2007 afsnit 5.3 'Tests on tracks' der angiver ISO 5008 'Smoother Track' som en egnet bane. ISO 5008 'Smoother Track' er udlagt på et asfaltområde ved Test Center Bygholm, Horsens, DK, og arealerne omkring banen er afslået umiddelbart før testen for at sikre ensartede forhold for bommens højdesensorerne. Alle tests består af minimum 3 gentagelser, oftest flere, og op til 12 gentagelser.



Figur 5. ISO 5008 Smoother track



Følgende krav er opstillet til deltageren forud for testen (**Bemærk**, kravene er ikke nødvendigvis efterfulgt):

Tabel 6. Kravspecifikation til test

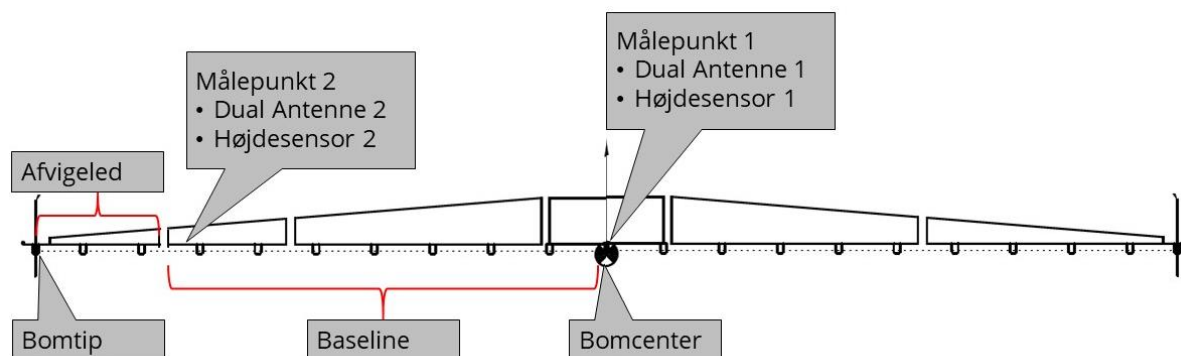
Beskrivelse	Enhed	krav
Krav til deltagere		
Bombredde	M	36
sporvidde (c-c)	cm	200-225
Vandmængde i tank	liter	Max 500
Bommen fyldes med vand, resterende mængde bliver i tanken		
Dæk montering på sprøjte		Minimum 46". Max bredde 520 mm
Dæk tryk		Jævnfør specifikationer (ved fuld tank)
Hjulmontering på traktor		lignende hjulmontering på sprøjten
Træk		Kugletræk (ikke et krav)
Hastighed	km/t	8
Bomhøjde:	cm	70
Bomstyring		Bomstyringen aktiv (Højdestyring aktiv)

Bommens vertikale og horisontale svingninger måles med et Dual Antenne GPS-system med en horisontal målenøjagtighed på cirka 4 mm (SD) og en vertikal målenøjagtighed på cirka 7 mm (SD)¹ og bomhøjden måles med ultralydssensorer med måleområdet 80-2000 mm. Alle målinger foretages på bommens venstre side med bommens midte som referencepunkt. Måleudstyret monteres umiddelbart før afvigelse i venstre side og alle data henføres derefter til 18 meter for på denne måde at vise vandringerne i bommens fulde bredde under antagelse af stiv bomkonstruktion. Logge frekvensen er 10 Hz. Da målegrej monteres på bommens venstre side, monteres tilsvarende kontravægt på bommens højre side.

Tabel 7. Måleudstyr

Beskrivelse	Enhed	Måle område
Måleudstyr		
Dual antenne GPS-system	Deg [°] (Vertikal)	360
	Deg [°] (Horisontal)	360
2x ultralydssensor til højdemåling	Mm	80-2000
Gantner Q.station til opsamling af data		

¹ Målenøjagtighed testet af leverandøren. Det må forventes at målenøjagtigheden kan påvirkes af monteringsmetoden på bommen.



Figur 6. Målepunkter

Målemetoden medfører at standardafvigelsen (SD) og peak-værdierne ikke nødvendigvis afspejler sprøjte-kvaliteten, da den teoretiske dækning er en kombinationen af bombevægelsernes amplitude og frekvens. Da bommen er i bevægelse med en gennemsnitlig hastighed på cirka 8 km/t må bommens 0-punkt bestemmes som et løbende gennemsnit af bommens positions. Derfor beregnes både peak-værdier og standardafvigelser på følgende 4 måder:

1. Referencen (bommens 0-punkt) som et gennemsnit for hele måleperioden (100 meter, cirka 45 sekunder ved 8 km/t.) [SD]
2. Referencen (0-punkt) som et gennemsnit over 1 sekund [SD_1 sek.]
3. Referencen (0-punkt) som et gennemsnit over 3 sekund [SD_3 sek.]
4. Referencen (0-punkt) som et gennemsnit over 10 sekund [SD_10 sek.]

I denne rapport anvendes SD_3 sek. typisk som reference. Denne standardafvigelse afspejler ofte i højere grad bommens stabilitet (affjedring) og i mindre grad højdestyringen, men også dette kan variere mellem målingerne.

Formålet med denne aktivitet er at undersøge sprøjtebommens stabilitet og hvilken betydning stabiliteten har for præcision af tildeling af plantebeskyttelsesmidler, med henblik på at belyse en eventuel under-/overdosering ved behandling, standardafvigelserne anvendes derfor sammen med en teoretisk model for afsætning på planterne til at foretage en simulering af afsætning på planterne.



5.2. Simulering af afsætning på planter

Ud fra testene er den samlede standard afvigelse (SD_3 sek.) for henholdsvis Yaw (frem/tilbage) og Tilt (op/ned) fastlagt som et gennemsnit af alle testkørsler. For hver sprøjte vælges derefter én gentagelse, hvor SD omtrent er på niveau med den samlede SD for den pågældende sprøjte. Der kan dog være forskel på gennemsnittet for alle test kørsler og den udvalgte kørsel, anvendt til simulering (se afsnit 5.3). Denne gentagelse, af ca. 100 meter, anvendes til simulering af planteværnets afsætning på planterne. Det antages at simuleringerne giver et retvisende billede af afsætning af plantebeskyttelse, da gentagelsen er nøje udvalgt jf. ovenstående metode.

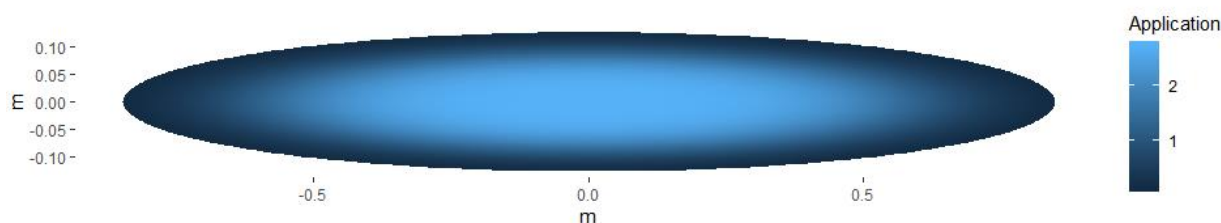
Testkørslen inddeles i grids på 10x10 cm i hele bommens bredde hvor tildeling simuleres. Til simuleringen antages forskellige parametre, som er beskrevet nærmere herunder.

Bomhøjde:

Testene er foretaget med en mindre variation i bomhøjderne, omkring 70 cm, derfor henføres bomhøjdemålinger til 50 cm og simuleres med udsving omkring denne højde som den gennemsnitlige bomhøjde.

Dysernes spredbillede:

Det anvendte spredbillede i simuleringerne er et ellipsoformet billede hvor tildelingen øges mod midten af spredbilledet for på denne måde at efterligne en dyses normalfordeling af væske. Ellipsens form er bestemt til forholdet $d_1/d_2 = 6,7$ og svarer til en 110 dyse. (vinkel = 110°). Figur 7 viser simulering af en dyses spredbillede ved 50 cm bomhøjde. I simuleringen antages at fordelingen af væske og ellipsens form ændrer sig lineært med ændret bomhøjde. Dyserne er ikke vinklet i forhold til kørselsretningen, hvilket gøres i praksis for at undgå at væske fra 2 nærsiddende dyser påvirker det samlede billede grundet kollision. Dette vurderes dog til at være uden betydning i simuleringerne.

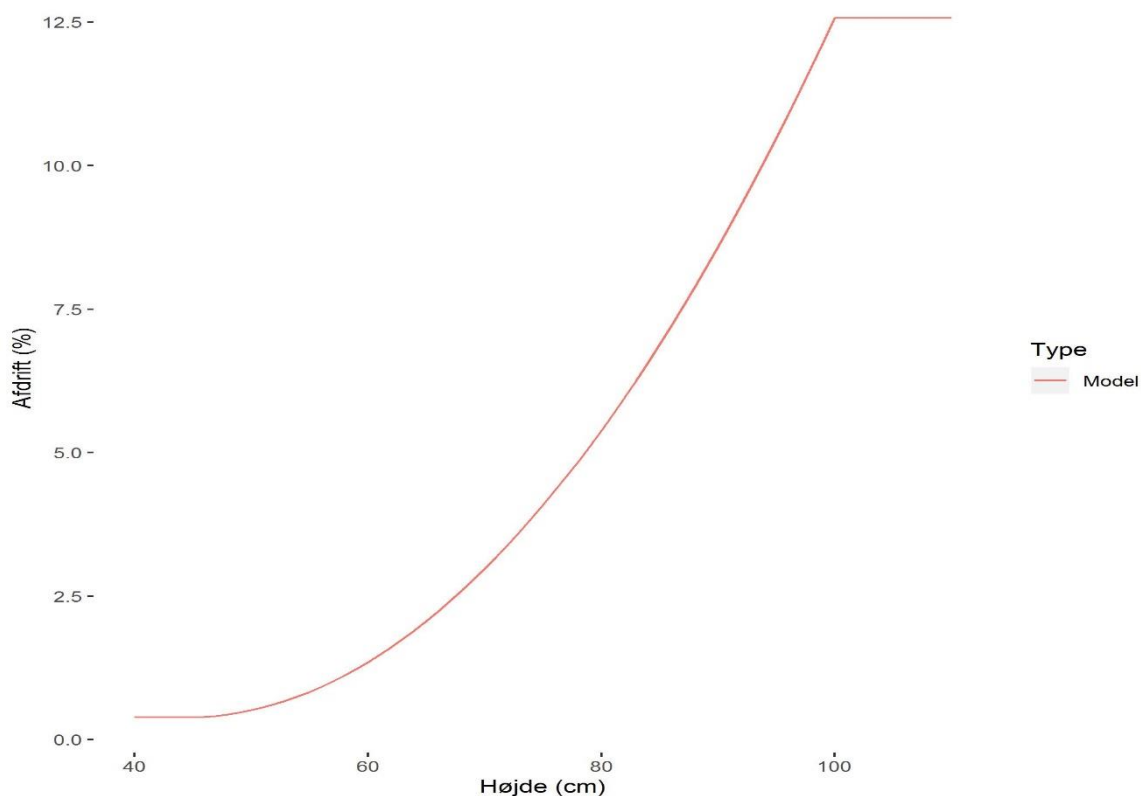


Figur 7. Anvendt model for dyse-spredbillede ved 50 cm bomhøjde. ($d_1/d_2=6,7$)



Afdrift:

Afdriftsmodellen er bestemt med udgangspunkt i sammenhængen mellem bomhøjde og afdrift givet af en ISO F 02 110 dyse (Kappel & Taylor, 2002). Denne model er korrigeret til ISO MD 03 110 ved anvendelse af anden research (Nuyttens, Taylor, De Schampheleire, Verboven, & Dekeyser, 2009)(table2). Udledt af disse 2 artikler anvendes følgende **tilnærmede** afdriftsmodel:
Afdriftsmodellen er baseret på vindtunnelmålinger ved 2 m/s.



Tabel 8. anvendt afdriftsmodel. Tilnærmet model afledt af data fra litteratur.



5.3. Liste over tests anvendt til simuleringer

I Tabel 9 fremgår oversigten over gennemsnitlige Standard afvigelser (SD_3 sek.) for sprøjterne samt testkørsler med tilhørende SD_3 sek. anvendt i simuleringerne af afsætning på planterne. Anvendt '0-punkt' for standardafvigelser på bombevægelserne er, som tidligere beskrevet, bestemt ved at beregne løbende gennemsnit over 3 sekunder for bommens 0-punkt. (SD_3 sek.). Standardafvigelserne er ikke nødvendigvis et udtryk for kvaliteten af sprøjtearbejdet og dermed afsætningen, da frekvensen på vandringerne også er afgørende.

Tabel 9. Oversigt over gennemsnitlig SD_3 sek. og tilhørende SD_3 sek. i udvalgt test kørsel anvendt i simuleringer

	Gennemsnitlig SD_3 sek. Tilt	Simulering SD Tilt	Gennemsnitlig SD_3 sek. Yaw	Simulering SD Yaw	Test nr. anvendt i simulering
Sprøjte 1	2,8	2,5	7,8	8,8	6
Sprøjte 2	5,2	5,8	6,6	6,8	11
Sprøjte 3	4,3	4,1	6,5	7,5	9
Sprøjte 4	10,0	9,4	10,1	8,5	11
Reference sprøjte	13,5	14,6	9,9	9,4	6

6. Mulige fejlkilder

- Modellen for simulering af afsætning på planter er ikke valideret.
- Forhold som skiftende vindforhold, kørselshastighed og bomaccelerationer der forårsager 'kast' med sprøjtebilledet er ikke medtaget i simuleringen.
- Måleudstyrets forventede måleusikkerhed er optil 7 mm (SD), men kan afvige yderligere.
- Der simuleres kun én testkørsel (ikke alle gentagelser). Simulering af alle kørsler kunne øge styrken i resultatet.
- Baseline, afstanden mellem antennerne til målinger varierer. Der er dog korrigeret for dette under antagelse af at bomkonstruktionen er stiv.
- Afdriften fra stor bomhøjde fordeles i simuleringsmodellen jævnt over hele marken da det ikke er muligt at fastlægge præcist hvor afdriften faktisk lander (kan være både på og udenfor marken).



7. Testresultat

Samlede måleresultaterne for hver sprøjte samt kurver for udvalgte testkørsler anvendt til simuleringer (tabel 9) fremgår af følgende afsnit. Den ønskede bomhøjde varierer mellem sprøjterne, derfor er det ændringerne i bomhøjden der kan være interessant.

Målinger af bomhøjde på sprøjte 2 er foretaget cirka 500 cm tættere på bommidte, sammenlignet med øvrige sprøjter. For afstand fra bommidte til målepunkt for bomhøjde se 'Baseline' i tabel 11-15. Den aktuelle afstand og den angivne afstand i tabellen kan dog afvige op til 50 cm fra 'baseline'. Målinger foretaget med Dual antennesystemet af horisontale og vertikale bevægelser er henført til 18 meter hvilket anvendes i simuleringerne.

7.1. Dækmonteringens indflydelse på bombevægelser

Dækmonteringen har stor indflydelse på bommens bevægelser. I tabel 10 fremgår resultaterne fra tests med en 36 meter sprøjte, hvor 2 forskellige dækmonteringer er anvendt. I denne afprøvning reducerer det relativt bløde 38" hjul bommens bevægelser betragteligt, hvilket indikerer at bløde dæk absorberer væsentlige ujævnheder og sikre en mere rolig og stabil bom. Der er dog behov for yderligere tests, for at validere dette resultat og for at vurdere om tendensen er den samme for alle sprøjter.

Tabel 10. Dækmonteringens indflydelse på bombevægelser

	Alliance VF 480/80R46	Alliance Farmpro 520/85R38
Pressure	2 bar	2 bar
SD_3 sek. tilt (up/down)	24,8 cm	13 cm
SD_3 sek. Yaw (forward/back)	12,4 cm	8,2 cm



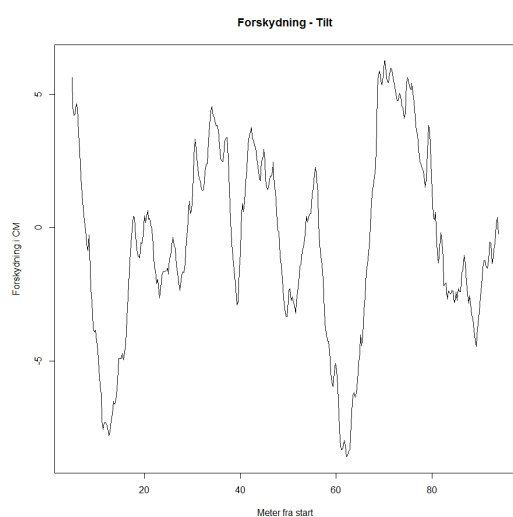
7.2. Sprøjte 1

Table 11. Udvalgte resultater fra alle gentagelser

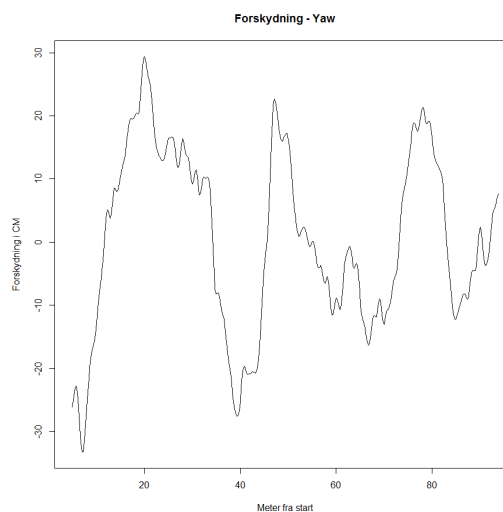
Beskrivelse	Enhed	Resultat
Måleresultater		
Dato for test		04.07.2019
Vindforhold		6 m/s - W
Målepunkt		
Tilt (Vertikale - Op/ned) - Henført til 18 m baseline		Før afvigelse
Udsving - SD_3 sek. (amplitude - Nulpunkt til yderpunkt)	cm	2,8
Yaw (Horisontale - Frem/tilbage) - Henført til 18 m baseline		
Udsving - SD_3 sek. (amplitude - Nulpunkt til yderpunkt)	cm	7,8
Bomhøjde		
Bomcenter Min. Højde	cm	66,6
Bomcenter Maks. Højde	cm	81,4
Baseline - Afstand mellem bom center og målepunkt	m	15,98
Bom tip Min. Højde (målt før afvigelse)	cm	63,7
Bom tip Maks. Højde (målt før afvigelse)	cm	85,4



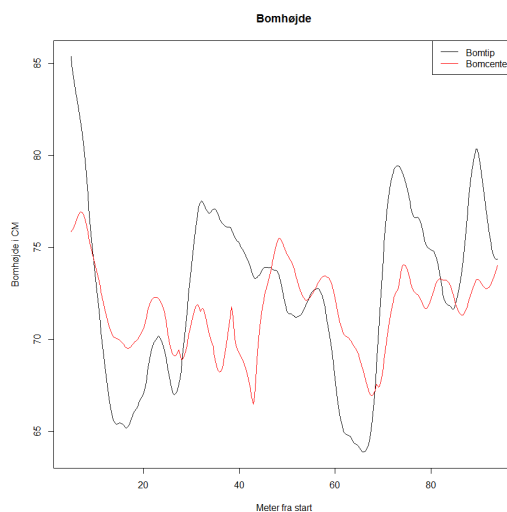
Målinger fra test, anvendt til simuleringer (test 6).



Figur 8. Tilt (op/ned).
Målinger henført til Bom tip 18 meter fra center.



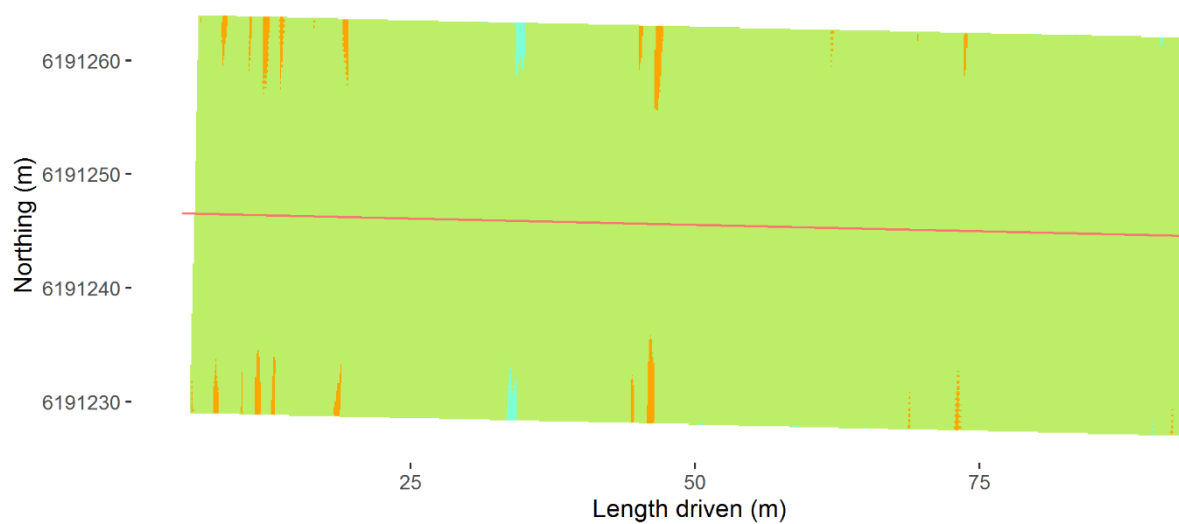
Figur 9. Yaw (Frem/tilbage).
Målinger henført til Bom tip 18 meter fra center.



Figur 10. Bomhøjde



Simulering 1. Sprøjte 1, Testkørsel 6



Tramline

Red

Application

- Low (66-88%)
- Normal (85-115%)
- High (115-133%)
- Over (>133%)



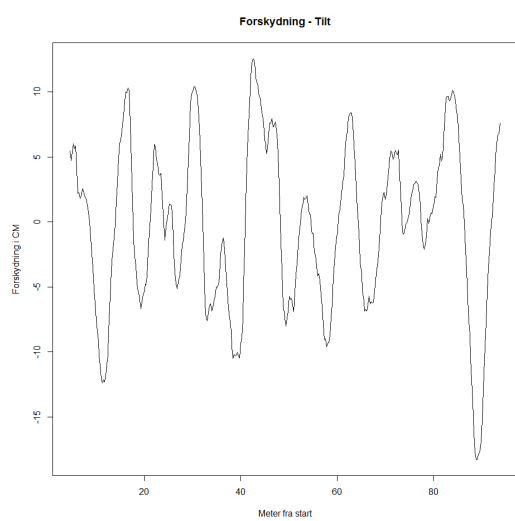
7.3. Sprøjte 2

Tabel 12. Udvalgte resultater fra alle gentagelser

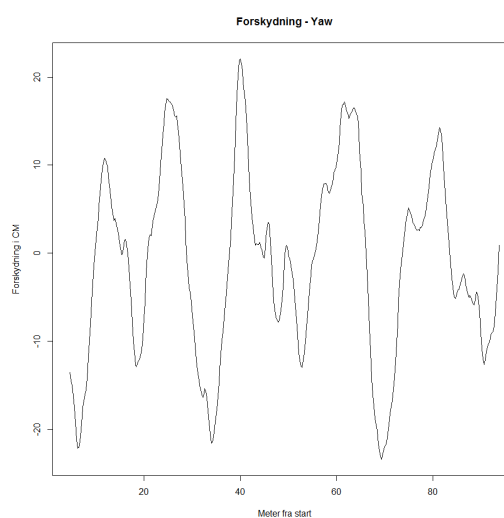
Beskrivelse	Enhed	Resultat
Måleresultater		
Dato for test		08.08.2019
Vindforhold		6 m/s W-SW
Målepunkt		
Tilt (Vertikale - Op/ned) - Henført til 18 m baseline		Før Afvigeled
Udsving - SD_3 sek. (amplitude - Nulpunkt til yderpunkt)	cm	5,2
Yaw (Horisontale - Frem/tilbage) - Henført til 18 m baseline		
Udsving - SD_3 sek. (amplitude - Nulpunkt til yderpunkt)	cm	6,6
Bomhøjde		
Bomcenter Min. Højde	cm	64,3
Bomcenter Maks. Højde	cm	81,6
Baseline - Afstand mellem bom center og målepunkt	m	10,44
Bom tip Min. Højde (målt før afvigeled)	cm	62
Bom tip Maks. Højde (målt før afvigeled)	cm	83,7



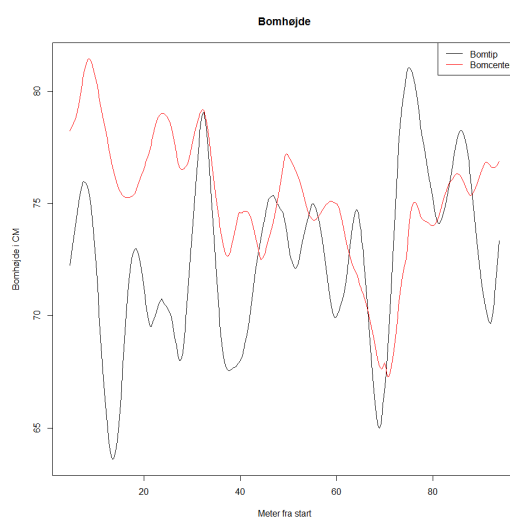
Målinger fra test, anvendt til simuleringer (Test 11).



Figur 11. Tilt (op/ned).
Målinger henført til Bom tip 18 meter fra center



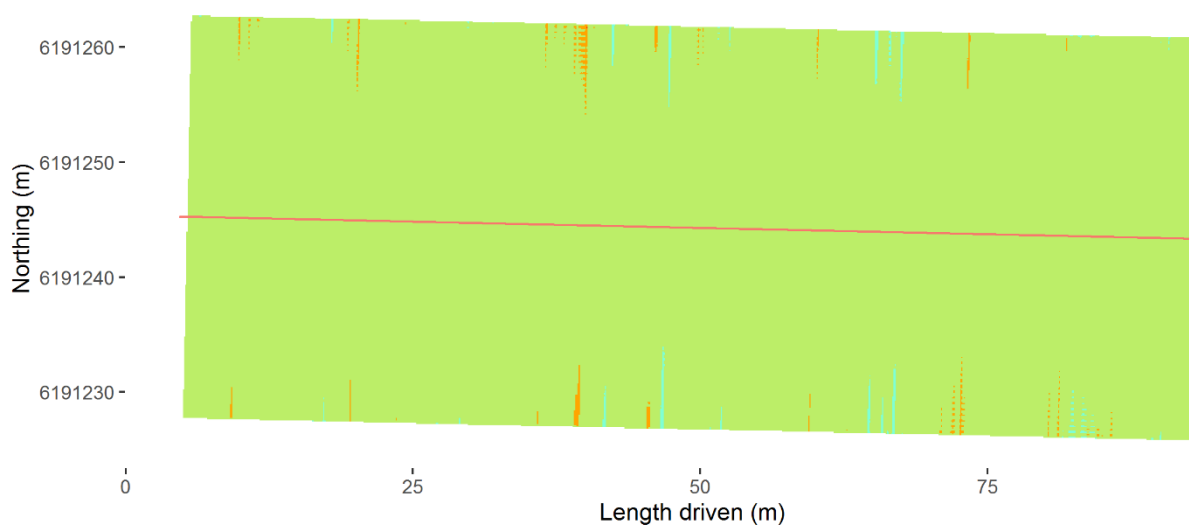
Figur 12. Yaw (Frem/tilbage).
Målinger henført til Bom tip 18 meter fra center.



Figur 13. Bomhøjde.



Simulering 2. Sprøjte 2. Testkørsel 11



Tramline

Red

Application

- Low (66-88%)
- Normal (85-115%)
- High (115-133%)
- Over (>133%)



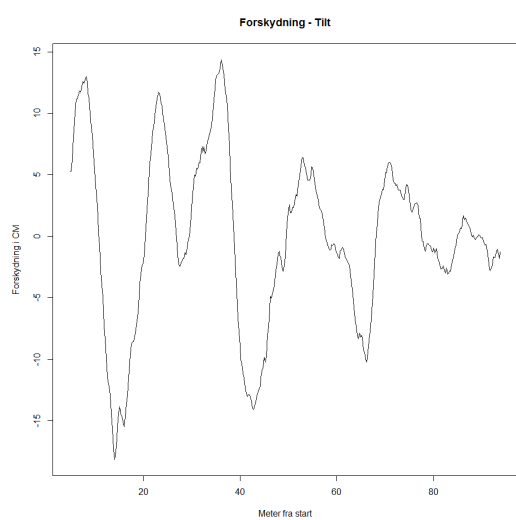
7.4. Sprøjte 3

Tabel 13. Udvalgte resultater fra alle gentagelser

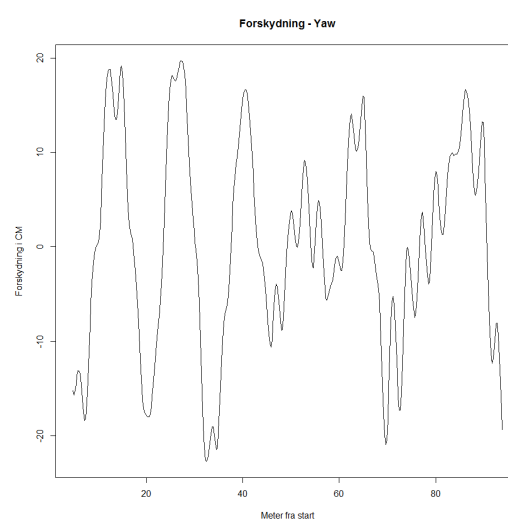
Beskrivelse	Enhed	Resultat
Måleresultater		
Dato for test		07.11.2019
Vindforhold		2 m/s – SØ
Målepunkt		Midt på afvigeled
Tilt (Vertikale - Op/ned) - Henført til 18 m baseline		
Udsving – SD_3 sek. (amplitude - Nulpunkt til yderpunkt)	cm	4,3
Yaw (Horisontale - Frem/tilbage) - Henført til 18 m baseline		
Udsving – SD_3 sek. (amplitude - Nulpunkt til yderpunkt)	cm	6,5
Bomhøjde		
Bomcenter Min. Højde	cm	69,9
Bomcenter Maks. Højde	cm	87,1
Baseline - Afstand mellem bom center og målepunkt	m	14,8
Bom tip Min. Højde (målt før afvigeled)	cm	51,1
Bom tip Maks. Højde (målt før afvigeled)	cm	98,5



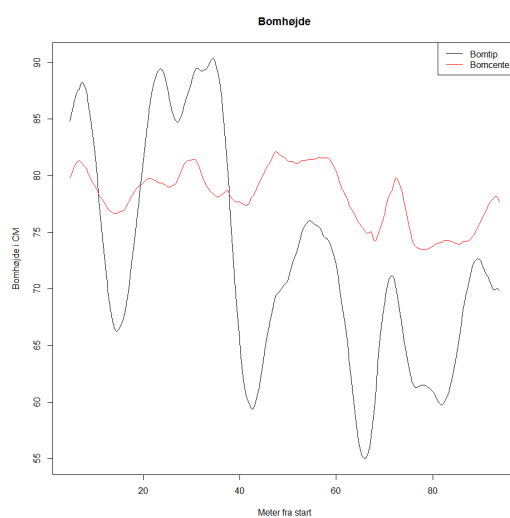
Målinger fra test, anvendt til simuleringer (Test 9).



Figur 14. Tilt (op/ned).
Målinger henført til Bom tip 18 meter fra center



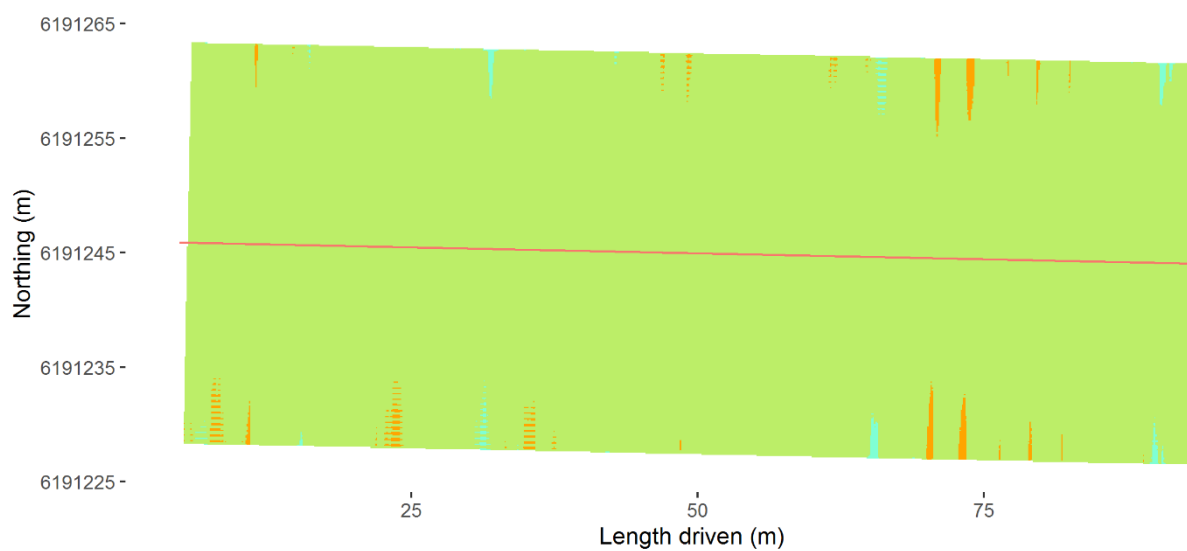
Figur 15. Yaw (Frem/tilbage).
Målinger henført til Bom tip 18 meter fra center.



Figur 16. Bomhøjde.



Simulering 3. Sprøjte 3. Testkørsel 9



Tramline

Red

Application

- Low (66-88%)
- Normal (85-115%)
- High (115-133%)
- Over (>133%)



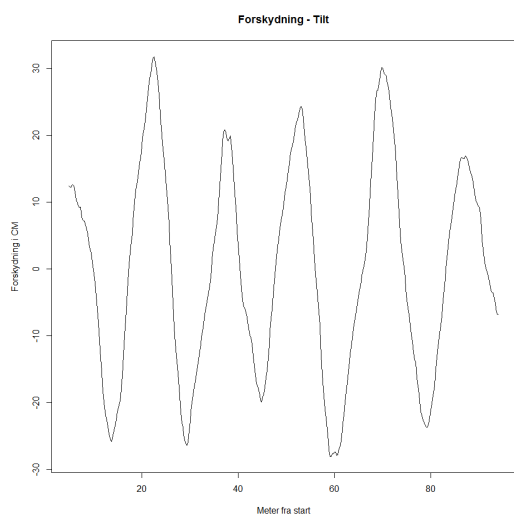
7.5. Sprøjte 4

Tabel 14. Udvalgte resultater fra alle gentagelser

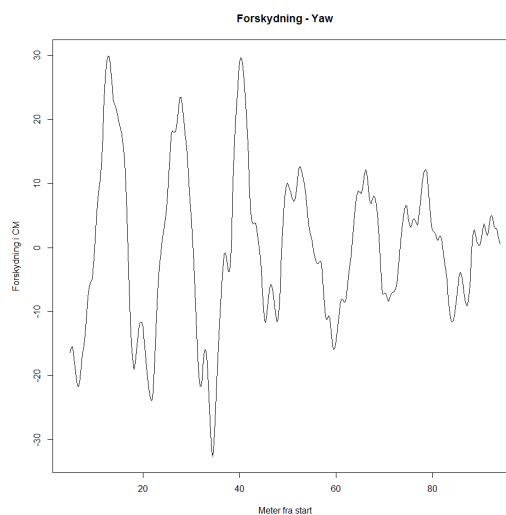
Beskrivelse	Enhed	Resultat
Måleresultater		
Dato for test		20.11.2019
Vindforhold		2,5 m/s - S
Målepunkt		Før afvigeled
Tilt (Vertikale - Op/ned) - Henført til 18 m baseline		
Udsving – SD_3 sek. (amplitude - Nulpunkt til yderpunkt)	cm	10,0
Yaw (Horisontale - Frem/tilbage) - Henført til 18 m baseline		
Udsving – SD_3 sek. (amplitude - Nulpunkt til yderpunkt)	cm	10,1
Bomhøjde		
Bomcenter Min. Højde	cm	72,1
Bomcenter Maks. Højde	cm	89,9
Baseline - Afstand mellem bom center og målepunkt	m	14,91
Bom tip Min. Højde (målt før afvigeled)	cm	40,3
Bom tip Maks. Højde (målt før afvigeled)	cm	92,0



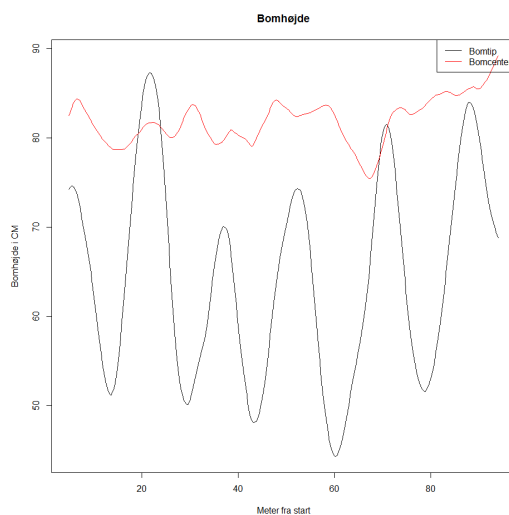
Målinger fra test, anvendt til simuleringer (Test 11).



Figur 18. Tilt (op/ned).
Målinger henført til Bom tip 18 meter fra center



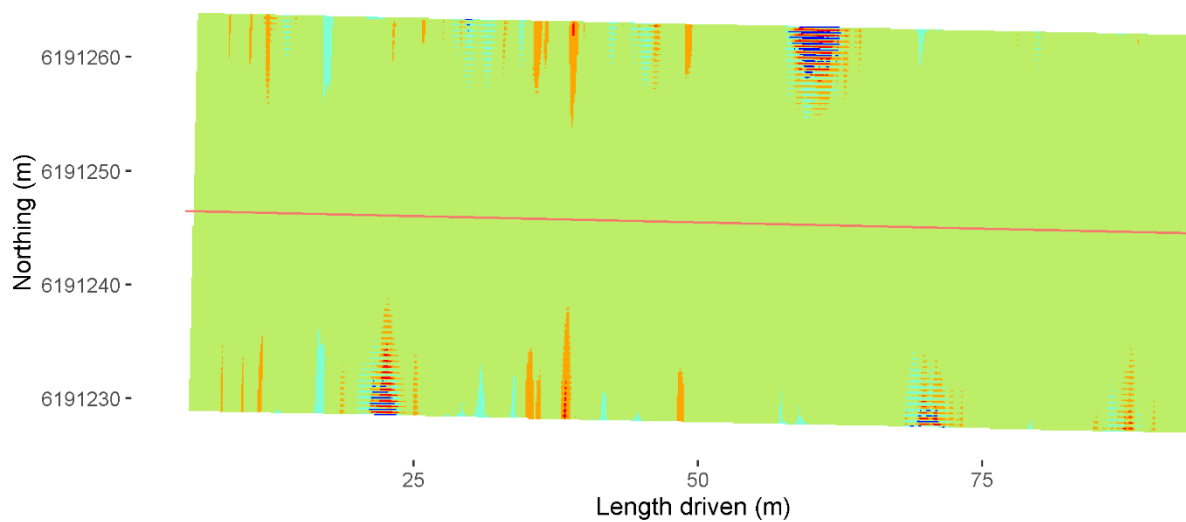
Figur 17. Yaw (Frem/tilbage).
Målinger henført til Bom tip 18 meter fra center.



Figur 19. Bomhøjde.



Simulering 4. Sprøjte 4. Testkørsel 11



Tramline

Red

Application

- Low (66-88%)
- Normal (85-115%)
- High (115-133%)
- Over (>133%)



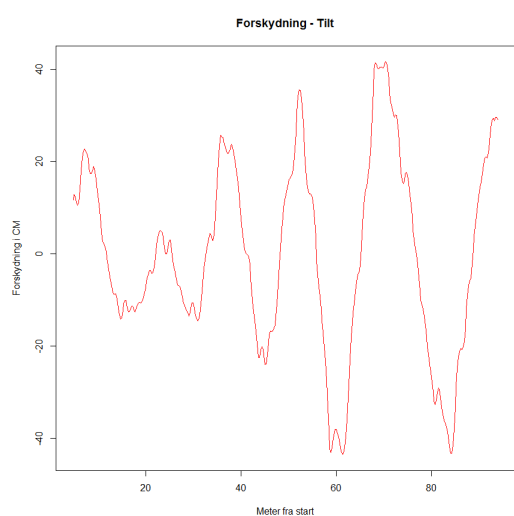
7.6. Referencesprøje

Tabel 15. Udvalgte resultater fra alle gentagelser

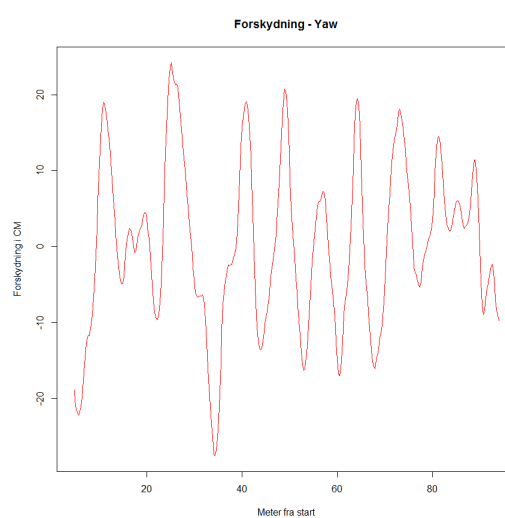
Beskrivelse	Enhed	Resultat
Måleresultater		
Dato for test		27.06.2019
Tilt (Vertikale - Op/ned) - Henført til 18 m baseline		
Udsving – SD_3 sek. (amplitude - Nulpunkt til yderpunkt)	cm	13,5
Yaw (Horisontale - Frem/tilbage) - Henført til 18 m baseline		
Udsving – SD_3 sek. (amplitude - Nulpunkt til yderpunkt)	cm	9,9
Bomhøjde		
Bomcenter Min. Højde	cm	45,3
Bomcenter Maks. Højde	cm	69,5
Baseline - Afstand mellem bom center og målepunkt	m	14,66
Bom tip Min. Højde (målt før afvigeled)	cm	51,3
Bom tip Maks. Højde (målt før afvigeled)	cm	132,6



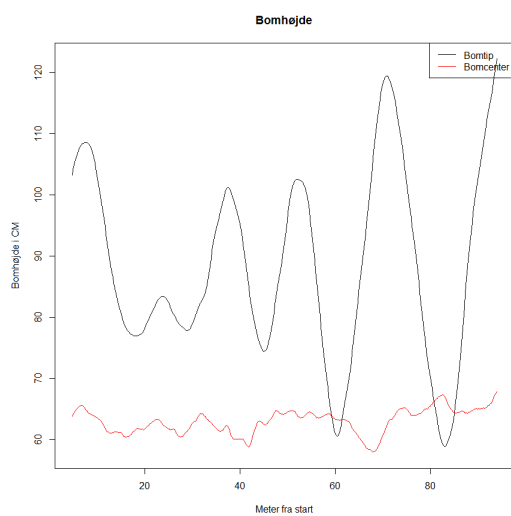
Målinger fra test, anvendt til simuleringer (Test 6).



Figur 20. Tilt (op/ned).
Målinger henført til Bom tip 18 meter fra center.



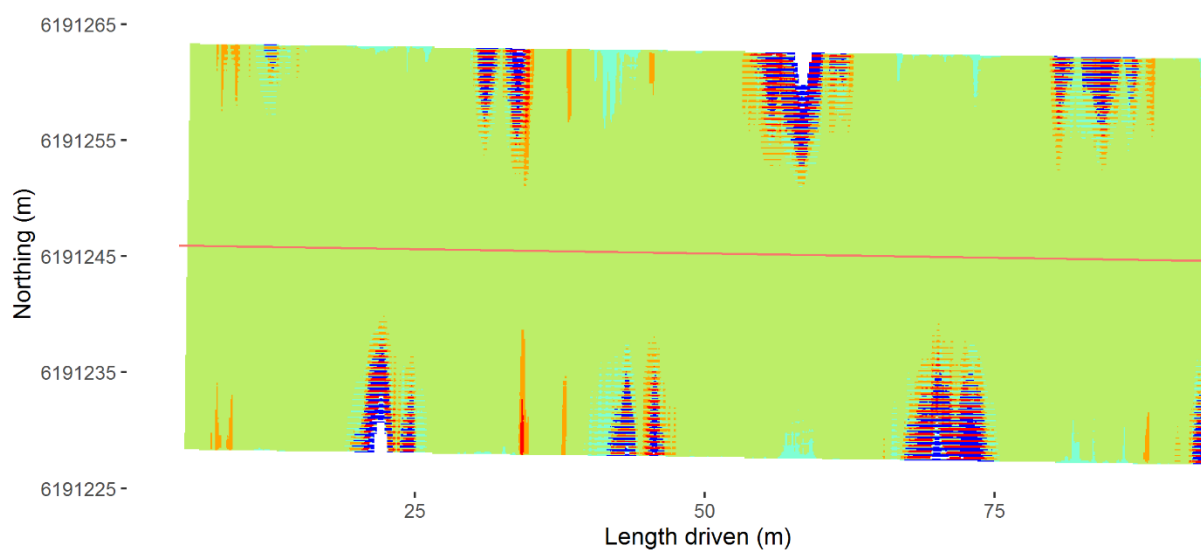
Figur 21. Yaw (Frem/tilbage).
Målinger henført til Bom tip 18 meter fra center.



Figur 22. Bomhøjde.



Simulering 5. Referencesprøjte. Testkørsel 6



Tramline

Red

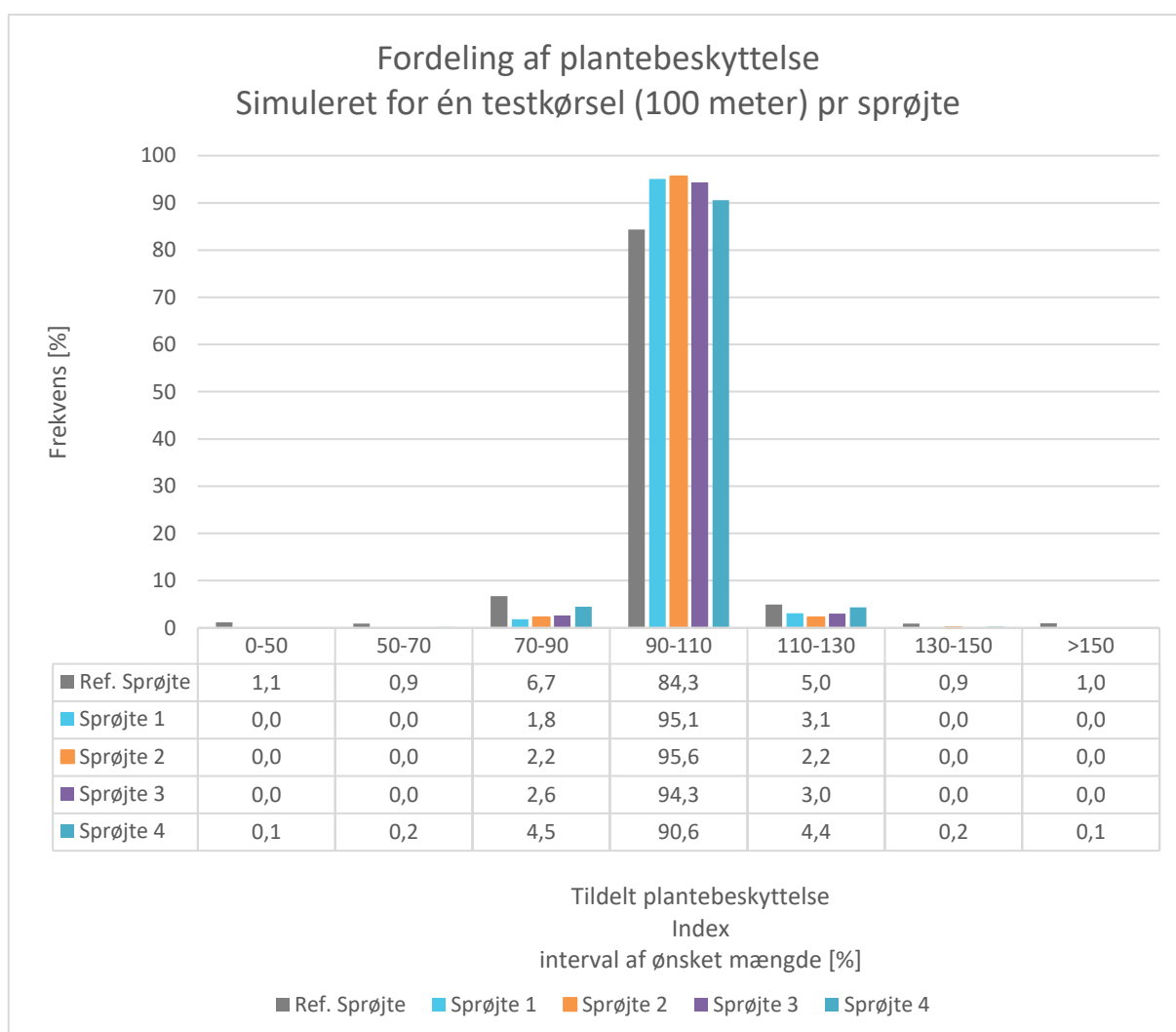
Application

- Low (66-88%)
- Normal (85-115%)
- High (115-133%)
- Over (>133%)



7.7. Histogram – Fordeling af plantebeskyttelse

Af figur 23 fremgår fordelingen af plantebeskyttelse på de udvalgte testkørsler som resultat af simuleringerne. Histogrammet viser ikke summen af afdrift der ifølge modellen kan være driftet væk, men derimod antages at afdriften bliver på marken, derfor er summen af tildelingen altid 100%, dog afrundede værdier. Afdriftsmodellen er simuleret sådan at stor bomhøjde resulterer i afdrift.



Figur 23. Fordeling af plantebeskyttelse



8. Resume

Histogrammet med resultater fra simuleringerne, figur 23 viser at både bomhøjde og Yaw (bevægelser frem og tilbage) har indvirkning på den modellerede afsætning. Referencesprøjten forårsager den største under- og overdosering, hvilket var ventet da højdestyringen på denne sprøjte ikke regulerer som ønsket. I tabel 15 for referencesprøjte angives minimum og maksimum bomhøjde, som, sammenlignet med øvrige sprøjter, varierer væsentligt mere. Det er altså regulering af bomhøjden, der er den væsentligste forskel på referencesprøjten og de øvrige sprøjter. Simuleringerne er dog ikke valideret, se i øvrigt afsnittet 'mulige fejlkilder'.

Ved simulering af sprøjting på ISO 5008 'smoother track', der omtrent svarer til et ujævnt sprøjtespor, tildeler referencesprøjten den ønskede mængde indenfor intervallet 90-110% af ønsket dosering på 84% af arealet. Til Sammenligning tildeler de øvrige sprøjter denne dosering på omkring 90-95% af arealet. Sprøjte 4 ligger dog en smule under sprøjte 1 til 3 muligvis forårsaget af bommens variationer i højden. Det er dog vigtigt at bemærke at forskellene på sprøjternes set up bevirker at de ikke kan sammenlignes da særligt dækmonteringen har stor indvirkning på bommens stabilitet. F.eks. er sprøjte 3 udstyret med 2 aksler og luftaffjedring mens referencesprøjten er monteret med smalle sprøjtehjul. Derudover har varierende hjulafstand og dæktryk samt forskellige anvendte traktorer indflydelse på måleresultaterne.

Test med et Alliance dæk VF 480/80R46 og et Alliance dæk Farmpro 520/85R38, begge med lufttryk på 2 bar, viser at Standardafvigelse (SD_3sek) falder fra henholdsvis 24,8 cm og 12,4 cm til 13 cm og 8,2 cm. Der er dog ikke simuleret tildeling for disse resultater.

Simuleringerne giver en indikation af bombevægelsernes indvirkning på tildeling, dog med en række usikkerheder som beskrevet. Trods denne usikkerhed viser testene at dækmontering har væsentlig indflydelse på bommens stabilitet og at både højdestyringen og stabiliteten i vertikal og horisontal retning har indflydelse på afsætningen på planterne herunder en eventuel under-/overdosering ved behandling. Simuleringerne viser vigtigheden af at have en højderegulering, der hjælper sprøjteføreren til at opretholde korrekt bomhøjde og en stabil bom, som kompenserer for horisontale bevægelser.

9. Perspektivering

Resultaterne viser at det ikke er muligt at vurdere indvirkningen fra bommens bevægelse på sprøjte kvaliteten udelukkende ved angivelse af standardafvigelser. Sprøjte kvaliteten er bl.a. en kombination af amplituderne og frekvensen på bommens bevægelser samt naturligvis højdestyringens evne til at opretholde ensartet bomhøjde.

Simuleringerne indikerer at en mere retvisende evaluering af sprøjtearbejdet kan opnås med denne metode, der er dog behov for at videreudvikle på metoden og validere simuleringmodellen.



TEKNOLOGISK
INSTITUT