

Förord

Denna undersökning har planerats och genomförts i samråd med Pontus Gruhs och Mathias Bergmark, Trafikverket och Niclas Odermatt, Skanska på uppdrag av Trafikverket.

Ett stort tack till er för engagemang, goda råd och hjälp med uppläggningsen av undersökningen och också med förslaget till fortsatt arbete.

Ett stort tack också till mina kollegor vid VTI, Sven-Åke Lindén, Håkan Wilhelmson och Terry McGarvey som var ovärderliga vid det praktiska genomförandet av mätningarna. Terry har även utvärderat och dokumenterat mätresultaten.

Slutligen vill jag också rikta ett stort tack till tillverkaren av saltspridningsutrustning som välvilligt ställde lastbil, saltspridare och chaufför till förfogande.

Linköping maj 2013

Staffan Möller
Projektledare

Kvalitetsgranskning

Granskningsseminarium genomfört 6 mars 2013 där Jan Ölander, Trafikverket, var lektor. Staffan Möller har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus. Projektledarens närmaste chef Anita Ihs har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 29 maj 2013.

Quality review

Review seminar was carried out on 6 March 2013 where Jan Ölander, Swedish Transport Administration, reviewed and commented on the report. Staffan Möller has made alterations to the final manuscript of the report. The research director of the project manager Anita Ihs examined and approved the report for publication on 29 May 2013.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Summary	7
1 Bakgrund	9
2 Syfte.....	13
3 Etappindelning	14
4 Försöksuppläggning	15
4.1 Test i tvärled	17
4.2 Test i längdled	19
4.3 Spridningsbredder, saltgivor och hastigheter.....	21
4.4 Inbjudan till tillverkare	22
5 Genomförande.....	23
6 Resultat.....	27
6.1 Test i tvärled	27
6.2 Test i längdled	34
6.3 Sammanställning av resultat.....	49
7 Sammanfattande resultat och slutsatser.....	58
8 Diskussion	60
9 Förslag till fortsatta tester.....	61
Referenser.....	62

GPS-styrd saltspridning. Test på avlyst bana

av Staffan Möller
VTI
581 95 Linköping

Sammanfattning

Bakgrund

Syftet med projektet är att, på avlyst bana, testa och dokumentera GPS-styrd saltspridning genom att väga utlagda saltmängder och jämföra med avsedda mängder vid olika spridningsmängd, spridningsbredd, symmetri, hastighet och salttyp (befuktat salt och saltlösning).

Testet går ut på att studera hur saltspridningen påverkas av förändringar i vägens sektion. Vi tänker oss då förändringar både till höger och vänster om det genomgående eller de två genomgående körfälten. Sådana förändringar ska efterlikna till exempel övergång från 1 till 2 eller från 2 till 1 körfält på en 2+1-väg och passage av en refug eller en parkeringsficka. En bana byggdes upp som markerades med silverfärgad tejp.

För att kunna mäta de utlagda saltmängderna tejpades först sjok av byggplastfilm, med storleken 1,1x1,6 m, vid beläggningen. Centrerade över plastfilmen lades sedan ut dukar av gardintyg med storleken 1,0x1,5 m. Dukarna hölls på plats av kätting.

Med en idealisk GPS-styrning kan inställningar av spridningsbredd och symmetri ändras kontinuerligt så att saltet läggs ut anpassat efter varierande sektionsbredder. Idag har den tekniska utvecklingen dock bara nått så långt att omställningar kan göras stegvis, vilket naturligtvis begränsar spridningsresultatet.

I detta projekt har vi valt att studera hur pass nära den *idealiska* saltutläggningen som dagens teknik kan komma.

Resultat

När jämförelse görs mellan saltspridning med GPS-styrning och utan omställning av saltspridaren, det vill säga att spridaren var inställd med samma spridningsbredd och symmetri/ asymmetri under hela saltningen, fås följande resultat.

Vid saltspridning av två körfält och bussficka med befuktat salt förbättrade GPS-styrningen resultatet, det vill säga gav bättre överensstämmelse med avsedd saltmängd, på höger körfält jämfört med utan omställning av saltspridaren. På vänster körfält var resultaten ungefär de samma. På bussfickan gav både GPS-styrning och icke GPS-styrning låga saltmängder.

Vid saltspridning av två körfält och bussficka med saltlösning blev resultaten på höger respektive vänster körfält ungefär desamma med och utan GPS-styrning. De utlagda saltmängderna låg nästan alltid över de avsedda. På bussfickan försämrades resultaten med GPS-styrning jämfört med utan omställning av saltspridaren.

Vid saltspridning av avsmalning från två körfält till ett med befuktat salt försämrade GPS-styrningen resultaten på höger körfält jämfört med utan omställning av saltspridaren. På vänster körfält gav GPS-styrningen högre saltmängder, men inte bättre resultat, jämfört med utan GPS-styrning.

Vid saltspridning av avsmalning från två körfält till ett med saltlösning förbättrade GPS-styrningen resultaten både på höger och vänster körfält.

Reflektioner

På det stora hela gav saltning med GPS-styrning ungefär samma resultat som utan omställning av saltspridaren. I genomsnitt stämde de uppmätta saltmängderna, i de flesta fall, ganska väl med de avsedda.

Dock spreds för lite salt på bussfickan, framför allt då befuktat salt användes. En orsak till detta kan vara att spridartallriken roterar medurs uppifrån sett och är utformad för att sprida åt vänster. Spridningen åt höger blir därigenom sämre. Vänsterspridning är den vanligaste inställningen av asymmetrin och används när man vill sprida salt på två körfält samtidigt. En annan orsak kan vara att det bildas luftvirvlar bakom saltbilen som gör att mer salt hamnar i det körfält där bilen kör och mindre utåt sidorna. Denna effekt är tydligast vid högre hastigheter och för befuktat salt.

Samtidigt innebär GPS-styrning av saltspridaren att kvaliteten på saltningen kan förbättras, genom att salt i större utsträckning sprids bara där det behövs. GPS-styrning har också en positiv effekt på trafiksäkerheten och arbetsmiljön för chauffören eftersom han inte behöver ändra spridarinställningarna utan helt kan koncentrera sig på körningen.

GPS controlled salt spreading. Trial on a test track

by Staffan Möller

VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute)

SE-581 95 Linköping, Sweden

Summary

Background

The purpose of the project is to test and document GPS controlled salt spreading on a test track by weighing distributed salt quantities and compare with intended amounts of salt at different spreading amounts, spreading widths, symmetries, speeds and types of salt (pre wetted salt and brine).

The test is to study how salt distribution is affected by changes in the road section both to the right and to the left of the through lane or the two through lanes. Such changes should imitate for example transition from one lane to two lanes or from two lanes to one lane on a 2 + 1 road or passing a refuge or a bus-bay. A test track was marked with silver tape.

In order to measure the distributed salt quantities plastic sheets, with the size 1.1 x 1.6 metre, were taped on the surfacing. Centered over the plastic sheets cloths of curtain fabric, with the size 1.0 x 1.5 metre, were placed. The cloths were held in place by chains.

With an ideal GPS control, settings of spreading width and symmetry can change continuously, so that the salt is distributed adjusted to varying section widths. Today, technological developments, however, have only reached as far as settings can be done step by step.

In this project, we have chosen to study how close to the *ideal* salt spreading today's technology can get.

Results

When a comparison is made between the salt distribution with and without GPS control of the salt spreader the following results were found.

Using pre wetted salt on two lanes and a bus-bay the results with GPS control got better, that means gave better correspondence with the intended amounts of salt, on the right lane compared with no change of the salt spreader. On the left lane the results were about the same. Both with and without GPS control small amounts of salt ended up on the bus-bay.

Using brine on two lanes and a bus-bay the results on the right and left lane respectively were about the same with and without GPS. On the bus-bay the results with GPS got worse compared with no change of the salt spreader.

Using pre wetted salt on a transition from two lanes to one the results with GPS control got worse on the right lane compared with no change of the salt spreader. On the left lane GPS control resulted in higher amounts of salt, but not better results, compared with without GPS.

Using brine on a transition from two lanes to one at 40 and 65 km/hour the results with GPS control got better both on the right and the left lane.

Reflections

On the whole, spreading salt with GPS control gave about the same results as with no change of the salt spreader. On average the measured amounts of salt corresponded, in most cases, fairly well with the intended.

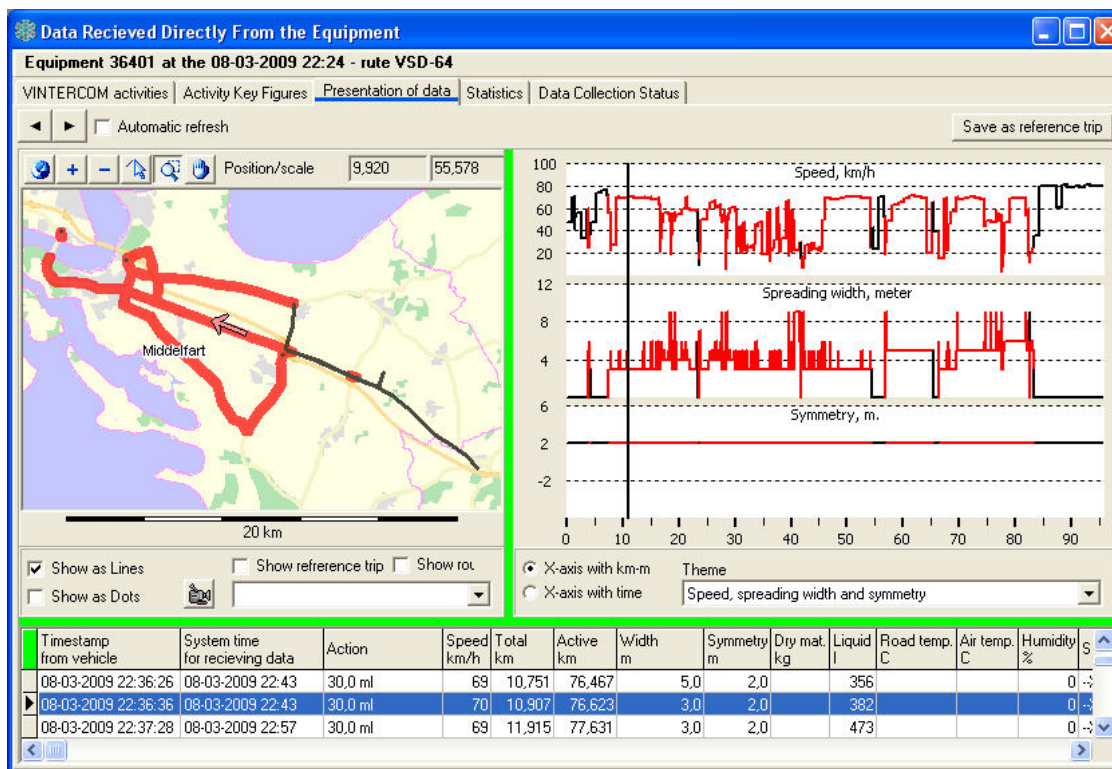
However, too small amounts of salt were spread on the bus-bay, especially when pre wetted salt was used. One reason could be that the salt spreader plate rotates clockwise seen from above and is designed to spread to the left. Thus, the spreading to the right becomes worse. Salt spreading to the left is the most common adjustment of the asymmetry and is used when you want to spread salt on two lanes simultaneously. Another reason could be the formation of turbulence behind the salt truck which will result in more salt on the lane where the truck is running and less salt on the outer parts. This effect is most evident at higher speed and for pre wetted salt.

At the same time, GPS control of the salt spreader means that the quality of the salting can be improved because the salt, to a larger extent, is spread only where it is needed. GPS-control also has a positive effect on road safety and the working environment for the driver because he does not need to change the spreader adjustments but can concentrate on driving instead.

1 Bakgrund

I ett danskt konferensbidrag, Knudsen & Sommer, 2010 beskrivs förhållandena vid förebyggande saltning på följande sätt.

Figur 1 visar ett exempel på hur chauffören har ändrat saltspridarens inställningar under en saltrunda. Röda kurvor avser saltning och svarta under transport.



Figur 1 Chaufförens ändringar av saltspridarens inställningar under en saltrunda.

Av figuren framgår att spridningsbredden ändras ofta medan knappen för att ändra spridningssymmetrin inte använts. Detta är en mycket typisk situation som betyder att busshållplatser, höger- och vänstersvängskörfält etc. bara sällan saltas som de borde. Analyser har visat att mindre än hälften av alla nödvändiga ändringar görs även av en mycket erfaren chaufför.

Skälet till att spridarändringar inte görs är enkel. Det är mycket svårt, eller nästan omöjligt, att göra alla justeringar korrekt genom en korsning med höger- och vänstersvängskörfält etc. i en hastighet av 50–70 km/h och samtidigt vara uppmärksam på trafiksituationen. Att låta chauffören göra fem ändringar av spridningsbredd och symmetri på manöverpanelen under sju sekunder medan han passerar en korsning är från trafiksäkerhetssynpunkt inte rekommendabelt.

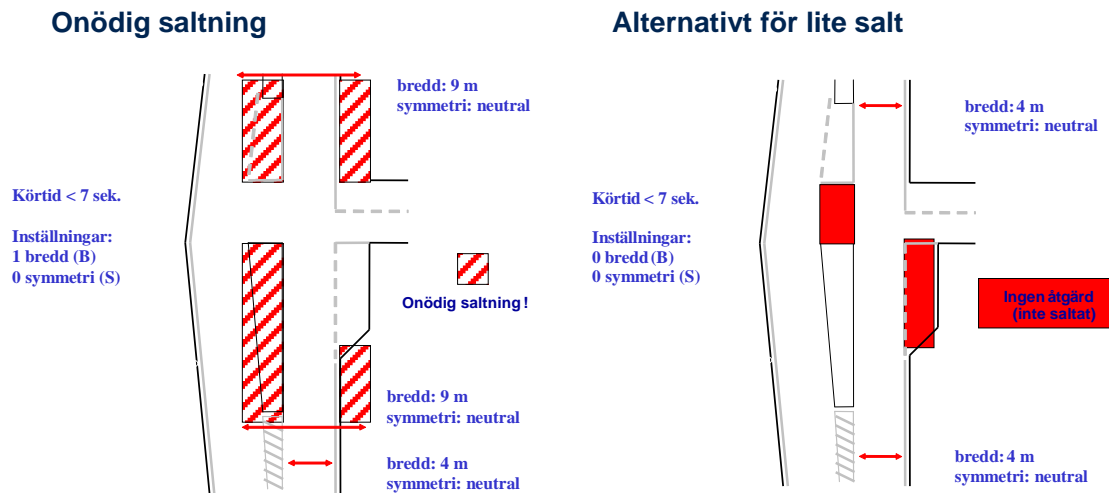
Danska erfarenheter visar att saltrundor på landbygd med passage av mindre samhällen kräver ca 200 ändringar av spridarinställningen och rundor i tätort upp till 700 ändringar. I båda fallen är saltrundan 2 till 2,5 timmar lång.

Slutsatsen blir att ett system för automatisk ändring av saltspridaren skulle förbättra kvaliteten på saltningen, genom att sprida salt bara där det behövs. Samtidigt skulle det

ha en positiv effekt på trafiksäkerheten om chauffören inte behöver ändra spridarinställningarna.

Följande lätt redigerade figurer av Odermatt, 2009 illustrerar vilka konsekvenser som kan uppkomma av manuellt ändrade spridarinställningar

MANUELL ÄNDRING AV SPRIDARE

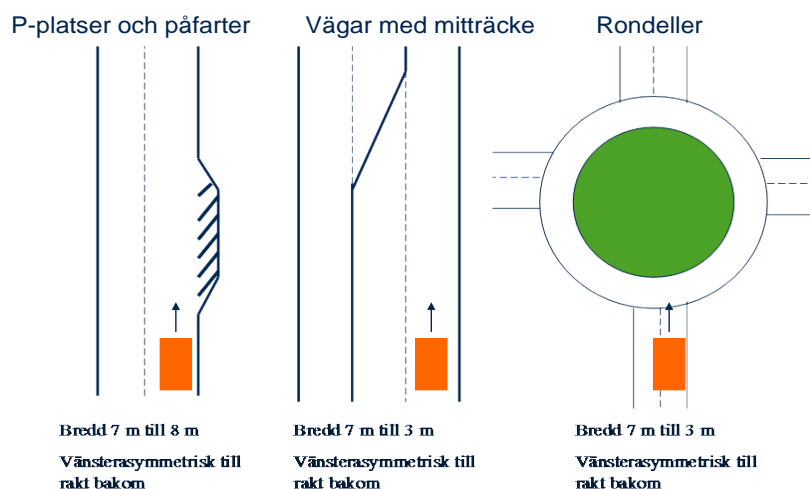


Figur 2 Konsekvenser av manuell ändring av spridarinställningar.

I detta fall blir resultatet onödig saltning på vissa ytor om spridningsbredden ändras en gång och utebliven saltning på andra ytor om spridningsbredden inte alls ändras.

Några exempel på vilka förbättringar i saltspridningen som kan uppnås vid korrekt ändrad spridningsbild framgår av figur 3.

Exempel på spridningsvinster



Figur 3 Förbättringar i saltspridningen som kan uppnås vid korrekt ändrad spridningsbild.

Enligt Knudsen & Sommer, 2010 är utvecklingen driven olika långt för de saltspridare styrda av GPS, Global Positioning System, som finns på den danska marknaden men de grundläggande principerna är samma. Nedan redovisas hur inställning görs av den vanligaste spridaren.

Det första steget är att spela in saltrundan med alla korrekta inställningar. Detta kan göras i en lastbil med traditionell saltspridare men vanligen görs det med en inspektionsbil som har en simulator installerad. Saltrundan körs av en erfaren chaufför som är välbekant med rundan och som registrerar alla spridarinställningar. Vid körningen är hastigheten lägre i t.ex. korsningar och t.o.m. stopp kan göras för att säkerställa att registrering sker med hög noggrannhet. Vanligtvis är det väl använd tid att göra registreringen så perfekt som möjligt.

Efter inspelning av saltrundan överförs data till en PC. På den kan rundan presenteras på en karta inklusive alla gjorda inställningar och finjusteras genom tillägg av extra inställningar eller genom att flytta en inställning en liten bit.

Det tar ungefär en halv dag att spela in, justera och installera en saltrunda för att användas i en GPS-styrd saltspridare.

När den inspelade saltrundan är justerad på PC överförs den till saltspridaren. I detta skede kan den lagras i olika versioner, t.ex. med olika grundsaltgivor eller för olika typer av salt såsom torrt salt, befuktat salt eller saltlösning. Därefter väljer chauffören den korrekta versionen när han börjar salta och spridaren ändrar automatiskt grundsaltgiva, spridningsbredd, symmetri etc. och chauffören har nu bara att köra saltrundan.

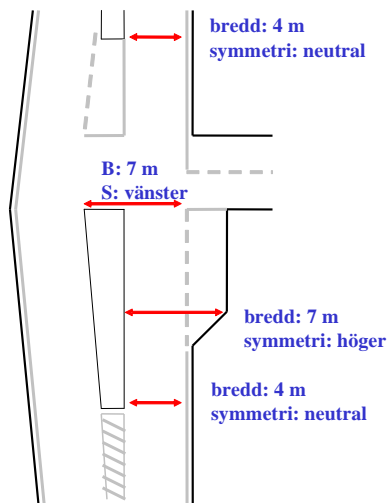
Odermatt, 2009 illustrerar fördelarna med GPS-styrd saltspridning med följande figur. Figuren är ursprungligen hämtad från Knudsen & Sommer, 2008.

GPS STYRD SALTSPRIDNING
- Automatisk justering av spridare

Mer korrekt insats

Körtid < 7 sek.

Inställningar:
2 bredd (B)
3 symmetri (S)



Figur 4 Fördelar med GPS-styrd saltspridning.

2 Syfte

Syftet med projektet är att, på avlyst bana, testa och dokumentera GPS-styrd saltspridning genom att väga utlagda saltmängder och jämföra med avsedda mängder vid olika spridningsmängd, spridningsbredd, symmetri, hastighet och salttyp (befuktat salt och saltlösning).

3 Etappindelning

Projektet indelas i tre etapper.

1. Planering av försöksuppläggning för test på uppritad väg på avlyst motorbana
2. Genomförande av testet och utvärdering av resultatet
3. Dokumentation och kunskapsspridning.

4 Försöksuppläggning

Testet går ut på att studera hur saltspridningen påverkas av förändringar i den uppritade vägens sektion. Vi tänker oss då förändringar både till höger och vänster om det genomgående eller de två genomgående körfälten. Sådana förändringar ska efterlikna t.ex. övergång från 1 till 2 eller från 2 till 1 körfält på en 2+1-väg och passage av en refug eller en parkeringsficka. Endast en bana byggs upp som markeras med silverfärgad tejp.

Vi avser att testa de mest använda typerna av salt, alltså befuktat salt och saltlösning, inte det mindre vanliga torra saltet.

För att kunna mäta de utlagda saltmängderna tejpas först sjök av byggplastfilm, med storleken 1,1x1,6 m, vid beläggningen. Centrerade över plastfilmen läggs sedan ut dukar av gardintyg i bomull med storleken 1,0x1,5 m. Dukarna syftar både till att samla upp utspritt salt och att suga upp utspridd saltlösning. Dukarna hålls på plats av kätting. Se figur 5 och 6.



Figur 5 Utläggning av duk på den ljusblå plastfilmen. Foto: Niclas Odermatt, Skanska.



Figur 6 Duken förankras med kätting. Foto: Niclas Odermatt, Skanska.

Om saltspridning på en sektionsändring längs vägen ska testas placeras plastfilm och dukar ut på flera platser.

- Vid ändringens start
- På två eller fyra platser medan ändringen görs, beroende på vilken ändring som sker
- Vid ändringens slut.

Även på det eller de två genomgående körfälten placeras plastfilm och dukar vid ändringens start, mitt och slut. På några ställen utanför sektionsändringen och körfälten, där saltet inte ska hamna, läggs plastfilm och dukar. Se figur 7.



Figur 7 Dukplacering på och utanför bussfickan. Bilden är tagen mot körriktningen. Foto: Niclas Odermatt, Skanska.

Innan GPS-styrningens möjligheter att reglera saltspridningen testas, Test i längdled, görs ett grundläggande försök där ett körfält, två körfält eller två körfält plus en intelligande bussficka saltas. Dessa tester kallas nedan Test i tvärled. Syftet med dessa sistnämnda försök är att kartlägga hur väl en saltspridare klarar att fördela saltet på olika sektionsbredder utan påverkan av sektionsändringar.

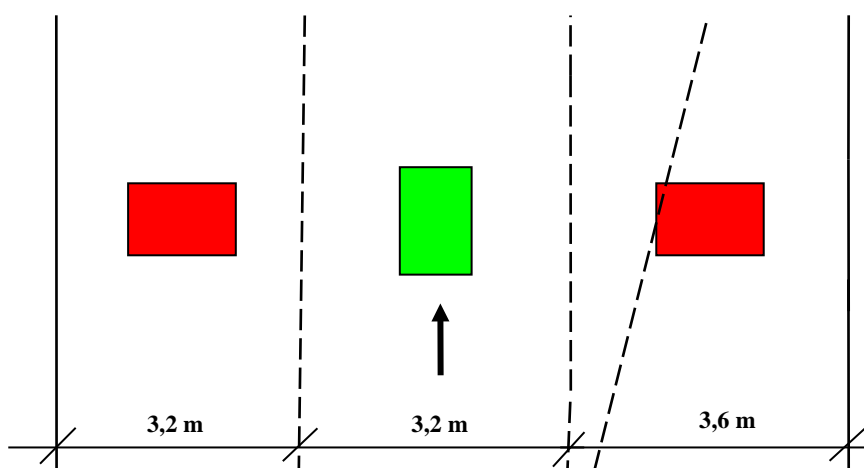
I nästa steg, Test i längdled, tillkommer svårigheten att kunna ställa om spridaren på rätt sätt vid sektionsändringar så att saltet hamnar där det ska.

Följande delar av banan användes för de olika testerna.

4.1 Test i tvärled

4.1.1 Dukplacering vid saltning av ett körfält

Ungefär en fjärdedel in på banan placerades dukar för testen i tvärled. Figur 8 visar hur den asfalterade ytan (heldragna linjer) som bara var 10,0 m bred har delats med tejp i två körfält om vardera 3,2 meters bredd (streckade linjer). Där visas också början på utspetsningen för bussfickan som vid full bredd är 3,6 m bred. Den asfalterade ytans begränsade bredd medförde att både körfälten och bussfickan blev smalare än normalt.



Figur 8 Dukplacering vid test i tvärled. Saltning av ett körfält utan omställning av saltspridaren.

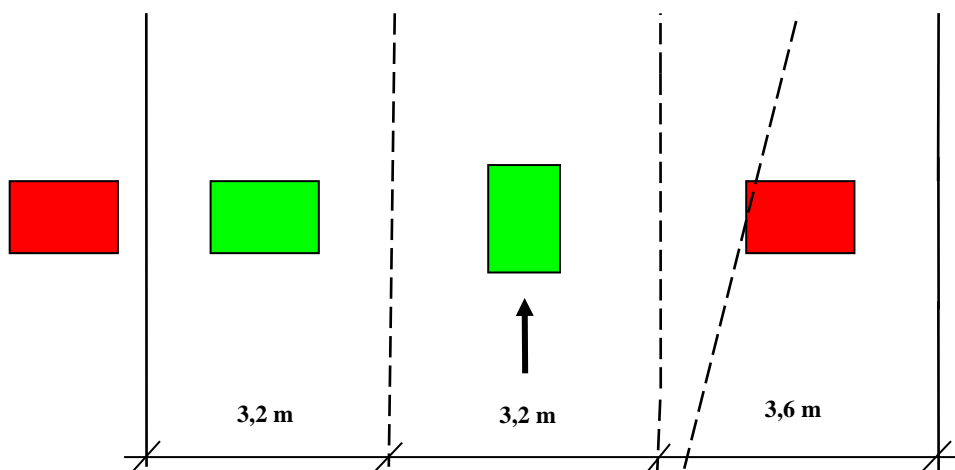
Tre dukar placerades ut centriskt på körfälten och bussfickan. Bussfickan förutsattes då ha full bredd. Denna försöksuppställning användes för att testa saltning på bara det körfält där saltbilen kör (bilen markeras med pil) utan omställning av saltspridaren.

Om saltspridningen är ideal ska duken markerad med grön färg få salt och dukar med röd färg inget salt alls.

Anledningen till att duken i körfältet där saltbilen kör har lagts ut längs med banan är att den ska få plats mellan bilens bakhjul.

4.1.2 Dukplacering vid saltning av två körfält

Figur 9 visar denna försöksuppställning.



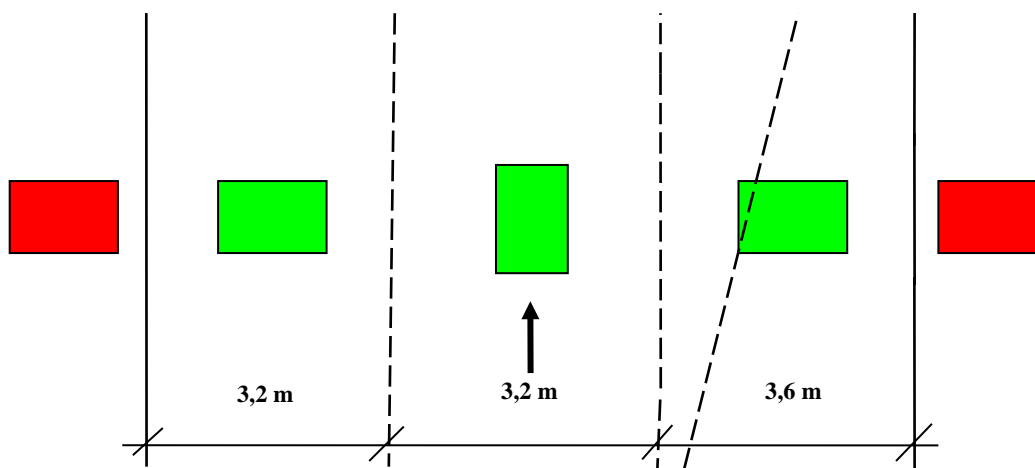
Figur 9 Dukplacering vid test i tvärled. Saltning av två körfält utan omställning av saltspridaren.

Tre dukar placerades ut centriskt på körfälten och bussfickan, som förutsattes ha full bredd. Ytterligare en duk lades 0,5 m från den asfalterade kanten där vänstra körfältet tar slut. Denna försöksuppställning användes för att testa saltning på båda körfälten utan omställning av saltspridaren.

Om saltspridningen är ideal ska dukar markerade med grön färg få salt och dukar med röd färg inget salt alls.

4.1.3 Dukplacering vid saltning av två körfält och bussficka

Denna försöksuppställning visas i figur 10.



Figur 10 Dukplacering vid test i tvärled. Saltning av två körfält och bussficka utan omställning av saltspridaren.

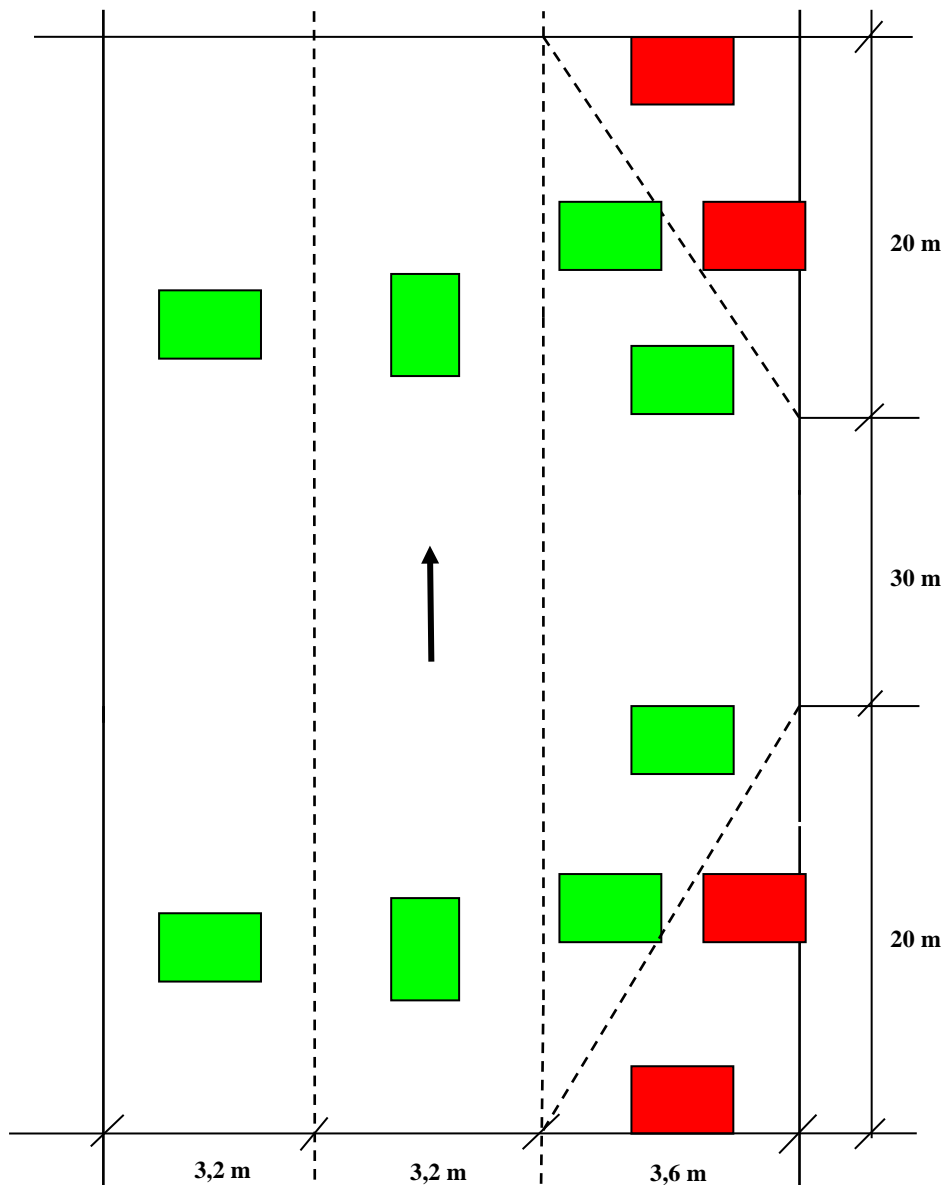
Tre dukar placerades ut centriskt på körfälten och bussfickan, som förutsattes ha full bredd. Ytterligare två dukar lades 0,5 m från den asfalterade kanten där vänstra körfältet respektive bussfickan tar slut. Denna försöksuppställning användes för att testa saltning på båda körfälten och bussfickan utan omställning av saltspridaren.

Precis som tidigare ska, om saltspridningen är ideal, dukar markerade med grönt få salt och dukar med rött inget salt alls.

4.2 Test i längdled

4.2.1 Dukplacering vid saltning av två körfält och bussficka

Denna försöksupställning, som ska styras av GPS, visas i figur 11. Bussfickan var 20 m (utvidgning till full bredd) + 30 m (full bredd) + 20 m (återgång till fickans slut) = 70 m lång. Utvidgning och återgång markerades i längdled, precis som körfälten, med tejp (streckad linje) och avgränsades i sidled av den asfalterade ytans kant (heldragen linje).



Figur 11 Dukplacering vid test i längdled. Saltning av två körfält och bussficka med GPS-styrning.

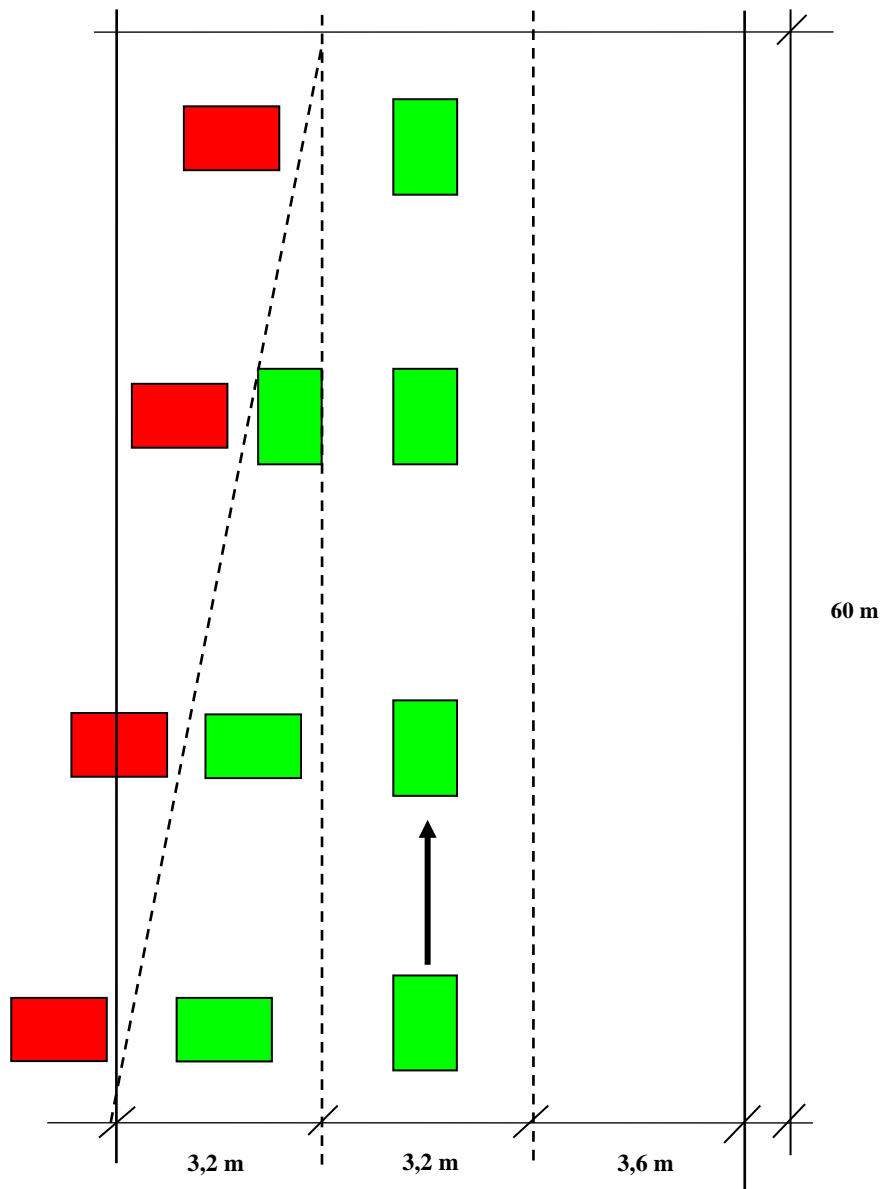
Fyra plus två dukar placerades ut centriskt på körfälten och på bussfickan, där fickan i princip har full bredd. Ytterligare två plus två dukar lades ut vid mitten av bussfickans utvidgning och återgång, precis innanför och utanför fickan. Slutligen lades två dukar

precis där fickans utvidgning började och återgång slutade. Denna försöksuppställning användes för att testa saltning på båda körfälten och bussfickan med GPS-styrning.

Om saltspridningen är ideal ska dukar markerade med grönt få salt och dukar med rött inget salt alls.

4.2.2 Dukplacering vid saltning av avsmalning från två körfält till ett

Denna försöksuppställning, som ska styras av GPS, visas i figur 12. Avsmalningen var 60 m lång och markerades i längdled, precis som körfälten, med tejp (streckad linje)



Figur 12 Dukplacering vid test i längdled. Saltning av avsmalning från två körfält till ett med GPS-styrning.

Fyra plus tre dukar placerades ut centriskt på det genomgående körfältet respektive avsmalningen. Ytterligare fyra dukar lades ut 0,5 m utanför avsmalningen. Denna försöksuppställning användes för att testa saltning vid övergång från två körfält till ett med GPS-styrning.

Även här ska, om saltspridningen är ideal, dukar markerade med grönt få salt och dukar med rött inget salt alls.

4.3 Spridningsbredder, saltgivor och hastigheter

I ”Saltmall vid kemisk halkbekämpning”, Vägverket, Vägverket Produktion & Vägsektorns Utbildningscentrum, 2001 ges rekommendationer enligt tabell 1-3.

Tabell 1 Rekommenderade spridningsbredder och saltgivor vid förebyggande halkbekämpning före temperaturfall.

	Befuktat salt	Saltlösning	Vägtemp. (°C)	Väglag
Spridn.bredd (m)	4	7		
Saltgiva (g/m ²)	6-8	14-19	0 till -5	torr/fuktig/våt bar
	11-13	23-28	-5 till -10	torr/fuktig/våt bar
	21-25	används inte	0 till -10	mycket våt bar

Tabell 2 Rekommenderade spridningsbredder och saltgivor vid isbildning.

	Befuktat salt	Saltlösning	Vägtemp. (°C)	Väglag
Spridn.bredd (m)	4	7		
Saltgiva (g/m ²)	11-15	23-33	0 till -10	rimfrost
	21-25	35-40	0 till -10	tunn is
	25	används inte	0 till -10	tjock is

Tabell 3 Rekommenderade spridningsbredder och saltgivor vid pågående isbildning p.g.a. underkyllt regn.

	Befuktat salt	Saltlösning	Vägtemp. (°C)	Väglag
Spridn.bredd (m)	4	används inte		
Saltgiva (g/m ²)	32-40	används inte	0 till -10	tjock is

I saltmallen kan också utläsas att vid spridning av befuktat salt är spridningsbredden ca 60 % av den trafikerade vägbredden och vid saltlösning 100 %.

Utgående från rekommendationerna ovan beslutades att följande intervall på inställningar skulle användas vid testerna för att ungefär täcka in fallen förebyggande saltning vid väglagen torr, fuktig och våt barmark samt saltning på rimfrost vid isbildning, i båda fallen med vägtemperaturen 0 till -10 °C.

Tabell 4 Rekommenderade spridningsbredder och saltgivor vid testet.

	Befuktat salt	Saltlösning

Trafikerad bredd (m)	3,2	6,4	10,0	3,2	6,4	10,0
Spridn.bredd (%)	60	60	60	100	100	100
Spridn.bredd (m)	1,8	3,7	5,7	3,2	6,4	10,0
Saltgiva (g/m ²)	10-15	10-15	10-15	15-20	15-20	15-20

Lämpliga hastigheter bedömdes vara 30 och 50 km/h med befuktat salt och 40 och 65 km/h då saltlösning används.

4.4 Inbjudan till tillverkare

En inbjudan att delta i försöket skickades till fem tillverkare av/representanter för saltspridarutrustning vilka bedömdes ha tillgång till saltspridare och vara intresserade av att delta i testerna.

Två tillverkare tackade preliminärt ja till att delta. Övriga svarade inte eller hade inte möjlighet. Senare återtog en tillverkare sitt deltagande. Därmed återstod endast en tillverkare som ville delta.

5 Genomförande

När testerna närmade sig markerades banan med tejp och samtliga plastsjok tejpades fast.

I samband med detta justerades dukplaceringen i körfälten på några ställen vid testerna i längdled jämfört med placeringen i figur 11 och 12. Skälet var att slippa lägga ut mer plastfilm ett fåtal meter från de redan utlagda. Syftet med dukplaceringen i körfälten var enbart att bekräfta att körfälten/körfältet saltades samtidigt med bussfickan respektive avsmalningen.

Den använda saltspridaren var utrustad med spridartallrik och kunde sprida både befuktat salt och saltlösning. Spridningsbredden var 2–8 m och kunde varieras i steg om 1 m. Symmetrin kunde ställas i tre steg: vänster, höger och neutral. Spridaren var också utrustad med spridningsdysor, som komplement till spridartallriken, vilket gav möjlighet att sprida saltlösning med en bredd upp till 13 m.

I samråd med den tillverkare som deltog i testerna bestämdes att något justera de spridningsbredder och precisera de intervall för saltgivor som anges i tabell 4. Även hastigheterna justerades något. Tillverkaren valde inställningar av spridarsymmetrier. De förutsättningar som gällde vid testet anges i tabell 5.

Tabell 5 Förutsättningar beträffande spridningsbredder, spridarsymmetrier, saltgivor och hastigheter som gällde vid testet.

	Befuktat salt			Saltlösning		
	3,2	6,4	10,0	3,2	6,4	10,0
Trafikerad bredd (m)	3,2	6,4	10,0	3,2	6,4	10,0
Spridn.bredd (m)	2,0	4,0	6,0	3,0	6,0	6,0+3,0
Spridarsymmetri	neutral	vänster	neutral	neutral	vänster	vänster+höger
Saltgiva (g/m^2)	10	10	10	15	15	15
Hastighet (km/h)	30 / 45	30 / 45	30 / 45	40 / 65	40 / 65	40 / 65

Innan testerna påbörjades fick tillverkaren provköra banan i olika hastigheter, kalibrera saltspridaren och ställa in punkterna för GPS-ändringar.

För att väga dukarna användes en kalibrerad våg som angav vikten i gram med 2 decimaler. Resultaten avrundades till 1 decimal.

Testerna inleddes med saltning i tvärled av ett körfält enligt figur 8.

Tre dukar vägdes och lades ut på sina platser. Därefter kördes tre överfarter med befuktat salt i 30 km/h och med saltgivan $10 \text{ g}/\text{m}^2$, spridningsbredden 2,0 m och symmetrin neutral. Dukarna samlades in och vägdes på nytt. Tre nya dukar vägdes och lades ur på samma platser och tre överfarter gjordes med befuktat salt och samma inställningar i 45 km/h. Dukarna vägdes på nytt efter saltningen.

Med samma dukplacering gjordes sedan tre överfarter med saltlösning i 40 respektive 65 km/h med saltgivan $15 \text{ g}/\text{m}^2$, spridningsbredden 3,0 m och symmetrin neutral. Vägning av dukar gjordes före och efter åtgärd.

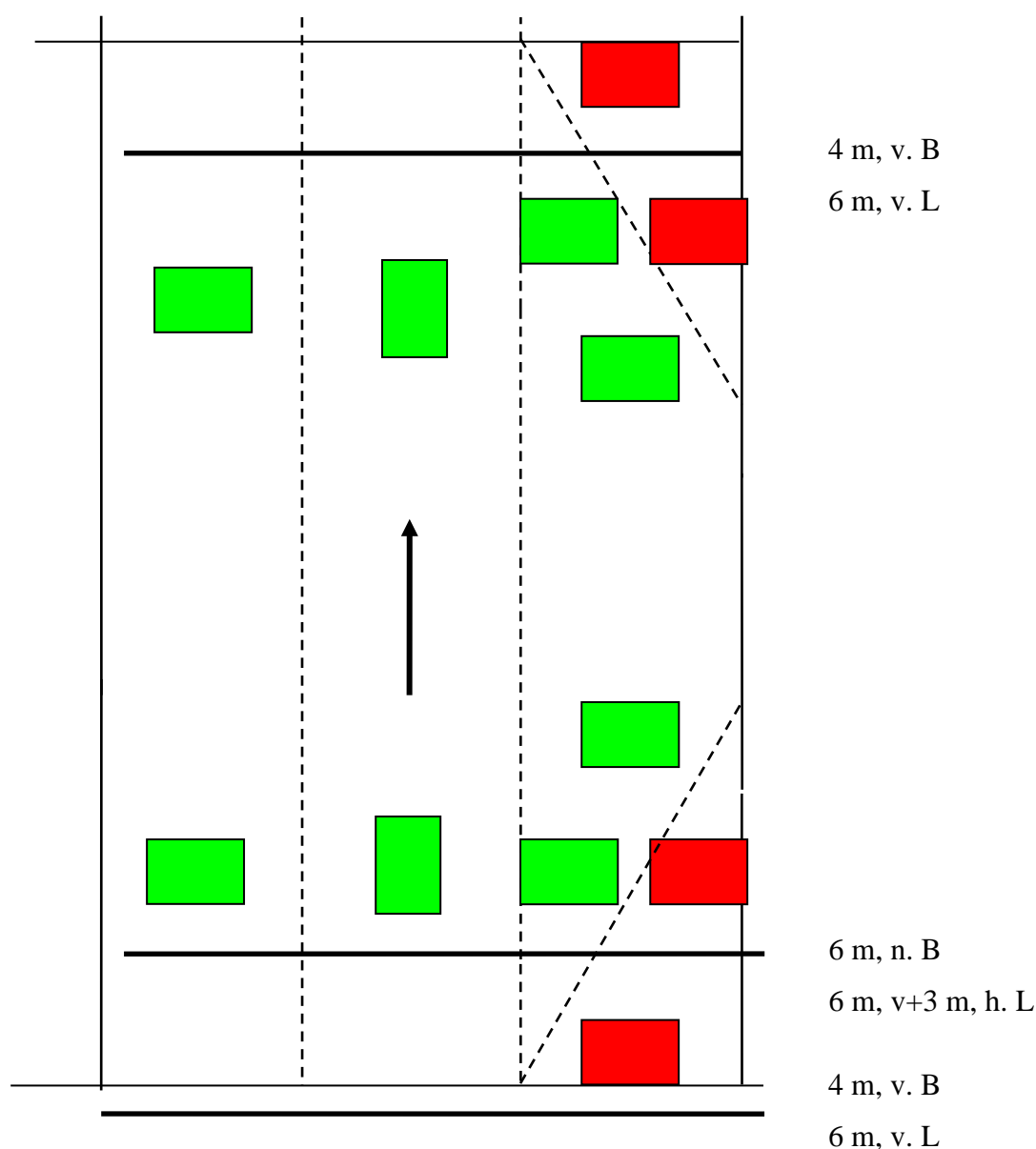
Testerna utvidgades sedan till att på samma sätt salta två körfält med fyra utlagda dukar, figur 9. Inställningarna var vid befuktat salt saltgiva $10 \text{ g}/\text{m}^2$, spridningsbredd 4,0 m och

symmetri vänster och vid saltlösning saltgiva 15 g/m^2 , spridningsbredd 6,0 m och symmetrin vänster.

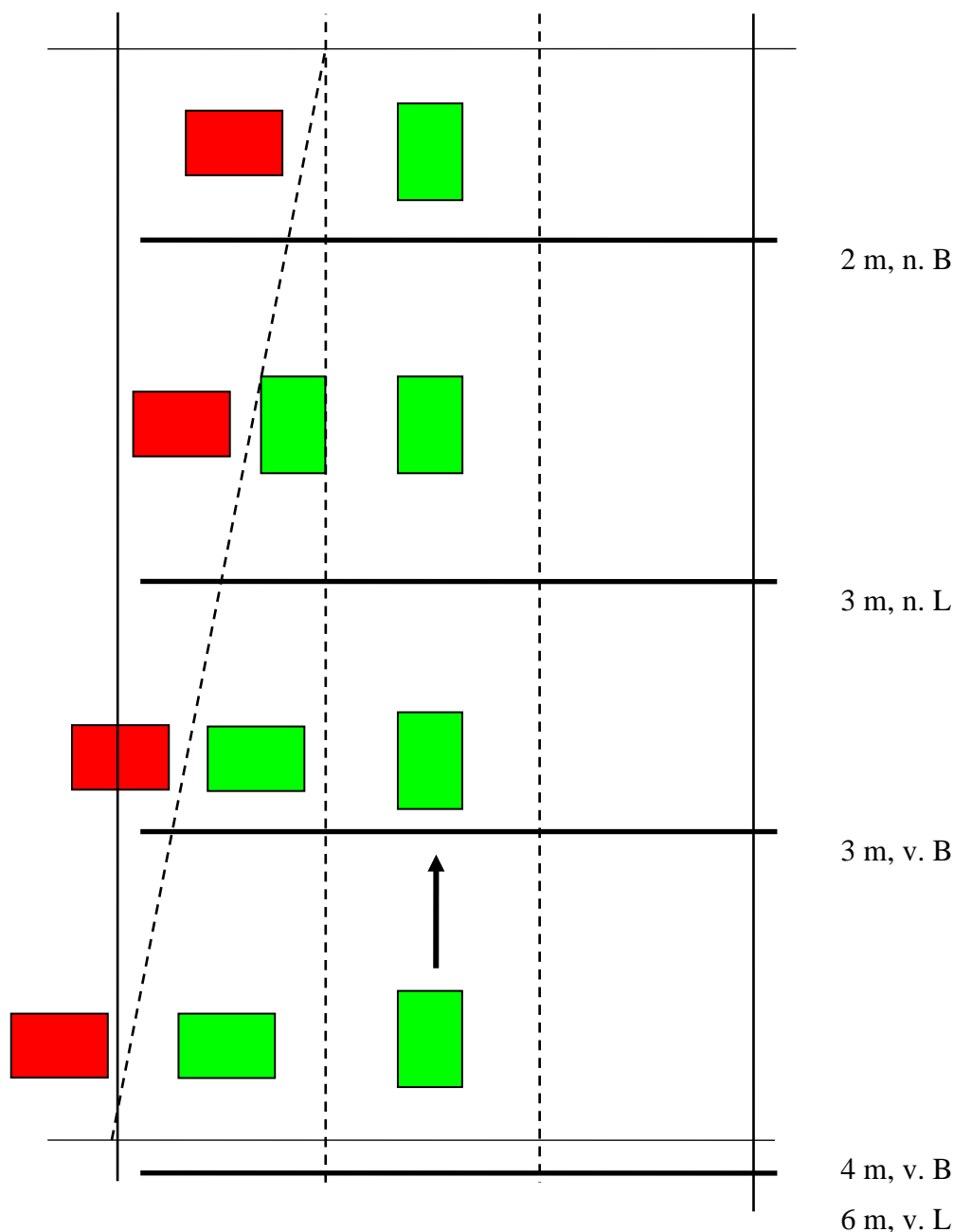
Slutligen saltades på samma sätt två körfält och bussfickan med fem utlagda dukar, figur 10. Inställningarna var vid befuktat salt saltgiva 10 g/m^2 , spridningsbredd 6,0 m och symmetri neutral och vid saltlösning saltgiva 15 g/m^2 , spridningsbredd 6,0+3,0 m och symmetrin vänster + höger.

Enligt samma försöksschema gjordes därefter de tester i längdled där omställning av spridningsbredd och symmetri skedde med hjälp av GPS. Först på två körfält och bussficka med 12 utlagda dukar och till sist på avsmalningen med övergång från två till ett körfält med 11 dukar.

Inställningar av spridningsbredd och symmetri vid de två testerna i längdled redovisas i figur 13 och 14. Befuktat salt förkortas B och saltlösning L och v, h och n står för symmetrierna vänster, höger och neutral.



Figur 13 Inställning av spridningsbredd och symmetri vid test i längdled. Saltning av två körfält och bussficka med GPS-styrning.



Figur 14 Inställning av spridningsbredd och symmetri vid test i längdled. Saltning av övergång från två och ett körfält med GPS-styrning.

Sammanlagt användes $(3 + 4 + 5) \cdot 4 + 12 \cdot 4 + 11 \cdot 4 = 140$ dukar vid testerna.

Under testerna mättes de faktiska hastigheterna vid varje överfart. De sammanföll väl med de planerade.

Under testdagen den 17 juni 2010 var vädret soligt och vackert. På morgonen var lufttemperaturen $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ och på kvällen $+23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Den relativa luftfuktigheten varierade mellan 70 % på morgonen och 40 % på kvällen. Vinden var svag men byig, i medeltal var vindhastigheten 0,7 m/s, och varierade mellan 0,3 och 1,5 m/s mätt som medeltal över 10 min. Den kom oftast från nord eller nordost.

På grund av det soliga och varma vädret skedde en viss avdunstning från dukarna vilket märktes genom att de dukar, där inget salt skulle hamna, ibland minskade i vikt mellan

utläggning och intagning. Minskningen låg i medeltal på ca 2,5 g, men ibland uppgick den till 4–5 g. Inget försök har gjorts att kompensera för avdunstningen.

Densiteten på den saltlösning som användes mättes upp. Den var 1,18 kg/dm³, vilket motsvarar en salthalt på knappt 24 %. Det innebär att saltlösningen var mättad. Kornkurvan på torrsaltet har inte fastsällts men utseendemässigt liknar det ett normalt vägsalt.

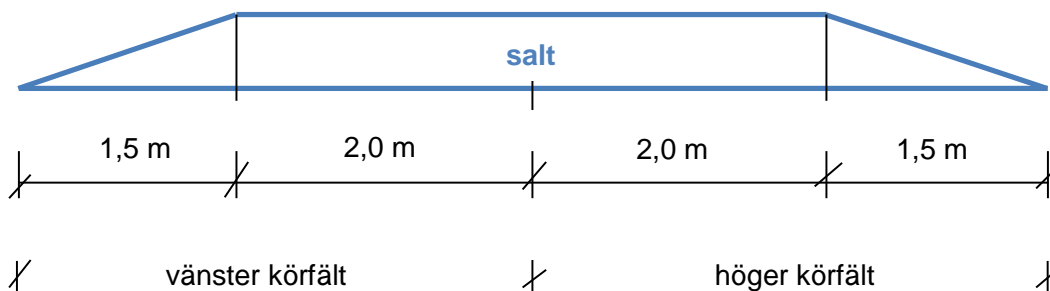
Testbanan låg i stort sett i nord-sydlig riktning och kördes från norr mot söder. Den var i körriktningen placerad i en svag vänsterkurva, med enkelsidigt tvärfall, och i svag uppforsbacke. Banan avvägdes för att beräkna lutningarna som var ungefär 3 % i både tvärled och längdled.

6 Resultat

6.1 Test i tvärled

I figurerna på kommande sidor redovisas uppmätt och avsedd mängd befuktat salt eller saltlösning på respektive duk. Korrigering har gjorts av avsedd mängd befuktat salt med hänsyn till spridningsbilden, se figur 15.

Figuren visar en väg med trafikerad bredd på 7,0 m där spridningsbredden är 4,0 m. Vi har förutsatt att befuktat salt studsar och rullar vid spridningen så att det täcker hela den trafikerade bredden.



Figur 15 Förutsatt saltfördelning vid spridning av befuktat salt.

Med hjälp av figur 15 kan man räkna ut att saltet fördelas med ca 73 % av den utlagda givan inom spridningsbredden 4,0 m och med ca 14 % på ömse sidor om denna.

Eftersom saltgivan är 10 och 15 g/m² för befuktat salt respektive saltlösning, dukarna har måtten 1,0 x 1,5 m och 3 överfarter görs så uppgår saltmängden vid full saltgiva till följande.

Befuktat salt: $0,73 \cdot 10 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 3 = 32,9 \text{ g}$

Saltlösning: $15 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 3 = 67,5 \text{ g}$

Pilarna i figur 16 och framåt markerar det körfält där saltbilen kör.

Redovisning och analys är uppdelad i tre delar:

- Saltning av ett körfält

Om saltspridningen är ideal ska duken markerad med grön färg få full saltgiva och dukar med röd färg inget salt alls. Se figur 8 och tabell 5.

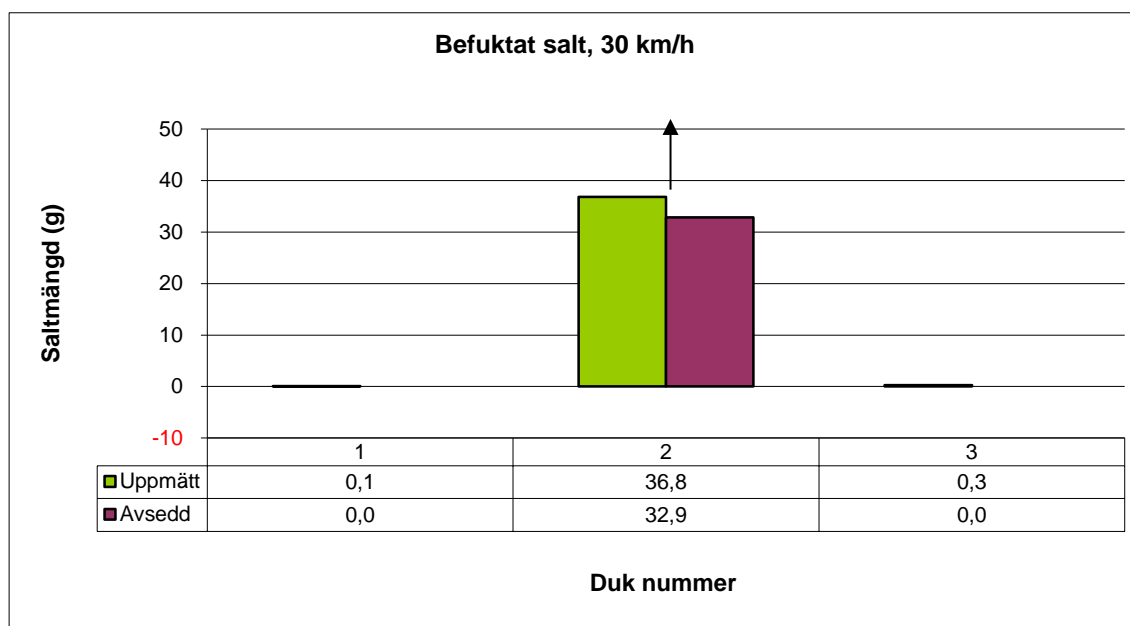
- Saltning av två körfält

Om saltspridningen är ideal ska dukar markerade med grön färg få full saltgiva och dukar med röd färg inget salt alls vid spridning av saltlösning. Vid användning av befuktat salt ska de gröna dukarna få full eller nästan full saltgiva, beroende på spridningsbilden, och de röda inget salt alls. Se figur 9 och tabell 5.

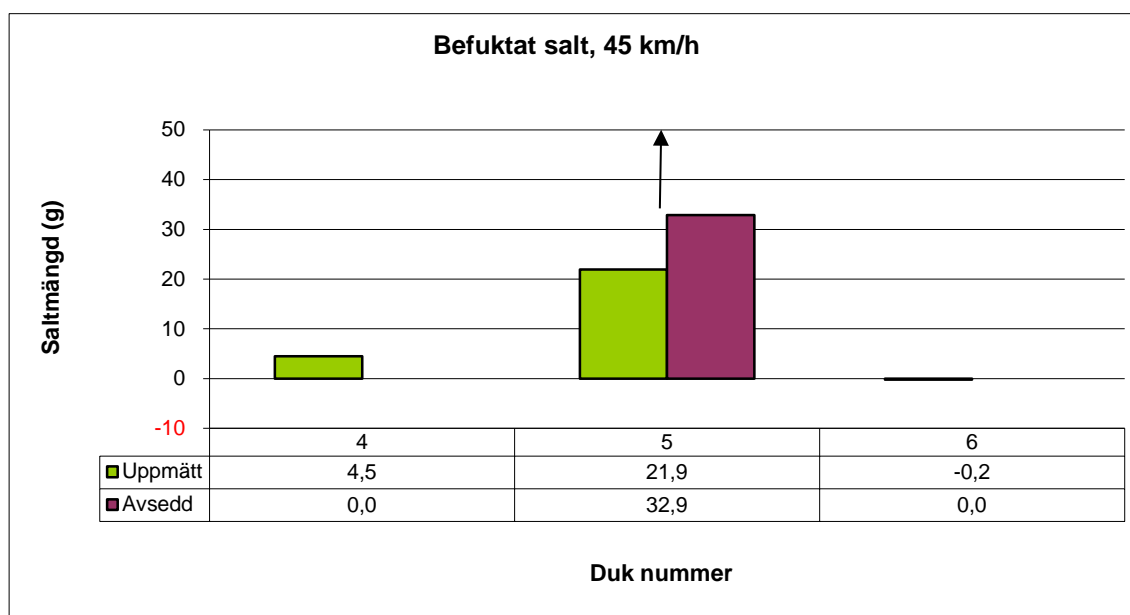
- Saltning av två körfält och bussficka

Om saltspridningen är ideal ska dukar markerade med grönt få full saltgiva och dukar med rött inget salt alls vid spridning av saltlösning. Vid användning av befuktat salt ska de gröna dukarna, utom den i körfältet där saltbilen kör, få mindre än full saltgiva, beroende på den spridningsbilden, och de röda inget salt alls. Se figur 10 och tabell 5.

6.1.1 Saltning av ett körfält utan omställning av saltspridaren



Figur 16 Test i tvärled. Saltning av ett körfält utan omställning av saltspridaren. Befuktat salt, 30 km/h.

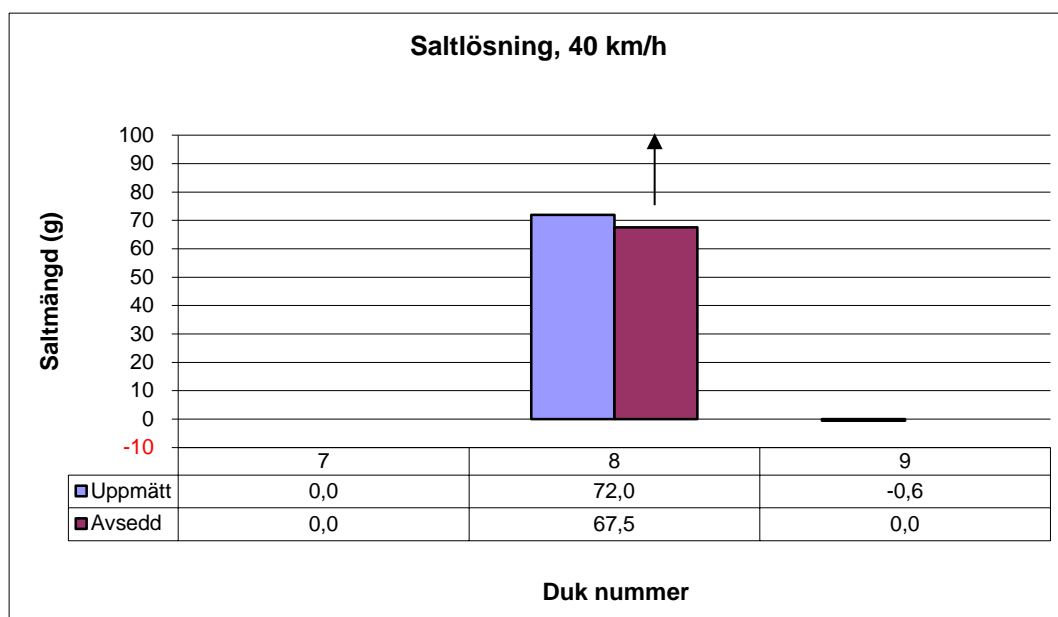


Figur 17 Test i tvärled. Saltning av ett körfält utan omställning av saltspridaren. Befuktat salt, 45 km/h.

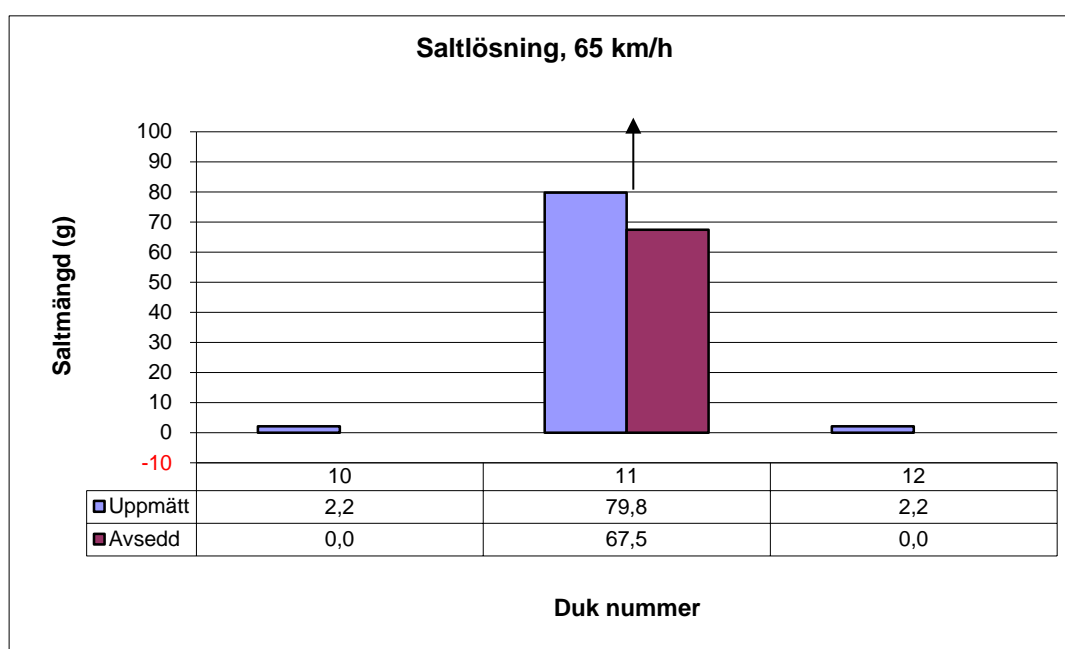
Analys. Vid saltning med befuktat salt av ett körfält i 30 km/h hamnade ca 110 % av den avsedda saltmängden på körfältet och i 45 km/h ca 65 %.

Endast obetydliga mängder hamnade utanför körfältet.

För duk nr. 6 i figur 17 märks avdunstningen från dukarna eftersom dukens vikt minskat med 0,2 g mellan utläggning och intagning. Ännu större avdunstning kan noteras i t.ex. figur 20 och 21.



Figur 18 Test i tvärläda. Saltning av ett körfält utan omställning av saltspridaren. Saltlösning, 40 km/h.



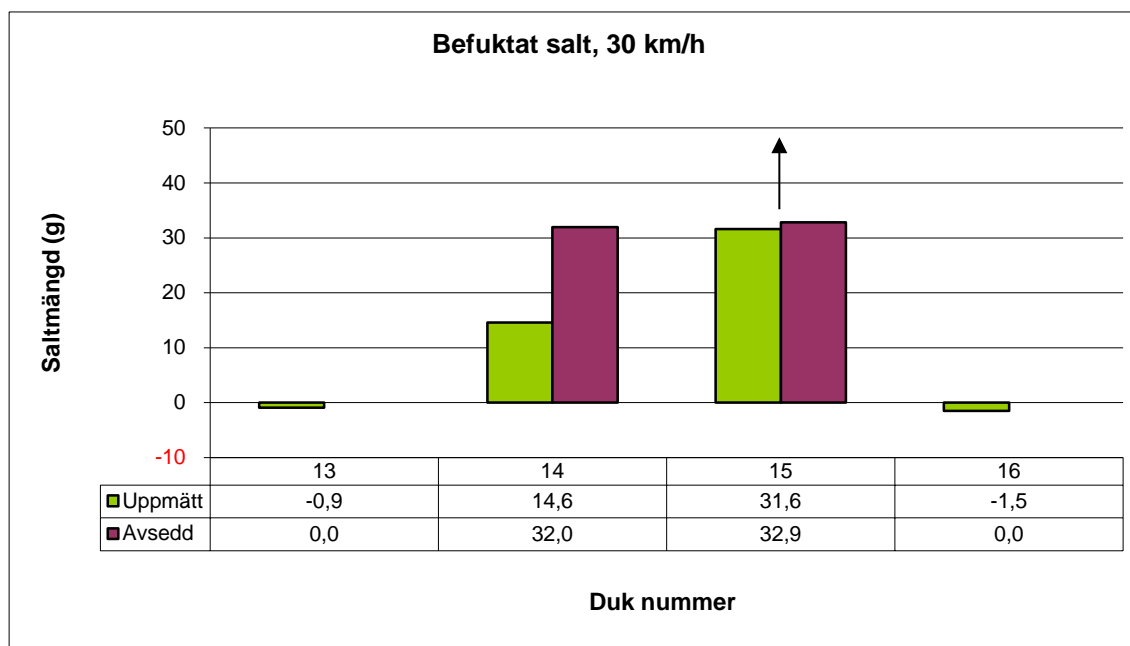
Figur 19 Test i tvärläda. Saltning av ett körfält utan omställning av saltspridaren. Saltlösning, 65 km/h.

Analys. Vid saltning med saltlösning av ett körfält i 40 km/h hamnade ungefär den avsedda saltmängden på körfältet.

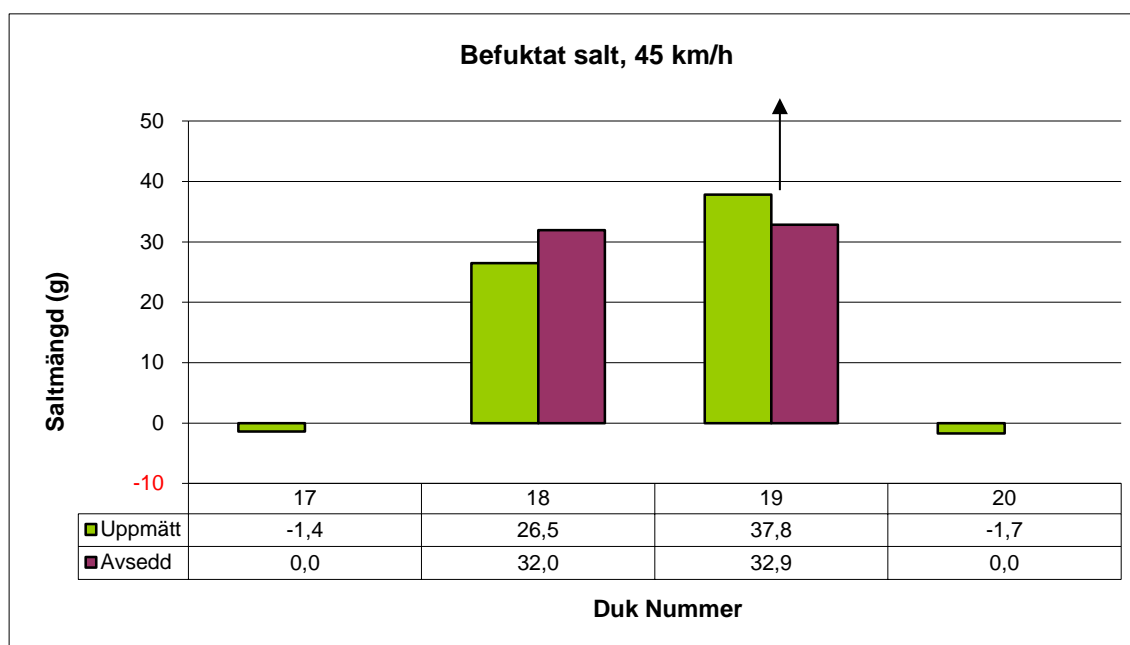
I 65 km/h hamnade ca 20 % mer än avsett på körfältet.

Endast obetydliga mängder hamnade utanför körfältet.

6.1.2 Saltning av två körfält utan omställning av saltspridaren



Figur 20 Test i tvärled. Saltning av två körfält utan omställning av saltspridaren. Befuktat salt, 30 km/h.

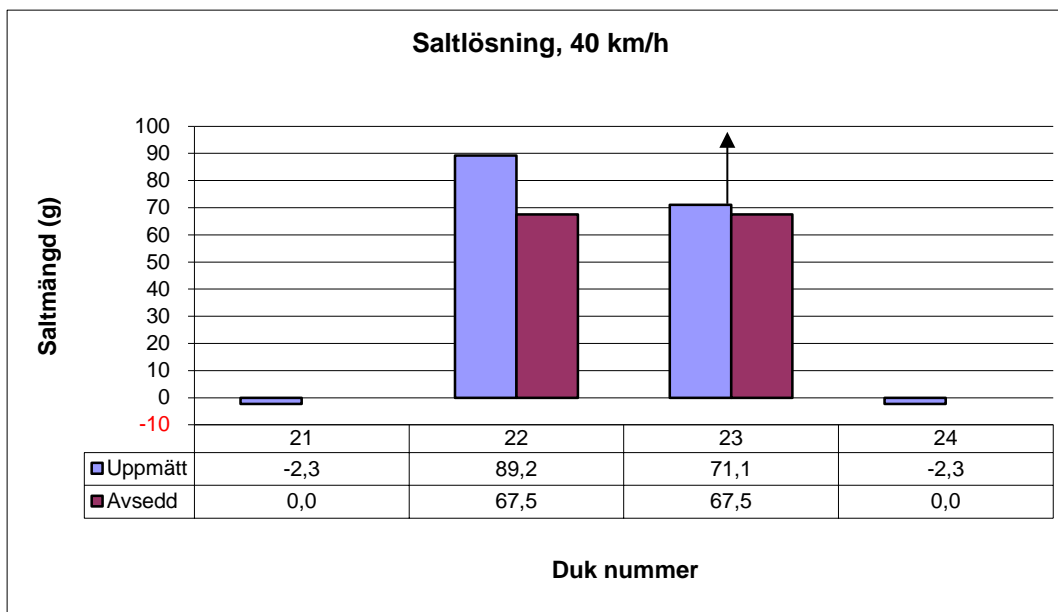


Figur 21 Test i tvärled. Saltning av två körfält utan omställning av saltspridaren. Befuktat salt, 45 km/h.

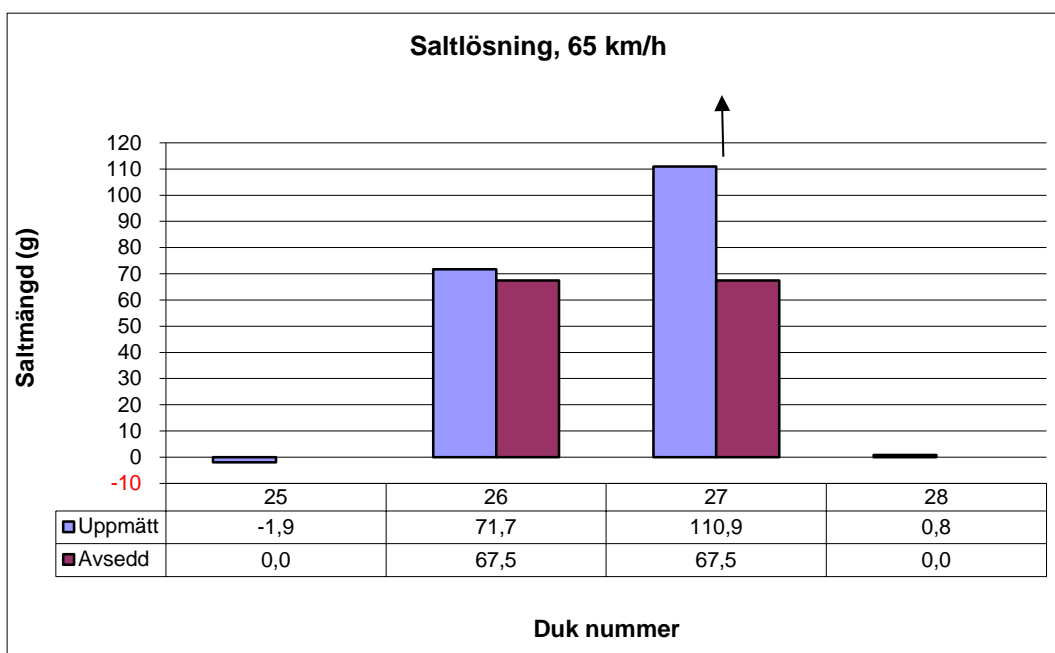
Analys. Vid saltning med befuktat salt av två körfält i 30 km/h hamnade ca 95 % av den avsedda saltmängden på det körfält där saltbilen körde och ca 45 % på det vänstra körfältet.

I 45 km/h är motsvarande andelar ca 115 % respektive ca 85 %.

Inget salt hamnade utanför körfälten.



Figur 22 Test i tvärlädd. Saltning av två körfält utan omställning av saltspridaren. Saltlösning, 40 km/h.



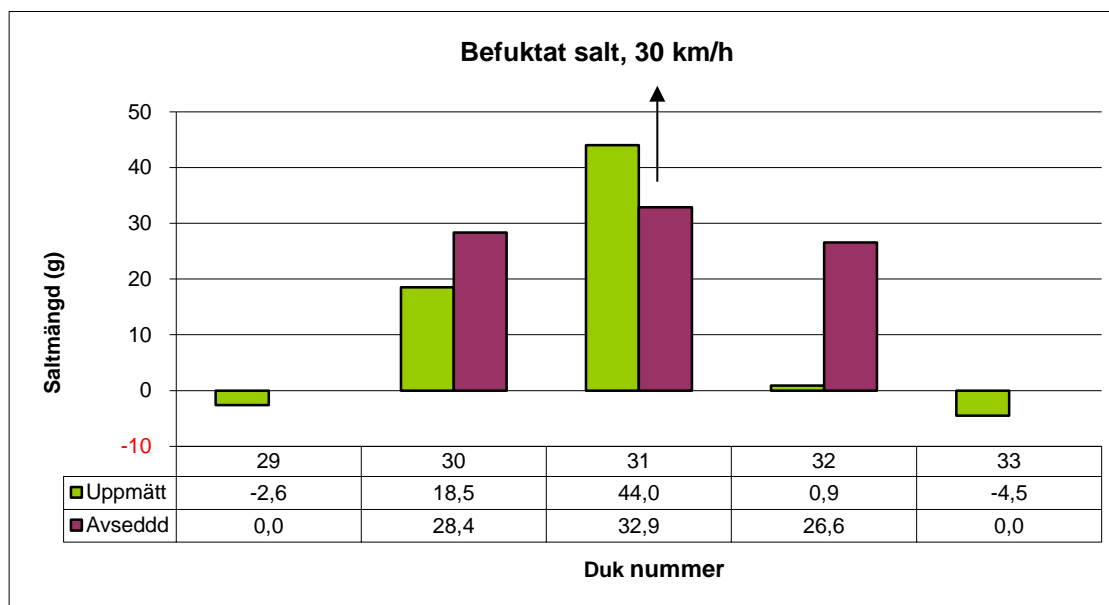
Figur 23 Test i tvärlädd. Saltning av två körfält utan omställning av saltspridaren. Saltlösning, 65 km/h.

Analys. Vid saltning med saltlösning av två körfält i 40 km/h hamnade ungefär avsedd mängd salt på det körfält där saltbilen körde och ca 30 % mer än avsett på det vänstra körfältet.

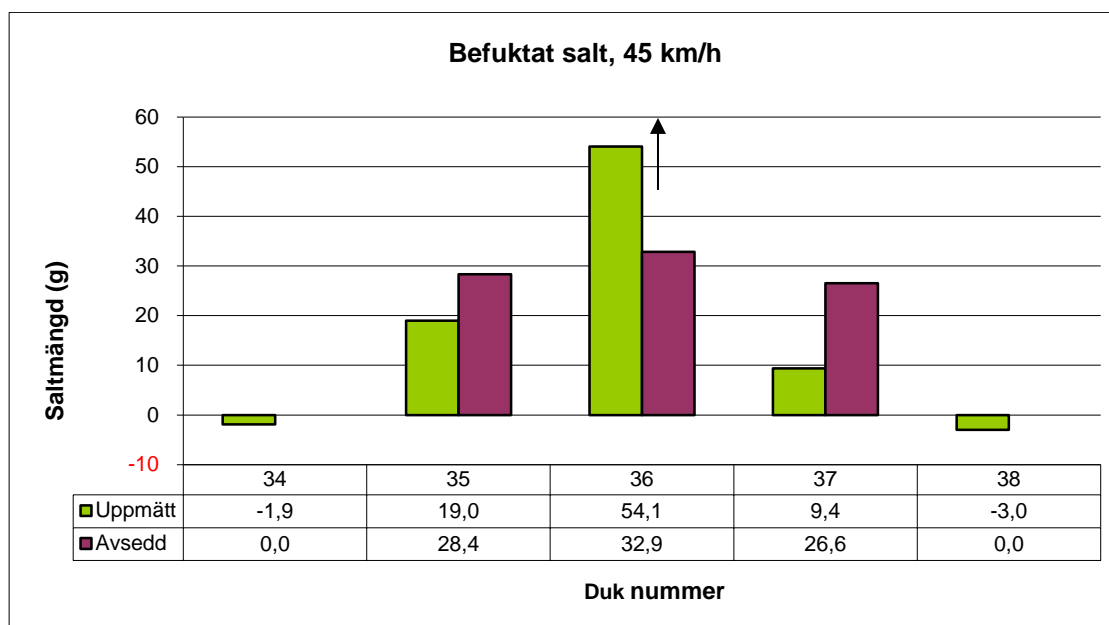
I 65 km/h är motsvarande utfall ca 65 % mer respektive ungefär avsedd mängd.

Inget salt hamnade utanför körfälten.

6.1.3 Saltning av två körfält och bussficka utan omställning av saltspridaren



Figur 24 Test i tvärled. Saltning av två körfält och bussficka utan omställning av saltspridaren. Befuktat salt, 30 km/h.

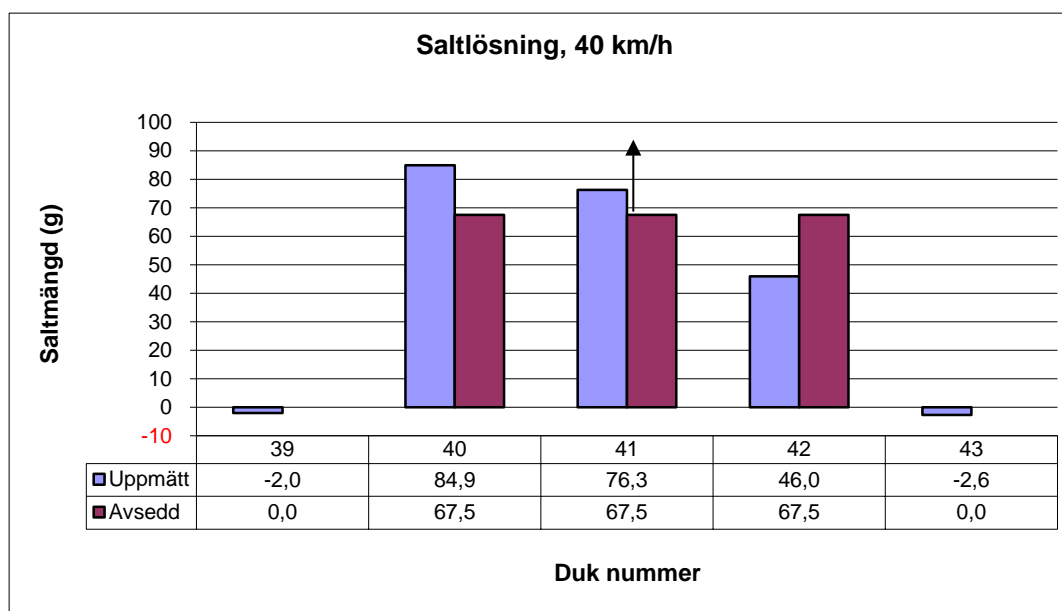


Figur 25 Test i tvärled. Saltning av två körfält och bussficka utan omställning av saltspridaren. Befuktat salt, 45 km/h.

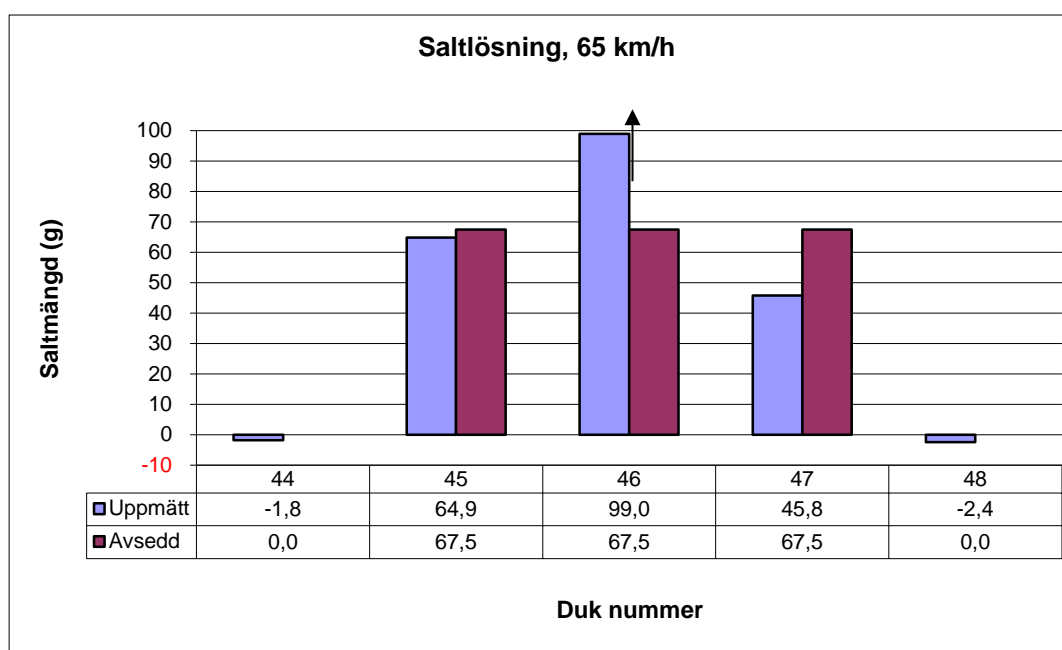
Analys. Vid saltning med befuktat salt av två körfält och bussficka i 30 km/h hamnade ca 135 % av den avsedda saltmängden på det körfält där saltbilen körde och ungefär ca 65 % på det vänstra körfältet. På bussfickan hamnade i princip inget salt.

I 45 km/h hamnade ca 165 % av avsedd saltmängd på det körfält där saltbilen körde och ca 65 % på det vänstra körfältet. På bussfickan hamnade ca 35 % av avsedd mängd salt.

Inget salt hamnade utanför körfälten och bussfickan.



Figur 26 Test i tvärled. Saltning av två körfält och bussficka utan omställning av saltspridaren. Saltlösning, 40 km/h.



Figur 27 Test i tvärled. Saltning av två körfält och bussficka utan omställning av saltspridaren. Saltlösning, 65 km/h.

Analys. Vid saltning med saltlösning av två körfält och bussficka i 40 km/h hamnade ca 15 % mer än avsedd saltmängd på det körfält där saltbilen körde och ca 25 % mer än avsett på det vänstra körfältet. På bussfickan hamnade ca 70 % av avsedd saltmängd.

I 65 km/h hamnade ca 45 % mer än avsedd saltmängd på det körfält där saltbilen körde och ungefär avsedd mängd på det vänstra körfältet. På bussfickan hamnade ca 70 % av avsedd mängd salt.

Inget salt hamnade utanför körfälten och bussfickan.

6.2 Test i längdled

6.2.1 GPS-saltning av två körfält och bussficka

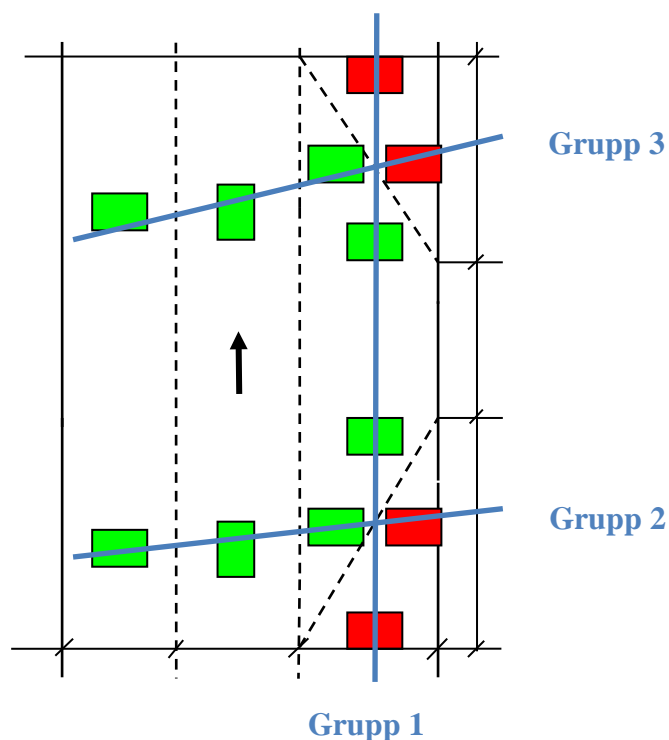
Med en *idealisk* GPS-styrning kan inställningar av spridningsbredd och symmetri ändras kontinuerligt så att saltet läggs ut anpassat efter varierande sektionsbredder. Idag har den tekniska utvecklingen dock bara nått så långt att omställningar kan göras stegvis, vilket naturligtvis begränsar spridningsresultatet. I framtiden är en saltspridare med kontinuerlig ändring av spridningsbredd och symmetri fullt tänkbar.

I detta projekt har vi valt att studera hur pass nära den *idealiska* saltutläggningen som dagens teknik kan komma.

Se också figur 13 som visar de omställningar av spridningsbredd och symmetri som använts för att så långt möjligt anpassa saltspridningen till den varierande sektionens ändringen.

I figurerna nedan redovisas uppmätt och avsedd mängd befuktat salt eller saltlösning på respektive duk. Korrigering har gjorts av avsedd mängd befuktat salt med hänsyn till spridningsbilden, se figur 15.

Eftersom så många som 12 dukar användes vid varje körning görs redovisning och analys för följande tre grupper av dukar. Se figur 28.



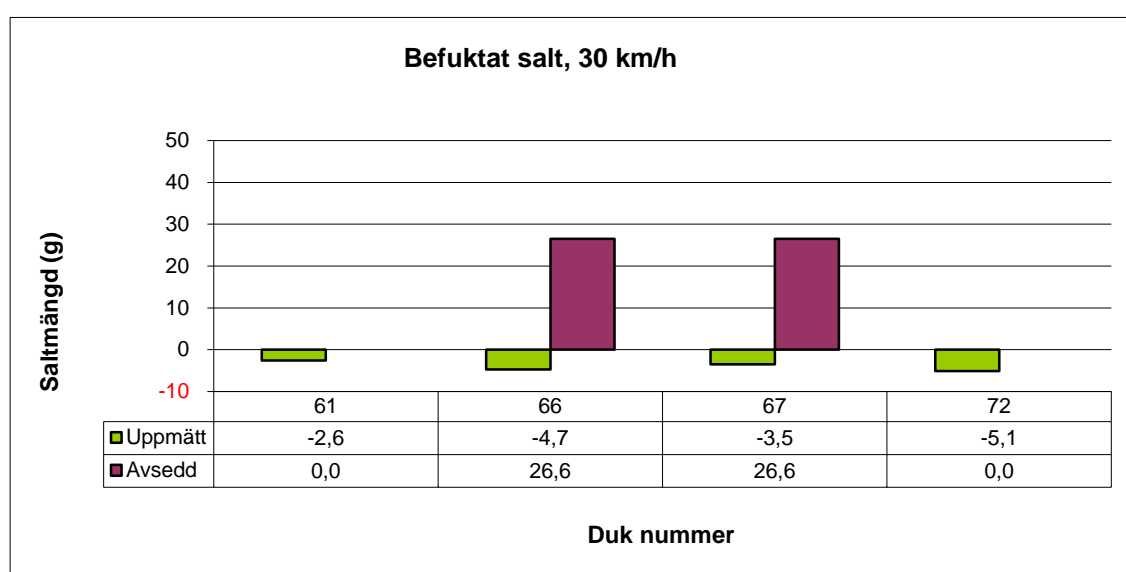
Figur 28 Indelning av dukar i tre grupper vid analys av saltning av två körfält och bussficka med GPS-styrning.

- Saltning av bussficka. Utanför bussfickan där den börjar, där fickan har fått full bredd, där fickan börjar återgå från full bredd och utanför fickan där den slutar. Denna grupp, som kallas grupp 1, består alltså av fyra dukar.

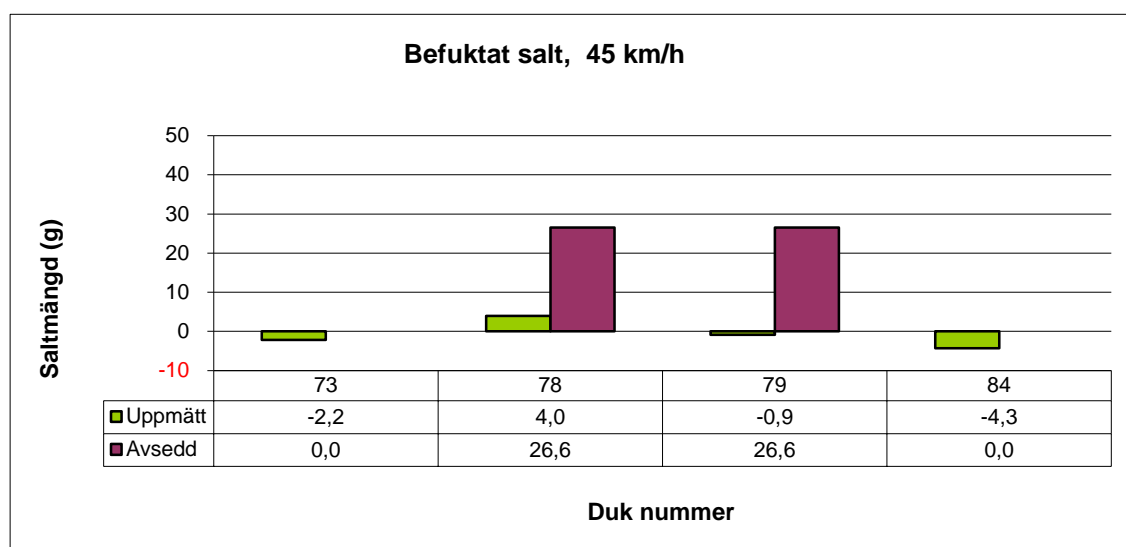
Första och sista röda duken på bussfickan bör, om saltningen är ideal, inte få något salt alls. Andra och tredje gröna duken bör få full saltgiva vid spridning av saltlösning och mindre än full saltgiva vid användning av befuktat salt, beroende på spridningsbilden.

- Saltning av två körfält och bussficka. Körfälten och bussfickan, där fickan har nått hälften av full bredd, samt en duk precis utanför fickan bildar en grupp. Körfälten och bussfickan, där fickan återgått till hälften av full bredd, samt en duk precis utanför fickan bildar en annan grupp. Dessa grupper, 2 och 3, består båda av fyra dukar.

De gröna dukarna på körfälten och bussfickan bör, om saltningen är ideal, få full saltgiva vid spridning av saltlösning. Vid användning av befuktat salt bör det körfält där saltbilen körde få full saltgiva medan körfältet till vänster bör få mindre än full saltgiva på grund av spridningsbilden. De gröna dukarna som ligger där fickan nått hälften av full bredd bör också få mindre än full saltgiva. De röda dukarna utanför fickan bör inte få något salt alls.



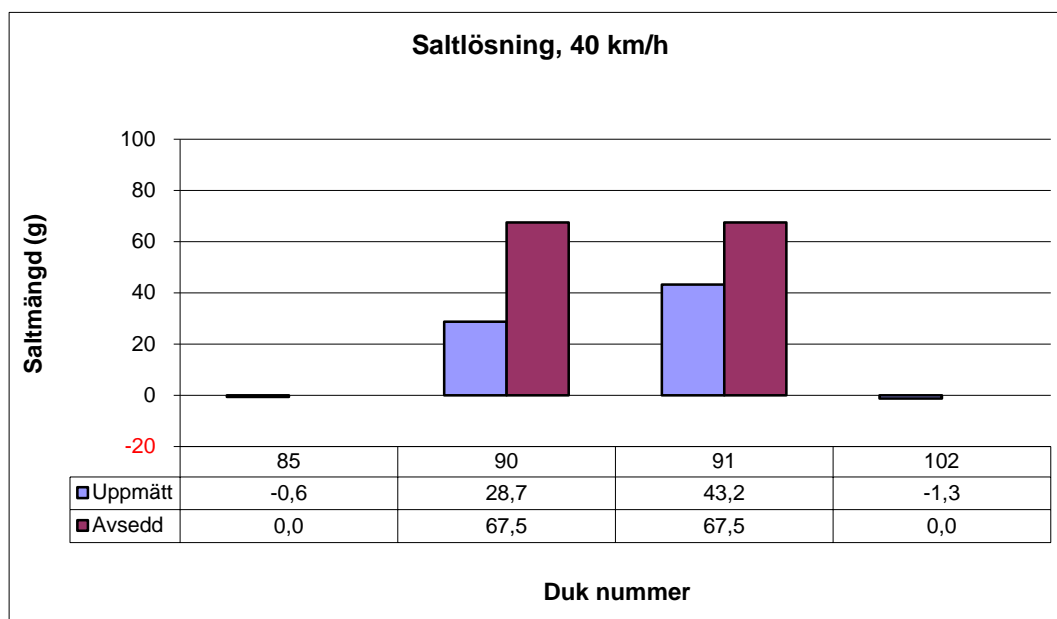
Figur 29 Test i längdled. Saltning av bussficka med GPS-styrning av saltspridaren. Grupp 1. Befuktat salt, 30 km/h.



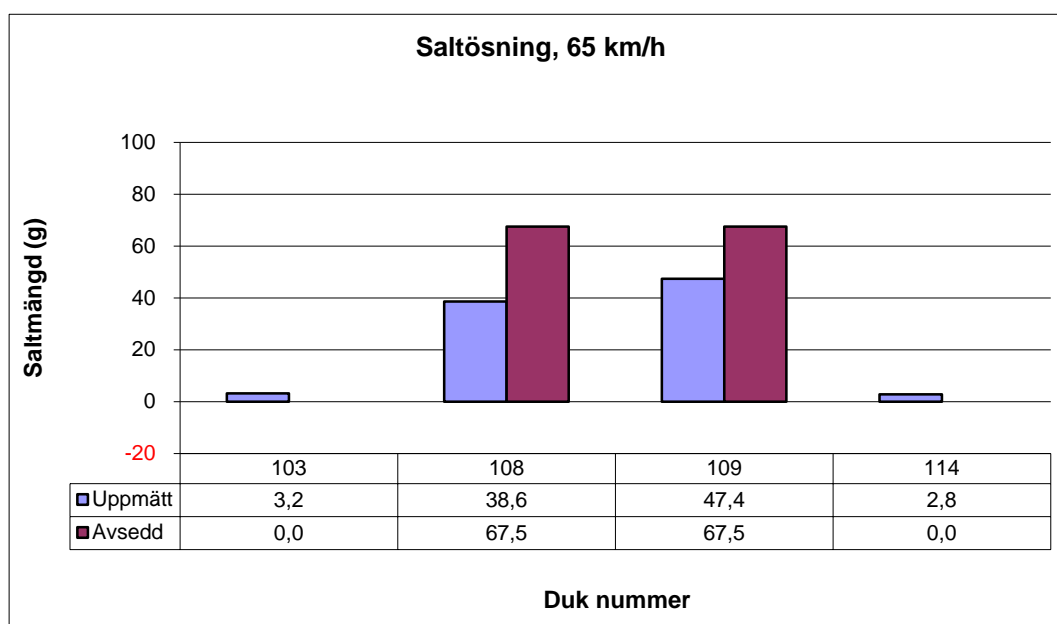
Figur 30 Test i längdled. Saltning av bussficka med GPS-styrning av saltspridaren. Grupp 1. Befuktat salt, 45 km/h.

Analys. Vid GPS-saltning med befuktat salt av bussficka i 30 och 45 km/h hamnade, med ett undantag, som gav ca 15 % av den avsedda saltmängden, inget salt alls på bussfickan.

Inte heller utanför fickan hamnade något salt.



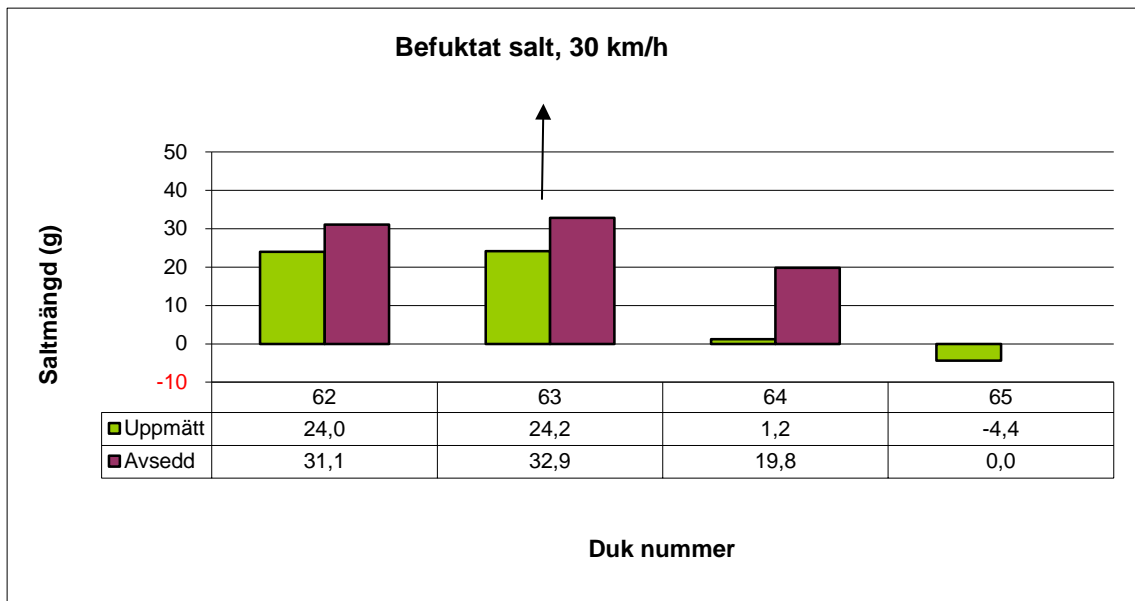
Figur 31 Test i längdled. Saltning av bussficka med GPS-styrning av saltspridaren. Grupp 1. Saltlösning, 40 km/h.



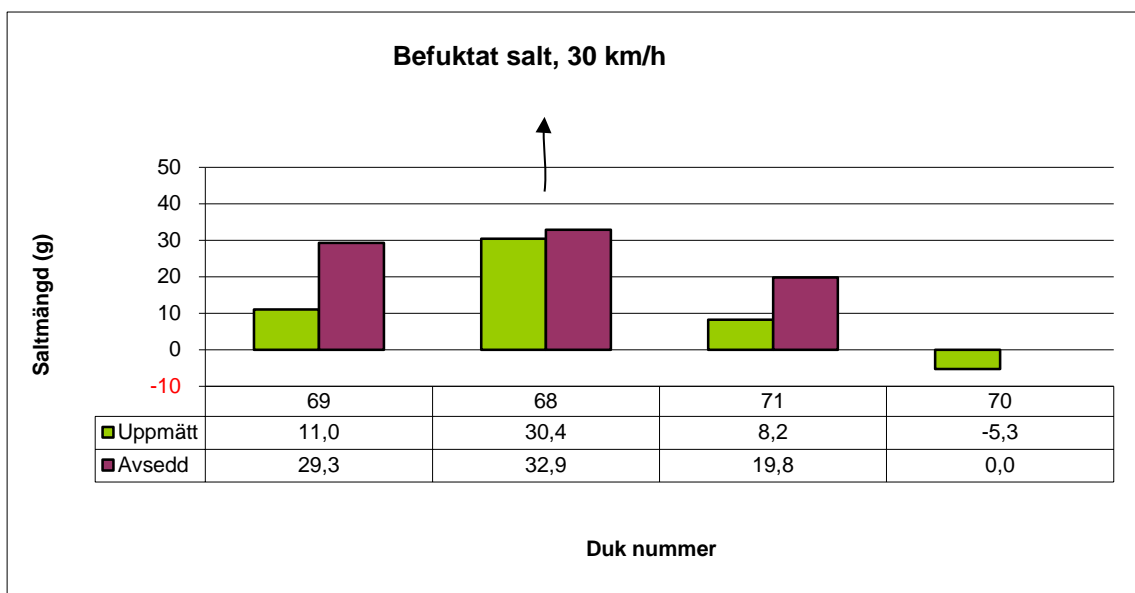
Figur 32 Test i längdled. Saltning av bussficka med GPS-styrning av saltspridaren. Grupp 1. Saltlösning, 65 km/h.

Analys. Vid GPS-saltning med saltlösning av bussficka i 40 och 65 km/h hamnade 45–65 % respektive 60–70 % av den avsedda saltmängden på bussfickan.

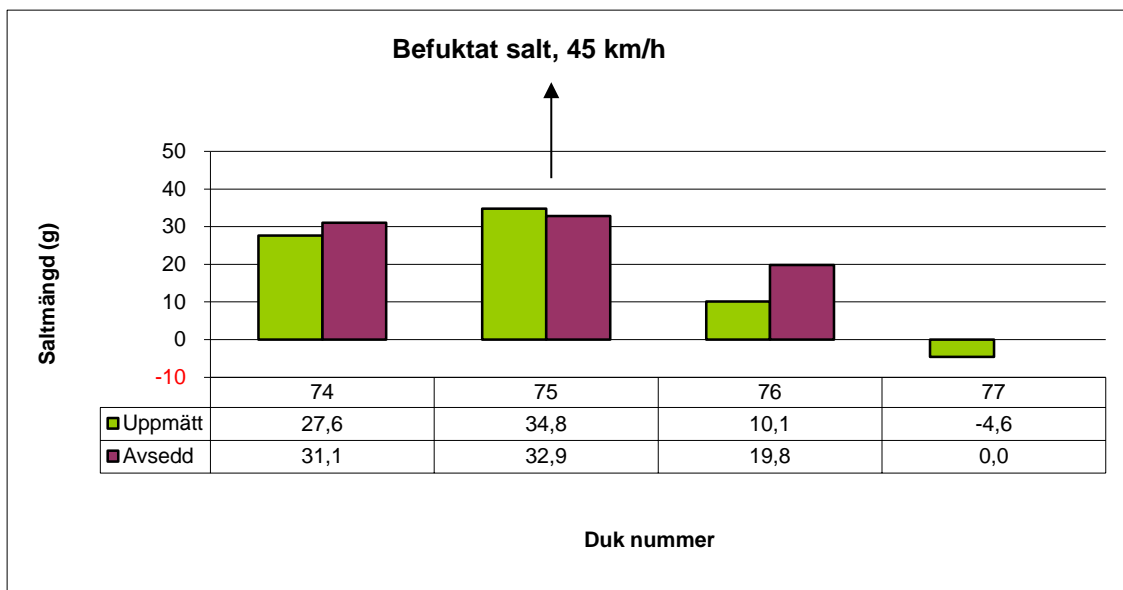
Endast obetydliga mängder hamnade utanför fickan.



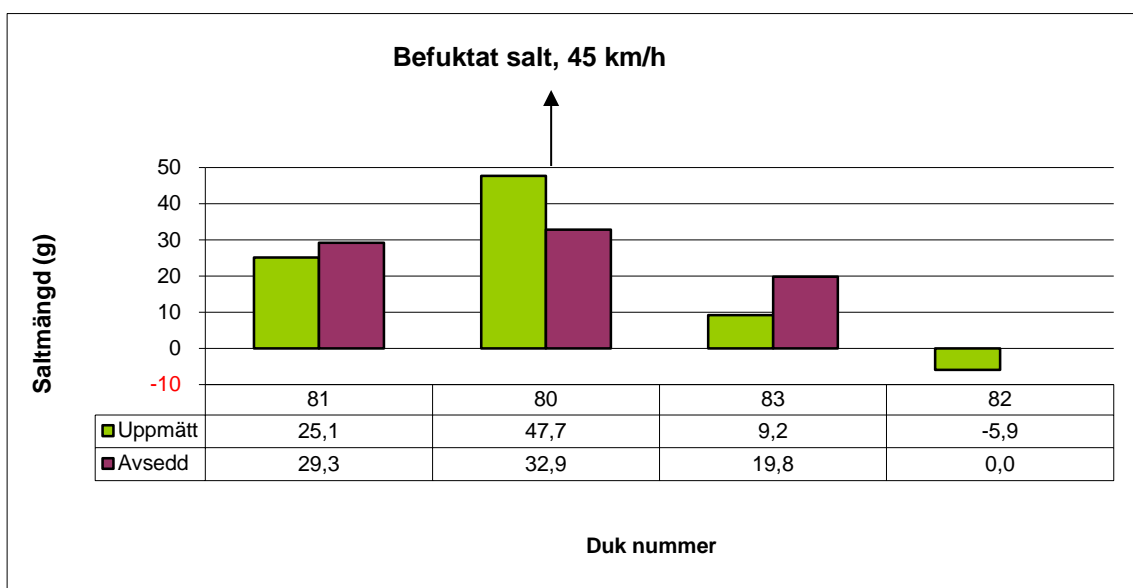
Figur 33 Test i längdled. Saltning av två körfält och bussficka med GPS-styrning av saltspridaren. Grupp 2. Befuktat salt, 30 km/h.



Figur 34 Test i längdled. Saltning av två körfält och bussficka med GPS-styrning av saltspridaren. Grupp 3. Befuktat salt, 30 km/h.



Figur 35 Test i längdled. Saltning av två körfält och bussficka med GPS-styrning av saltspredaren. Grupp 2. Befuktat salt, 45 km/h.

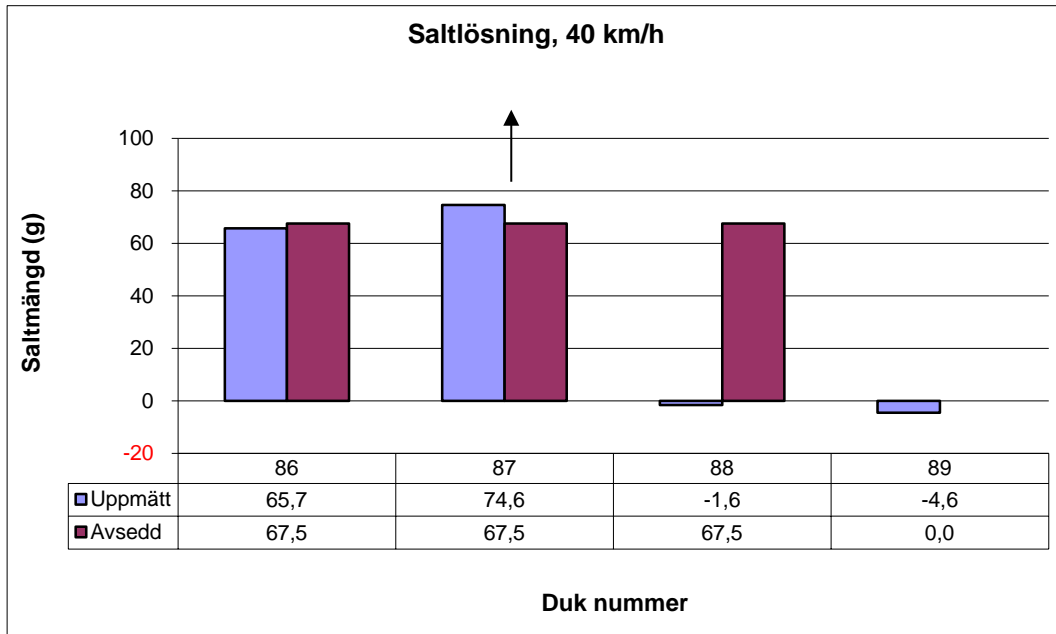


Figur 36 Test i längdled. Saltning av två körfält och bussficka med GPS-styrning av saltspredaren. Grupp 3. Befuktat salt, 45 km/h.

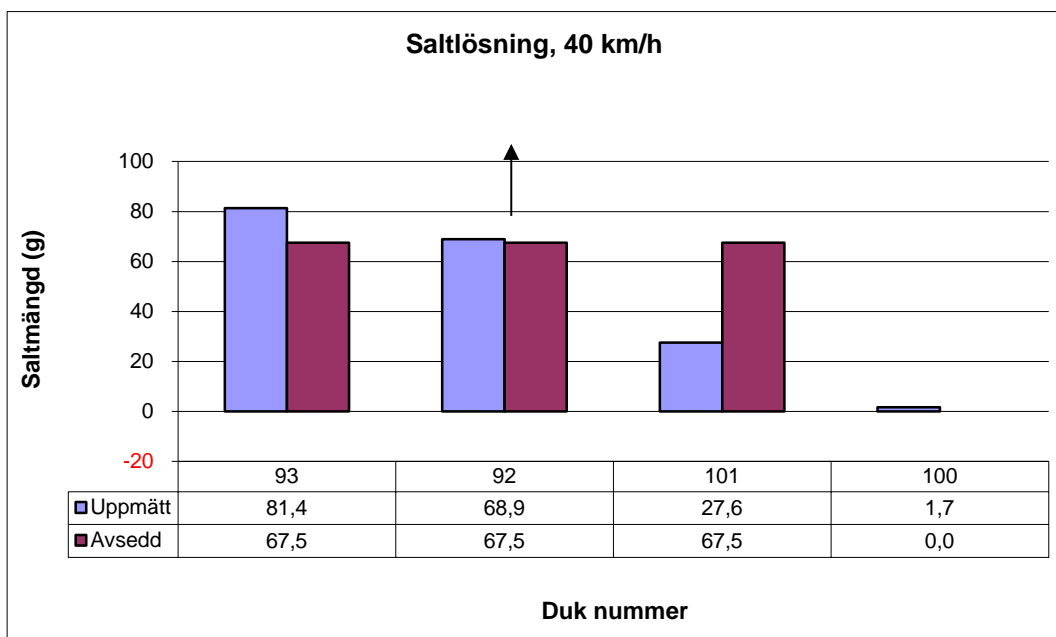
Analys. Vid GPS-saltning med befuktat salt av två körfält och bussficka i 30 km/h hamnade 75–90 % av den avsedda saltmängden på det körfält där saltbilen körde och 40–75 % på det vänstra körfältet. I 45 km/h är motsvarande saltmängder 105–145 % respektive 85–90 %.

På bussfickan hamnade i 30 km/h i ett fall ca 40 % av avsedd saltmängd och i ett fall, duk nr. 64, nästan inget salt alls. Denna senare saltmängd är dock underskattad beroende på att vinden tog tag i duken när den veks ihop. Denna mätning utgår därför. I 45 km/h hamnade ca 45–50 % av avsedd mängd på fickan.

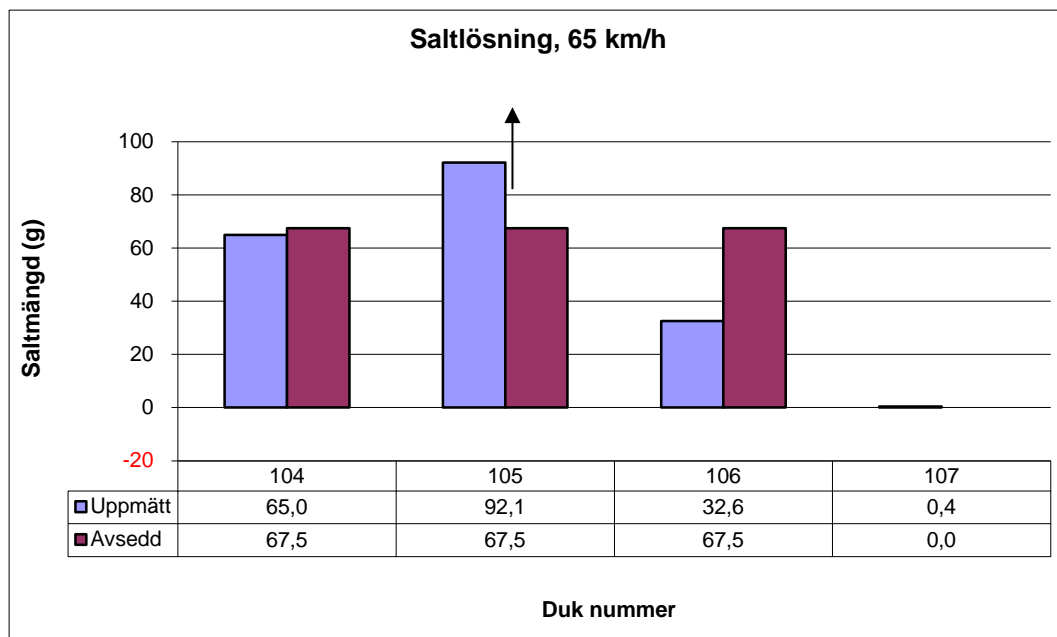
Utanför bussfickan hamnade inget salt.



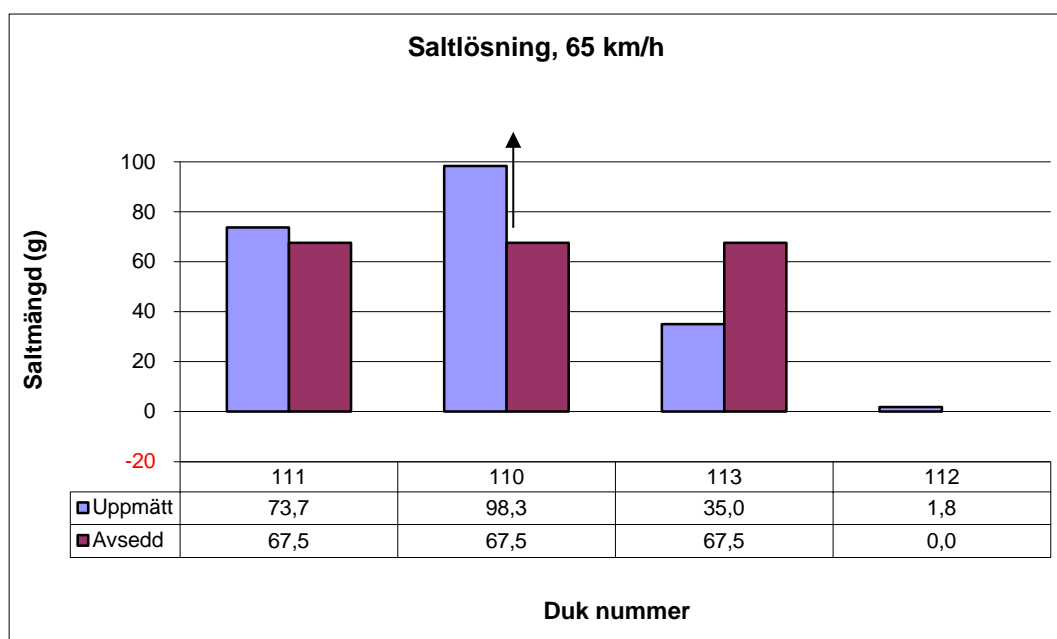
Figur 37 Test i längdled. Saltning av två körfält och bussficka med GPS-styrning av saltspredaren. Grupp 2. Saltlösning, 40 km/h.



Figur 38 Test i längdled. Saltning av två körfält och bussficka med GPS-styrning av saltspredaren. Grupp 3. Saltlösning, 40 km/h.



Figur 39 Test i längdled. Saltning av två körfält och bussficka med GPS-styrning av saltspredaren. Grupp 2. Saltlösning, 65 km/h.



Figur 40 Test i längdled. Saltning av två körfält och bussficka med GPS-styrning av saltspredaren. Grupp 3. Saltlösning, 65 km/h.

Analys. Vid GPS-saltning med saltlösning av två körfält och bussficka i 40 km/h hamnade något mer än avsedd saltmängd på det körfält där saltbilen kör och avsedd mängd respektive 20 % mer än avsett på det vänstra körfältet. I 65 km/h är motsvarande saltmängder 35–45 % mer än avsett respektive något mer än avsedd saltmängd.

På bussfickan hamnade, i tre fall av fyra, 40–50 % av avsedd mängd och i ett fall inget salt alls.

Utanför bussfickan hamnade i princip inget salt.

6.2.2 GPS-saltning av avsmalning från två körfält till ett

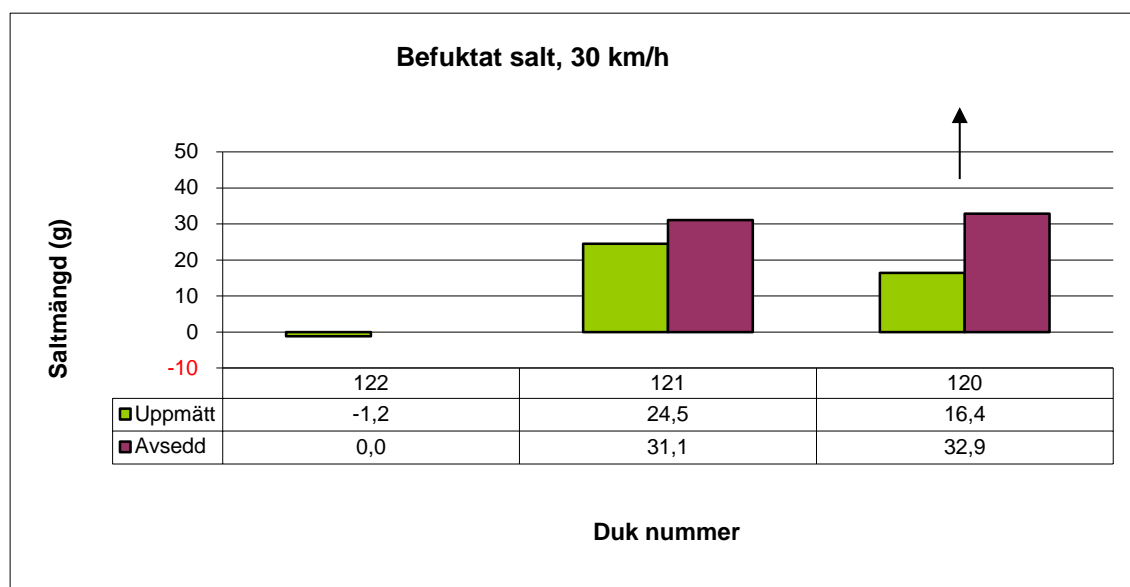
Även i detta fall har vi valt att studera hur pass nära den idealiska saltutläggningen som dagens GPS-teknik kan komma.

Se också figur 14 som visar de omställningar av spridningsbredd och symmetri som använts för att så långt möjligt anpassa saltspridningen till den avsmalnande sektionen.

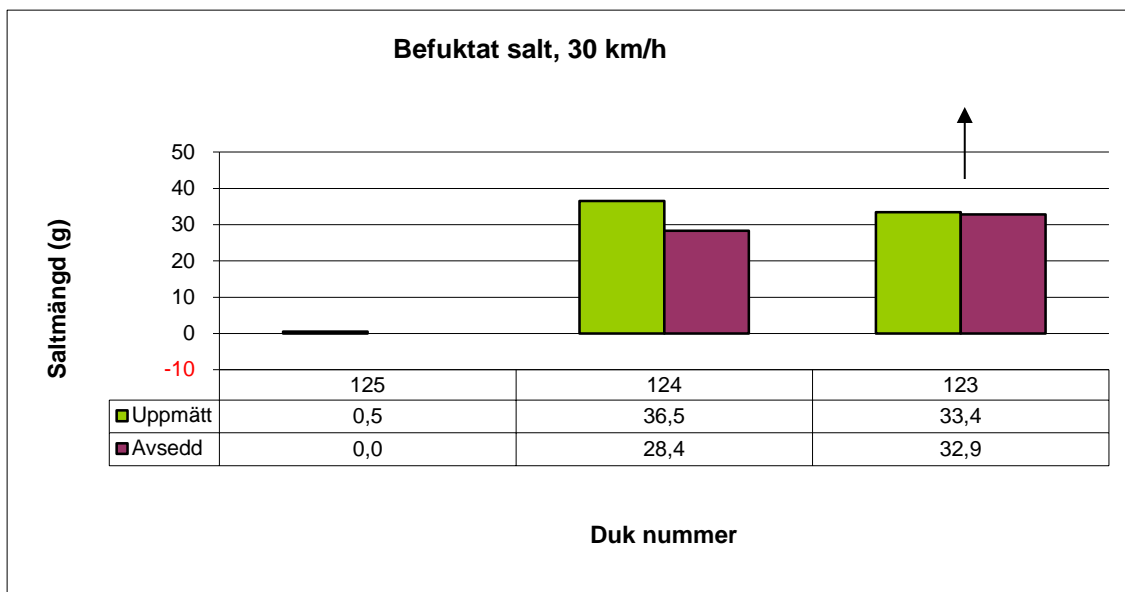
I figurerna nedan redovisas uppmätt och avsedd mängd befuktat salt eller saltlösning på respektive duk. Korrigering har gjorts av avsedd mängd befuktat salt med hänsyn till spridningsbilden.

På grund av att 11 dukar användes vid varje körning, se figur 12, redovisas resultat och analys för följande fyra grupper av dukar: I början av avsmalningen, ungefär $\frac{1}{3}$ in på avsmalningen, ungefär $\frac{2}{3}$ in på avsmalningen och i slutet av avsmalningen.

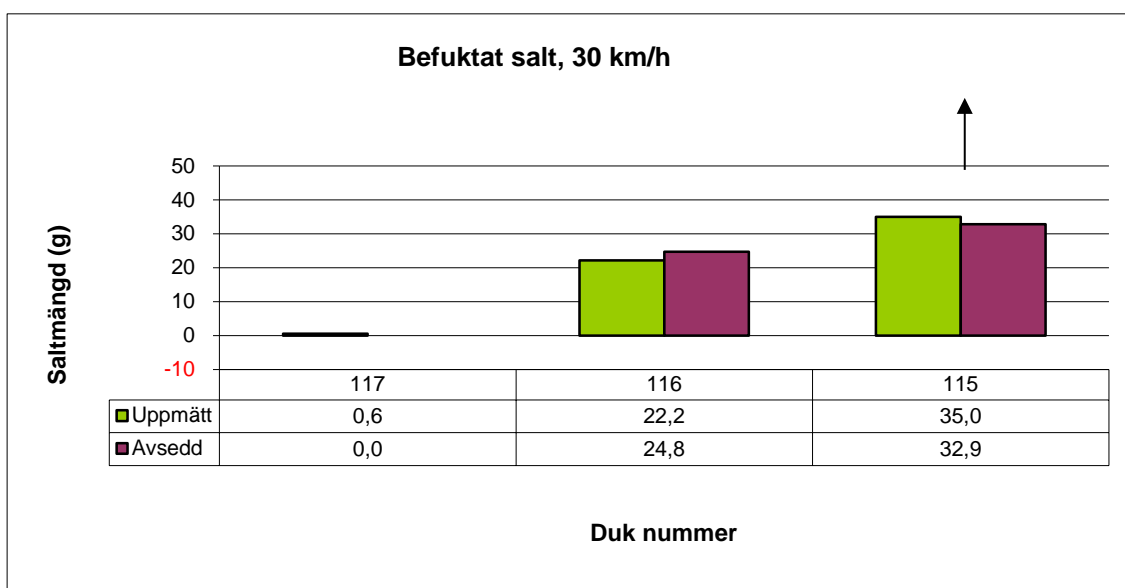
Om saltningen är ideal bör alla dukar på körfälten få full saltgiva om saltlösning sprids. Om befuktat salt används bör det körfält där saltbilen körde få full saltgiva och det avsmalnande körfältet mindre än full saltgiva på grund av spridningsbilden. De röda dukarna utanför det körfält som smalnade av bör inte få något salt alls.



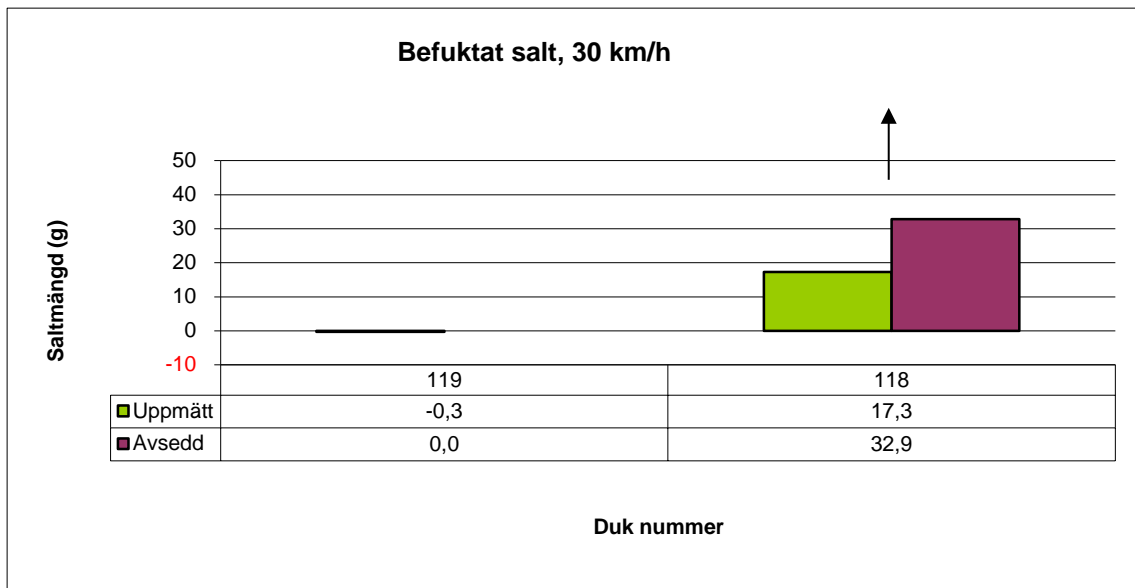
Figur 41 Test i längdled. Saltning av avsmalning från två till ett körfält med GPS-styrning av saltspridaren. I början på avsmalningen. Befuktat salt, 30 km/h.



Figur 42 Test i längdled. Saltning av avsmalning från två till ett körfält med GPS-styrning av saltspridaren. Ungefär $\frac{1}{3}$ in på avsmalningen. Befuktat salt, 30 km/h.



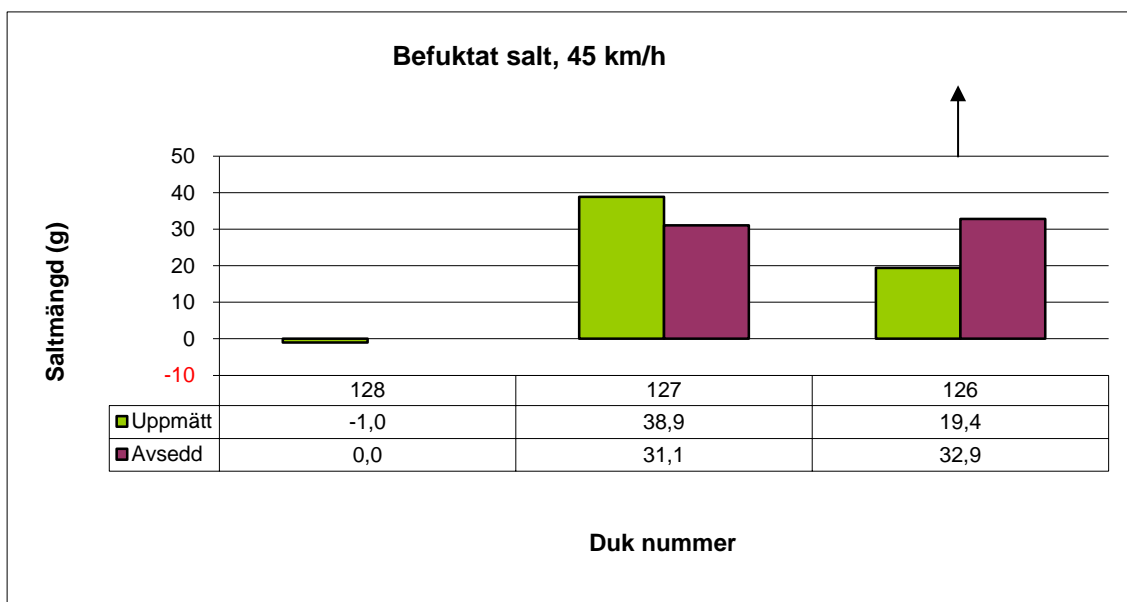
Figur 43 Test i längdled. Saltning av avsmalning från två till ett körfält med GPS-styrning av saltspridaren. Ungefär $\frac{2}{3}$ in på avsmalningen. Befuktat salt, 30 km/h.



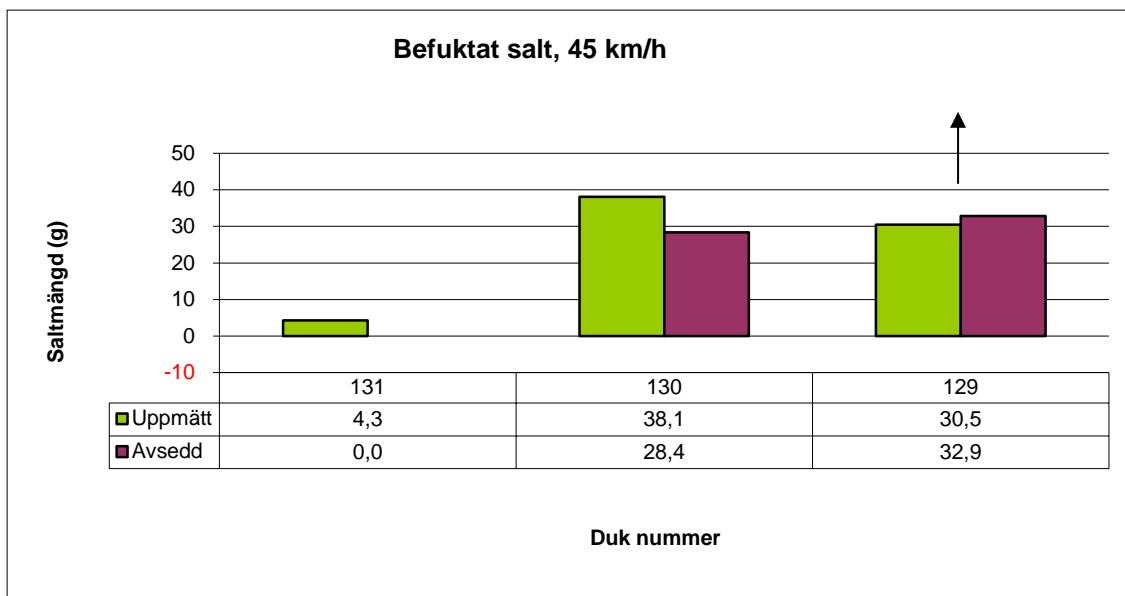
Figur 44 Test i längdled. Saltning av avsmalning från två till ett körfält med GPS-styrning av saltspridaren. I slutet av avsmalningen. Befuktat salt, 30 km/h.

Analys. Vid GPS-saltning med befuktat salt av avsmalning från två till ett körfält i 30 km/h hamnade, på de fyra platserna, följande saltmängder. Ungefär 50, 100, 105 respektive 55 % av avsedd saltmängd på det körfält där saltbilen körde och ca 80, 130 respektive 90 % av avsedd saltmängd på det avsmalnande körfältet.

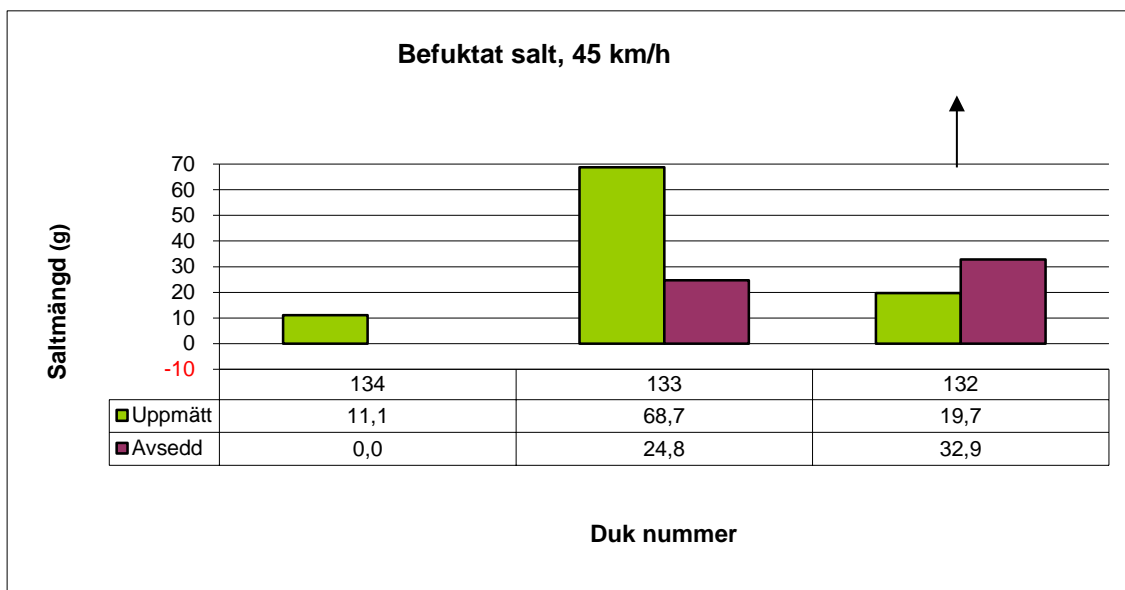
Till vänster om det körfält som smalnade av hamnade i princip inget salt alls.



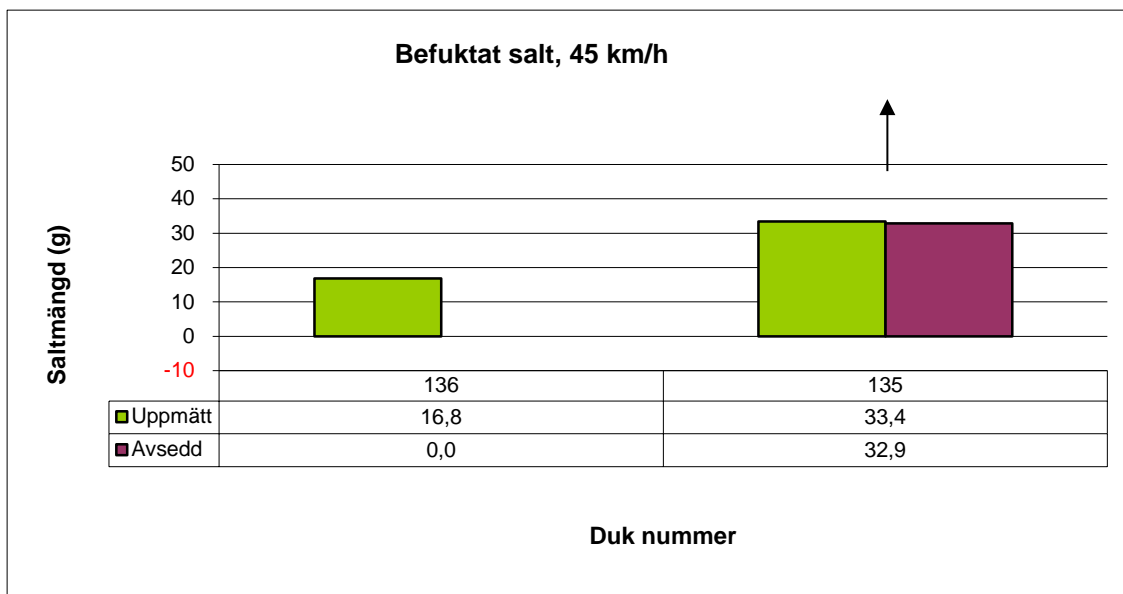
Figur 45 Test i längdled. Saltning av avsmalning från två till ett körfält med GPS-styrning av saltspridaren. I början på avsmalningen. Befuktat salt, 45 km/h.



Figur 46 Test i längdled. Saltning av avsmalning från två till ett körfält med GPS-styrning av saltspridaren. Ungefär $\frac{1}{3}$ in på avsmalningen. Befuktat salt, 45 km/h.



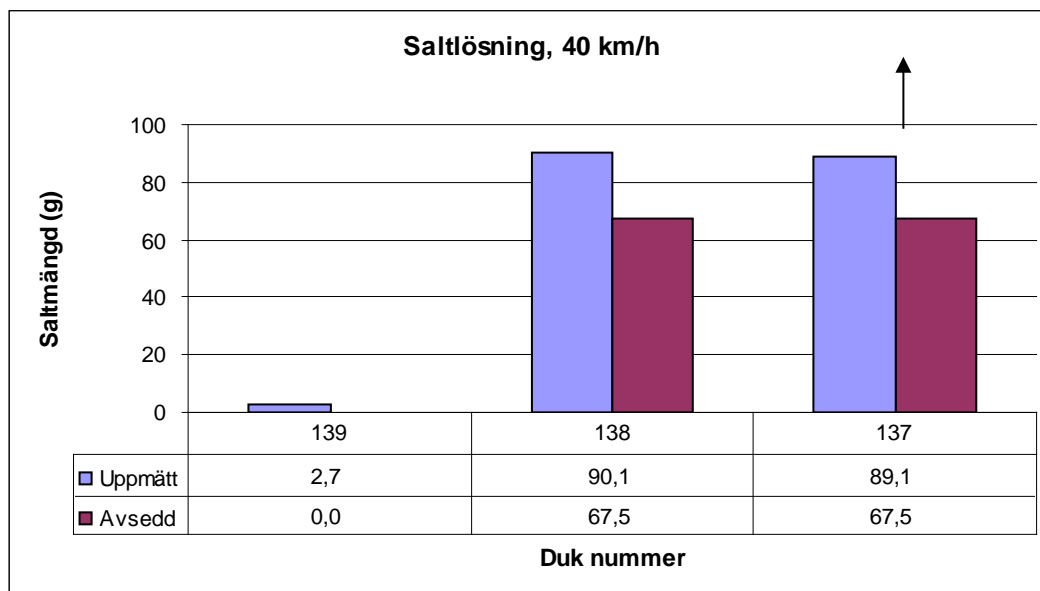
Figur 47 Test i längdled. Saltning av avsmalning från två till ett körfält med GPS-styrning av saltspridaren. Ungefär $\frac{2}{3}$ in på avsmalningen. Befuktat salt, 45 km/h.



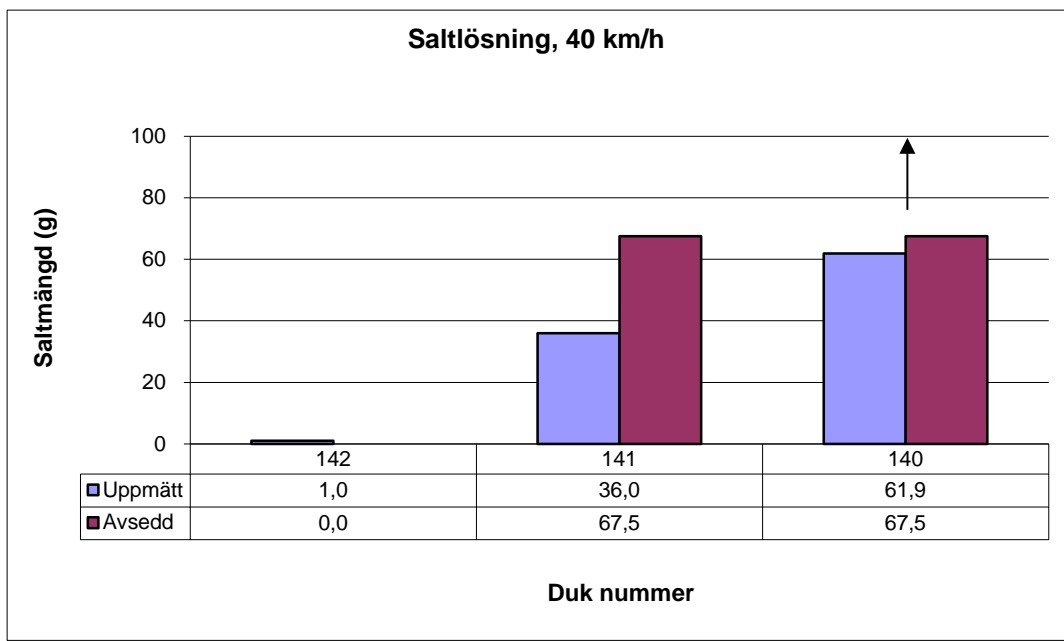
Figur 48 Test i längdled. Saltning av avsmalning från två till ett körfält med GPS-styrning av saltspridaren. I slutet av avsmalningen. Befuktat salt, 45 km/h.

Analys. Vid GPS-saltning med befuktat salt av avsmalning från två till ett körfält i 45 km/h hamnade, på de fyra platserna, följande saltmängder. Ungefär 60, 95, 60 respektive 100 % av avsedd saltmängd på det körfält där saltbilen körde och ca 125, 135 respektive 275 % av avsedd saltmängd på det avsmalnande körfältet.

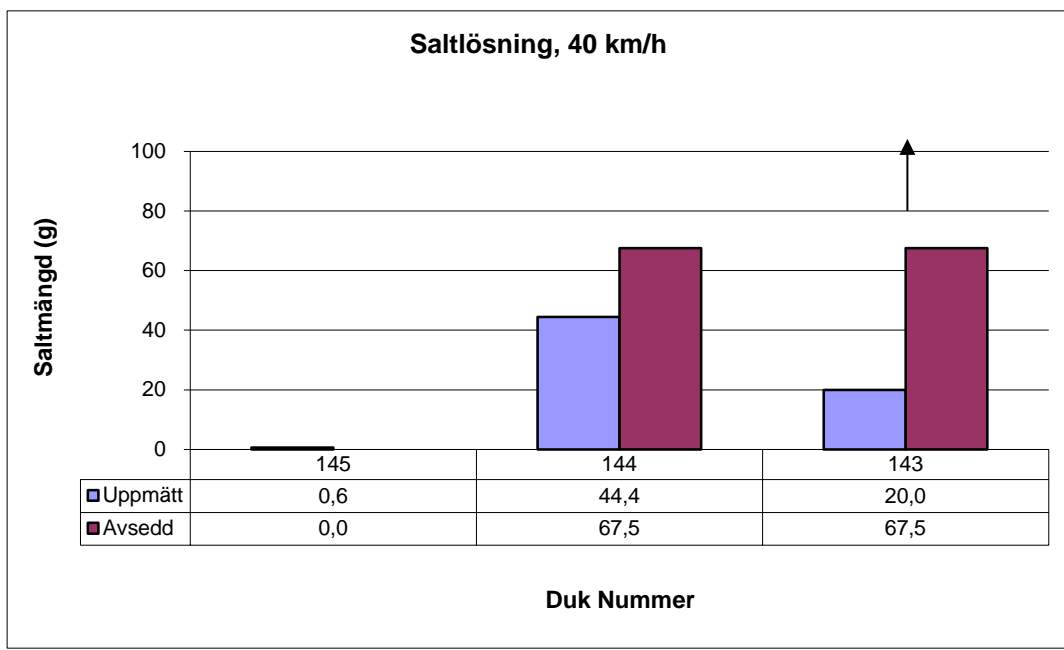
Till vänster om det körfält som smalnade av hamnade i tre fall av fyra ungefär saltmängden 5–15 g och i ett fall inget salt alls.



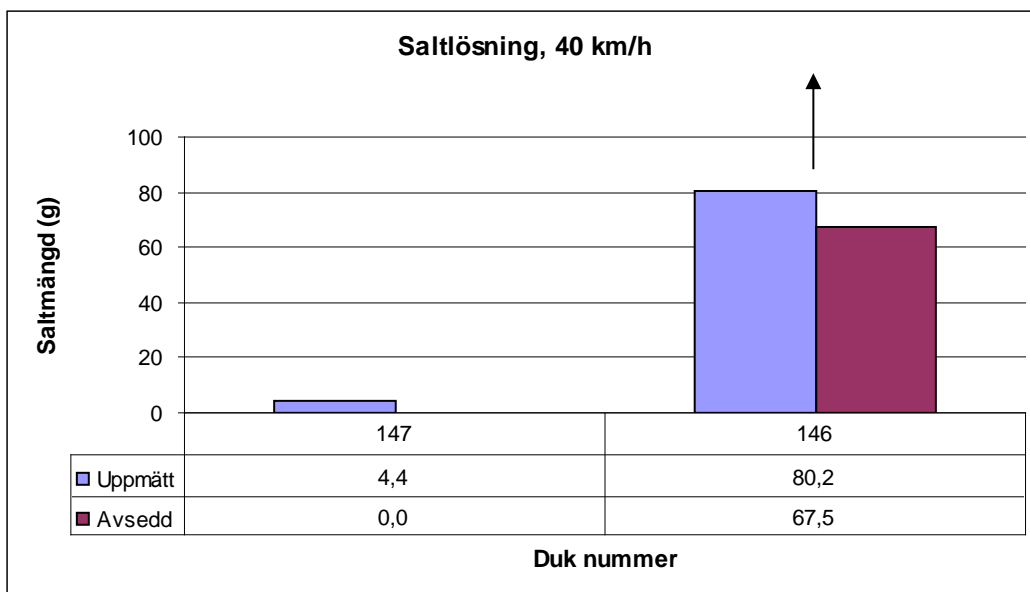
Figur 49 Test i längdled. Saltning av avsmalning från två till ett körfält med GPS-styrning av saltspridaren. I början på avsmalningen. Saltlösning, 40 km/h.



Figur 50 Test i längdled. Saltning av avsmalning från två till ett körfält med GPS-styrning av saltspridaren. Ungefär 1/3 in på avsmalningen. Saltlösning, 40 km/h.



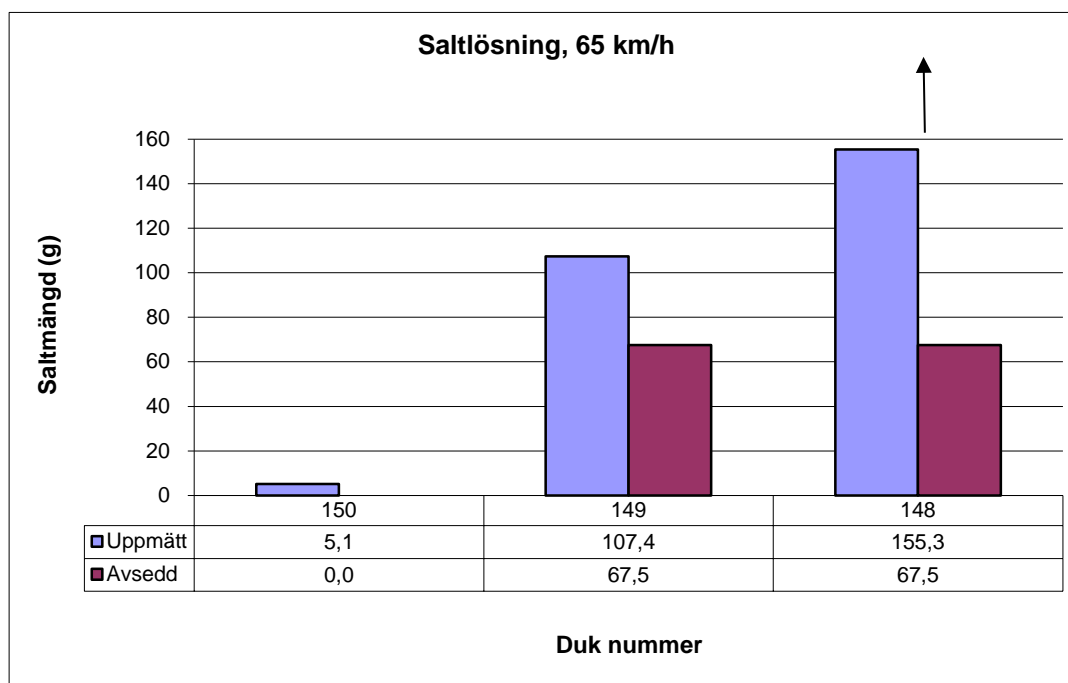
Figur 51 Test i längdled. Saltning av avsmalning från två till ett körfält med GPS-styrning av saltspridaren. Ungefär 2/3 in på avsmalningen. Saltlösning, 40 km/h.



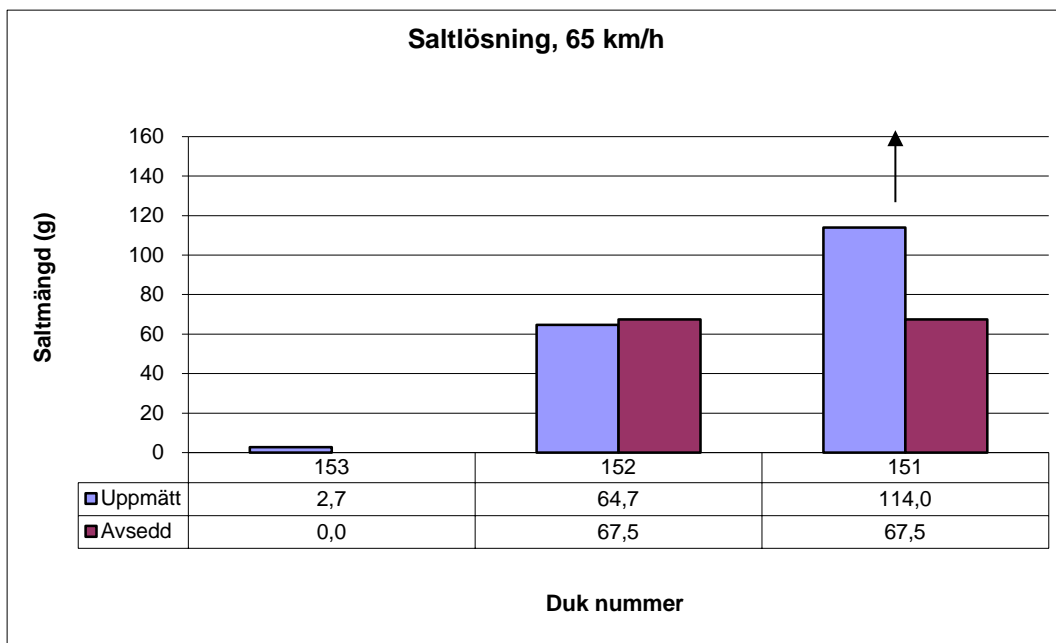
Figur 52 Test i längdled. Saltning av avsmalning från två till ett körfält med GPS-styrning av saltspridaren. I slutet av avsmalningen. Saltlösning, 40 km/h.

Analys. Vid GPS-saltning med saltlösning av avsmalning från två till ett körfält i 40 km/h hamnade, på de fyra platserna, följande saltmängder. Ungefär, 130, 90, 30 respektive 120 % av avsedd saltmängd på det körfält där saltbilen körde och ca 135, 55 respektive 65 % av avsedd saltmängd på det avsmalnande körfältet.

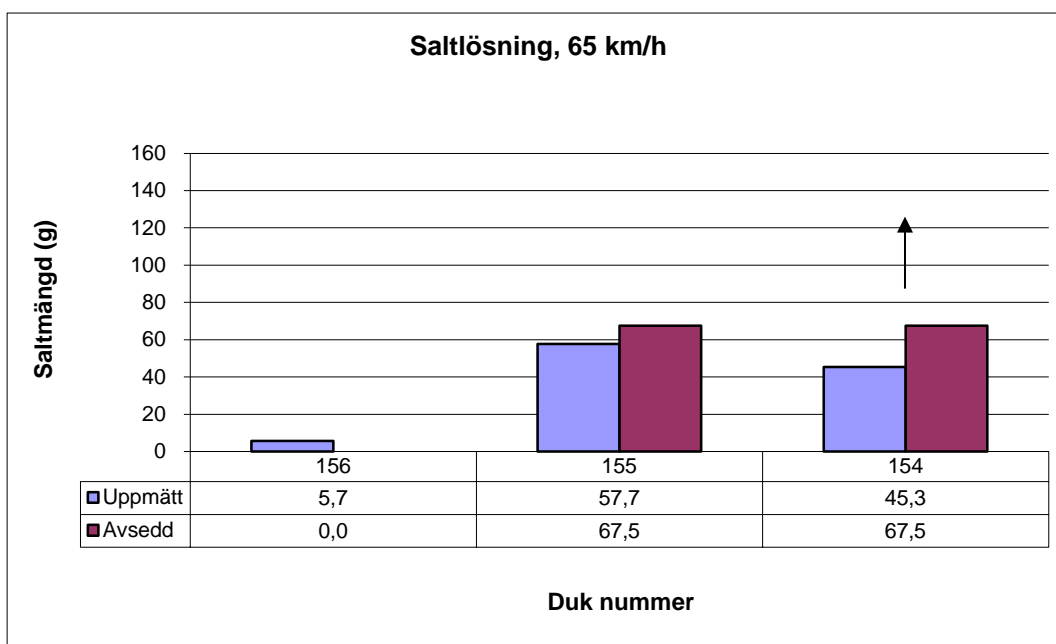
Till vänster om det körfält som smalnade av hamnade endast obetydliga saltmängder.



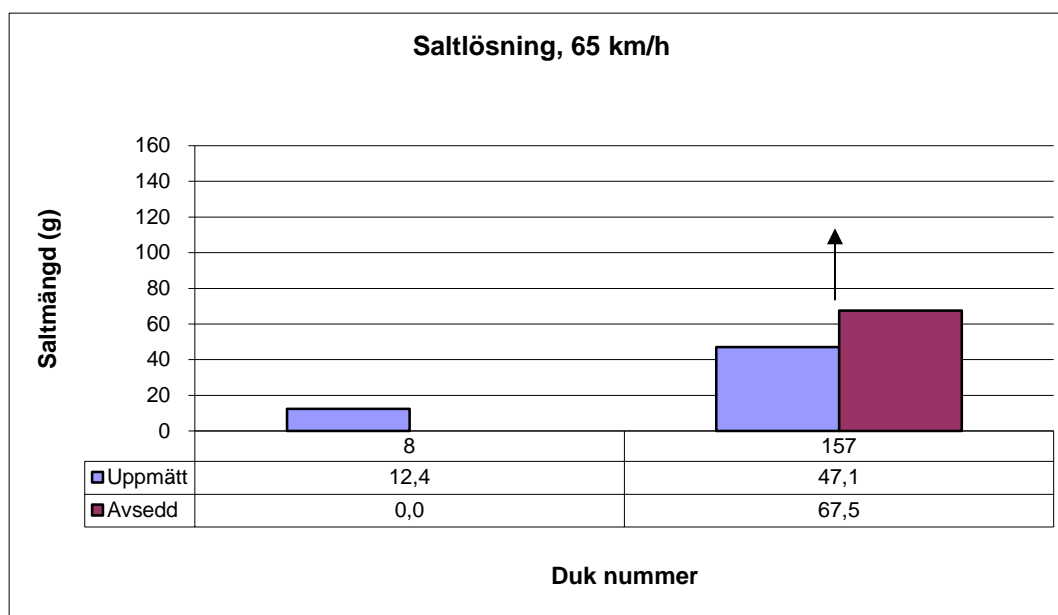
Figur 53 Test i längdled. Saltning av avsmalning från två till ett körfält med GPS-styrning av saltspridaren. I början på avsmalningen. Saltlösning, 65 km/h.



Figur 54 Test i längdled. Saltning av avsmalning från två till ett körfält med GPS-styrning av saltspridaren. Ungefär $\frac{1}{3}$ in på avsmalningen. Saltlösning, 65 km/h.



Figur 55 Test i längdled. Saltning av avsmalning från två till ett körfält med GPS-styrning av saltspridaren. Ungefär $\frac{2}{3}$ in på avsmalningen. Saltlösning, 65 km/h.



Figur 56 Test i längdled. Saltning av avsmalning från två till ett körfält med GPS-styrning av saltspridaren. I slutet av avsmalningen. Saltlösning, 65 km/h.

Analys. Vid GPS-saltning med saltlösning av avsmalning från två till ett körfält i 65 km/h hamnade, på de fyra platserna, följande saltmängder. Ungefär 230, 170, 65 respektive 70 % av avsedd saltmängd på det körfält där saltbilen körde och ca 160, 95 respektive 85 % av avsedd saltmängd på det avsmalnande körfältet.

Till vänster om det körfält som smalnade av hamnade i tre fall av fyra ungefär saltmängden 5–10 g efter tre överfarter och i ett fall nästan inget salt alls.

6.3 Sammanställning av resultat

Nedan sammanställs först de resultat som kommit fram i analyserna vid saltspridning med befuktat salt och med saltlösning av ett körfält, två körfält och två körfält och bussficka utan omställning av saltspridaren.

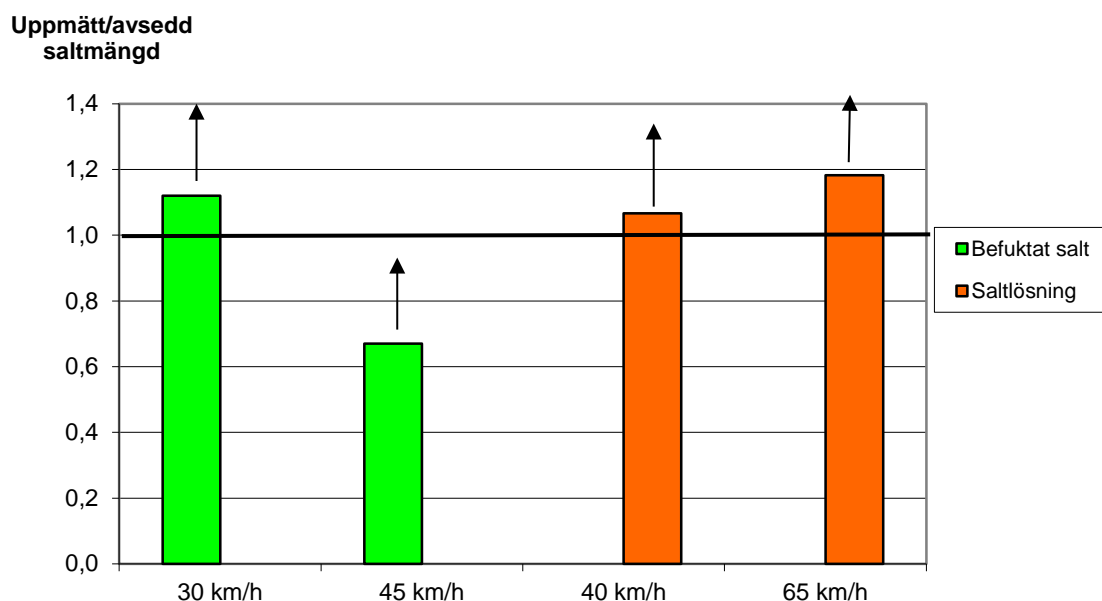
Därefter sammanställs resultaten vid saltspridning med befuktat salt och med saltlösning av två körfält och bussficka samt avsmalning från två till ett körfält med GPS-styrning.

Slutligen jämförs resultaten mellan saltspridning med GPS-styrning och utan omställning av saltspridaren för dels två körfält och bussficka, dels avsmalning från två till ett körfält.

Redovisningen avser uppmätt saltmängd dividerat med avsedd saltmängd.

6.3.1 Saltspridning i tvärled av ett körfält, två körfält och två körfält och bussficka utan omställning av saltspridaren

Test i tvärled, ett körfält



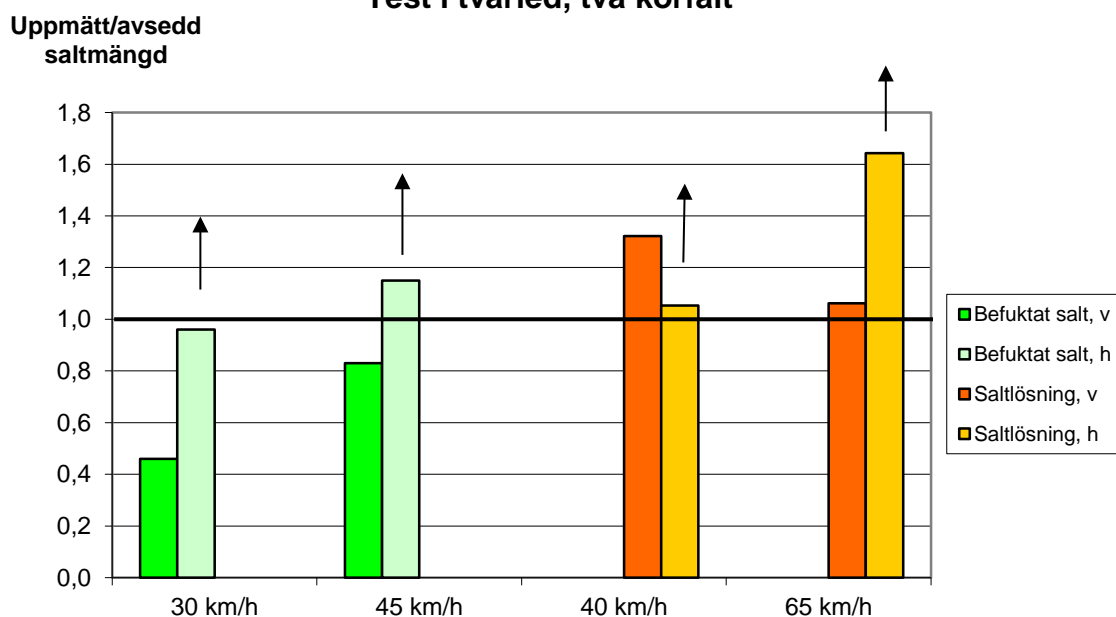
Figur 57 Test i tvärled. Saltning av ett körfält utan omställning av saltspridaren.

Vid saltning utan GPS i olika hastigheter av det körfält där saltbilen körde hamnade med befuktat salt ca 110 respektive 65 % av avsedd saltmängd på körfältet. Högre hastighet gav sämre överensstämmelse med avsedd saltmängd.

Med saltlösning hamnade ungefär avsedd saltmängd respektive ca 20 % mer än avsett på körfältet. Högre hastighet gav något sämre överensstämmelse med avsedd saltmängd.

Tidigare analyser, avsnitt 6.1.1, har visat att obetydliga saltmängder hamnade utanför körfältet.

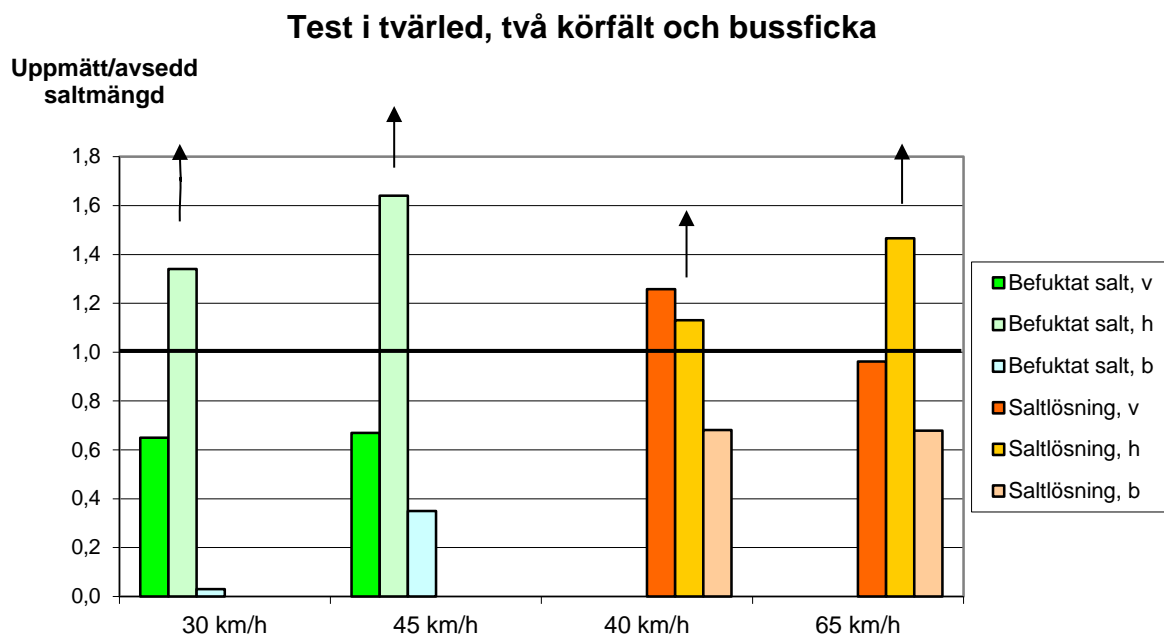
Test i tvärled, två körfält



Figur 58 Test i tvärled. Saltning av två körfält utan omställning av saltspridaren.

Vid saltning utan GPS i olika hastigheter av två körfält hamnade med befuktat salt ca 95 respektive 115 % av avsedd saltmängd i körfältet där bilen körde och 45 respektive 85 % av avsedd saltmängd på det vänstra körfältet. Högre hastighet gav en gång bättre och en gång något sämre överensstämmelse med avsedd saltmängd.

Med saltlösning hamnade ungefär avsedd saltmängd respektive ca 65 % mer än avsett på körfältet där bilen körde och ca 30 % mer än avsett respektive ungefär avsedd saltmängd på det vänstra körfältet. Högre hastighet gav en gång bättre och en gång sämre överensstämmelse med avsedd saltmängd. Tidigare analyser, avsnitt 6.1.2, har visat att inget salt hamnade utanför körfälten.



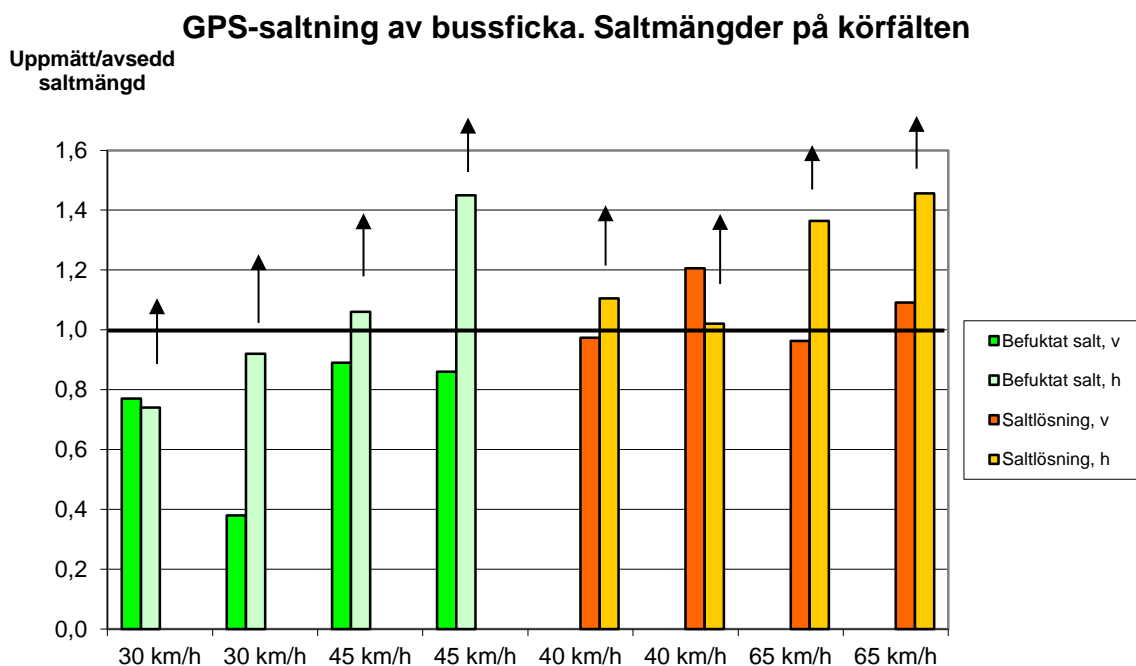
Figur 59 Test i tvärlid. Saltning av två körfält och bussficka utan omställning av saltspredaren.

Vid saltning utan GPS i olika hastigheter av två körfält och bussficka hamnade med befuktat salt ca 135 respektive 165 % av avsedd saltmängd i körfältet där bilen körde och ca 65 % avsedd saltmängd på det vänstra körfältet. Högre hastighet gav en gång sämre överensstämmelse med avsedd saltmängd och en gång ungefär samma överensstämmelse, dock med något låga saltmängder. På bussfickan hamnade i princip inget salt alls respektive ca 35 % av avsedd mängd.

Med saltlösning hamnade ungefär ca 15 % mer än avsedd saltmängd respektive ca 45 % mer än avsett på körfältet där bilen körde och ca 25 % mer än avsedd saltmängd respektive avsedd saltmängd på det vänstra körfältet. Högre hastighet gav en gång bättre och en gång sämre överensstämmelse med avsedd saltmängd. På bussfickan hamnade i båda hastigheterna ca 70 % av avsedd saltmängd.

Tidigare analyser, avsnitt 6.1.3, har visat att inget salt hamnade utanför körfälten och bussfickan.

6.3.2 Saltspridning i längdled av två körfält och bussficka med GPS-styrning

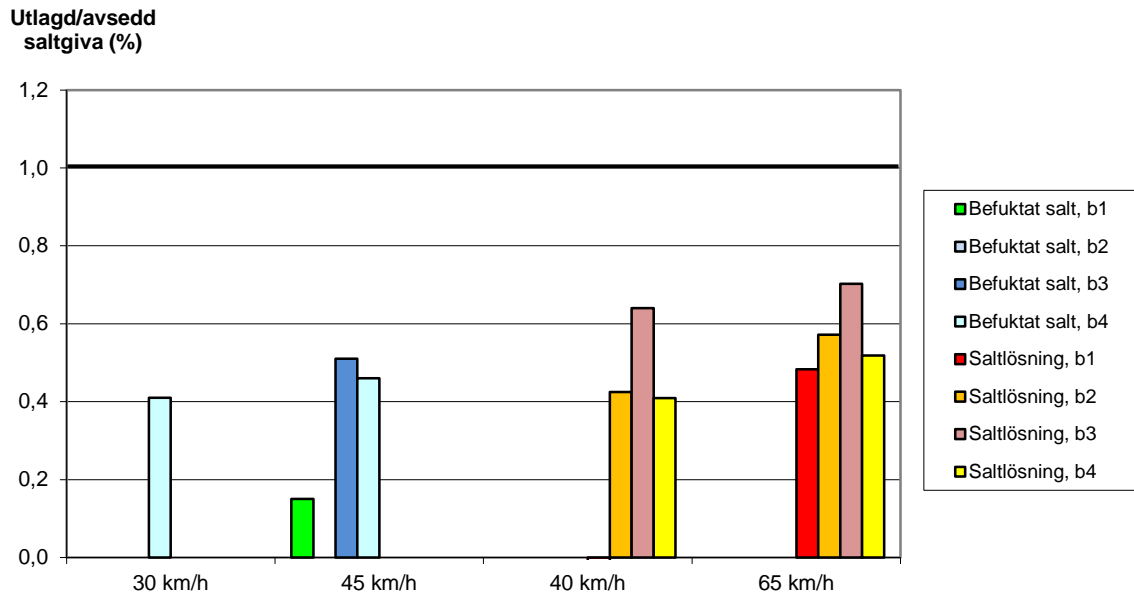


Figur 60 Test i längdled. Saltning av två körfält och bussficka med GPS-styrning av saltspridaren. Saltmängder på körfälten.

Vid GPS-saltning i längdled av två körfält och bussficka med befuktat salt i olika hastigheter hamnade, på det körfält där saltbilen körde, mellan 75 och 145 % av avsedd saltmängd. På det vänstra körfältet hamnade mellan 40 och 90 % av avsedd saltmängd. Högre hastighet gav nästan alltid bättre överensstämmelse med avsedd saltmängd.

Med saltlösning hamnade, på det körfält där saltbilen körde, mellan 100 och 145 % av avsedd saltmängd. På det vänstra körfältet hamnade mellan 95 och 120 % av avsedd saltmängd. Högre hastighet gav ibland bättre, ibland sämre överensstämmelse med avsedd saltmängd.

GPS-saltning av bussficka. Saltmängder på bussfickan



Figur 61 Test i längdled. Saltning av två körfält och bussficka med GPS-styrning av saltspridaren. Saltmängder på bussfickan.

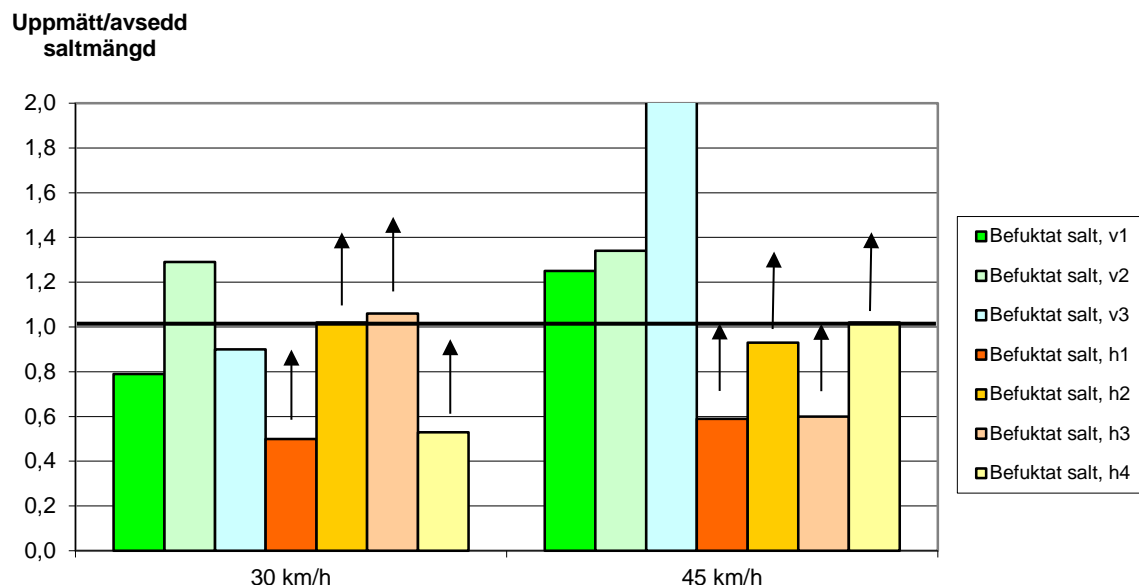
Vid GPS-saltning i längdled av två körfält och bussficka med befuktat salt i olika hastigheter skulle fickan saltas i åtta fall. I tre fall hamnade ca 40–50 % av avsedd saltmängd och i ett fall ca 15 % på fickan. I tre fall hamnade inget salt på bussfickan. Ett fall, duk nr. 64, tas inte med i analysen.

Med saltlösning hamnade i sju fall av åtta mellan 40 och 70 % av avsedd saltmängd på bussfickan. I det sista fallet kom inget salt alls på fickan. Högre hastighet gav bättre överensstämmelse med avsedd saltmängd.

Tidigare analyser, avsnitt 6.2.1, har visat att i princip inget salt hamnade utanför bussfickan.

6.3.3 Saltspridning i längdled av avsmalning från två till ett körfält med GPS-styrning.

GPS-saltning av avsmalning. Befuktat salt

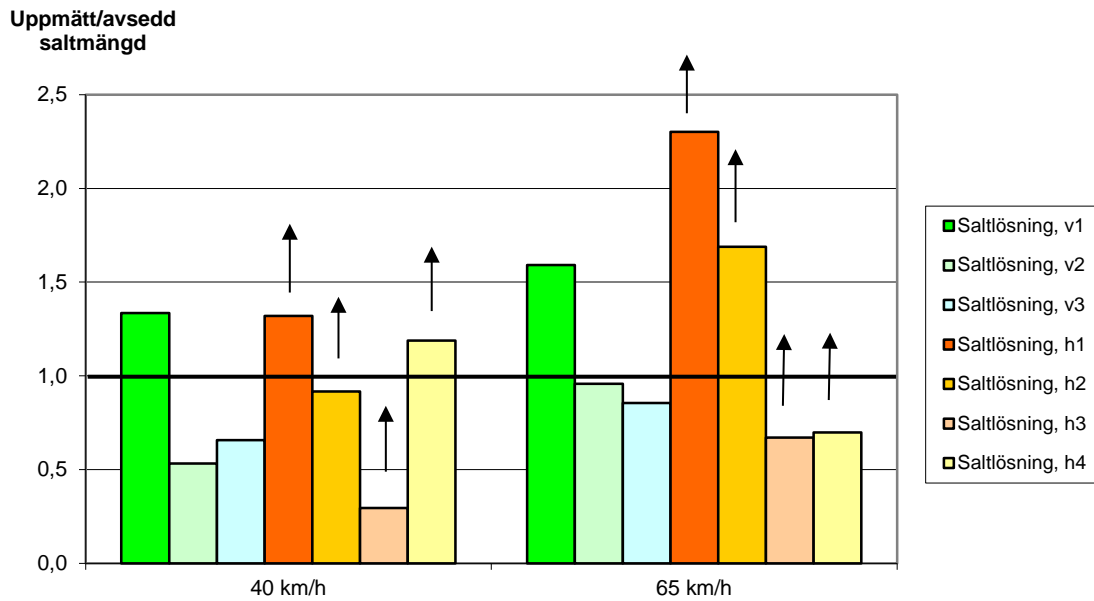


Figur 62 Test i längdled. Saltning av avsmalning från två körfält till ett med GPS-styrning av saltspridaren. Befuktat salt.

Vid GPS-saltning i längdled av avsmalning från två körfält till ett med befuktat salt i olika hastigheter hamnade, på det körfält där saltbilen körde, mellan 50 och 105 % av avsedd saltmängd. På det vänstra, avsmalnande körfältet hamnade vanligen 80 till 135 % av avsedd saltmängd. I ett fall (den ljusblå stapeln vid 45 km/h) uppmättes ca 275 % av avsedd mängd. Högre hastighet gav ibland bättre, ibland sämre överensstämmelse med avsedd saltmängd.

Tidigare analyser, avsnitt 6.2.2, har visat att till vänster om det körfält som smalnade av hamnade i fem fall av åtta i princip inget salt alls. I resterande tre fall hamnade storleksordningen 5–15 g salt.

GPS-saltning av avsmalning. Saltlösning



Figur 63 Test i längdled. Saltning av avsmalning från två körfält till ett med GPS-styrning av saltspridaren. Saltlösning.

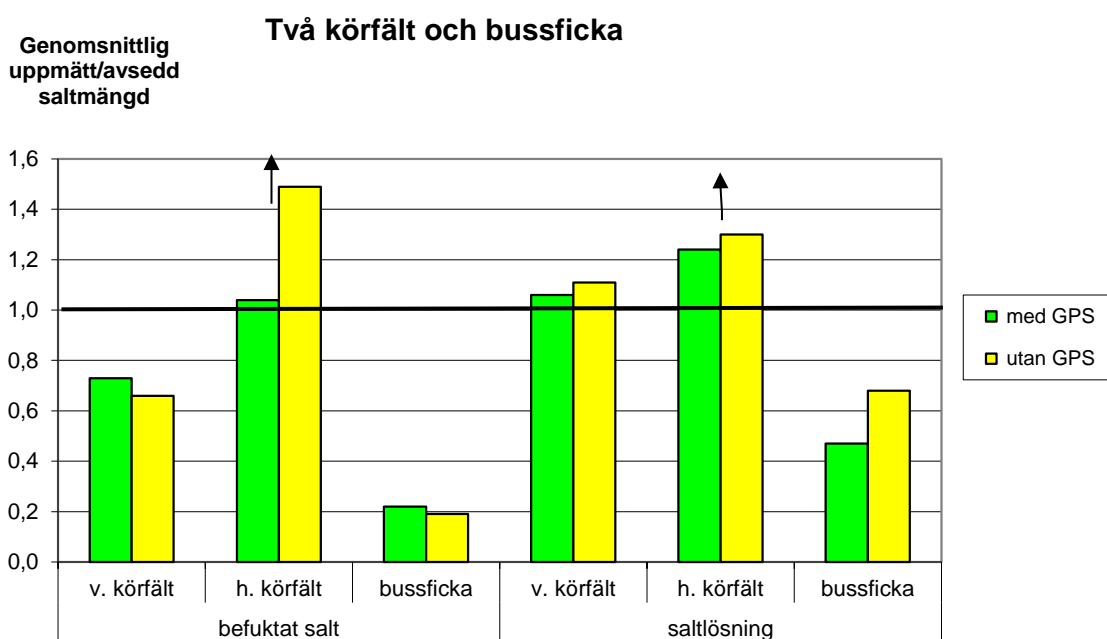
Vid GPS-saltning i längdled av avsmalning från två körfält till ett med saltlösning i olika hastigheter hamnade, på det körfält där saltbilen körde, mellan 30 och 230 % av avsedd saltmängd. På det vänstra, avsmalnande körfältet hamnade 55 till 160 % av avsedd saltmängd. Högre hastighet gav ibland bättre, ibland sämre överensstämmelse med avsedd saltmängd.

Tidigare analyser, avsnitt 6.2.2, har visat att till vänster om det körfält som smalnade av hamnade i fem fall av åtta obetydliga saltmängder. I resterande tre fall hamnade ungefär 5–10 g salt efter tre överfarter.

6.3.4 Jämförelse mellan saltspridning med GPS-styrning och utan omställning av saltspridaren

Jämförelsen avser genomsnittlig uppmätt saltmängd dividerat med genomsnittlig avsedd saltmängd. Genomsnitten baseras på mellan två och åtta observationer.

Med ”utan omställning av saltspridaren” menas att spridaren var inställd med samma spridningsbredd och symmetri/assymetri under hela saltningen. Inställningarna var naturligtvis olika beroende på om saltningen avsåg ett körfält, två körfält eller två körfält och bussficka.



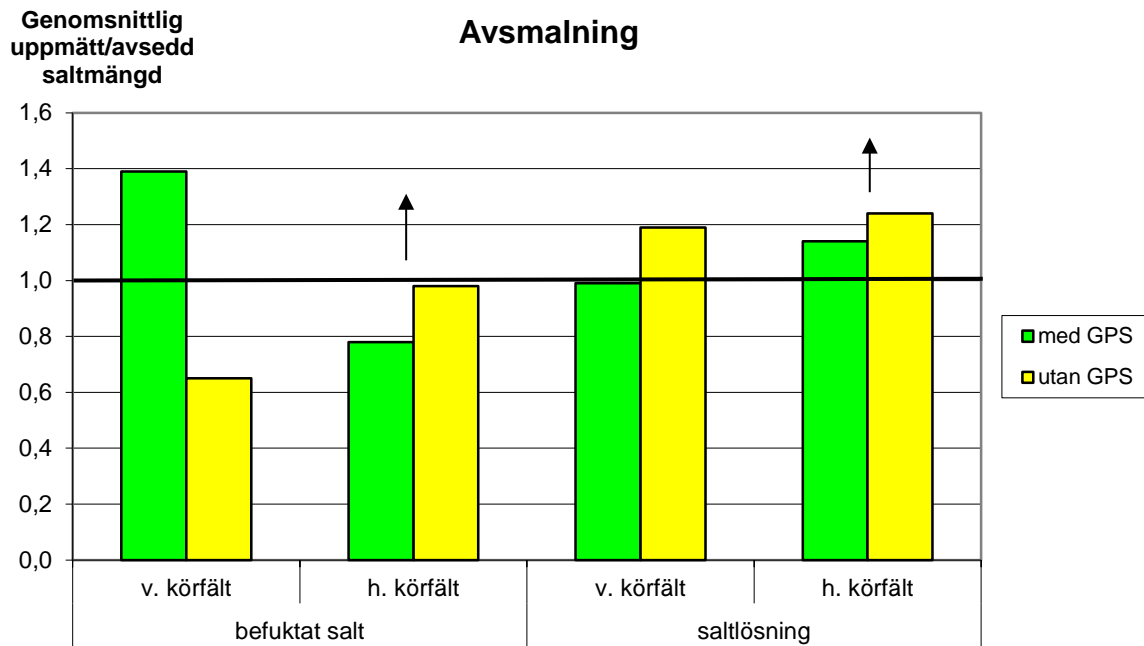
Figur 64 Saltning av två körfält och bussficka med och utan GPS-styrning av saltspridaren.

Vid saltspridning med befuktat salt innebar GPS-styrning på höger körfält i genomsnitt lägre saltmängder och bättre överensstämmelse med avsedd saltmängd än utan omställning av saltspridaren. På vänster körfält innebar GPS-styrning i genomsnitt ungefär samma saltmängder och ungefär samma överensstämmelse med avsedd saltmängd som utan omställning av saltspridaren. Saltmängderna var dock något låga.

På bussfickan innebar både GPS-styrning och icke GPS-styrning i genomsnitt låga saltmängder.

Med saltlösning resulterade både GPS-styrning och icke GPS-styrning i genomsnitt i ungefär samma, och något för höga, saltmängder på höger respektive vänster körfält.

På bussfickan gav GPS-styrning i genomsnitt lägre saltmängder och sämre överensstämmelse med avsedd saltmängd än utan omställning av saltspridaren.



Figur 65 Saltning av avsmalning från två körfält till ett med och utan GPS-styrning av saltspridaren.

Vid saltspridning med befuktat salt innebar GPS-styrning i genomsnitt något lägre saltmängder och sämre överensstämmelse med avsedd saltmängd på höger körfält och högre saltmängder, men inte bättre överensstämmelse med avsedd saltmängd, på det avsmalnande vänstra körfältet jämfört med utan omställning av saltspridaren.

Med saltlösning gav GPS-styrning i genomsnitt något lägre saltmängder och bättre överensstämmelse med avsedd saltmängd både på höger och vänster körfält jämfört med utan omställning av saltspridaren.

7 Sammanfattande resultat och slutsatser

Resultaten av testerna med GPS-styrd saltspridning kan sammanfattas på följande sätt.

Två körfält och bussficka

- Vid saltspridning med befuktat salt och GPS-styrning i 30 och 45 km/h varierade de utlagda saltmängderna på höger körfält, där saltbilen körde, mellan 75 och 145 % av avsedd mängd med ett genomsnitt på ca 105 %. På vänster körfält var variationen 40 till 90 % med ett genomsnitt på ca 75 %. Utan omställning av saltspridaren varierade de utlagda saltmängderna på höger körfält mellan 135 och 165 % av avsedd mängd med ett genomsnitt på ca 150 %. På vänster körfält var den utlagda saltmängden ca 65 %. Inget salt uppmättes utanför körfälten.

GPS-styrningen förbättrade alltså resultatet, dvs. gav bättre överensstämmelse med avsedd saltmängd, på höger körfält jämfört med utan omställning av saltspridaren. På vänster körfält var resultaten ungefär de samma.

Bussfickan skulle med befuktat salt och GPS-styrning saltas i åtta fall. I tre fall hamnade ca 40–50 % av avsedd saltmängd och i ett fall ca 15 % på fickan. I tre fall hamnade inget salt på bussfickan. Ett fall tas inte med i analysen. Genomsnittet är ca 20 %. Utan omställning av saltspridaren varierade de utlagda saltmängderna mellan 5 och 35 % av avsedd mängd med ett genomsnitt på ca 20 %. Utanför bussfickan hamnade i princip inget salt.

På bussfickan gav både GPS-styrning och icke GPS-styrning låga saltmängder.

- Vid saltspridning med saltlösning och GPS-styrning i 40 och 65 km/h varierade de utlagda saltmängderna på höger körfält mellan 100 och 145 % av avsedd mängd med ett genomsnitt på ca 125 %. På vänster körfält var variationen 95 till 120 % med ett genomsnitt på ca 105 %. Utan omställning av saltspridaren varierade de utlagda saltmängderna på höger körfält mellan 115 och 145 % med ett genomsnitt på ca 130 % av avsedd mängd. På vänster körfält var variationen 95 till 125 % med ett genomsnitt på ca 110 %. Inget salt uppmättes utanför körfälten.

På höger respektive vänster körfält blev resultaten ungefär desamma med och utan GPS-styrning. De utlagda saltmängderna låg nästan alltid över de avsedda.

På bussfickan hamnade med saltlösning och GPS-styrning i sju fall av åtta mellan 40 och 70 % av avsedd saltmängd och i ett fall inget salt alls. Genomsnittet blir ca 45 %. Utan omställning av saltspridaren hamnade ca 70 % av avsedd saltmängd på bussfickan. Utanför bussfickan hamnade i princip inget salt.

På bussfickan försämrades resultaten med GPS-styrning jämfört med utan omställning av saltspridaren.

Avsmalning från två till ett körfält

- Vid saltspridning med befuktat salt och GPS-styrning i 30 och 45 km/h varierade de utlagda saltmängderna på höger körfält mellan 50 och 105 % av avsedd saltmängd med ett genomsnitt ca 80 %. På vänster körfält var variationen 80 till 275 % med ett genomsnitt på ca 140 %. Utan omställning av saltspridaren varierade de utlagda saltmängderna på höger körfält mellan 65 och 115 % med ett genomsnitt på ca 100 % av avsedd mängd. På vänster körfält var variationen 45 till 85 % med ett genomsnitt på ca 65 %. Till vänster om det körfält som smalnade av hamnade i fem fall av åtta inget salt alls. I övriga tre fall uppmättes mellan 5 och 15 g salt.

På höger körfält försämrade GPS-styrningen resultaten jämfört med utan omställning av saltspridaren. På vänster körfält gav GPS-styrningen högre saltmängder, men inte bättre resultat, jämfört med utan GPS-styrning.

- Vid saltspridning med saltlösning och GPS-styrning i 40 och 65 km/h varierade de utlagda saltmängderna på höger körfält mellan 30 och 230 % med ett genomsnitt på ca 115 % av avsedd mängd. På vänster körfält var variationen 55 till 160 % med ett genomsnitt på ca 100 %. Utan omställning av saltspridaren varierade de utlagda saltmängderna på höger körfält mellan 105 och 165 % med ett genomsnitt på ca 125 % av avsedd mängd. På vänster körfält var variationen 105 till 130 % med ett genomsnitt på ca 120 %. Till vänster om det körfält som smalnade av hamnade i fem fall av åtta obetydliga saltmängder. I övriga tre fall uppmättes 5 till 10 g salt.

Både på höger och vänster körfält förbättrade GPS-styrningen resultaten.

8 Diskussion

För att hålla de utlagda dukarna på plats när saltbilen passerade i hastigheter på upp till 65 km/h krävdes rejäl förankring. Vi gjorde förberedande försök både med ramar och kätting och fann att ganska tunga konstruktioner var nödvändiga. Eftersom kättingen bättre anpassade sig till den något ojämna asfalterade testbanan valde vi slutligen denna lösning. Nackdelen var dock att kättingen måste vara relativt grov. Det innebar att kättingen i viss mån hindrade saltet från att hamna på dukarna, vilket medförde att de uppmätta saltmängderna blev något underskattade. För att förhindra att kättingen förde med sig salt från en duk till en annan skakades den eller slogs hårt i marken före en ny utläggning. Vid behov sopades också plasten, och ibland även hjulspåren, mellan körningarna för att undvika att salt hamnade på dukarna på annat sätt än från saltspridaren.

En annan felkälla var att det soliga och varma vädret under testdagen resulterade i avdunstning från dukarna, vilket märktes genom att de dukar, där inget salt skulle hamna, ibland minskade i vikt mellan utläggning och intagning. Minskningen låg i medeltal på ca 2,5 g, men ibland uppgick den till 4-5 g. Även avdunstningen medförde att de uppmätta saltmängderna underskattades. Som jämförelse kan nämnas att dukarna, vid full saltgiva, skulle öka i vikt med knappt 35 g vid användning av befuktat salt och med drygt 65 g då saltlösning spreds.

Ytterligare en felkälla är att saltspridaren var utrustad med en GPS av standardtyp som uppdateras en gång per sekund och har en noggrannhet på ungefär ± 3 meter.

På det stora hela gav saltning med GPS-styrning ungefär samma resultat som utan omställning av saltspridaren. I genomsnitt stämde de uppmätta saltmängderna, i de flesta fall, ganska väl med de avsedda.

Som framgår av föregående kapitel spreds dock för lite salt på bussfickan, framför allt då befuktat salt användes. En orsak till detta kan vara att spridartallriken roterar medurs uppifrån sett och är utformad för att sprida åt vänster. Spridningen åt höger blir därigenom sämre. Vänsterspridning är den vanligaste inställningen av asymmetrin och används när man sprider salt på två körfält samtidigt. En annan orsak till de låga saltmängderna på bussfickan kan vara att det bildas luftvirvlar bakom saltbilen som gör att mer salt hamnar i det körfält där bilen kör och mindre utåt sidorna. Denna effekt är tydligast vid högre hastighet och för befuktat salt.

Samtidigt innebär GPS-styrning av saltspridaren att kvaliteten på saltningen kan förbättras, genom att salt i större utsträckning spreds bara där det behövs. GPS-styrning har också en positiv effekt på trafiksäkerheten och arbetsmiljön för chauffören eftersom han inte behöver ändra spridarinställningarna utan helt kan koncentrera sig på körningen.

9 Förslag till fortsatta tester

I detta test på avlyst bana har undersökts hur nära de avsedda saltmängderna som saltning med och utan GPS-styrning har kommit vid olika spridningsmängd, spridningsbredd, symmetri/assymetri och hastighet och för befuktat salt och saltlösning.

En intressant fortsättning vore att under verkliga förhållanden jämföra GPS-styrning med manuell saltspridning.

Testerna bör då göras för flera typiska saltrundor på en allmän, trafikerad väg där det förekommer olika vägbredder och utformningar, t.ex. tvåfältsväg, 2+1-väg, korsningar med refuger och vänstersvängskörfält, busshållplatser, cirkulationsplatser etc.

Eftersom möjligheterna att på en allmän väg samla in mätdata från utlagda dukar är begränsade bör uppföljningen koncentreras till filmning av saltspridningen. Det bör undersökas om synbarheten av saltutläggningen kan ökas genom fluorescerande tillsatser i saltet/saltlösningen kombinerat med belysning med ultraviolett ljus.

I projektet bör även ingå:

- Att studera saltförbrukning samt mängden justeringar av spridningsbredd och symmetri/assymetri vid manuella ändringar och med GPS-styrning
- Att samla in erfarenheter från olika leverantörer om GPS-styrd saltspridning
- Att jämföra hantering av olika GPS-system
- Att jämföra tekniska prestanda hos olika GPS-system utifrån specifikationer samt från egna tester
- Att studera vilka krav som kan och bör ställas på sådana system, bl.a. när det gäller inställningsmöjligheter av spridningsbredd och symmetri/assymetri samt noggrannhet hos GPS
- Att intervjua chaufförer som har erfarenhet av GPS-styrd saltspridning
- Att kartlägga chaufförernas och arbetsledningens intresse av och farhågor för GPS-styrd saltspridning.

Referenser

Knudsen, F & Sommer, B: **Global Positioning System - Controlled Salt Spreading. From Idea to Implementation.** Konferensbidrag vid TRB Seventh International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology. Indianapolis USA. 2008-06-16--19.

Knudsen, F & Sommer, B: **GPS Controlled Salt Spreading and Section Based Forecasts.** Konferensbidrag vid PIARC XIII International Winter Road Congress. Québec, Canada. 2010-02-08--11.

Odermatt, N: **GPS-styrd saltspridning.** Presentation vid Transportforum 2009-01-08. Linköping. 2009.

Vägverket, Vägverket Produktion & Vägsektorns Utbildningscentrum: **Saltmall vid kemisk halkbekämpning.** Borlänge. Reviderad 2000-2001.